

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»**

**на тему: «Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних»**

Виконав (-ла):

Студентка VI курсу, групи ПМ-31мп  
Новожилова Альона Володимирівна \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н., доцент  
Лисенко Юлія Юріївна \_\_\_\_\_

Консультант з стартап-проєкту:

д.е.н., професор Бояринова К.О \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент каф. КІТВП, к.т.н. доцент  
Терещенко Микола Федорович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Новожиловій Альоні Володимирівні**

1. Тема дисертації «Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних», науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Лисенко Юлія Юріївна затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження : процес моніторингу фізіологічних показників стану людини з використанням електронних пристроїв і технологій передачі даних.
4. Вихідні дані: портативний прилад, з автономним живленням та з можливістю передачі даних на мобільний пристрій, для контролю фізіологічних показників людини: пульс, сатурацію, режим роботи серця, артеріального тиску, температури, глюкози.
5. Перелік завдань, які потрібно зробити: Аналіз сучасних технологій моніторингу стану здоров'я людини. Проектування архітектури системи моніторингу. Розробка алгоритмів обробки та передачі даних.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: функціональна схема, складальний кресленик, деталювання, електрична принципова схема, плакат, плакат
7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) Новожилова А.В. Система моніторингу стану людини: огляд методів контролю фізіологічних показників людини/ О. V. Muraviov // XX науково-технічна конференція "Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні", 4-5 грудня 2024 р., м. Київ, Україна: збірник матеріалів доповідей. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024.

#### 8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ                    | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------|---|----------------|------------------|
|                           |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Розробка стартап-проектів | Бояринова К.О., д.е.н., професор          |                |                  |
| Електрична схема          | Баженов В. Г. к.т.н, доцент               |                |                  |

#### 9. Дата видачі завдання 01.09.2024

##### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1     | Аналіз методів моніторингу стану людини         | 15.09.2024                                       |          |
| 2     | Підбір оптимальних методів моніторингу          | 25.09.2024                                       |          |
| 3     | Постановка завдання                             | 10.10.2024                                       |          |
| 4     | Розрахункова частина                            | 20.10.2024                                       |          |
| 5     | Побудова функціональної схеми                   | 30.10.2024                                       |          |
| 6     | Підбір електронних компонентів                  | 10.11.2024                                       |          |
| 7     | Виконання креслень                              | 20.11.2024                                       |          |
| 8     | Розробка стартап проекту                        | 28.11.2024                                       |          |
| 9     | Оформлення дипломного проекту                   | 01.12.2024                                       |          |
|       |   |  |          |

Студент

Альона НОВОЖИЛОВА

Науковий керівник

Юлія ЛИСЕНКО

## Анотація

Магістерська дисертація на тему «Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних» присвячена розробці сучасного апаратно-програмного комплексу для медичного моніторингу. Метою роботи є створення системи, здатної вимірювати фізіологічні показники людини, такі як пульс, сатурація, температура, артеріальний тиск, рівень глюкози та електрокардіограма (ЕКГ), із подальшою передачею даних для аналізу на віддалений сервер.

У роботі виконано огляд сучасних методів моніторингу фізіологічних параметрів, систем передачі та зберігання даних. Обґрунтовано вибір апаратних компонентів, таких як датчики, мікроконтролерна плата та модулі бездротового зв'язку. Для забезпечення точності та надійності вимірювань розроблено алгоритми обробки сигналів, включаючи фільтрацію шумів і нормалізацію даних.

Система передбачає інтеграцію з базами даних для зберігання результатів вимірювань і подальшого аналізу, а також використання протоколів MQTT і HTTP для передачі інформації на сервер і мобільні пристрої лікаря. У роботі розглянуто питання захисту даних під час передачі та зберігання, а також забезпечення сумісності з медичними інформаційними системами.

