

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.КІ – 33.00.000 ПЗ

Група КІм-24-2

Ліщинський Назар

2025

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Ліщинський Назар Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.9

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та
вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля
МАХ30102**

Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

/ Н.Т. Ліщинський /

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник – Бабчук Сергій Миронович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

(посада)

(підпис)

(дата)

/ С.І. Мельничук /

(ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

**Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело**

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСМ

(С.І. Мельничук)

« » 2025 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Ліщинському Назару Тарасовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102

керівник проекту (роботи) Бабчук С.М., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «05» 12.2025 року № 755/7

2. Термін подання студентом роботи 10.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Матеріали і результати отримані під час проходження переддипломної практики, методичні вказівки, технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз предметної області та існуючих засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини. 2 Визначення логіко-статистичної інформаційної моделі для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини. 3. Розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Мойсеєнко О.В.		

7. Дата видачі завдання 12 березня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Постановка задачі та збір інформації</i>	<i>12.03.2025-25.09.2025</i>	виконано
2	<i>Аналіз предметної області та існуючих засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини</i>	<i>26.09.2025-10.10.2025</i>	виконано
3	<i>Визначення логіко-статистичної інформаційної моделі для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини</i>	<i>11.10.2025-21.10.2025</i>	виконано
4	<i>Розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102</i>	<i>22.10.2025-29.11.2025</i>	виконано
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>30.11.2025-10.12.2025</i>	виконано

Студент _____
(підпис)

Ліщинський Н.Т.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабчук С.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вимірювання пульсу та кількості кисню у крові людини є життєво важливими завданнями.

Під час виконання першого розділу було встановлено діапазони значень пульсу та кількості кисню у крові людини, які відповідають нормі і відхилення від яких може бути ознакою проблем із здоров'ям людини і потребуватиме термінового відвідування лікаря.

За результатами аналізу логіко-статистичних інформаційних моделей встановлено, що для розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини доцільно використати першу логіко-статистичну інформаційну модель (ЛСІМ-1).

Під час виконання магістерської роботи розроблено апаратно-програмні засоби контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102, що дозволить виявляти відхилення пульсу та кількості кисню у крові людини від норми як в сторону перевищення норми так і в сторону зниження нижче норми (відхилення в обидві сторони можуть бути ознаками проблем із здоров'ям людини і потребують термінового відвідування лікаря).

Ключові слова: пульс, вміст кисню в крові людини, контроль, ЛСІМ-1, MAX30102, ESP32 Devkit V1.

ABSTRACT

Measuring the pulse and the amount of oxygen in human blood are vital tasks.

During the first section, the ranges of pulse values and the amount of oxygen in human blood were established, which correspond to the norm and deviations from which may be a sign of human health problems and require an urgent visit to a doctor.

According to the results of the analysis of logical-statistical information models, it was found that for the developed system for monitoring the pulse and the oxygen content in human blood, it is advisable to use the first logical-statistical information model (LSIM-1).

During the master's thesis, hardware and software tools for monitoring the pulse and the oxygen content in human blood based on LSIM-1 were developed using the MAX30102 module, which will allow detecting deviations of the pulse and the amount of oxygen in human blood from the norm both in the direction of exceeding the norm and in the direction of decreasing below the norm (deviations in both directions may be signs of human health problems and require an urgent visit to a doctor).

Keywords: pulse, oxygen content in human blood, control, LSIM-1, MAX30102, ESP32 Devkit V1.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ.....	8
1.1 Аналіз предметної області.....	8
1.2 Аналіз засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.....	18
2 ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГІКО-СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ.....	26
3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ЛСІМ-1 ЗАСОБАМИ МОДУЛЯ МАХ30102.....	32
3.1 Розробка структурної схеми системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.....	32
3.2 Вибір апаратних засобів для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.....	34
3.3 Розробка програмного забезпечення для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.....	47
3.4 Перевірка працездатності розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102.....	58
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ.....	75

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

AES – Advanced Encryption Standard;
BLE – Bluetooth Low Energy;
BR – Basic Rate;
ECC – Elliptic Curve Cryptography;
EDR – Enhanced Data Rate;
I2C – Inter-Integrated Circuit;
I2S – Integrated Inter-IC Sound;
IR – Infrared;
IP – Ingress Protection;
LED – Light Emitting Diode;
OLED – Organic Light-Emitting Diode;
PWM – Pulse Width Modulation;
RSA – Rivest–Shamir–Adleman;
SD – Secure Digital;
SDIO – Secure Digital Input Output;
SHA – Secure Hash Algorithm;
SPI – Serial Peripheral Interface;
UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter;
USB – Universal Serial Bus;
WPA – Wi-Fi Protected Access;
WPS – Wi-Fi Protected Setup;
ЕКГ – електрокардіограма;
ЛСІМ – логіко-статистична інформаційна модель;
МОЗ – Міністерство охорони здоров'я України;
ПК – персональний комп'ютер;
УКРСЕПРО – Українська система сертифікації продукції.

ВСТУП

Вимірювання пульсу та кількості кисню у крові людини є життєво важливими.

Вміст кисню в крові людини вважається в межах норми коли він становить від 95% до 98%.

Під час оксигенотерапії під час лікування COVID-19, пневмоній чи при гострій дихальній недостатності вміст кисню в крові людини може досягати від 99% до 100%. Проте, в розділі II підрозділ О пункті 4 клінічних рекомендацій надання медичної допомоги від Міністерства охорони здоров'я України, де описано рекомендації щодо оксигенотерапії в більшості клінічних ситуацій, не рекомендовано для організму людини такий показник вмісту кисню в крові людини.

Вміст кисню в крові людини в межах від 90% до 93% свідчить про легку гіпоксемію, тобто про проблеми з серцево-судинною або дихальною системою: такий людині потрібне спостереження та додаткові обстеження.

Для середньостатистичної дорослої людини пульс у стані спокою (людина спокійно лежить або сидить та почувається добре) має бути від 60 до 100 ударів за хвилину.

У дитячому віці пульс у стані спокою (дитина спокійно лежить або сидить та почувається добре) має бути:

- від 80 до 140 ударів за хвилину у віці від 1 року до 5 років;
- від 75 до 118 ударів за хвилину у віці від 6 років до 12 років;
- від 60 до 100 ударів за хвилину у віці від 13 років (пульс як у дорослих).

Якщо у дорослої людини пульс у стані спокою нижче 60, то у такої людини може бути брадикардія. Якщо у дорослої людини пульс у стані спокою перевищує 100 ударів за хвилину, то може бути тахікардія. Тахікардія є патологічним станом, у якому спостерігається зростання частоти скорочень

серця вище 100 ударів за хвилину. Високий пульс також може бути симптомом або ознакою і іншого захворювання.

Актуальність теми даної роботи. Вміст кисню в крові людини нижче 90% свідчить про небезпечний стан, який потребує термінової медичної допомоги. Вищевказане може бути свідченням серйозної гіпоксії, що загрожує життю. Розуміння пульсу може допомогти контролювати здоров'я серця. Зміна пульсу може свідчити про захворювання серця або інші проблеми зі здоров'ям, особливо з віком. Якщо ігнорувати підвищений пульс і не звертатися до лікаря, то можуть виникнути негативні наслідки для здоров'я людини, аж до зупинки серця.

В зв'язку з вищевказаним контроль пульсу та вмісту кисню в крові людини є дуже важливим і може сприяти виявленню проблем із здоров'ям людини, а іноді і запобігти і смертельним трагедіям. Тому актуальним завданням є створення систем контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Об'єктом дослідження є зміна пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Предметом дослідження є виявлення відхилення пульсу та вмісту кисню в крові людини від норми.

Метою магістерської роботи є розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ~ провести аналіз предметної області, існуючих засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини;
- ~ визначити ЛСІМ для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини;
- ~ розробити структурну схему системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини;
- ~ здійснити вибір апаратних засобів для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини;

~ розробити програмне забезпечення для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Методи дослідження. Під час здійснення досліджень існуючих засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини було використано метод порівняльного аналізу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102.

Апробація результатів магістерської роботи. Положення магістерської роботи обговорювались на ІХ Міжнародній студентській науковій конференції “Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки”.

Публікації. Оpubліковані тези доповіді в збірнику тез доповідей ІХ Міжнародної студентської наукової конференції “Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки” [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ

1.1 Аналіз предметної області

Вимірювання кількості кисню у крові людини є життєво важливим для прогнозування здоров'я людини [3].

Кисень необхідний для нормального функціонування клітин. Усі клітини тканин залежать від безперервного вироблення енергії у формі аденозинтрифосфату який генерується в клітинах шляхом аеробного метаболізму харчових палив (головним чином глюкози) до вуглекислого газу та води. Якщо постачання кисню переривається, цей процес вироблення енергії обмежується або припиняється, що призводить до пошкодження клітин і, зрештою, до загибелі клітин та відмови органів [3].

Недостатнє надходження кисню в тканини називається гіпоксією і є найпоширенішою причиною пошкодження та смерті клітин і одним з головних факторів, які сприяють етіології та/або патогенезу більшості потенційно небезпечних для життя захворювань/станів, що спостерігаються в медицині невідкладної допомоги [3].

Забезпечення адекватного постачання кисню до тканин є головною метою невідкладної медичної допомоги. Не існує методів для безпосереднього моніторингу оксигенації тканин, а тому медики повинні покладатися на доступні непрямі методи вимірювання, зокрема контроль насичення киснем капілярної крові (SpO_2) [3].

Оксигенація крові найчастіше оцінюється неінвазивним способом (оскільки для визначення показників цілісність шкіри не порушується) за допомогою пульсоксиметрії. Це дозволяє зручно та безпечно безперервно контролювати насичення киснем капілярної крові (SpO_2) [3].

Вміст кисню в крові людини (SpO_2) вважається в межах норми коли SpO_2 становить від 95% до 98% [3-6].

Під час оксигенотерапії під час лікування COVID-19, пневмоній чи при гострій дихальній недостатності вміст кисню в крові людини (SpO_2) може досягати від 99% до 100%. Проте, в розділі II підрозділ О пункті 4 клінічних рекомендацій надання медичної допомоги від Міністерства охорони здоров'я України, де описано рекомендації щодо оксигенотерапії в більшості клінічних ситуацій, не рекомендовано для організму людини такий показник вмісту кисню в крові людини [4].

Вміст кисню в крові людини в межах від 90% до 93% свідчить про легку гіпоксемію, тобто про проблеми з серцево-судинною або дихальною системою. Людині потрібне спостереження та додаткові обстеження [7].

Вміст кисню в крові людини в межах менше 90% свідчить про небезпечний стан, який потребує термінової медичної допомоги. Вищевказане може бути свідченням серйозної гіпоксії, що загрожує життю [7].

Якщо вміст кисню в крові людини (SpO_2) менше 90%, то це свідчить про дихальну недостатність [4].

При підозрі на дихальну недостатність і для моніторингу стану лікування дихальної недостатності здійснюють пульсоксиметрію: неінвазивний метод моніторингу через шкіру насичення гемоглобіну артеріальної крові киснем (SpO_2) і частоти пульсу. Для виконання цього дослідження використовують пульсоксиметри, принцип дії яких полягає у трансмісійній спектрофотометрії та базується на використанні різних оптичних властивостей відновленого і окисленого гемоглобіну. Пульсоксиметри обладнані датчиками можуть кріпитися [6]:

- на вказівний палець правої або лівої руки;
- до крильця носа,
- до пальця на нозі;
- на мочку вуха;
- на чоло (спеціальний зонд кріпиться пластиром або липкою стрічкою);

– у новонароджених на зап'ястя або стопу. Для визначення вмісту кисню в крові у самих маленьких дітей, як правило, використовуються спеціальні педіатричні пульсоксиметри, які мають ремінець на липучці.

Встановити багато захворювань на початковій стадії або оцінити стан пацієнта дозволяє знання інформації про те який вміст кисню в крові людини [5].

При оцінці даних про вміст кисню в крові людини слід враховувати, що [5]:

– після інтенсивних фізичних навантажень вміст кисню в крові людини може знизитися, а у стані спокою вміст кисню в крові людини може збільшитися;

– вміст кисню в крові людини протягом дня може змінюватися в залежності від втоми людини та певних інших чинників;

– різке зниження вмісту кисню в крові людини свідчить про наявність захворювань серця або легенів;

– зниження вмісту кисню в крові людини відносно попереднього від 3% до 4% свідчить про важку хворобу;

– якщо вміст кисню в крові людини нижче 90%, то в пацієнта гостра форма дихальної недостатності;

– у стані спокою вміст кисню в крові людини, як правило, збільшується, а при фізичних навантаженнях і під час сну, як правило, знижується;

– вміст кисню в крові людини є індивідуальним і може бути неоднаковим у різних людей і змінюватися протягом дня в залежності від стану людини та її активностей чи спокою.

Пульсоксиметр показує поточний стан людини в даний момент і для одержання релевантних даних рекомендується проведення кількох досліджень протягом дня адже це допоможе отримати більше інформації про стан здоров'я людини [5].

Прилад для контролю вмісту кисню в крові людини дозволяє дізнатися про початок критичних змін в організмі людини ще до явної появи симптомів деяких

хвороб. Такий підхід сприяє швидшому встановленню діагнозу і швидшому початку лікування [5].

Організму людини постійно потрібне надходження поживних речовин і виведення продуктів обміну речовин. Проте, не тільки вищевказане впливає на процес проходження біохімічних реакцій. Також дуже велике значення має насичення клітин киснем. З кожним вдиханням органи дихальної системи одержують нову порцію повітря, яка містить від 20% до 23% вільного кисню, азот і додатково домішки інших газів. Еритроцити переносять молекули кисню через потік крові і доставляють їх в клітини всіх тканин і органів [5].

Вміст кисню в крові людини, як і частота серцевих скорочень, артеріальний тиск, температура тіла, відноситься до життєво важливих показників. Процедура визначення вмісту кисню в крові людини називається пульсоксиметрією [5].

Принцип процедури пульсоксиметрії базується на тому, що гемоглобін, молекули якого не пов'язані з молекулами кисню, поглинає світлові хвилі певної частоти дещо в інший спосіб, у порівнянні з гемоглобіном, молекули якого взаємопов'язані з киснем. Пульсоксиметр вловлює виключно світлове випромінювання і тому є безпечним для здоров'я людини. Процедура пульсоксиметрії не має побічних ефектів або протипоказань [5].

Пульсоксиметри сприяють контролю важливих показників функціонального стану серцево-судинної системи та органів дихальної системи.

Вміст кисню в крові людини визначають [5]:

- для контролю стану пацієнта, якого під загальним наркозом оперують з штучною вентиляцією легенів;
- для відстеження процесів седатції й післяопераційної реанімації;
- якщо хворого переміщують до закладу надання невідкладної допомоги в умовах стаціонару;
- якщо пацієнту роблять комплексну діагностику.

Пульсоксиметрію здійснюють при діагностиці та визначенні терапевтичного курсу при лікуванні серцево-судинної системи, порушеннях сну

а також при неврологічних захворюваннях. Пульсоксиметри використовуються в таких сферах [5]:

- для виявлення проблем в роботі органів дихальної системи (пульмонологія);
- для відстеження стану пацієнта під час операції (анестезіологія);
- для контролю здоров'я спортсменів та для підвищення ефективності спортивних занять без шкоди для здоров'я спортсменів (спортивна медицина);
- для виявлення перших ознак пневмонії у дітей з гострими респіраторними вірусними інфекціями, а також для попередження нападів астми (педіатрія).

Контроль вмісту кисню в крові людини необхідний у таких випадках [7,8]:

- вроджений порок серця (патологія змінює кровообіг і зменшує вміст кисню в крові);
- серцева недостатність (оскільки серце не може ефективно перекачувати кров, то кисень не доходить до тканин);
- проблеми з диханням;
- пневмонія;
- цукровий діабет;
- бронхіальна астма;
- хронічна обструктивна хвороба легень;
- муковісцидоз;
- часті напади блювоти і/або нудоти;
- контроль насичення у матері і плоду (при вагітності);
- гіпоксія організму при отруєнні димом або чадним газом (чадний газ зв'язується з гемоглобіном і спочатку ускладнює а потім і унеможливорює доставку кисню до органів);
- сильний шок або крововтрата (в такому випадку може бути недостатньо крові для транспортування кисню до органів);
- тромб у легенях (блокування судин у легенях зменшує надходження кисню);

– перебування у горах (на великих висотах в повітрі менше кисню, а тому вміст кисню в крові може різко знижуватися навіть у здорових людей);

– надмірні фізичні навантаження (інтенсивна фізична активність вимагає більше кисню в організмі, а тому якщо легені не справляються з забезпеченням організму киснем, то вміст кисню в крові знажується);

– задушливе або запилене приміщення. Погана вентиляція зменшує кількість кисню для дихання;

– оперативне втручання під загальною анестезією і в післяопераційний період – для моніторингу стану пацієнтів;

– застосування штучної вентиляції легень або кисневої терапії, щоб визначити, наскільки ефективним є лікування.

Коли вміст кисню в крові стає нижче норми, організм одразу реагує.

Типові прояви стану дорослої людини, коли вміст кисню в крові нижче норми [7]:

– задишка під час мінімальних навантажень чи навіть у спокої;

– зміна кольору шкіри: вона може стати з синюватим відтінком або блідою (особливо потрібно звертати увагу на нігті і губи);

– прискорене серцебиття: серце старається компенсувати недостатність кисню;

– погіршення концентрації, пам'яті, а в складних випадках навіть можлива короткочасна втрата свідомості;

– слабкість, запаморочення, сонливість, що з'являються без якихось видимих причин.

Типові прояви стану дитини, коли вміст кисню в крові нижче норми [7]:

– дратівливість чи частий плач без явної причини;

– надмірна збудженість чи навпаки млявість;

– відмова від грудного молока або від їжі у немовлят;

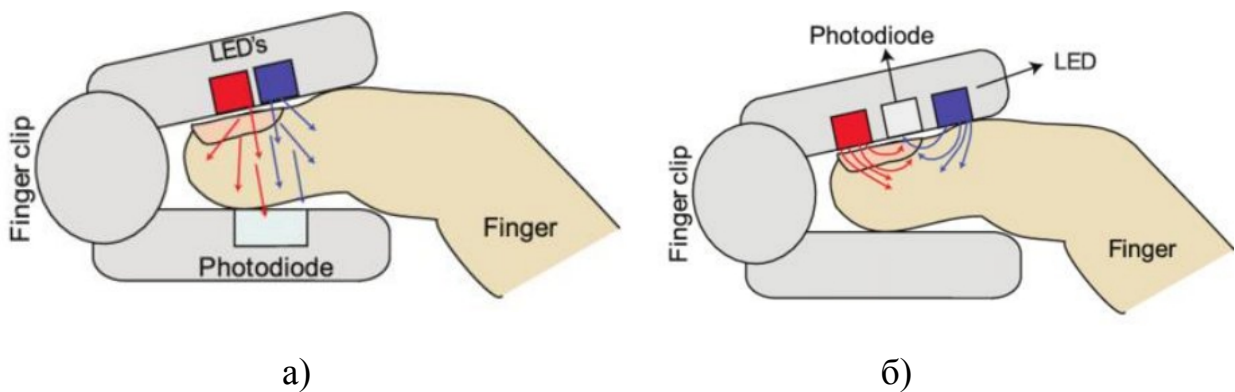
– синюватий відтінок шкіри навколо нігтів та рота є одним із найтривожніших сигналів.

Якщо помічено вищевказані симптоми, важливо негайно визначити вміст кисню в крові та терміново звернутися до лікаря. Своєчасне визначення реального вмісту кисню в крові та термінова допомога від лікаря допоможуть уникнути ускладнень.

Для встановлення вмісту кисню в крові людини достатньо простого контакту датчика зі шкірою пацієнта. Дослідження здійснюються за допомогою тонкого променя світла, яке проникає через шкіру до шару капілярів. Ступінь насичення крові киснем вносить зміни в спектр світлового променя. Крім того, прилад встановлює частоту “спалахів” спектра, які відображають швидкість серцевих скорочень. Необхідно відмітити, що спеціальної підготовки для встановлення вмісту кисню в крові людини не потрібно [5].

Поширення набули два типи пульсоксиметрів, які зображені на рисунку 1.1 [9]:

- пропускання (рис.1.1а)
- відбиття (рис.1.1б), що найбільш поширений у компактних невеликих пристроях, які зручно переносити.



а)

б)

а – пульсоксиметр типу “пропускання”;

а – пульсоксиметр типу “відбиття”;

Рисунок 1.1 – Типи пульсоксиметрів

Обидва типи пульсоксиметрів [9]:

- випромінюють світло з хвилями двох довжин: ближнє інфрачервоне (940

нм) та червоне (660 нм) з пари невеликих світлодіодів;

– фотодіод визначає кількість відбитого або пропущеного світла (залежно від типу пульсоксиметра).

Пульсоксиметр дуже чутливий до різних факторів, і навіть незначні відхилення від рекомендацій щодо проведення вимірювань можуть вплинути на їх точність. Щоб отримати достовірні результати вимірювання вмісту кисню в крові людини необхідно [7]:

– теплі руки: якщо палець холодний, то пульсоксиметр може показати занижене значення, а тому якщо пальці холодні, то рекомендують зігріти руки або просто потерти їх одна об одну;

– забезпечити спокій перед вимірюванням: рекомендують сісти та відпочити кілька хвилин, щоб дихання і пульс стабілізувалися;

– без перешкод: накладні нігті, лак для нігтів або навіть бруд на пальцях можуть створювати перешкоди для належної роботи датчиків, які визначають вміст кисню в крові;

– перед вимірюванням уникати фізичного навантаження (окрім випадків контролю стану здоров'я спортсменів при різних фізичних навантаженнях): не рекомендується здійснювати вимірювання одразу після швидкої ходьби чи тренування, а рекомендується дочекатися, коли дихання вирівняється;

– кілька замірів: рекомендують робити від 2 до 3 вимірювань з невеликою перервою в кілька хвилин і визначати середній показник.

Дотримуючись вищевказаних рекомендацій можна досягнути одержання релевантних результатів і правильно оцінити стан людини.

Неінвазивні дослідження потрібні новонародженим з низькою масою тіла при народженні і для недоношених дітей. Крім того, регулярні вимірювання вмісту кисню в крові повинні здійснювати люди, які професійно займаються спортом або працюють на висотах, наприклад, скелелазы, льотчики, альпіністи, спортсмени зі стрибків з парашутом [8].

Пульсоксиметр не може діагностувати захворювання, але, якщо результати вимірювань пульсоксиметра за межами норми, то лікуючий лікар призначить

додаткові дослідження та аналізи, щоб виключити або підтвердити передбачуваний діагноз [8].

Регулярний контроль вмісту кисню в крові людини допомагає своєчасно виявити проблеми із здоров'ям та запобігти ускладненням, особливо людям із хронічними хворобами серця чи легень.

Пульсом людини є поштовхи стінок артерій, які виникають у відповідь на скорочення серця та викид крові в кровоносну систему. Кожен удар серця створює хвилю тиску, яка визначається як пульс на шиї або зап'ясті, або інших артеріях. Тобто пульс є кількістю ударів серця за хвилину, яку можна відчутти на артеріях і визначити кількісно [10-12].

Пульс людини відображає:

- частоту роботи серця (скільки разів воно б'ється за хвилину);
- ритмічність (регулярні чи нерегулярні удари);
- силу кров'яної хвилі.

Пульс є важливим показником поточного стану серцево-судинної системи та здоров'я людини загалом.

Розуміння пульсу може допомогти контролювати здоров'я серця. Зміна пульсу може свідчити про захворювання серця або інші проблеми зі здоров'ям, особливо з віком [12].

Під час контролю пульсу потрібно пам'ятати, що [12]:

- пульс залежить від віку;
- під час важкої фізичної роботи чи фізичних вправ пульс частішає адже серце перекачує більше крові, щоб доставити більше кисню до працюючих м'язів;
- після важкої фізичної роботи чи тренування пульс не одразу повертається до норми;
- чим частіше людина тренується або важко фізично працює, тим швидше пульс має повертатися до норми.

На пульс може впливати також багато інших факторів, зокрема [10]:

- здоров'я сну;

– захворювання кровоносних судин та серця, які називають серцево-судинними захворюваннями;

- куріння;
- високий рівень холестерину;
- емоції;
- діабет;
- постава та тип статури;
- деякі ліки.

Найкращими місцями для вимірювання пульсу вручну є [12]:

- зап'ястя (рис. 1.2);
- обидва боки шиї;
- внутрішня сторона ліктя;
- верхня частина стопи.

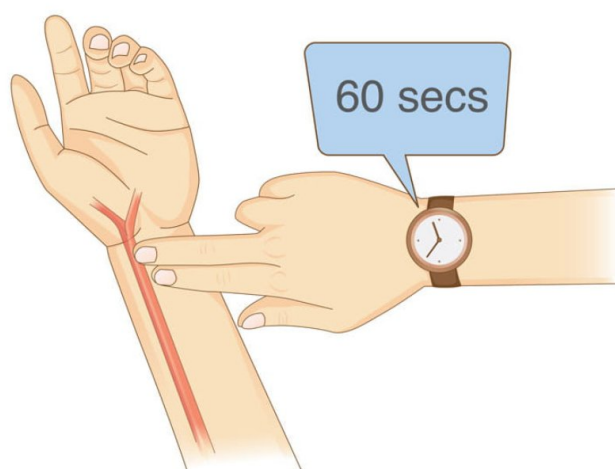


Рисунок 1.2 – Визначення пульсу вручну на зап'ясті

Щоб отримати релевантне значення пульсу на зап'ясті необхідно [12]:

- знайти артерію на внутрішній стороні зап'ястя правої або лівої руки (де зручніше),
- покласти вказівний та середній пальці на артерію (потрібно відчутти пальцями кожне її пульсування);
- порахувати кількість ударів серця (пульс) за 60 секунд.

Для середньостатистичної дорослої людини пульс у стані спокою (людина спокійно лежить або сидить та почувається добре) має бути від 60 до 100 ударів за хвилину [8-12].

Якщо у людини пульс у стані спокою нижче 60, то у такої людини може бути брадикардія. Частота пульсу нижче 60 не завжди сигналізує про проблеми з здоров'ям. Низький пульс може бути результатом прийому деяких медичних препаратів. Нижчий пульс також поширений серед спортсменів. Це пояснюється тим, що в спортсменів їх серцевий м'яз у хорошому стані і йому не має необхідності інтенсивно працювати, як у інших звичайних людей. Невелика фізична активність, як правило, не відчутно змінює пульс відносно стану спокою. Пульс також може бути нижчим під час сну [12].

Якщо у дорослої людини пульс у стані спокою перевищує 100, у неї може бути тахікардія. Тахікардія є патологічним станом, у якому спостерігається зростання частоти скорочень серця вище 100 ударів в хвилину. Якщо ігнорувати такий стан і не звертатися до лікаря, то можуть виникнути негативні наслідки для здоров'я людини, аж до зупинки серця [13].

Високий пульс також може бути симптомом або ознакою і іншого захворювання [12].

У дитячому віці пульс у стані спокою (дитина спокійно лежить або сидить та почувається добре) має бути [14-19]:

- від 80 до 140 ударів/хв у віці від 1 року до 5 років;
- від 75 до 118 ударів/хв у віці від 6 років до 12 років;
- від 60 до 100 ударів/хв у віці від 13 років (пульс як у дорослих).

1.2 Аналіз засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

На рисунку 1.3 зображений пульсоксиметр Неасо G1B вартістю 10 700 грн, який можна використовувати для визначення пульсу та вмісту кисню в крові у дорослих, дітей і немовлят [20].



Рисунок 1.3 – Пульсоксиметр Heasco G1B

Пульсоксиметр Heasco G1B може використовуватись у медичних закладах для добового або постійного спостереження динаміки пульсу та вмісту кисню в крові [20].

Пульсоксиметр Heasco G1B може працювати від зарядної підставки та від акумулятора. Історія визначених пульсу та вмісту кисню в крові може зберігатися в внутрішній пам'яті протягом 24 годин і згодом може бути записана на комп'ютер за допомогою з'єднувального кабелю, який є у комплекті пульсоксиметром Heasco G1B [20].

Основні характеристики пульсоксиметра Heasco G1B:

- вимірювання пульсу в межах від 30 уд/хв до 250 уд/хв;
- вимірювання SpO₂ від 0% до 100%;
- матеріал: пластик та скло;
- 1.6 дюймовий кольоровий екран;
- вага без батарей: 314 г;

- вага з батареями: 430 г;
- габаритні розміри: 13.5 x 6.7 x 3.1 см;
- збереження історії визначених показників протягом 24 годин;
- гарантія від виробника: 12 місяців;
- вартість: 10 700 грн.

До переваг пульсоксиметра Неасо G1В можна віднести наявність реєстраційного свідоцтва МОЗ України та сертифіката відповідності УКРСЕПРО.

На рисунку 1.4 зображений пульсоксиметр Creative Medical PC-66В вартістю 8558 грн, який можна використовувати для визначення пульсу та вмісту кисню в крові людей [21].



Рисунок 1.4 – Пульсоксиметр Creative Medical PC-66В

Пульсоксиметр Creative Medical PC-66В призначений для вимірювання та реєстрації пульсу та вмісту кисню в крові у дорослих та дітей, використовується в домашніх умовах та в медичних закладах [21].

Технічні характеристики пульсоксиметра Creative Medical PC-66В:

- вимірювання вмісту кисню в крові (використовується двоохвильовий світлодіодний датчик з джерелом червоного світла довжиною хвилі 663 нм та з

джерелом інфрачервоного світла довжиною хвилі 890 нм): діапазон вимірювання від 35% до 100% з точністю вимірювання 2% в діапазоні від 70% до 100%;

- вимірювання пульсу: в діапазоні від 30 ударів за хвилину до 240 ударів за хвилину з точністю ± 2 удари за хвилину або $\pm 2\%$ (залежно від того, що більше);

- стійкість до завад зовнішнього світла: різниця між значеннями вмісту кисню в крові отриманими у темній кімнаті та значеннями одержаними в умовах природнього освітлення в приміщенні відмінні до $\pm 1\%$;

- на якість роботи можуть впливати: портативні та мобільні пристрої для радіочастотного зв'язку;

- збереження інформації про вимірювання пульсу та вмісту кисню в крові: кожні 1/2/4/8 секунд з можливістю збереження до 384 годин записів;

- дисплей: матричний кольоровий;

- робоча вологість: від 30 % до 80 %;

- робоча температура: від 5 °C до 40 °C;

- робочий атмосферний тиск: від 70 кПа до 106 кПа;

- режим роботи: безперервний;

- ступінь захисту: IP22 (не призначений для використання у середовищі з високим вмістом легкозаймистих газів або кисню);

- напруга живлення: 4,5 В (від трьох батарейок типу AA);

- вага (з батарейками): 210 г;

- габаритні розміри: 145 мм x 74 мм x 29 мм;

вартість: 8558 грн.

На рисунку 1.5 зображений пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0 вартістю 1742 грн, який можна використовувати для визначення пульсу та вмісту кисню в крові дітей та дорослих амбулаторно та у закладах охорони здоров'я [22].

Особливості пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4 [22]:

- можлива синхронізація з смартфоном через Bluetooth у режимі реального часу;

- можна налаштувати межі тривоги та передбачити вмикання сигналів тривоги;
- відображення попередження про критичний рівень заряду батареї;
- наявність у вільному доступі безкоштовного додатка для смартфонів, який доступний для завантаження з AppStore та з GooglePlay;
- наявність функції автоматичного вимкнення після 10 секунд простою.



Рисунок 1.5 – Пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0

Основні характеристики пульсоксиметра Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0 [22]:

- вимірювання вмісту кисню в крові (довжина хвилі випромінюваного червоного світла складає 663 нм, а довжина хвилі випромінюваного інфрачервоного світла складає 900 нм): в діапазоні від 35% до 100%;
- похибка вимірювання вмісту кисню в крові: 2% при вимірюваннях в діапазоні від 70% до 100%;
- вимірювання пульсу: в діапазоні від 35 ударів за хвилину до 250 ударів за хвилину;
- похибка вимірювання пульсу: 2 удари за хвилину;
- дисплей: світлодіодний;
- версія Bluetooth: 4.0;

- живлення: 3В (від 2-х батарей, тип - ААА);
- гарантійний термін: 12 міс;
- вартість 1742 грн.

Результати аналізу засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні характеристики засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Характеристика	Модель пульсоксиметра		
	Heaco G1B	Creative Medical PC-66B	Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0
Межі вимірювання пульсу, удари в хвилину	від 30 до 250	від 30 до 240	від 35 до 250
Точність вимірювання пульсу, удари в хвилину	немає даних	±2	±2
Межі вимірювання вмісту кисню в крові, %	від 0% до 100%	від 35% до 100%	від 35% до 100%
Точність вимірювання вмісту кисню в крові, %	немає даних	2% (в діапазоні від 70% до 100%)	2% (в діапазоні від 70% до 100%)
Призначений для дорослих	+	+	+
Призначений для дітей	+	+	+
Призначений для новонароджених	+	-	-
Час збереження історії визначених показників, год	24	384	немає даних
Бездротовий інтерфейс для зв'язку	-	-	bluetooth 4.0
Дротовий інтерфейс для зв'язку з ПК	+	+	-
Екран	кольоровий 1,6 дюйм	кольоровий	світлодіодний одного кольору
Напруга живлення, В	6	4,5	3
Елемент живлення	чотири батарейки типу АА	три батарейки типу АА	дві батарейки типу ААА
Вага, г	314 (без батарей) 430 (з батареями)	210 (з батареями)	немає даних
Габаритні розміри, см	13,5 x 6,7 x 3,1	14,5 x 7,4 x 2,9	немає даних
Гарантія від виробника, місяців	12	немає даних	12
Вартість, грн	10 700	8558	1742

З таблиці 1.1 видно, що в проаналізованих засобах контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини значно відрізняється ціна: від 10700 грн в пульсоксиметра Неасо G1B до 1742 грн в пульсоксиметра Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0. Проте, гарантію 12 місяців має як і сама дорога модель пульсоксиметра Неасо G1B так і сама дешева розглянута модель Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0.

Габаритні розміри в пульсоксиметрів Неасо G1B та Creative Medical PC-66B приблизно однакові (13,5 x 6,7 x 3,1 см та 14,5 x 7,4 x 2,9 см). Хоча відсутня точна інформація про габаритні розміри в пульсоксиметра Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0, але візуально видно, що він має найменші габаритні розміри.

Межі вимірювання пульсу в досліджуваних пульсоксиметрів приблизно однакові від 30 до 250 ударів в хвилину.

Межі вимірювання вмісту кисню в крові в пульсоксиметрів Creative Medical PC-66B та Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0 однакові і знаходяться від 35% до 100%. В пульсоксиметра Неасо G1B заявлено ширші межі вимірювання вмісту кисню в крові в пульсоксиметрів Creative Medical PC-66B та Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0: від 0% до 100%. Проте, реалістичність і доцільність додаткового діапазону від 0% до 34% у пульсоксиметра Неасо G1B є сумнівною, адже вже при вмісті кисню в крові людини нижче 90% в людини є значні проблеми які потребують термінового звернення до лікарів.