**Мета роботи:** розробка апаратно-програмного комплексу для моніторингу фізіологічних показників людини з можливістю віддаленого збору, передачі, зберігання та аналізу даних, забезпечення точності вимірювань, надійності передачі інформації та інтеграції із сучасними медичними інформаційними системами.

**Об'єкт дослідження:** процес моніторингу фізіологічних показників стану людини з використанням електронних пристроїв і технологій передачі даних.

**Предмет дослідження:** методи та засоби вимірювання фізіологічних показників, алгоритми обробки та передачі даних, а також архітектура апаратно-програмного комплексу для моніторингу стану людини.

**Ключові слова:** моніторинг стану людини, фізіологічні показники, дистанційний збір даних, апаратно-програмний комплекс, медичні інформаційні системи.

## **Abstract**

Master's Thesis titled "Human Condition Monitoring System with Remote Data Collection and Analysis" is dedicated to the development of a modern hardware-software complex for medical monitoring. The goal of the work is to create a system capable of measuring human physiological parameters such as pulse, oxygen saturation, temperature, blood pressure, glucose level, and electrocardiogram (ECG), with subsequent data transmission to a remote server for analysis.

The thesis includes a review of modern methods for monitoring physiological parameters, as well as data transmission and storage systems. The selection of hardware components, such as sensors, a microcontroller board, and wireless communication modules, is substantiated. To ensure measurement accuracy and reliability, algorithms for signal processing, including noise filtering and data normalization, have been developed.

The system integrates with databases for storing measurement results and further analysis, utilizing MQTT and HTTP protocols for data transmission to a server and mobile devices for doctors. The work addresses issues of data security during transmission and storage, as well as ensuring compatibility with modern medical information systems.

**Objective:** To develop a hardware-software complex for monitoring human physiological parameters with remote data collection, transmission, storage, and analysis capabilities, ensuring measurement accuracy, data transmission reliability, and integration with modern medical information systems.

**Object of study:** The process of monitoring human physiological parameters using electronic devices and data transmission technologies.

**Subject of study:** Methods and tools for measuring physiological parameters, algorithms for data processing and transmission, and the architecture of a hardware-software complex for human condition monitoring.

**Keywords:** human condition monitoring, physiological parameters, remote data collection, hardware-software complex, medical information systems.