Не зважаючи на те що пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0 в 5 разів дешевший від пульсоксиметра Creative Medical PC-66B в них заявлено однакову точність вимірювання пульсу в ± 2 удари в хвилину та однакову точність вимірювання вмісту кисню в крові в 2% (в діапазоні від 70% до 100%). На жаль не знайдено інформації про точність вимірювання пульсу та вмісту кисню в крові за допомогою пульсоксиметра Неасо G1B. Проте, відомо, що в пульсоксиметра Неасо G1B є реєстраційне свідоцтво МОЗ України та сертифікат відповідності УКРСЕПРО, яких не має в пульсоксиметрів Creative Medical PC-66B та Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0.

Всі досліджені пульксометри можуть працювати автономно від батарейок: найменше батарейок (дві типу ААА) потрібно для пульсоксиметра Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0, а найбільше батарейок (чотири типу АА) потрібні пульсоксиметру Неасо G1В.

Всі три досліджені пульсоксиметри можуть визначати пульс і вміст кисню в крові у дорослих і дітей, і тільки один дорогий пульсоксиметр Неасо G1В може визначати дані показники у немовлят.

В даний час важливою є зручність передачі інформації з датчиків в комп'ютер чи ноутбук для подальшого збереження та опрацювання. Необхідно відмітити, що пульсоксиметри Неасо G1В та Creative Medical PC-66В можуть передавати зібрану інформацію з датчиків через кабель в комп'ютер чи ноутбук, а пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0 може передавати інформацію тільки через bluetooth 4.0 і не може передавати через кабель.

Враховуючи вищевказане, необхідно відмітити, що всі досліджені пульсоксиметри мають недоліки:

- високу вартість (від 1742 грн до 10 700 грн);
- не мають можливості передавати інформацію про зібрані показники з датчиків в комп'ютер чи ноутбук через альтернативні канали (дротовий і бездротовий), що може бути незручно за певних обставин.

В зв'язку з вищевказаним актуальним завданням є створення системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, яка була б дешевша та яка мала б технічну можливість передавання даних з датчиків в комп'ютер чи ноутбук через альтернативні канали (дротовий і бездротовий), що може бути зручно за певних обставин.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГІКО-СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ

Під час контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини потрібно виявляти їх відхилення від норми як в сторону перевищення норми так і в сторону зниження нижче норми (відхилення в обидві сторони можуть бути ознаками проблем із здоров'ям людини).

Під час контролю стану об'єкта можуть бути виявлені відхилення від показників, які визначені нормою [23]:

- по амплітуді;
- по динаміці;
- по спектру;
- по глобальній дисперсії;
- по фазі.

Контроль відхилення поточного стану об'єкта контролю від показників, які визначені нормою для об'єкта контролю, по амплітуді визначених показників можна здійснювати за допомогою логіко-статистичної інформаційної моделі 1 (ЛСІМ-1), яка показана на рисунку 2.1 [24].

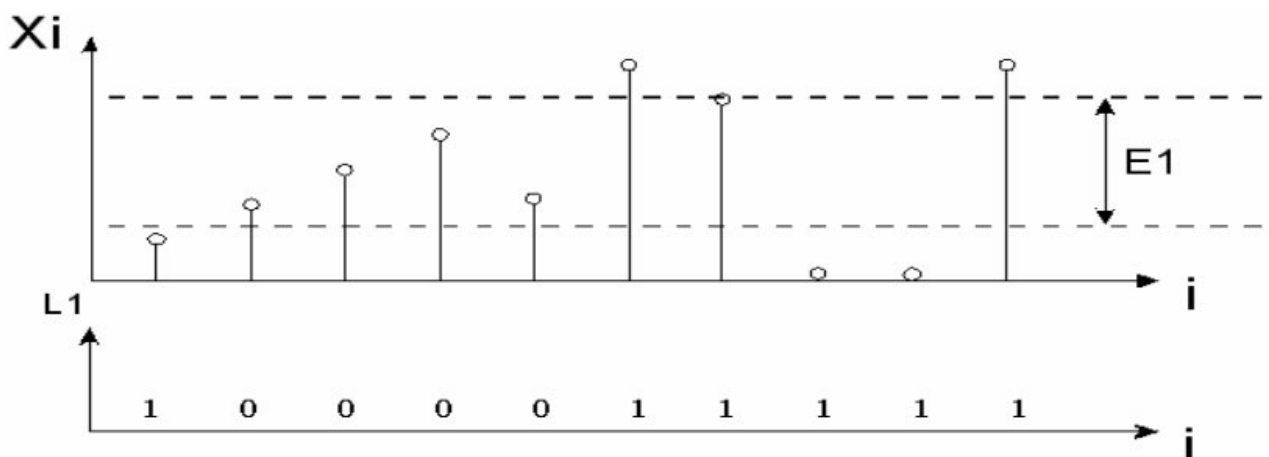


Рисунок 2.1 - ЛСІМ-1

Якщо об'єкт контролю в нормі, то встановлюється значення “0”, а якщо об'єкт відхиляється від норми то встановлюється значення “1”:

$$L_1 = \begin{cases} 0, x_i \in \varepsilon_1 \\ 1, x_i \notin \varepsilon_1 \end{cases}, L_1 \in \overline{0,1}.$$

Якщо ЛСІМ-1 встановлює “1”, то це значить, що об’єкт контролю відхилився від норми і тому необхідно відповідно реагувати на поточний стан об’єкта.

Переваги ЛСІМ-1:

- простий алгоритм розрахунку;
- великий коефіцієнт стиснення інформації;
- об’єкти інформації зменшуються від 2 до 3 раз;
- відсутнє старіння інформації.

Контроль за відхиленням стану об’єкта за динамікою виконують за допомогою ЛСІМ-2, яка показана на рисунку 2.2 [23,24].

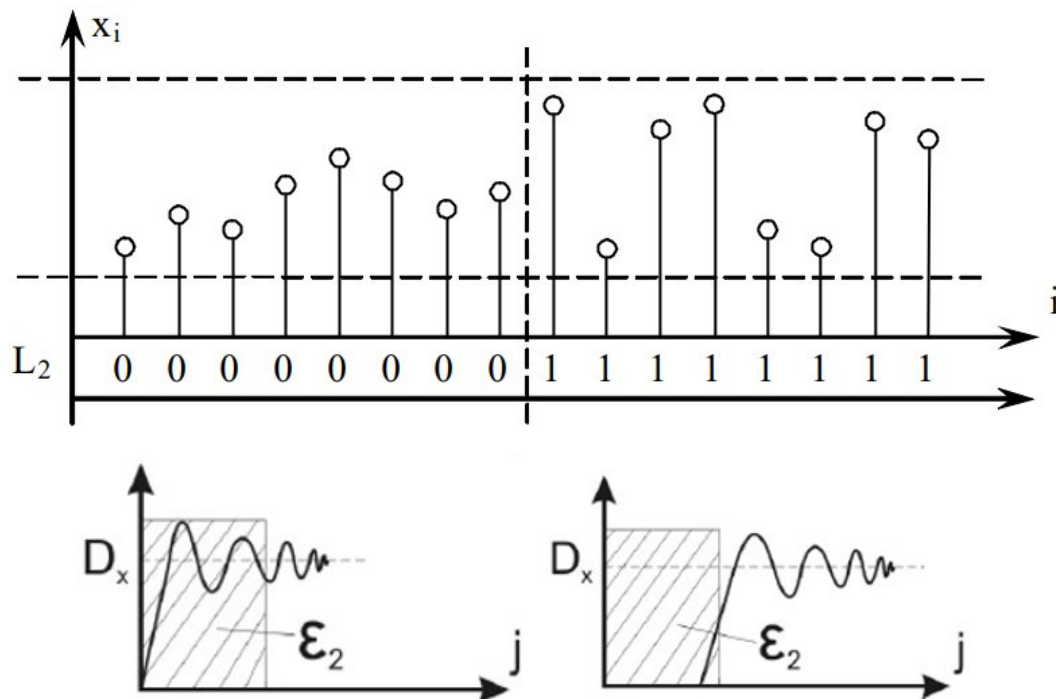


Рисунок 2.2 - ЛСІМ-2

$$L_2 = \begin{cases} 0, C_{xx}(j) \in \varepsilon_2 \\ 1, C_{xx}(j) \notin \varepsilon_2 \end{cases}$$

Для виявлення зміни динаміки стану об’єкта контролю застосовують

структурну АКФ, яка обчислюється в ковзному режимі.

Під час нединамічного процесу структурна функція теж є не динамічною, а під час динамічного процесу структурна функція швидко досягає дисперсії.

Переваги ЛСІМ-2:

– моніторинг стану об'єкта контролю здійснюється за динамікою у випадку, коли амплітуди процесу не виходять за межі ε_2 ;

– зменшення об'єму інформації.

Недоліки ЛСІМ-2:

– алгоритм визначення C_{xx} дуже складний.

Контроль за відхиленням станів об'єкта контролю від норми по фазі виконують за допомогою ЛСІМ-3, яка показана на рисунку 2.3 [23,24]:

$$L_3 = \begin{cases} 0, \rho_{xy}(0) > \varepsilon_3 \\ 1, \rho_{xy}(0) \leq \varepsilon_3 \end{cases}$$

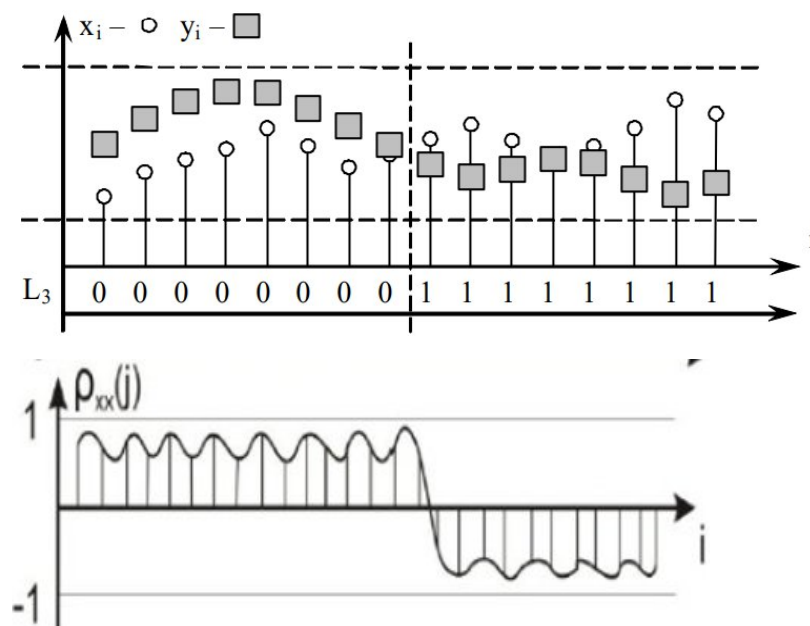


Рисунок 2.3 - ЛСІМ-3

Перевага ЛСІМ-3:

– коли відсутні зміни за динамікою чи за амплітудою можливий контроль за відхиленням контрольованого параметра за фазою.

Недолік ЛСІМ-3:

– алгоритм розрахунку дуже складний.

Моніторинг відхилення станів об'єкта контролю за спектром виконують за допомогою ЛСІМ-4, яка показана на рисунку 2.4 [23,24]:

$$L_4 = \begin{cases} 0, S(w) \in \varepsilon_4 \\ 1, S(w) \notin \varepsilon_4 \end{cases}$$

де ε_4 вказує на те, що в зоні апертури частоти є дві частоти w_1 та w_2 і тільки одна частота w_1 знаходиться в стані “відхилення від норми”.

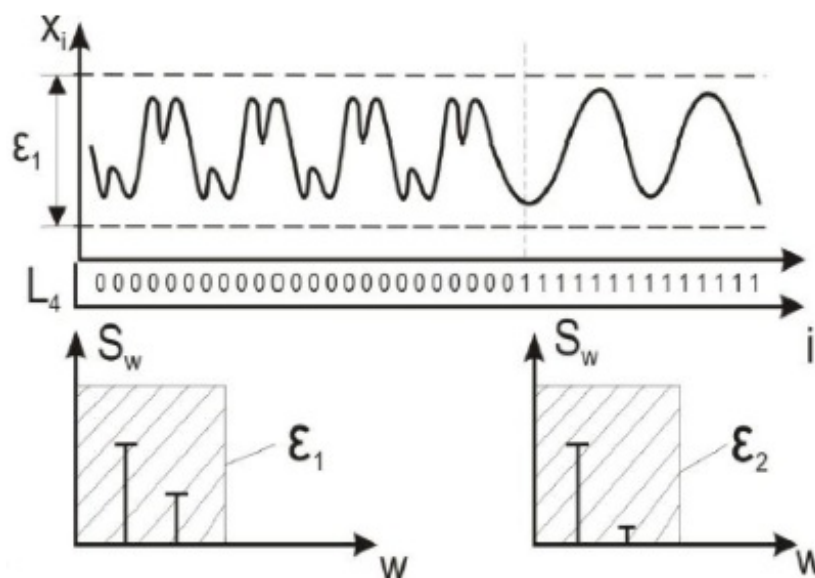


Рисунок 2.4 - ЛСІМ-4

За допомогою аналізатора спектру можна встановити зміни станів об'єкту контролю за спектром [23,24].

$S(w)$ є коефіцієнтом взаємної кореляції, в “нульовій” точці, між базисною функцією w та центрованими і нормованими автокореляційними функціями $\rho_{xy}(j)$. Як правило, $w = \cos w(j)$ [23,24].

Перевага ЛСІМ-4 [23,24]:

– можна здійснювати спектральний контроль станів об'єкта контролю.

Контроль відхилення об'єкта контролю від норми за кожним окремим параметром ускладнює оцінку загального стану об'єкта контролю, адже між

певними параметрами можуть відрізнятися кореляційні зв'язки. Загалом виконати оцінку стану об'єкта контролю дозволяє використання глобальної дисперсії, яка обчислюється за допомогою інформаційної частини матриці (нормальний коефіцієнт взаємкореляції). ЛСІМ-5 використовують для оцінки загального стану об'єкта контролю та для знаходження тенденцій деградації його функції:

$$L_5 = \begin{cases} 0, D > \varepsilon_5 \\ 1, D \leq \varepsilon_5 \end{cases}$$

Графік зміни глобальної дисперсії зображено на рисунку 2.5.

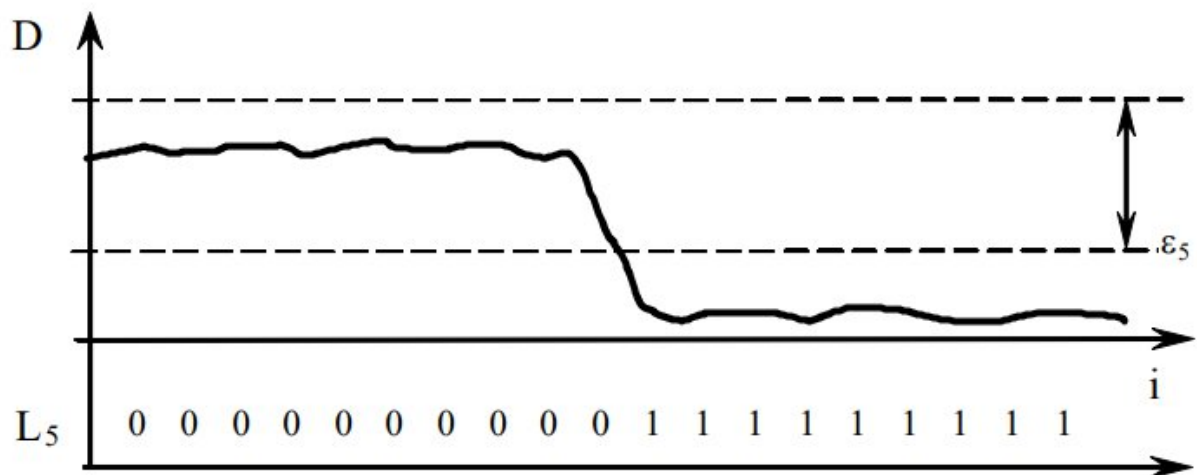


Рисунок 2.5 - Графік зміни глобальної дисперсії

Як правило, відхилення від норми станів об'єкта контролю встановлене за допомогою ЛСІМ-5 (використовує глобальну дисперсію) дозволяє оцінити загальний стан об'єкта контролю.

В результаті проведеного аналізу ЛСІМ-1, ЛСІМ-2, ЛСІМ-3, ЛСІМ-4, ЛСІМ-5 було встановлено, що для розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини доцільно використати логіко-статистичну інформаційну модель 1 (ЛСІМ-1). ЛСІМ-1 під час контролю пульсу та вмісту

кисню в крові людини буде здійснювати контроль за їх відхиленням від норми як в сторону перевищення норми так і в сторону зниження нижче норми (відхилення в обидві сторони можуть бути ознаками проблем із здоров'ям людини).

**3 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПУЛЬСУ ТА ВМІСТУ КИСНЮ
В КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ЛСІМ-1 ЗАСОБАМИ МОДУЛЯ
MAX30102**

3.1 Розробка структурної схеми системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Для реалізації системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини було розроблено структурну схему (рис.3.1).

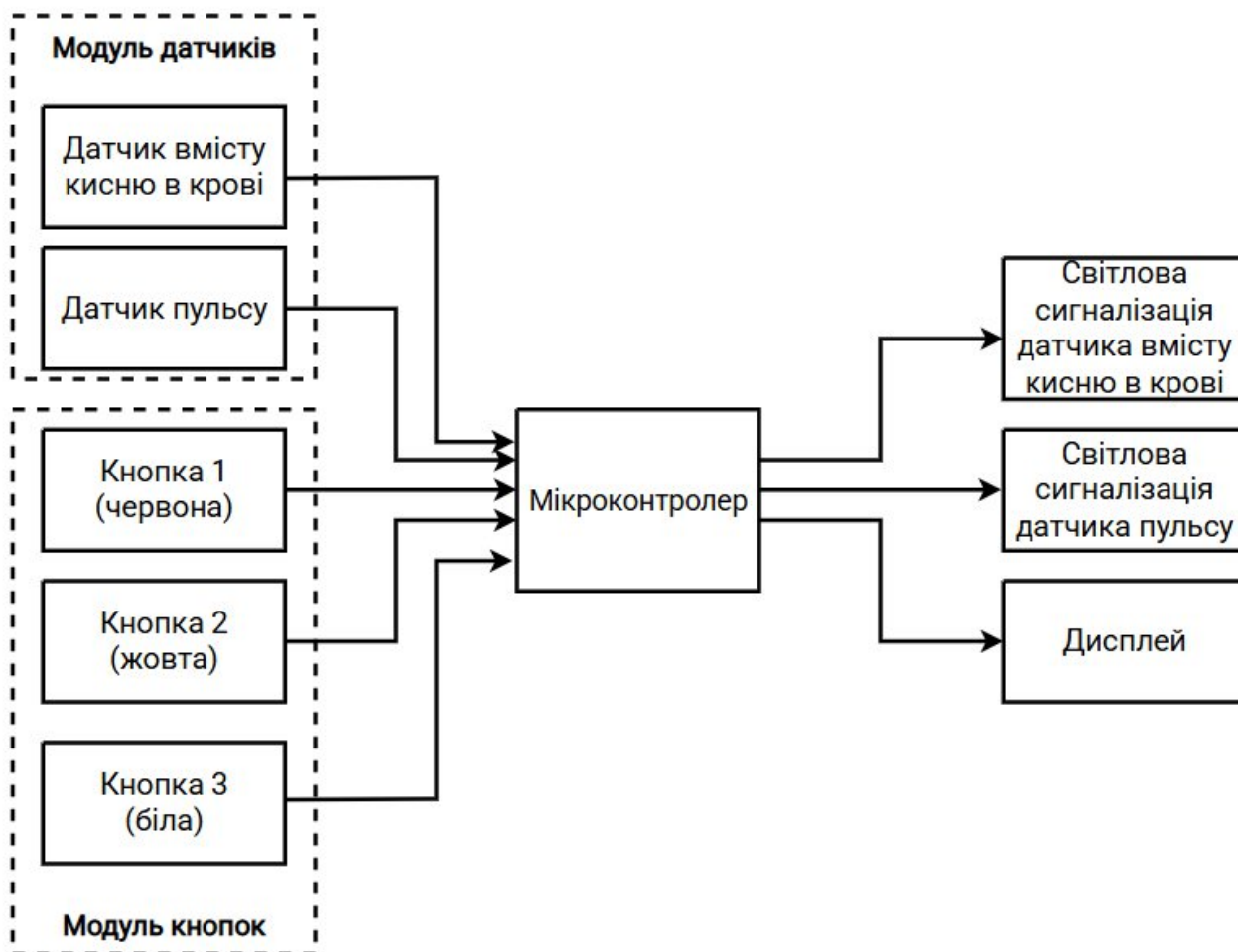


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Датчик, який буде вимірювати пульс людини, та датчик який буде вимірювати вміст кисню в крові людини будуть відправляти виміряні показники до мікроконтролера.

Система буде містити три кнопки для вибору віку користувача, для якого буде визначатися пульс та вміст кисню в крові:

- червона кнопка: вік від 13 років;
- жовта кнопка: вік від 6 до 12 років;
- біла кнопка: вік від 1 до 5 років.

На початку роботи системи користувач натискаючи відповідну кнопку буде вказувати системі свій вік, і вона буде опрацьовувати результати виміряного пульсу з врахуванням того якого віку користувач, адже вік впливає на те якій має бути в людини нормальний пульс.

Мікроконтролер за допомогою програмного забезпечення, яке використовуватиме ЛСІМ-1, буде опрацьовувати інформацію, яка надійшла з датчика який вимірює вміст кисню в крові людини та з датчика який вимірює пульс людини з врахуванням того який вік користувача було обрано на початку роботи системи за допомогою відповідної кнопки (червона кнопка: вік від 13 років, жовта кнопка: вік від 6 до 12 років, біла кнопка: вік від 1 до 5 років).

За результатами опрацювання вищевказаної інформації буде сформована реакція системи:

- якщо система контролю не виявила відхилення вмісту кисню в крові людини від норми, то вмикається лівий зелений світлодіод, а якщо система виявила відхилення вмісту кисню в крові людини від норми, то вмикається лівий червоний світлодіод;
- якщо система контролю не виявила відхилення пульсу людини від норми, то вмикається правий зелений світлодіод, а якщо система виявила відхилення пульсу людини від норми, то вмикається правий червоний світлодіод.

Поточні значення пульсу та вмісту кисню в крові людини (якщо вони належним чином визначені системою) виводяться на OLED дисплей та в Serial Monitor.

3.2 Вибір апаратних засобів для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Важливим елементом розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини є платформа з мікроконтролером.

Однією з популярніших мікроконтролерних платформ є платформа Arduino.

Платформа Arduino має ряд переваг:

- невисока вартість;
- у вільному доступі багато готових рішень для різних областей застосування, що значно спрощує реалізацію нових проектів;
- у відкритому доступі багато документації.

В сімейство платформ Arduino входять різні моделі:

- Arduino Uno;
- Arduino Nano;
- Arduino Leonardo;
- Arduino Micro;
- Arduino Due;
- Arduino Mega;
- Arduino M0;
- Arduino Lilypad;
- Arduino Mini.

Вищевказані моделі сімейства платформ Arduino відрізняються функціональними можливостями та габаритними розмірами.

В результаті аналізу існуючих проектів з різних сфер було встановлено, що найбільш популярними моделями сімейства платформ Arduino є:

- Arduino Uno (для невеликих проектів);
- Arduino Mega (для складних великих проектів).

Тому було вирішено проаналізувати дві вищевказані моделі з сімейства платформ Arduino щодо можливості створення на їх основі системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Також було прийнято рішення проаналізувати платформу ESP32 DEVKIT V1, як ще одну популярну альтернативну мікроконтролерну платформу.

На рисунку 3.2 зображено мікроконтролерну платформу Arduino Uno R3.

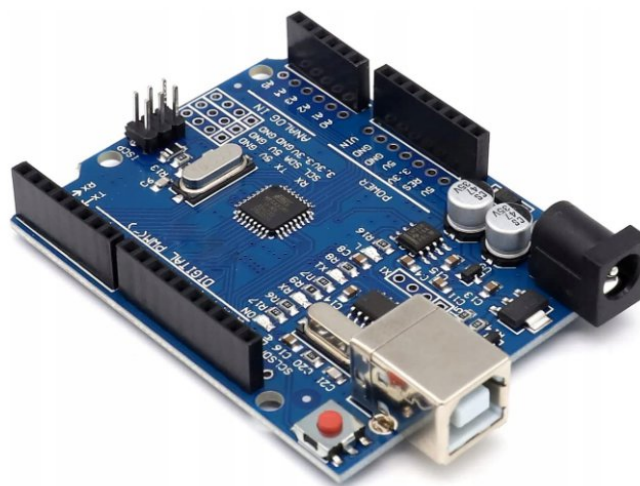


Рисунок 3.2 – Arduino Uno R3

Основні характеристики мікроконтролерної платформи Arduino Uno R3 [25-29]:

- мікроконтролер: ATmega328P;
- оперативна пам'ять: 2 Кбайти;
- тактова частота: 16 МГц;
- енергонезалежна пам'ять: 1 Кбайт;
- Flash-пам'ять: 32 Кбайти;
- аналогові виходи/входи: 6;
- цифрові виходи/входи: 14;
- максимальний струм через вихід/вхід: 40 мА;
- робоча напруга: 5 В;
- рекомендована вхідна напруга: від 7 В до 12 В;
- гранична вхідна напруга: від 6 В до 20 В;
- інтерфейси: I²C та SPI;
- вага: 20 г;
- габаритні розміри: 6.9x5.4 см;
- вартість: 166 грн.

На рисунку 3.3 зображена мікроконтролерна платформа Arduino Mega.

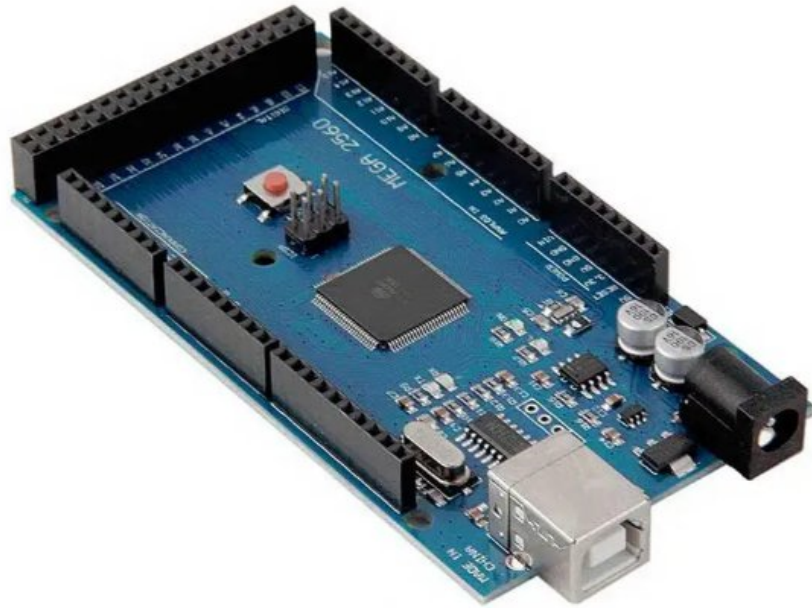


Рисунок 3.3 – Arduino Mega

Основні характеристики мікроконтролерної платформи Arduino Mega [30-34]:

- мікроконтролер: ATmega2560;
- тактова частота: 16 МГц;
- Flash-пам'ять: 256 Кбайт;
- оперативна пам'ять: 8 Кбайт;
- енергонезалежна пам'ять: 4 Кбайти;
- аналогові виходи/входи: 16;
- цифрові виходи/входи: 54;

- інтерфейси: SPI, I²C, USB-UART;
- робоча напруга: 5 В;
- рекомендована вхідна напруга: від 7 В до 12 В;
- гранична вхідна напруга: від 6 В до 20 В;
- сила струму на одному виході/вході: 40 мА;
- вага: 33,8 г;
- габаритні розміри: 102 x 54 мм;

– вартість: 460 грн.

Arduino Mega 2560 має 70 пінів (54 цифрові і 16 аналогових) для під'єднання зовнішніх компонентів що створює умови для використання даної платформи у великих проектах. Також необхідно відмітити, що завдяки збільшеній пам'яті, Arduino Mega 2560 може працювати з програмами більшого розміру ніж Arduino Uno.

На рисунку 3.4 зображена мікроконтролерна платформа ESP32 Devkit V1.



Рисунок 3.4 – ESP32 Devkit V1

Основні характеристики мікроконтролерної платформи ESP32 Devkit V1 [35-39]:

- мікроконтролер: ESP-WROOM-32;
- тактова частота: 240 МГц;
- Flash-пам'ять: 4 Мбайт;
- оперативна пам'ять: 520 Кбайт;
- виходи/входи: 30;
- Wi-Fi: 802.11b/g/n/e/i/k/r, до 150 Мбіт/с;
- Bluetooth: v4.2 BR/EDR та BLE;
- шифрування: AES / RSA / SHA / ECC;
- захист: WPA2-Enterprise / WPA2 / WPA / WPS;

- робоча напруга: 5 В;
- апаратні засоби та інтерфейси: SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR;
- вага: 6 г;
- габаритні розміри: 51 x 27 мм;
- вартість: 260 грн.

Платформа DEVKIT V1 30-pin від компанії Espressif базується на маленькому та високопродуктивному мікроконтролері ESP-WROOM-32 в поєднанні Wi-Fi та Bluetooth, призначена для різних сфер застосування, починаючи від роботи з простими датчиками та для найскладніших програм, таких як потокове передавання голосу та MP3 кодування [38].

Наявність Bluetooth і Wi-Fi робить платформу ESP32 Devkit V1 зручним і привбливим рішенням в сфері Інтернету речей.

ESP-WROOM-32 створений на базі поширеного двоядерного чіпсета ESP32 з тактовою частотою яку можна змінювати в межах від 80 МГц до 240 МГц [38].

Однією з особливостей платформи є низьке споживання електроенергії і дуже гнучкий вибір “сплячих” режимів, що дозволяє в режимі “deep sleep mode” забезпечити струм споживання до 20мкА [38].

Результати аналізу мікроконтролерних платформ, які були проаналізовані, як потенційно можливі для реалізації системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, наведені в таблиці 3.1 [25-39].

Таблиця 3.1 – Основні характеристики мікроконтролерних платформ, які були проаналізовані, як потенційно можливі для реалізації системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Характеристики	Arduino Uno R3	Arduino Mega	ESP32 Devkit V1
1	2	3	4
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega2560	ESP32-WROOM-32
Тактова частота процесора, МГц	16	16	від 80 до 240
Оперативна пам'ять, Кбайти	2	8	520

Енергонезалежна пам'ять, Кбайт	1	4	-
Flash-пам'ять, Кбайти	32	256	4000
Кількість пінів	6 аналогових 14 цифрових	16 аналогових 54 цифрових	30
Максимальний струм на одному вході/виході, мА	40	40	не має даних
Робоча напруга, В	5	5	5
SPI	+	+	+
I2C	+	+	+
Wi-Fi	-	-	+
Bluetooth	-	-	+
Вага, г	20	33,8	6
Габаритні розміри, мм	69 x 54	102 x 54	51 x 27
Вартість, грн	166	460	260

З таблиці 3.1 видно, що мікроконтролерні платформи Arduino Uno R3 та Arduino Mega не мають модулів Wi-Fi та Bluetooth, а мікроконтролерна платформа ESP32 Devkit V1 має Wi-Fi-модуль і Bluetooth-модуль і може здійснювати бездротове передавання даних. Проте, в даному проекті не планується здійснювати бездротове передавання даних з мікроконтролера. Тому наявність Wi-Fi та Bluetooth модулів не є вирішальною перевагою у виборі платформи.

Найбільшу кількість пінів має мікроконтролерна платформа Arduino Mega (54 цифрових та 16 аналогових пінів), що більш як в два рази більше ніж в ESP32 Devkit V1 (30 пінів) і більш як в три рази більше чим в Arduino Uno R3 (14 цифрових та 6 аналогових пінів). Проте, в даному проекті не планується здійснювати підключення великої кількості зовнішніх елементів до мікроконтролерної платформи (планується підключити модуль датчиків пульсу та вмісту кисню в крові людини, три кнопки для вибору віку користувача, дисплей, чотири світлодіоди: два зелених та два червоних, які відобразатимуть поточний стан виміряних показників). Тому наявність великої кількості пінів не є вирішальною перевагою у виборі платформи.

Обробка сигналів з датчика пульсу та датчика вмісту кисню в крові людини потребує достатньо потужного процесора та достатньо багато пам'яті. Найбільш потужний процесор в ESP32 Devkit V1 з тактовою частотою процесора до 240

МГц, яка в 15 разів вища ніж в Arduino Uno R3 (16 МГц) та Arduino Mega (16 МГц). З досліджених мікроконтролерних платформ в ESP32 Devkit V1 найбільший об'єм оперативної пам'яті (520 Кбайт), що в 65 разів більше ніж в Arduino Mega (8 Кбайт), та в 260 разів більше ніж в Arduino Uno R3 (2 Кбайт). В ESP32 Devkit V1 також найбільший об'єм Flash-пам'яті – 4000 Кбайт, що в 15 разів більше ніж в Arduino Mega (256 Кбайт), та в 125 разів більше ніж в Arduino Uno R3 (32 Кбайт). Крім того, ESP32 Devkit V1 має найменші габаритні розміри (51 x 27 мм) та найменшу вагу (6 грам).

Враховуючи вищевказане було прийнято рішення використати мікроконтролерну платформу ESP32 Devkit V1 під час створення системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Наступними важливими елементами розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини є датчики пульсу та вмісту кисню в крові людини.

На рисунку 3.5 зображений модуль MAX30100, який призначений для вимірювання пульсу та насичення киснем артеріальної крові людини [40].

Модуль MAX30100 призначений для неінвазивного вимірювання пульсу та рівня насичення крові киснем (SpO_2). Принцип роботи модуля MAX30100 базується на оптичному принципі з використанням світлодіодів (інфрачервоного спектру та червоного) та фотодіода. Модуль MAX30100 може використовуватися у фітнес-гаджетах та проектах Arduino/STM32 для моніторингу пульсу та насичення киснем артеріальної крові людини [41].



Рисунок 3.5 – Модуль MAX30100

Модуль MAX30100 використовує те що оксигемоглобін (HbO_2) поглинає інфрачервоне світло, а деоксигемоглобін (Hb) поглинає червоне світло. LED-випромінювачі (інфрачервоний та червоний) по черзі вмикаються і випромінюють світло, а фотодіод визначає непропущену частину. Використовуючи співвідношення між поглинанням червоного та інфрачервоного світла обчислюється вміст кисню в крові. Пульс визначається за пульсацією артеріального кровотоку [41].

Основні характеристики модуля MAX30100:

- чіп: MAX30100;
- вимірювані параметри: пульс та SpO_2 ;
- інтерфейс: I²C (адреса: 0x57);
- вхідна напруга живлення: від 3,3 В до 5 В;
- в модуль інтегровані світлодіоди: червоний та інфрачервоний;
- сумісність з платформами: ESP32, Arduino, STM32 та ін;
- вартість: 76 грн.