## Перелік скорочень

АКБ – акумуляторна батарея;  
АТ – артеріальний тиск;  
АЦП - аналогово-цифровий перетворювач;  
БК – блок керування;  
БОС – блок обробки сигналів;  
ДАТ – диастолічний артеріальний тиск;  
ДПС – датчик пульсу і сатурації;  
ДТ – датчик температури;  
ІЧ – інфрачервоне випромінювання;  
МК – мікроконтролер;  
МНЖ – манжета;  
САТ – систолічний артеріальний тиск;  
СД – світлодіод;  
ФВЧ – фільтр високих частот;  
ФД – фотодетектор;  
ФНЧ – фільтр низьких частот;  
ФПГ – фотоплетизмографія;  
ЧСС – частота серцевих скорочень;  
BLE - Bluetooth Low Energy;  
HAL - Hardware Abstraction Layer;  
HTTP - Hypertext Transfer Protocol;  
I2C - Inter-Integrated Circuit;  
MQTT - Message Queuing Telemetry Transport;  
NFC - Near Field Communication;  
NoSQL - Not Only Structured Query Language;  
SPI - Serial Peripheral Interface;  
SQL - Structured Query Language;  
UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| <b>ВСТУП</b> .....  | 9  |
| <b>РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД</b> .....  | 10 |
| <b>1.1 Аналіз сучасного стану моніторингових систем</b> .....                                       | 10 |
| 1.1.1 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників пульсу                              | 10 |
| 1.1.2 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників сатурації                           | 11 |
| 1.1.3 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників температури тіла.....               | 12 |
| 1.1.4 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників ЕКГ....                             | 15 |
| 1.1.5 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників артеріального тиску .....           | 19 |
| 1.1.6 Спектральні властивості біологічних тканин і рідин при вимірюванні рівня глюкози в крові..... | 24 |
| <b>1.2 Аналіз протоколів передачі даних</b> .....   | 28 |
| 1.2.1 Особливості передачі даних.....   | 29 |
| 1.2.2 Інтеграція сенсорів та контролера .....   | 30 |
| 1.2.3 Протоколи передачі даних через сервер .....   | 32 |
| <b>1.3 Розгляд варіантів зберігання та обробки даних</b> .....                                      | 34 |
| 1.3.1 База даних для системи: вибір між SQL та NoSQL .....  | 34 |
| 1.3.2 Особливості запису даних у базу через сервер .....  | 37 |
| <b>Висновки до розділу I</b> .....  | 39 |
| <b>РОЗДІЛ II. ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b> .....  | 40 |
| <b>2.1 Розробка функціональної схеми</b> .....  | 40 |
| <b>2.2 Гідропневматична схема манжети вимірювання артеріального тиску</b> ..                        | 43 |
| <b>2.3 Розробка алгоритму роботи системи</b> .....  | 45 |
| <b>2.4 Розрахунок та підбір елементів схеми електричної принципової</b> .....                       | 49 |
| 2.4.1 Розрахунок фільтру високих частот .....   | 49 |
| 2.4.2 Розрахунок фільтру низьких частот .....   | 50 |
| 2.4.3 Розрахунок неінвертуючого підсилювача фотодетектора .....                                     | 52 |
| 2.4.4 Розрахунок DC-перетворювача .....   | 53 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Висновки до розділу II</b> .....                                   | 54 |
| <b>РОЗДІЛ III. ПІДБІР АПАРАТНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ</b> .....         | 56 |
| <b>3.1 Вибір мікроконтролера</b> .....                                | 56 |
| <b>3.2 Вибір датчику тиску</b> .....                                  | 58 |
| <b>3.3 Вибір датчику пульсу і сатурації</b> .....                     | 59 |
| <b>3.4 Вибір датчику серцевого ритму (ЕКГ)</b> .....                  | 61 |
| <b>3.5 Вибір дисплею</b> .....  | 63 |
| <b>3.6 Вибір модулю WiFi</b> .....                                    | 64 |
| <b>3.7 Вибір операційного підсилювача</b> .....                       | 65 |
| <b>3.8 Вибір фотодетектора</b> .....                                  | 66 |
| <b>3.9 Вибір інфрачервоного світлодіоду</b> .....                     | 66 |
| <b>Висновки до розділу III</b> .....                                  | 67 |
| <b>РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ</b> .....                      | 69 |
| <b>4.1. Опис ідеї проєкту технології</b> .....                        | 69 |
| <b>4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту</b> ..... | 77 |
| <b>4.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту</b> .....              | 87 |
| <b>4.4. Організація реалізації стартап-проєкту</b> .....              | 94 |
| <b>Висновки до розділу IV</b> .....                                   | 96 |
| <b>ВИСНОВОК</b> .....   | 98 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....                               | 99 |



## ВСТУП

Сучасні технології займають провідне місце у сфері охорони здоров'я, сприяючи впровадженню інноваційних рішень для моніторингу фізіологічного стану людини. Зростання кількості хронічних захворювань, потреба у своєчасній діагностиці та контролі за станом пацієнтів викликають необхідність розробки ефективних систем моніторингу. Такі системи повинні забезпечувати точне вимірювання фізіологічних показників, зокрема пульсу, сатурації кисню, температури тіла, артеріального тиску, рівня глюкози та електрокардіограми (ЕКГ), з можливістю віддаленого збору, передачі, зберігання та аналізу даних.