На рисунку 3.6 зображений модуль MAX30102, який призначений для вимірювання пульсу та насичення киснем артеріальної крові людини [42]. Модуль MAX30102 є оновленою версією модуля MAX30100 і так само за тим же принципом роботи вимірює пульс та насичення киснем артеріальної крові людини.



Рисунок 3.6 – Модуль MAX30102

Якщо порівнювати модуль MAX30102 з модулем MAX30100, то модуль MAX30102 [42]:

- є новішим і відповідно точнішим;
- має вищу чутливість та кращу стабільність роботи;
- сумісний з платформами Arduino і ESP32.

Модуль MAX30102 можна швидко і зручно підключити до мікроконтролерної платформи через шину I²C [42,43].

Напруга живлення модуля MAX30102, як правило, 3,3 В, але деякі модулі MAX30102 мають стабілізатор на 5 В [42].

В даний час модуль MAX30102 можна купити за 106 грн [42].

В даний час виготовляється та продається модуль MAX30105, який зображений на рисунку 3.7.

Модуль MAX30105 містить внутрішні світлодіоди, фотодетектори, оптичні елементи та електроніку з функцією придушення навколишнього освітлення та має I²C-інтерфейс [44].

На відміну від модулів MAX30100 та MAX30102, які призначені тільки для вимірювання пульсу та насичення киснем крові людини, модуль MAX30105 окрім вимірювання пульсу та насичення киснем крові людини може здійснювати [44]:

- виявлення диму та твердих частинок в повітрі (тобто він може бути елементом пожежної сигналізації);
- вимірювання відстані (максимум 18 дюймів);
- виявлення присутності.

В зв'язку з тим, що модуль MAX30105 є більш універсальним модулем, то у нього нижча точність вимірювання насичення киснем крові людини.

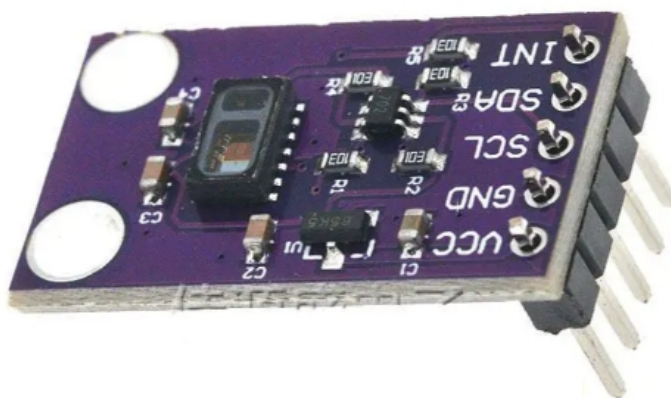


Рисунок 3.7 – Модуль MAX30105

Вартість модуля MAX30105 в даний час становить 505 грн [45].
На рисунку 3.8 зображений модуль MAX86150 [46].

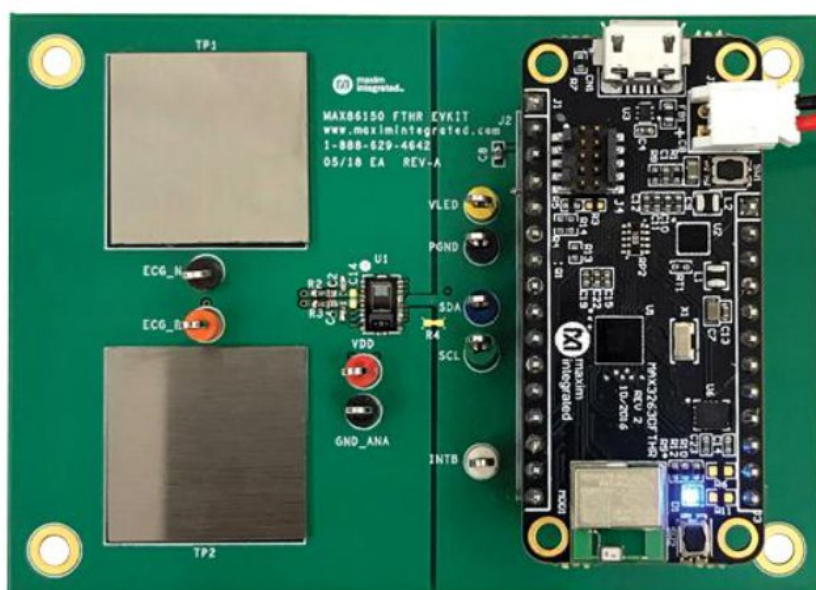


Рисунок 3.8 – Модуль MAX86150

Модуль MAX86150 має І²С-інтерфейс та поєднує в собі три пристрої для якісного вимірювання: пульсу, вмісту кисню в крові людини та ЕКГ [47], що зумовлює його високу вартість: 6890 грн [48].

На рисунку 3.9 зображений модуль MAX86916 [49].



Рисунок 3.9 – Модуль MAX86916

Модуль MAX86916 має І²С-інтерфейс та поєднує в собі три пристрої для якісного вимірювання: пульсу, вмісту кисню в крові людини та ЕКГ [49,50], що зумовлює його високу вартість: 9162 грн [49,50].

Результати аналізу модулів з датчиками пульсу та вмісту кисню в крові людини, які були досліджені, як потенційно можливі для реалізації системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, наведені в таблиці 3.2 [40-50].

Таблиця 3.2 – Основні характеристики модулів з датчиками пульсу та вмісту кисню в крові людини, які були досліджені, як потенційно можливі для реалізації системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Назва модуля	Вартість, грн	Точність вимірювання	Наявність І ² С	Наявність ЕКГ
Модуль MAX30100	76	++	+	-
Модуль MAX30102	106	+++	+	-
Модуль MAX30105	505	+	+	-
Модуль MAX86150	6890	+++++	+	+
Модуль MAX86916	9162	+++++	+	+

Модулі МАХ86150 та МАХ86916 мають високу точність вимірювання пульсу та вмісту кисню в крові людини, але вони дуже дорогі 6890 грн і 9162 грн. Необхідно відмітити, що в Україні знайти дані модулі в продажу не вдалось, а замовлення модулів з-за кордону потребує очікування тривалий час, є ризики пошкодження модулів в дорозі та складнощі в гарантійному обслуговуванні. Крім того, вартість модуля МАХ86916 (9162 грн) перевищує вартість товарів, які можуть пересилатися на територію України поштовими відправленнями без сплати митних платежів (150 євро, що станом на 26.11.2025 становить 7350 грн), а відповідно даний модуль потребуватиме проходження процедури розмитнення (що складно і довго) та додаткових затрат коштів на сплату митних платежів і вартості послуг з розмитнення. В зв'язку з вищевказаним не має доцільності використовувати модулі МАХ86150 та МАХ86916 в розробці недорогої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Модуль МАХ30105 окрім вимірювання пульсу та насичення киснем крові людини може здійснювати виявлення диму та твердих частинок в повітрі, вимірювання відстані, виявлення присутності і така універсальність зумовила нижчу точність вимірювання насичення киснем крові людини, ніж в інших подібних модулях. Крім того, даний модуль в більше як 5 разів дорожчий від модулів МАХ30100 та МАХ30102. В зв'язку з вищевказаним не має доцільності використовувати модуль МАХ30105 в розробці недорогої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Якщо порівнювати між собою модулі МАХ30100 та МАХ30102, то потрібно відмітити, що модуль МАХ30102 є оновленою версією модуля МАХ30100 і так само за тим же принципом роботи вимірює пульс та вміст кисню в крові людини, але є новішим і точнішим, має вищу чутливість та кращу стабільність роботи, а коштує 106 грн – майже як і модуль МАХ30100 (76 грн). В зв'язку з вищевказаним для розробки недорогої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини було вибрано модуль МАХ30102 який має кращі показники визначення пульсу та вмісту кисню в крові людини, ніж в модулів

MAX30100 та MAX30105, а також має невисоку вартість (майже в 5 разів меншу ніж в модуля MAX30105, та всього на 30 грн дорожчий від модуля MAX30100).

В таблиці 3.3 вказано всі вибрані елементи [25-60] для розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Таблиця 3.3 – Елементи системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Найменування	Кількість	Ціна	Загальна вартість
ESP32 Devkit V1	1 шт	260 грн	260 грн
Модуль MAX30102	1 шт	106 грн	106 грн
OLED-дисплей 0.96-дюйма з інтерфейсом I ² C	1 шт	149 грн	149 грн
Макетна плата на 400 контактів (непрозора)	1 шт	77 грн	77 грн
Макетна плата на 400 контактів (прозора)	1 шт	84 грн	84 грн
Макетна плата на 170 контактів	1 шт	30 грн	30 грн
Кнопка	3 шт	2 грн	6 грн
Світлодіод (зелений)	2 шт	17 грн за 10 шт	17 грн
Світлодіод (червоний)	2 шт	17 грн за 10 шт	17 грн
З'єднувальні провідники	24 шт	56 грн за 40 шт	56 грн
Резистор 1 кОм	3 шт	10 грн за 10 шт	10 грн
Резистор 220 Ом	4 шт	10 грн за 10 шт	10 грн
Всього			822 грн

З таблиці 3.3 видно, що вартість системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини становить 822 грн.

На відміну від існуючих систем контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, які не можуть розвиватися і модернізуватися, розроблена система має можливість для подальшого розвитку, зокрема можна в майбутньому забезпечити передавання вимірних даних на сервер для подальшого збереження і опрацювання.

На рисунку 3.10 зображена принципова електрична схема під'єднання елементів розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

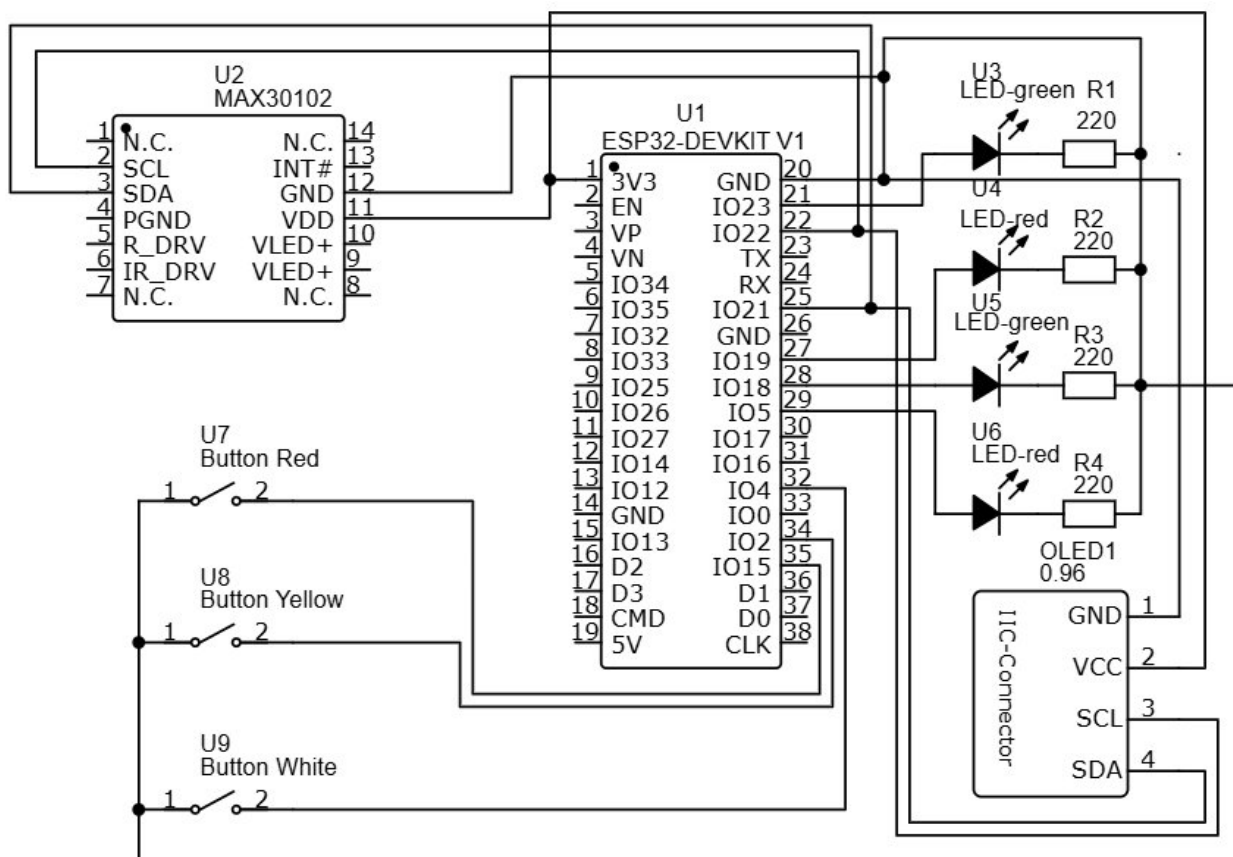


Рисунок 3.10 – Принципова електрична схема під'єднання елементів розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

Використовуючи принципову електричну схему під'єднання елементів розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, інші користувачі можуть створити аналогічні системи самостійно з тих елементів, які у них вже є в наявності, що ще може зменшити вартість системи для користувачів.

3.3 Розробка програмного забезпечення для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини

На початку програми підключено бібліотеку `Wire.h`, яка потрібна для роботи модуля MAX30102 та OLED-дисплея за протоколом I²C (двопровідний зв'язок):

```
#include <Wire.h>
```

Також було підключено бібліотеку `DFRobot_MAX30102.h`, яка необхідна для належної роботи модуля MAX30102, який буде вимірювати пульс та вміст кисню в крові людини:

```
#include <DFRobot_MAX30102.h>
```

Крім вищевказаних бібліотек, також було підключено бібліотеку `Adafruit_SSD1306.h`, яка необхідна для належної роботи OLED-дисплея SSD1306:

```
#include <Adafruit_SSD1306.h>
```

Налаштовано OLED-дисплей SSD1306:

```
// Ширина OLED-дисплея в пікселях (стандартний розмір для SSD1306):  
#define SCREEN_WIDTH 128  
// Висота OLED-дисплея в пікселях (стандартний розмір для SSD1306):  
#define SCREEN_HEIGHT 64  
// Reset pin не використовується з ESP32:  
#define OLED_RESET -1  
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,  
OLED_RESET);
```

Створено екземпляр класу `DFRobot_MAX30102` для роботи з модулем MAX30102:

```
DFRobot_MAX30102 particleSensor;
```

Оголошено змінні необхідні дл роботи з модулем MAX30102:

```
int32_t SPO2;           // Вміст кисню в крові (%)
int8_t SPO2Valid;      // Чи валідне вимірювання SpO2
int32_t heartRate;     // Пульс (BPM)
int8_t heartRateValid; // Чи валідне вимірювання пульсу (BPM)
```

Оголошено константи, які використовуються для визначення номерів пінів платформи ESP32 Devkit V1 до яких будуть під'єднані елементи системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини:

```
// Червона кнопка для вибору режиму перевірки пульсу
// дорослої людини і підлітків від 13 років:
const int ButtonRed = 15;
//Жовта кнопка для вибору режиму перевірки пульсу дітей відб до 12 років:
const int ButtonYellow = 2;
// Біла кнопка для вибору режиму перевірки пульсу дітей від 1 до 5 років:
const int ButtonWhite = 4;
// До піна 5 підключається червоний світлодіод,
// який інформує що пульс за межами норми:
const int PulsRed = 5;
// До піна 18 підключається зелений світлодіод,
// який інформує що пульс в нормі
const int PulsGreen = 18;
// До піна 19 підключається червоний світлодіод,
// який інформує що вміст кисню в крові не в нормі:
const int SpO2Red = 19;
// До піна 23 підключається зелений світлодіод,
// який інформує що вміст кисню в крові в нормі:
const int SpO2Green = 23 ;
```

Встановлено верхню і нижню межі нормального пульсу для дорослої людини і підлітків від 13 років:

```
int PulsAdultHigh = 100;
```

```
int PulsAdultLow = 60;
```

Встановлено верхню і нижню межі нормального пульсу для дітей від 6 до 12 років:

```
int PulsChildrenHigh = 118;
```

```
int PulsChildrenLow = 75;
```

Встановлено верхню і нижню межі нормального пульсу для дітей від 1 до 5 років

```
int PulsBabyHigh = 140;
```

```
int PulsBabyLow = 80;
```

Встановлено початкові значення змінних верхньої та нижньої меж нормального пульсу:

```
int PulsHigh = 0;
```

```
int PulsLow = 0;
```

Встановлено верхню і нижню межі нормального вмісту кисню в крові людини:

```
int SPO2High = 98;
```

```
int SPO2Low = 95;
```

Присвоєно початкові значення змінним які відображають чи натиснуто відповідну кнопку (білу, жовту, червону) і вибрано перевірку пульсу для відповідної вікової категорії (дітей від 1 до 5 років / дітей від 6 до 12 років / дорослих і підлітків від 13 років):

```
int buttonWhiteState = LOW
int buttonYellowState = LOW;
int buttonRedState = LOW;
```

Змінна якій буде присвоюватися значення яке відповідатиме віку людини для якої буде здійснюватися перевірка пульсу:

```
String Who;
```

Змінна яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з трьох кнопок і чи натисканням відповідної кнопки вибрано вік того чий пульс буде перевірятися:

```
int push=0;
```

Ініціалізовано послідовний канал передавання даних зі швидкістю 115200 бод:

```
Serial.begin(115200);
```

Визначено що контакти *ButtonRed*, *ButtonYellow*, *ButtonWhite* будуть працювати на зчитування:

```
pinMode(ButtonRed, INPUT);
pinMode(ButtonYellow, INPUT);
pinMode(ButtonWhite, INPUT);
```

Визначено, що контакти *PulsRed*, *PulsGreen*, *SpO2Red*, *SpO2Green* будуть працювати на вивід:

```
pinMode(PulsRed, OUTPUT);  
pinMode(PulsGreen, OUTPUT);  
pinMode(SpO2Red, OUTPUT);  
pinMode(SpO2Green, OUTPUT);
```

Ініціалізація OLED-дисплея та початкові налаштування (зокрема, SDA на піні 21, SCL на піні 22):

```
Wire.begin(21,22);  
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);  
display.clearDisplay();  
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);  
display.setCursor(0, 0);  
display.println(F("Click buton to select the person's age:"));  
display.println(F(" "));  
display.println(F("- white - from 1 to 5"));  
display.println(F(" "));  
display.println(F("- yellow-from 6 to 12"));  
display.println(F(" "));  
display.println(F("- red - 13 and older"));  
display.display();
```

Ініціалізація модуля MAX30102:

```
particleSensor.begin();
```

Конфігурація модуля MAX30102:

```
particleSensor.sensorConfiguration(
  /*ledBrightness=*/100,
  /*sampleAverage=*/SAMPLEAVG_4,
  /*ledMode=*/MODE_MULTILED,
  /*sampleRate=*/SAMPLERATE_100,
  /*pulseWidth=*/PULSEWIDTH_411,
  /*adcRange=*/ADCRANGE_16384
);
```

Конфігурація модуля MAX30102:

– яскравість LED (ledBrightness) може бути в межах від 0 до 255: в налаштуваннях вказано 100, що є помірною яскравістю, яка економить енергію, але достатня для точності;

– усереднення зразків (sampleAverage): в налаштуваннях вказано 4, що вважається балансом швидкості та точності;

– режим LED (ledMode): в налаштуваннях вказано мульти-LED: Red + IR для SpO2/HR;

– частота вибірки (sampleRate): в налаштуваннях вказано 100 Гц, що вважається стандартом для режиму реального часу;

– ширина імпульсу (pulseWidth): в налаштуваннях вказано 411 мкс для кращої чутливості;

– діапазон ADC (adcRange): в налаштуваннях вказано 16384 що є достатньо високим значенням деталізації сигналу.

За допомогою натискання однієї з кнопок: червоної, жовтої або білої користувач може здійснити вибір свого віку:

– червона кнопка: дорослі і підлітки від 13 років;

– жовта кнопка: діти від 6 до 12 років;

– біла кнопка: діти від 1 до 5 років.

Перевірка чи користувач не натиснув жодну з трьох кнопок (червону, жовту, білу) тобто не вибирав вік того чий пульс буде перевірятися за змінною `push` (якщо змінна `push` має значення значення “0”, то користувач не натиснув жодну кнопку, а на самому початку так і є адже на початку програми цій змінній було присвоєно значення “0”):

```
if(push==0) { ... }
```

Якщо виконується вищевказана умова, тобто користувач не натиснув жодну з трьох кнопок (червону, жовту, білу) тобто не вибирав вік того чий пульс буде перевірятися то в Serial Monitor виводиться повідомлення “будь-ласка натисніть кнопку яка ідентифікує вік людини: червона кнопка - вік від 13 років і доросліші, жовта кнопка - від 6 до 12 років, біла кнопка - від 1 до 5 років” за допомогою рядків програми:

```
Serial.println("Будь-ласка натисніть кнопку яка ідентифікує вік людини:");
Serial.println("- біла кнопка - від 1 до 5 років");
Serial.println("- жовта кнопка - від 6 до 12 років,");
Serial.println("- червона кнопка - вік від 13 років і доросліші,");
```

Перевірка чи натиснута біла кнопка:

```
buttonWhiteState = digitalRead(ButtonWhite);
if(buttonWhiteState == HIGH) { ... }
```

Якщо виконується вищевказана умова, наприклад, біла кнопка натиснута то змінним `PulsHigh` та `PulsLow` присвоюються значення верхньої і нижньої меж нормального пульсу для дітей від 1 до 5 років, змінній `Who` присвоєно значення “від 1 до 5 років пульс в нормі від ”, а змінній `push` яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з трьох кнопок і чи натисканням відповідної кнопки

вибірано вік того чий пульс буде перевірятися присвоюєно значення “1” – тобто кнопка натиснута і вік користувача вибрано:

```
PulsHigh = PulsBabyHigh;
PulsLow = PulsBabyLow;
Who="vid 1 do 5 rokiv puls v normi vid ";
push=1;
```

Аналогічно до вищевказаного здійснюється перевірка чи натиснута жовта і червона кнопка.

Зчитування даних з модуля MAX30102:

```
particleSensor.heartrateAndOxygenSaturation(
&SPO2, &SPO2Valid, &heartRate, &heartRateValid
);
```

Якщо одна з трьох кнопок (червона/жовта/біла) була натиснута (тобто змінна *push* має значення “1”), то в Serial Monitor відправляється інформація для якої вікової категорії здійснюється визначення пульсу і який пульс є нормою для даної вікової категорії:

```
if (push==1) {
Serial.print(Who);
Serial.print(PulsLow);
Serial.print(" do ");
Serial.print(PulsHigh);
Serial.print(" ");
```

Після вищевказаного у Serial Monitor виводиться інформації про пульс та вміст кисню в крові користувача в даний момент:

```

Serial.print(F("Puls="));
Serial.print(heartRate);
Serial.print(F(" | SpO2="));
Serial.print(SPO2);
Serial.println(F(" "));

```

Налаштування OLED-дисплея перед виведенням пульсу та вмісту кисню в крові користувача:

```

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.println(F("Pulse Oximeter"));
display.drawLine(0, 10, 127, 10, SSD1306_WHITE);
display.setTextSize(2);
display.setCursor(0, 20);
display.print(F("HR: "));

```

Використовуємо ЛСІМ-1 для контролю чи пульс в нормі:

```

if((heartRate < PulsHigh) && (PulsLow < heartRate))
  { ... }

```

Якщо поточне значення пульсу в межах діапазону ЛСІМ-1, то пульс в нормі і тоді вмикається зелений світлодіод який інформує що пульс в нормі і вимикається червоний світлодіод який інформує що пульс не в нормі:

```

digitalWrite (PulsGreen, HIGH);
digitalWrite (PulsRed, LOW);

```

Якщо поточне значення пульсу не в межах діапазону ЛСІМ-1, то пульс не в нормі і тоді вмикається зелений світлодіод який інформує що пульс в нормі і вмикається червоний світлодіод який інформує що пульс не в нормі:

```
digitalWrite (PulsGreen, LOW);
digitalWrite (PulsRed, HIGH);
```

Також інформація про пульс людини в даний момент виводиться на OLED-дисплей:

```
display.print(heartRate);
display.println(F(" bpm"));
```

Використовуємо ЛСІМ-1 для контролю чи вміст кисню в крові людини в нормі:

```
if((SPO2 < SPO2High) && (SPO2Low < SPO2))
  { ... }
```

Якщо поточне значення вмісту кисню в крові людини в межах діапазону ЛСІМ-1, то вміст кисню в крові людини в нормі і тоді вмикається зелений світлодіод який інформує що вміст кисню в крові людини в нормі і вмикається червоний світлодіод який інформує що вміст кисню в крові людини не в нормі:

```
digitalWrite (SpO2Green, HIGH);
digitalWrite (SpO2Red, LOW);
```

Якщо поточне значення вмісту кисню в крові людини не в межах діапазону ЛСІМ-1, то вміст кисню в крові людини не в нормі і тоді вмикається зелений

світлодіод який інформує що вміст кисню в крові людини в нормі і вмикається червоний світлодіод який інформує що вміст кисню в крові людини не в нормі:

```
digitalWrite (SpO2Green, LOW);
```

```
digitalWrite (SpO2Red, HIGH);
```

Також інформація про вміст кисню в крові людини в даний момент виводиться на OLED-дисплей:

```
display.setCursor(0, 45);
```

```
display.print(F("SpO2: "));
```

```
display.print(SPO2);
```

```
display.println(F(" %"));
```

Розроблене програмне забезпечення для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, забезпечує виведення інформації про поточний пульс та вміст кисню в крові людини в Serial Monitor та на OLED-дисплей, а також забезпечує контроль поточних значень контрольованих показників за допомогою ЛСІМ-1 і у випадку коли пульс та вміст кисню в крові людини в межах норми вмикаються відповідні зелені світлодіоди, а коли вони за межами норми, то вмикаються відповідні червоні світлодіоди, які сигналізують про необхідність звернутися до лікаря.

3.4 Перевірка працездатності розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102

На рисунку 3.11 зображено розроблену систему контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102, основними елементами якої є:

- мікроконтролерна платформа ESP32 Devkit V1;
- модуль MAX30102 для вимірювання пульсу та вмісту кисню в крові;
- OLED-дисплей для виведення інформації про поточний стан пульсу та вмісту кисню в крові людини;
- зелені світлодіоди, які світяться коли ЛСІМ-1 встановив, що пульс та вміст кисню в крові людини в межах норми;
- червоні світлодіоди, які світяться коли ЛСІМ-1 встановив, що пульс та вміст кисню в крові людини не в межах норми;
- кнопки (червона, жовта, біла) для вибору віку користувача.

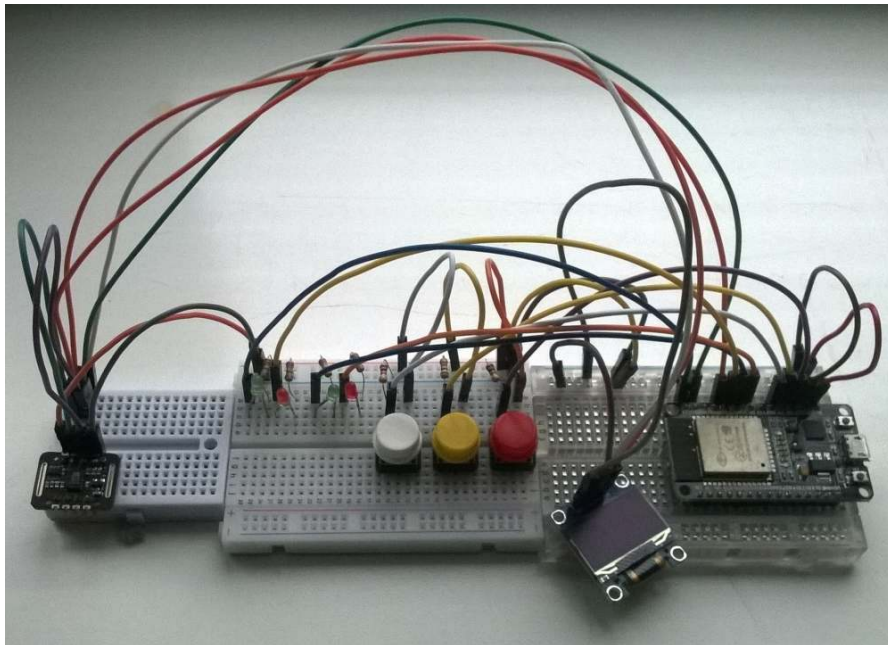


Рисунок 3.11 – Розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102

На рисунку 3.12 зображено увімкнуту розроблену систему контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102.

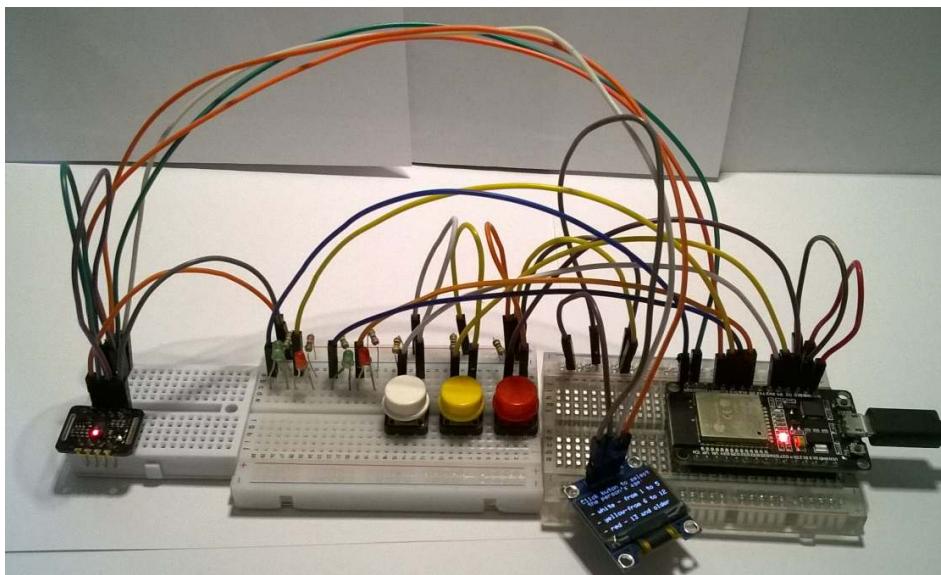


Рисунок 3.12 – Увімкнута розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102

Після ввімкнення розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102 на OLED-дисплей виводиться повідомлення з проханням натиснути одну з кнопок для вибору віку користувача (рис.3.13).

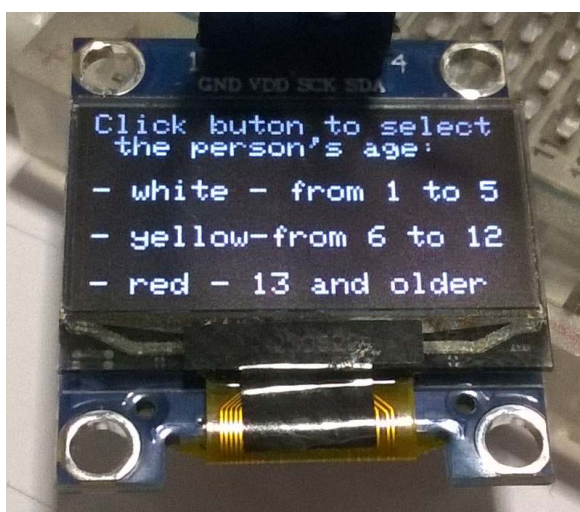



Рисунок 3.13 – На початку роботи системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102 на OLED-дисплей виводиться повідомлення з проханням натиснути одну з кнопок для вибору віку користувача

Також в Serial Monitor на комп'ютері виводиться прохання натиснути одну з кнопок для вибору віку користувача (рис.3.14).



```

Output  Serial Monitor  x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM6')
09:35:23.960 -> Будь-ласка натисніть кнопку яка ідентифікує вік людини:
09:35:23.960 -> - червона кнопка - вік від 13 років і доросліші,
09:35:23.960 -> - жовта кнопка - від 6 до 12 років,
09:35:23.960 -> - біла кнопка - від 1 до 5 років
  
```

Рисунок 3.14 – На початку роботи системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102 в Serial Monitor на комп'ютері виводиться повідомлення з проханням натиснути одну з кнопок для вибору віку користувача

Спочатку натискаємо червону кнопку чим засвідчуємо вибір віку користувача від 13 років і старше і розроблена система починає працювати в режимі вимірювання вмісту кисню в крові людини та пульсу, який контролюється за допомогою ЛСІМ-1 в межах які відповідають для нормального пульсу дорослих людей і підлітків від 13 років. На рисунку 3.15 зображено Serial Monitor в який виводяться межі нормального пульсу для людей віком від 13 років і значення пульсу та вмісту кисню в крові людини визначені розробленою системою на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102.



```

Output  Serial Monitor  x
Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM6')
10:48:27.100 -> vid 13 rokiv puls v normi vid 60 do 100 Puls=90 | SpO2=96
  
```

Рисунок 3.15 – Serial Monitor в який виводяться межі нормального пульсу для людей віком від 13 років і значення пульсу та вмісту кисню в крові людини визначені розробленою системою на основі ЛСІМ-1 засобами модуля

MAX30102

На рисунку 3.16 зображено розроблену систему контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102, коли здійснюється контроль показників для людини віком від 13 років.

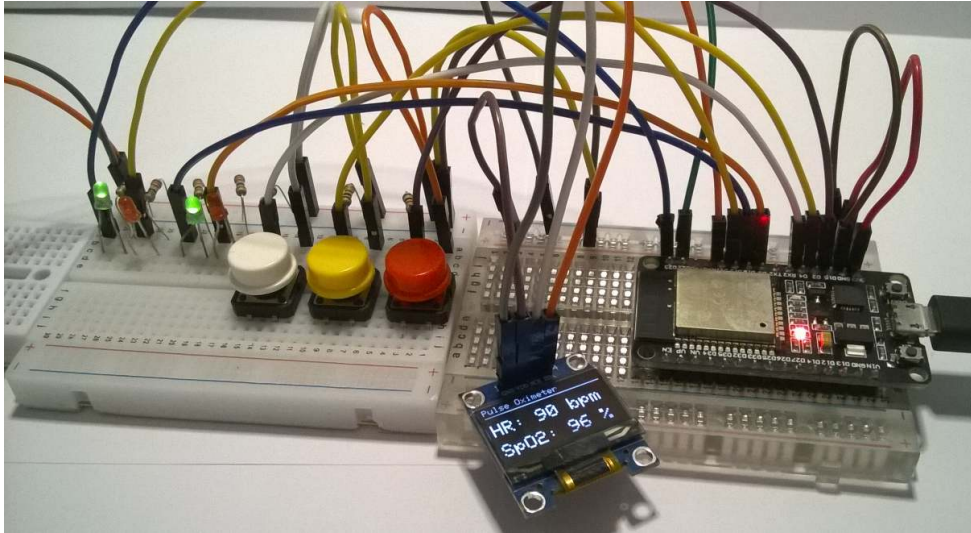


Рисунок 3.16 – Розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102, коли здійснюється контроль показників для людини віком від 13 років

Проаналізуємо результати експерименту та реакцію системи на виміряні показники наведені на рисунку 3.16. З нижнього рядка на OLED-дисплеї видно що розроблена система визначила вміст кисню в крові людини на рівні 96%. Імплементована в розроблене програмне забезпечення ЛСІМ-1 контролює чи показник вмісту кисню в крові людини в межах від 95% до 98%. Поточний вміст кисню в крові людини 96% і він знаходиться в межах які контролює ЛСІМ-1, а це означає що вміст кисню в крові людини в межах норми і система вірно це індикуює: світиться зелений світлодіод (з лівої сторони), який відображає що поточне значення вмісту кисню в крові людини в межах норми, і відповідно не світиться лівий червоний світлодіод, який відображає що поточне значення вмісту кисню в крові людини не в межах норми. Тобто розроблена система належним чином визначає та контролює вміст кисню в крові людини.

З рисунку 3.16 видно, що пульс людини становить 90 ударів в хвилину. Оскільки на початку роботи розробленої системи було шляхом натискання червоної кнопки вказано, що контролюється тиск для людей віком від 13 років і старше, то система використовує для визначення меж контролю ЛСІМ-1 відповідно нижню і верхню межу пульсу, які відповідають нормальному тиску людини обраного віку тобто від 13 років і старше (від 60 ударів в хвилину до 100 ударів в хвилину). Визначений розробленою системою пульс в 90 ударів в хвилину знаходиться в контрольованих ЛСІМ-1 межах від 60 ударів в хвилину до 100 ударів в хвилину і відповідно пульс людини в нормі і відповідно розроблена система правильно на це реагує: світиться зелений світлодіод (з правої сторони), який відображає що поточне значення пульсу в межах норми, і відповідно не світиться правий червоний світлодіод, який відображає що поточне значення пульсу не в межах норми. Тобто розроблена система належним чином визначає та контролює пульс людини.

Важкі фізичні вправи зумовлюють підвищення пульсу та зниження вмісту кисню в крові людини.

На рисунку 3.17 показано Serial Monitor в який виводяться межі нормального пульсу для людей віком від 13 років і значення пульсу та вмісту кисню в крові людини визначені розробленою системою на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102 після години важких фізичних занять користувача.

The screenshot shows a Serial Monitor window titled "Output Serial Monitor x". Below the title bar is a text input field with the placeholder "Message (Enter to send message to 'DOIT ESP32 DEVKIT V1' on 'COM6')". The output area displays two lines of data: the first line is partially obscured, and the second line shows "11:45:42.777 -> vid 13 rokiv puls v normi vid 60 do 100 Puls=126 | SpO2=94".

Рисунок 3.17 – Serial Monitor в який виводяться межі нормального пульсу для людей віком від 13 років і значення пульсу та вмісту кисню в крові людини визначені розробленою системою на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102 після години важких фізичних занять користувача

Результати роботи розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 після години важких фізичних занять користувача зображено на рисунку 3.18.

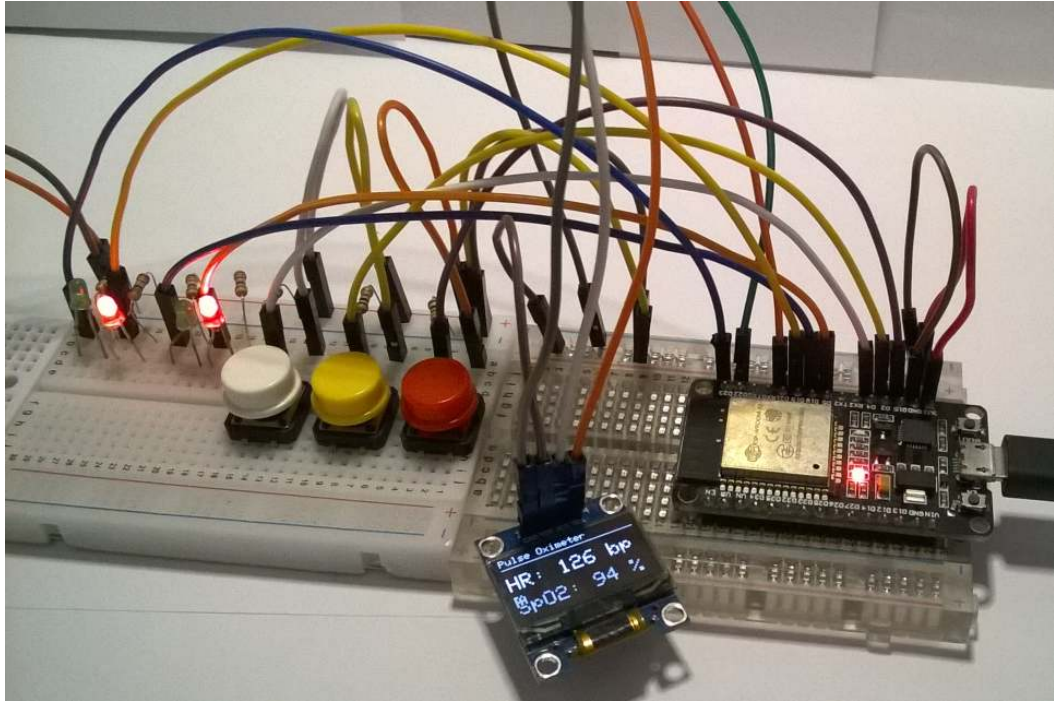


Рисунок 3.18 – Розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102, коли здійснюється контроль показників для людини віком від 13 років після години важких фізичних занять користувача

Проаналізуємо результати експерименту та реакцію системи на виміряні показники наведені на рисунку 3.18. З нижнього рядка на OLED-дисплеї видно що розроблена система визначила вміст кисню в крові людини на рівні 94%. Імплементована в розроблене програмне забезпечення ЛСІМ-1 контролює чи показник вмісту кисню в крові людини в межах від 95% до 98%. Поточний вміст кисню в крові людини 94% і він знаходиться за межами які контролює ЛСІМ-1, а це означає що вміст кисню в крові людини за межами норми і система вірно це індикуює: світиться червоний світлодіод (з лівої сторони), який відображає що поточне значення вмісту кисню в крові людини за межами норми, і відповідно

не світиться зелений світлодіод, який відображає що поточне значення вмісту кисню в крові людини в межах норми. Тобто розроблена система належним чином визначає та контролює вміст кисню в крові людини.

З рисунку 3.18 видно, що пульс людини становить 126 ударів в хвилину. Оскільки на початку роботи розробленої системи було шляхом натискання червоної кнопки вказано, що контролюється тиск для людей віком від 13 років і старше, то система використовує для визначення меж контролю ЛСІМ-1 відповідно нижню і верхню межу пульсу, які відповідають нормальному тиску людини обраного віку тобто від 13 років і старше (від 60 ударів в хвилину до 100 ударів в хвилину). Визначений розробленою системою пульс в 126 ударів в хвилину знаходиться за межами, які контролює ЛСІМ-1 (від 60 ударів в хвилину до 100 ударів в хвилину) і відповідно пульс людини вище норми і відповідно розроблена система правильно на це реагує: світиться червоний світлодіод (з правої сторони), який відображає що поточне значення пульсу за межами норми, і відповідно не світиться правий зелений світлодіод, який відображає що поточне значення пульсу в межах норми. Тобто розроблена система належним чином визначає та контролює пульс людини.

Проведені експерименти свідчать, що розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 працює належним чином.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено аналіз предметної області. Встановлено, що вимірювання пульсу та кількості кисню у крові людини є життєво важливими завданнями. Також було встановлено діапазони значень пульсу та кількості кисню у крові людини, які відповідають нормі і відхилення від яких може бути ознакою проблем із здоров'ям людини і потребуватиме термінового відвідування лікаря.

Аналіз існуючих засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини показав, що всі досліджені пульсоксиметри мають недоліки:

- високу вартість (від 1742 грн до 10 700 грн);
- не мають можливості передавати інформацію про зібрані показники з датчиків в комп'ютер чи ноутбук через альтернативні канали (дротовий і бездротовий), що може бути незручно за певних обставин.

В результаті проведеного аналізу існуючих логіко-статистичних інформаційних моделей було встановлено, що для розроблюваної системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини доцільно використати логіко-статистичну інформаційну модель 1. ЛСІМ-1 під час контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини буде здійснювати контроль за їх відхиленням від норми як в сторону перевищення норми так і в сторону зниження нижче норми (відхилення в обидві сторони можуть бути ознаками проблем із здоров'ям людини).

Під час виконання третього розділу було розроблено структурну схему системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини. Також під час виконання третього розділу було обрано технічні засоби які потрібні для створення системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини та створено принципову електричну схему під'єднання елементів системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини.

Розроблено програмне забезпечення для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102.

Вартість розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 становить 822 грн, що майже в 2 рази менше вартості самого дешевого дослідженого аналога. Крім того, розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 має можливість передавати інформацію про зібрані показники з датчиків в комп'ютер чи ноутбук через альтернативні канали дротовий (Serial) і бездротовий (Wi-Fi), що може бути зручно для різних користувачів.

Необхідно відмітити, що розроблена система контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 не тільки здійснює вимірювання пульсу та вмісту кисню в крові людини, а ще й за допомогою ЛСІМ-1 перевіряє чи контрольовані показники є в нормі і відповідно інформує про те що вони в нормі або що вони не в нормі за допомогою відповідних зелених і червоних світлодіодів.

На відміну від існуючих систем контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини, які не можуть розвиватися і модернізуватися, розроблена система має можливість для подальшого розвитку, зокрема можна в майбутньому забезпечити передавання вимірянних даних на сервер для подальшого збереження і опрацювання.

Проведена перевірка працездатності розробленої системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102 показала, що вона працює належним чином.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельничук С.І. Магістерська робота: методичні вказівки до змісту та оформлення для студентів спеціальності 123 - Комп'ютерна інженерія. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ. – 2024. 28 с.
2. Ліщинський Н.Т., Бабчук І.С. Контроль пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1. Матеріали ІХ Міжнародної студентської наукової конференції “Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки”. 5 грудня 2025. – С. 465-466.
3. Oxygen saturation – better measured than calculated. URL: <https://acutecaretesting.org/en/articles/oxygen-saturation-better-measured-than-calculated> (дата звернення: 25.11.2025)
4. Пульсоксиметрія. URL: <https://empendium.com/ua/manual/chapter/B72.II.B.3.2>. (дата звернення: 25.11.2025)
5. Норма рівня кисню в крові при вимірюванні пульсоксиметром. URL: <https://lik.ua/article/norma-rivnya-kisnyu-v-krovi-pri-vimiryuvanni-pulsoksimetrom> (дата звернення: 25.11.2025)
6. Association Between Percutaneous Oxygen Saturation and Mortality of Patients with Mild Traumatic Brain Injury at ICU Admission: An Analysis of the MIMIC-III Database. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37084160/> (дата звернення: 25.11.2025)
7. Норма показників SpO₂ у дорослих та дітей. URL: <https://biomed.ua/ua/articles/norma-pokaznykiv-spo2-u-doroslikh-ta-ditey> (дата звернення: 25.11.2025)
8. Норма насичення крові киснем по пульсоксиметру. URL: <https://www.medika.kiev.ua/uk/norma-nasysheniya-krovi-kislородom-po-pulsoksimetru/> (дата звернення: 25.11.2025)

9. Fundamentals of Pulse Oximetry. URL: <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/34096486> (дата звернення: 25.11.2025)
10. What's a normal resting heart rate? URL: <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979> (дата звернення: 25.11.2025)
11. Pulse. URL: <https://medlineplus.gov/ency/article/003399.htm> (дата звернення: 25.11.2025)
12. All About Heart Rate. URL: <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/all-about-heart-rate-pulse> (дата звернення: 25.11.2025)
13. Все про тахікардію: чим небезпечна і як лікувати. URL: <https://ksm-clinic.com.ua/blog/vse-o-tahikardii-chem-opasna-i-kak-lechit> (дата звернення: 25.11.2025)
14. What Is a Good Resting Heart Rate by Age and Gender? URL: https://www.medicinenet.com/what_is_a_good_resting_heart_rate_by_age/article.htm (дата звернення: 25.11.2025)
15. Your Heart Rate: What Does It Say? URL: <https://www.webmd.com/heart-disease/heart-failure/watching-rate-monitor> (дата звернення: 25.11.2025)
16. What Is a Normal Resting Heart Rate and How Do I Check It? URL: <https://www.baptisthealth.com/blog/allergy--asthma/what-is-a-normal-resting-heart-rate-and-how-do-i-check-it> (дата звернення: 25.11.2025)
17. Normal Heart Rate: Pulse, Ranges Danger & More. URL: <https://www.metropolisindia.com/blog/preventive-healthcare/a-complete-guide-about-pulse-normal-heart-rate> (дата звернення: 25.11.2025)
18. Heart Rate. URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/heart-rate> (дата звернення: 25.11.2025)
19. Healthy Heart Rates Change With Age – Here's What's Normal For Every Age Group. URL: https://www.huffingtonpost.co.uk/entry/healthy-heart-rate-by-age_uk_6717663de4b0dc414dfabed5 (дата звернення: 25.11.2025)

20. Пульсоксиметр Heaco G1B. URL: <https://apteka.rozetka.com.ua/ua/heaco-g1b-3/p347567793/> (дата звернення: 25.11.2025)
21. Пульсоксиметр Creative Medical PC-66B. URL: <https://apteka.rozetka.com.ua/ua/pulsoksimetri-creative-medical-117429291/p551151399/> (дата звернення: 25.11.2025)
22. Пульсоксиметр Біомед ВР-10ВВ з bluetooth 4.0. URL: <https://apteka.rozetka.com.ua/ua/pulsoksimetri-ea1447cc-117429415/p551151435/> (дата звернення: 25.11.2025)
23. Опорний конспект лекцій з дисципліни “Теорія автоматичного управління” (Частина 1) / Укл.: Николайчук Я.М., Возна Н.Я.– Тернопіль: Гал-друк, 2016. – 71 с.
24. Ширмовська Н.Г., Николайчук Я.М. Моделювання процесів діагностування станів складних об’єктів управління комп’ютерних систем. Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Комп’ютерні системи та мережі». №688, - 2010 р. - С.219-224. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/nov/7096/38-219-224.pdf> (дата звернення: 30.11.2024)
25. Arduino UNO R3 ATmega328P. URL: <https://arduino-geek.pp.ua/product/otladochnaja-plata-arduino-uno-r3/> (дата звернення: 25.11.2025)
26. Плата Arduino Uno R3, ATmega328PB, Type-C, AVR, CH340G. URL: <https://saga-market.com.ua/ua/p1401057180-plata-arduino-uno.html> (дата звернення: 25.11.2025)
27. Arduino UNO R3 (CH340). URL: <https://arduino.ua/prod8110-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення: 25.11.2025)
28. Плата Arduino UNO R3 CH340G на мікроконтролері ATmega328P. URL: <https://evelex.in.ua/ua/p2806901932-plata-arduino-uno.html> (дата звернення: 25.11.2025)

29. Arduino UNO R3 ATMEGA328P. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p68082347-arduino-uno-atmega328p.html> (дата звернення: 25.11.2025)
30. Arduino MEGA 2560 R3 CH340 плата мікроконтролера (Type-C порт). URL: <https://rozetka.com.ua/ua/439490936/p439490936/> (дата звернення: 25.11.2025)
31. Arduino MEGA 2560 R3 CH340. URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1530387467-arduino-mega-2560.html> (дата звернення: 25.11.2025)
32. Мікроконтролер MEGA 2560 R3 Arduino. URL: <https://prom.ua/ua/p589920632-mikrokontroller-mega-2560.html> (дата звернення: 25.11.2025)
33. Arduino Mega 2560 R3 (ch340) з кабелем USB. URL: [https://uamper.com/Arduino-Mega-2560-R3-\(ch340\)?search=mega](https://uamper.com/Arduino-Mega-2560-R3-(ch340)?search=mega) (дата звернення: 25.11.2025)
34. Arduino Mega 2560 R3, ATmega2560, USB-B. URL: <https://comerce.com.ua/p1739596781-arduino-mega-2560.html> (дата звернення: 25.11.2025)
35. ESP32 38pin DevKit Wi-Fi Bluetooth ESP32-WROOM-32 плата розробника. URL: <https://saga-market.com.ua/ua/p1400766943-esp32-devkit-bluetooth.html> (дата звернення: 25.11.2025)
36. Відладочна плата ESP-32 DevKit V1. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/mini-kompyuteri-151973251/p548965473/> (дата звернення: 25.11.2025)
37. Відладочна плата ESP-32 DevKit V1. URL: <https://robostore.com.ua/nalahodzhuvalna-plata-esp-32-devkit-v1/> (дата звернення: 25.11.2025)
38. Wi-Fi модуль DevKit V1 з ESP-32 (30-pin). URL: <https://arduino.ua/prod3990-wi-fi-modyl-devkit-v1-s-esp-32> (дата звернення: 25.11.2025)

39. IoT DEVKITV1 ESP32 WROOM-32 30 pin CH9102X (microUSB) WiFi+Bluetooth мікроконтролер модуль розробника Development Board LuaNode32. URL: <https://nosul.com.ua/ua/p2048965446-iot-devkitv1-esp32.html> (дата звернення: 25.11.2025)
40. Модуль Arduino MAX30100 датчик серцевого ритму. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p1643459627-modul-arduino-max30100.html> (дата звернення: 25.11.2025)
41. GY-MAX30100 - датчик серцевого ритму та насичення крові киснем (SpO₂ /пульс). URL: <https://rozetka.com.ua/ua/detectors-bez-brenda-151321220/p548537220/> (дата звернення: 25.11.2025)
42. GY-MAX30102 - датчик серцевого ритму та насичення крові киснем (SpO₂ /пульс). URL: <https://rozetka.com.ua/ua/detectors-bez-brenda-151321218/p548537817/> (дата звернення: 25.11.2025)
43. Модуль датчик пульсу кисню в крові MAX30102 сумісний з UNO R3 STM32 (17873). URL: <https://beegreen.com.ua/modul-datchik-pulsu-kisnyu-v-krovi-max30102-sumisnij-z-uno-r3-stm32-17873> (дата звернення: 25.11.2025)
44. Crowtail- MAX30105 Particle Sensor. URL: <https://www.elecrow.com/wiki/crowtail--max30105-particle-sensor.html#application> (дата звернення: 25.11.2025)
45. Оптичний датчик диму, частинок і полум'я MAX30105. URL: <https://prom.ua/ua/p2619004398-opticheskij-datchik-dyma.html> (дата звернення: 25.11.2025)
46. Evaluation Board, MAX86150 PPG/ECG Bio-Sensor Module. URL: <https://il.farnell.com/analog-devices/max86150evsys/eval-board-ppg-ecg-bio-sensor/dp/2822794> (дата звернення: 25.11.2025)
47. ProtoCentral MAX86150 PPG and ECG breakout with QWIIC – v2. URL: <https://protocentral.com/product/protocentral-max86150-ppg-and-ecg-breakout-with-qwiic-v2/> (дата звернення: 25.11.2025)

48. MAX86150. URL: <https://il.farnell.com/search?st=MAX86150> (дата звернення: 25.11.2025)
49. MAX86916. URL: <https://il.farnell.com/analog-devices/max86916evsys/eval-system-ppg-ecg-bio-sensor/dp/3381293> (дата звернення: 25.11.2025)
50. MAX86916. URL: https://eu.mouser.com/ProductDetail/Analog-Devices-Maxim-Integrated/MAX86916EVSYS?qs=OIC7AqGiEDm%2Fk9cx%2F%2F7DIA%3D%3D&srsltid=AfmBOooinBDqvrSi082wtXGHXoNKbqDAvBKqPq1h5QVs163YFdlW5Zzq&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 25.11.2025)
51. Дисплей OLED 0.96-дюймовий і2с жовто-синій однокристальний (17239). URL: <https://beegreen.com.ua/displej-oled-0-96-dyujmovij-i2c-zhovto-sinij-odnokristalnij-17239> (дата звернення: 25.11.2025)
52. Макетна плата 400 контактів Arduino (11096). URL: <https://beegreen.com.ua/bespaechnoe-maketnaya-plata-400-kontaktiv-arduino-11096> (дата звернення: 25.11.2025)
53. Прозора макетна плата 400 контактів Arduino (12049). URL: <https://beegreen.com.ua/prozora-bezpayechna-maketna-plata-400-kontaktiv-arduino-1204> (дата звернення: 25.11.2025)
54. Плата макетна контактна SYB-170-W 1шт (11901). URL: <https://beegreen.com.ua/plata-maketna-kontaktna-syb-170-w-1sht-11901> (дата звернення: 25.11.2025)
55. Світлодіод LED F3 RED червоний 10шт (11423). URL: <https://beegreen.com.ua/svitlodiod-led-f3-red-chervonij-10sht-11423> (дата звернення: 25.11.2025)
56. Світлодіод LED F3 Green зелений 10шт (11424). URL: <https://beegreen.com.ua/svitlodiod-led-f3-green-zelenij-10sht-11424> (дата звернення: 25.11.2025)
57. З'єднувальні провідники джампери Dupont тато-тато 20см Arduino (10472). URL: <https://beegreen.com.ua/maketni-providniki-tato-tato-dupont-c-dzhamperami-10472> (дата звернення: 25.11.2025)

58. Кнопка DIP 4-pin 6x6x5мм. URL: <https://arduino.ua/prod317-kнопка-6x6x5mm> (дата звернення: 25.11.2025)
59. Резистор 0.25W 220R 220Om 220ом 0.25Вт 10шт (14496). URL: <https://beegreen.com.ua/rezistor-0-25w-220r-220om-220om-0-25vt-14496> (дата звернення: 25.11.2025)
60. Резистор 0.25W 3.3K 3.3kOm 3.3кOm 0.25Вт 10шт (14499). URL: <https://beegreen.com.ua/rezistor-0-25w-3-3k-3-3kom-3-3kom-0-25vt-14499> (дата звернення: 25.11.2025)

Додатки

Лістинг програми для системи контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля MAX30102

```

#include <Wire.h> // Підключено бібліотеку для роботи з
                // протоколом I2C (двопровідний зв'язок з
                // модулем MAX30102 та OLED-дисплеєм)
#include <DFRobot_MAX30102.h> // Підключено бібліотеку DFRobot
                // для роботи з модулем MAX30102
#include <Adafruit_SSD1306.h> // Підключено бібліотеку Adafruit для
                // належної роботи OLED-дисплея SSD1306

// Налаштування OLED-дисплея:
#define SCREEN_WIDTH 128 // Ширина OLED-дисплея в пікселях
                        // (стандартний розмір для SSD1306)
#define SCREEN_HEIGHT 64 // Висота OLED-дисплея в пікселях
                        // (стандартний розмір для SSD1306)
#define OLED_RESET -1 // Reset pin не використовується з ESP32

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
                          OLED_RESET);

// Створення екземпляра класу DFRobot_MAX30102
// для роботи з модулем MAX30102:
DFRobot_MAX30102 particleSensor;

int32_t SPO2; // Вміст кисню в крові (%)
int8_t SPO2Valid; // Чи валідне вимірювання SpO2
int32_t heartRate; // Пульс (BPM)

```


Продовження додатку А

```
int PulsBabyHigh = 140; // встановлення верхньої межі нормального пульсу
                        // для дітей від 1 до 5 років
int PulsBabyLow = 80;  // встановлення нижньої межі нормального пульсу
                        // для дітей від 1 до 5 років

int PulsHigh = 0;     // початкове значення змінної верхньої межі
                        // нормального пульсу
int PulsLow = 0;      // початкове значення змінної нижньої межі
                        // нормального пульсу

int SPO2High = 98;    // встановлення верхньої межі нормального
                        // вмісту кисню в крові людини
int SPO2Low = 95;     // встановлення нижньої межі нормального
                        // вмісту кисню в крові людини

int buttonWhiteState = LOW; // змінна яка відображає чи натиснуто
                             // білу кнопку і вибрано перевірку пульсу
                             // для дітей від 1 до 5 років
int buttonYellowState = LOW; // змінна яка відображає чи натиснуто
                              // жовту кнопку і вибрано перевірку пульсу
                              // для дітей від 6 до 12 років
int buttonRedState = LOW;    // змінна яка відображає чи натиснуто
                              // червону кнопку і вибрано перевірку пульсу
                              // для дорослих і підлітків від 13 років

String Who;                // змінна якій буде присвоюватися значення яке відповідатиме
                             // віку людини для якої буде здійснюватися перевірка пульсу
int push=0;                // змінна яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з
```

Продовження додатку А

```
// трьох кнопок і чи натисканням відповідної кнопки
// вибрано вік того чий пульс буде перевірятися

void setup() {

  Serial.begin(115200);           // Ініціалізація послідовного каналу
                                 // передавання даних зі швидкістю 115200 бод

  pinMode(ButtonRed, INPUT);     // Налаштування піна червоної кнопки
                                 // в режим INPUT

  pinMode(ButtonYellow, INPUT);  // Налаштування піна жовтої кнопки
                                 // в режим INPUT

  pinMode(ButtonWhite, INPUT);   // Налаштування піна білої кнопки
                                 // в режим INPUT

  pinMode(PulsRed, OUTPUT);      // Налаштування піна червоного світлодіода
                                 // для процесу вимірювання пульсу
                                 // в режим OUTPUT

  pinMode(PulsGreen, OUTPUT);    // Налаштування піна зеленого світлодіода
                                 // для процесу вимірювання пульсу
                                 // в режим OUTPUT

  pinMode(SpO2Red, OUTPUT);      // Налаштування піна червоного світлодіода
                                 // для процесу вимірювання вмісту кисню
                                 // в крові людини в режим OUTPUT

  pinMode(SpO2Green, OUTPUT);    // Налаштування піна зеленого світлодіода
                                 // для процесу вимірювання вмісту кисню
                                 // в крові людини в режим OUTPUT

  // Ініціалізація OLED-дисплея та початкові налаштування:
```


Продовження додатку А

```

/*sampleRate=*/SAMPLERATE_100, // Частота вибірки: 100 Гц –
                                // стандарт для реального часу
/*pulseWidth=*/PULSEWIDTH_411, // Ширина імпульсу: 411 мкс –
                                // для чутливості
/*adcRange=*/ADCRANGE_16384    // Діапазон ADC: 16384 – високий
                                // для деталізації сигналу

);
}

void loop() {

// За допомогою натискання однієї з кнопок: червоної, жовтої або білої
// користувач здійснює вибір свого віку: дорослий і підлітки від 13 років,
// діти від 6 до 12 років, діти від 1 до 5 років:

// Перевірка чи користувач не натиснув жодну з трьох кнопок (червону, жовту,
// білу) тобто не вибирав вік того чий пульс буде перевірятися і змінній push
// присвоюємо значення "0":
  if(push==0)

  {
// Користувач не натиснув жодну з трьох кнопок (червону, жовту, білу)
// тобто не вибирав вік того чий пульс буде перевірятися:

    Serial.println("Будь-ласка натисніть кнопку яка ідентифікує вік людини:");
    Serial.println("- біла кнопка - від 1 до 5 років");
    Serial.println("- жовта кнопка - від 6 до 12 років,");
    Serial.println("- червона кнопка - вік від 13 років і доросліші,");
  }
}

```

```

    }

// Перевірка чи натиснута біла кнопка:
buttonWhiteState = digitalRead(ButtonWhite);
if(buttonWhiteState == HIGH) {

// Якщо біла кнопка натиснута то здійснюється:
PulsHigh = PulsBabyHigh;           // Встановлення верхньої межі нормального
                                     // пульсу для дітей від 1 до 5 років
PulsLow = PulsBabyLow;             // Встановлення нижньої межі нормального
                                     // пульсу для дітей від 1 до 5 років

Who="vid 1 do 5 rokiv puls v normi vid "; // Змінній Who присвоюємо
                                     // "vid 1 do 5 rokiv puls v normi vid "
push=1;           // Змінній яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з трьох
                 // кнопок і чи натисканням відповідної кнопки вибрано вік того
                 // чий пульс буде перевірятися присвоюємо значення "1" - тобто
                 // кнопка натиснута і вік користувача вибрано
}

// Перевірка чи натиснута жовта кнопка:
buttonYellowState = digitalRead(ButtonYellow);
if(buttonYellowState == HIGH) {

// Якщо біла жовта кнопка натиснута то здійснюється:

PulsHigh = PulsChildrenHigh;       // Встановлення верхньої межі

```

Продовження додатку А

```

// нормального пульсу
// для дітей від 6 до 12 років
PulsLow = PulsChildrenLow; // Встановлення нижньої межі
// нормального пульсу
// для дітей від 6 до 12 років
Who="vid 6 do 12 rokiv puls v normi vid "; // Змінній Who присвоюємо
// "vid 6 do 12 rokiv puls v normi vid "
push=1; // змінній яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з трьох
// кнопок і чи натисканням відповідної кнопки вибрано вік
// того чий пульс буде перевірятися присвоюємо значення "1" –
// тобто кнопка натиснута і вік користувача вибрано
}
// Перевірка чи натиснута червона кнопка:
buttonRedState = digitalRead(ButtonRed);
if(buttonRedState == HIGH) {

// Якщо біла жовта кнопка натиснута то здійснюється:
PulsHigh = PulsAdultHigh; // Встановлення верхньої межі нормального
// пульсу для дорослих і підлітків від 13 років
PulsLow = PulsAdultLow; // Встановлення нижньої межі нормального
// пульсу для дорослих і підлітків від 13 років
Who="vid 13 rokiv puls v normi vid "; // Змінній Who присвоюємо значення
// "vid 13 rokiv puls v normi vid "
push=1; // змінній яка відображає чи взагалі натиснуто хоч якусь з трьох
// кнопок і чи натисканням відповідної кнопки вибрано вік
// того чий пульс буде перевірятися присвоюємо значення "1" –
// тобто кнопка натиснута і вік користувача вибрано
}

```

Продовження додатку А

```
// Зчитування даних з модуля MAX30102:
particleSensor.heartrateAndOxygenSaturation(
    &SPO2, &SPO2Valid, &heartRate, &heartRateValid
);

// Якщо одна з трьох кнопок (червона/жовта/біла) була натиснута, то в Serial
// Monitor відправляється інформація для якої вікової категорії здійснюється
// визначення пульсу і який пульс є нормою для даної вікової категорії:
if (push==1) {
    Serial.print(Who);
    Serial.print(PulsLow);
    Serial.print(" do ");
    Serial.print(PulsHigh);
    Serial.print(" ");

// Вивід у Serial Monitor інформації про пульс в даний момент:
    Serial.print(F("Puls="));
    Serial.print(heartRate);

// Вивід у Serial Monitor інформації про вміст кисню в крові людини:
    Serial.print(F(" | SpO2="));
    Serial.print(SPO2);
    Serial.println(F(" "));

// Налаштування OLED-дисплея:
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0, 0);
```

Продовження додатку А

```

display.println(F("Pulse Oximeter"));           // Вивід на OLED-дисплей короткої
                                                // назви системи "Pulse Oximeter"

display.drawLine(0, 10, 127, 10, SSD1306_WHITE);
display.setTextSize(2);
display.setCursor(0, 20);
display.print(F("HR: "));

// Перевірка чи значення змінної heartRate не нижче реально можливого,
// що може бути зумовлено некоректною роботою датчика:
if (heartRate > 30) {

// Використання ЛСІМ-1 для контролю чи пульс в нормі:
if((heartRate < PulsHigh) && (PulsLow < heartRate))
{
// Якщо пульс в нормі:
digitalWrite (PulsGreen, HIGH); // вмикання зеленого світлодіода
                                // який інформує що пульс в нормі
digitalWrite (PulsRed, LOW); } // вимикання червоного світлодіода
                                // який інформує що пульс не в нормі

else {
// Якщо пульс не в нормі:
digitalWrite (PulsGreen, LOW); // вимикання зеленого світлодіода
                                // який інформує що пульс в нормі
digitalWrite (PulsRed, HIGH); // вмикання червоного світлодіода
                                // який інформує що пульс не в нормі
}
}

```

Продовження додатку А

```

// Вивід на OLED-дисплей інформації про пульс людини в даний момент:
display.print(heartRate);

} else {
// Якщо значення змінної heartRate нижче реально можливого, що може бути
// зумовлено некоректною роботою датчика, то на OLED-дисплей замість
// поточного значення виводиться "--", а також вимикаються обидва
// світлодіоди (зелений і червоний) які стосуються змінної heartrate:
display.print(F("--"));
digitalWrite (PulsRed, LOW);
digitalWrite (PulsGreen, LOW);
}
display.println(F(" bpm"));

// Вивід на OLED-дисплей інформації про вміст кисню в крові людини:
display.setCursor(0, 45);
display.print(F("SpO2: "));

// Перевірка чи значення змінної SPO2 не нижче реально можливого,
// що може бути зумовлено некоректною роботою датчика:
if (SPO2 > 35) {

// Використання ЛСІМ-1 для контролю чи вміст кисню в крові людини в нормі
if((SPO2 < SPO2High) && (SPO2Low < SPO2))
{
// Якщо вміст кисню в крові людини в даний момент в нормі:
digitalWrite (SpO2Green, HIGH); // вмикання зеленого світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові

```

Продовження додатку А

```

// людини в даний момент в нормі
digitalWrite (SpO2Red, LOW);} // вимикання червоного світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові
// людини в даний момент не в нормі

else {
// Якщо вміст кисню в крові людини в даний момент не в нормі:
digitalWrite (SpO2Green, LOW); // вимикання зеленого світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові
// людини в даний момент в нормі

digitalWrite (SpO2Red, HIGH); // вмикання червоного світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові
// людини в даний момент не в нормі

}

// Підготовка до виведення на OLED-дисплей інформації про вміст кисню
// в крові людини в даний момент (виведення короткої назви фізичної
// величини значення якої буде виведене згодом):
display.print(SPO2);
display.println(F(" %"));

} else {

// Якщо значення змінної SPO2 нижче реального можливого, що може бути
// зумовлено некоректною роботою датчика, то на OLED-дисплей замість
// поточного значення виводиться "--", а також вимикаються обидва світлодіоди
// (зелений і червоний) які стосуються змінної SPO2
display.println(F("-- %"));
digitalWrite (SpO2Green, LOW); // вимикання зеленого світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові

```

Продовження додатку А

```
digitalWrite (SpO2Red, LOW); // людини в даний момент в нормі
// вимикання червоного світлодіода
// який інформує що вміст кисню в крові
// людини в даний момент не в нормі
}

}

display.display();

// Інтервал між оновленнями:
delay(4000);
}
```

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема магістерської роботи: Розробка апаратно-програмних засобів контролю пульсу та вмісту кисню в крові людини на основі ЛСІМ-1 засобами модуля МАХ30102

Обсяг пояснювальної записки 74 аркуші.

4 таблиці;

28 рисунків;

1 додаток.

Дата завершення роботи 10.12.2024

Підпис студента-дипломника _____ / Н.Т. Ліщинський /