Одним із ключових викликів у розробці таких систем є забезпечення точності та надійності вимірювань в умовах впливу шумів і зовнішніх перешкод, а також гарантування безпеки зберігання та передачі даних. Інтеграція цих систем із сучасними медичними інформаційними платформами відкриває нові можливості для дистанційного контролю за станом пацієнтів, особливо у разі складних медичних станів або в умовах обмеженого доступу до медичних установ.

Метою магістерської роботи є розробка апаратно-програмного комплексу для моніторингу фізіологічного стану людини, який дозволить віддалено реєструвати та аналізувати ключові показники здоров'я. У роботі висвітлено актуальні методи моніторингу фізіологічних параметрів, досліджено питання захисту даних та інтеграції з сучасними мережевими та медичними технологіями.

Значущість дослідження полягає у підвищенні доступності медичного моніторингу, зменшенні навантаження на медичні заклади та покращенні якості діагностики завдяки віддаленому збору й аналізу даних. Запропонована система може бути використана для моніторингу стану здоров'я пацієнтів із хронічними захворюваннями, під час реабілітації або для забезпечення контролю за станом осіб із груп ризику.

Таким чином, робота спрямована на вирішення практичних завдань у сфері дистанційного медичного моніторингу, відповідаючи на сучасні потреби суспільства у забезпеченні доступної та якісної медичної допомоги.

# РОЗДІЛ І. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Аналіз сучасного стану моніторингових систем

### 1.1.1 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників пульсу

Вимірювання частоти пульсу є ключовим інструментом у діагностиці стану серцево-судинної системи. Для точного визначення частоти серцевих скорочень (ЧСС) застосовують різні методи, які можна умовно поділити на контактні та безконтактні. Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження залежно від умов використання.

Контактні методи базуються на фізичному контакті пристрою з тілом пацієнта. Найпростішим із таких методів є **пальпація**. Цей підхід дозволяє швидко оцінити пульс шляхом натискання пальцями на артерії, такі як променева або сонна. Хоча пальпація не потребує спеціального обладнання, її результати залежать від навичок того, хто проводить вимірювання. Це робить метод зручним у польових умовах, але суб'єктивність та неможливість тривалого моніторингу обмежують його застосування в сучасних медичних системах.

**Електрокардіографія (ЕКГ)** вважається «золотим стандартом» для вимірювання пульсу, оскільки дозволяє отримати високоточні дані про частоту серцевих скорочень та виявити порушення ритму серця. Завдяки фіксації електричної активності серця цей метод широко використовується як у стаціонарних, так і у переносних пристроях. Проте його застосування потребує спеціального обладнання, такого як електроди та апарати для запису сигналів, що ускладнює використання в побутових умовах.

Ще одним популярним контактним методом є **фотоплетизмографія (ФПГ)**, яка базується на вимірюванні змін у кровонаповненні судин через аналіз світлових сигналів. Цей метод активно інтегрується у носимі пристрої, такі як фітнес-браслети та смартгодинники. Його зручність і можливість постійного моніторингу роблять ФПГ ідеальним для щоденного використання. Проте метод може бути чутливим до

рухів, потовиділення чи змін зовнішнього освітлення, що впливає на його точність порівняно з ЕКГ [1].

Безконтактні методи є перспективним напрямком завдяки можливості дистанційного використання. Наприклад, **інфрачервоні камери** дозволяють вимірювати пульс, аналізуючи теплові сигнали, спричинені серцевими скороченнями. Такий підхід зручний для моніторингу пацієнтів із пошкодженнями шкіри або в умовах, коли прямий контакт небажаний, наприклад, під час пандемій. Однак висока вартість обладнання та менша точність порівняно з контактними методами обмежують його широке застосування.

Іншим безконтактним підходом є використання звичайних камер для аналізу змін кольору шкіри, спричинених пульсацією крові. Цей метод має перевагу у доступності, оскільки може бути реалізований на смартфонах. Водночас його точність залежить від умов освітлення та фізичних особливостей пацієнта, що робить цей підхід менш універсальним.

### **1.1.2 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників сатурації**

Сатурація крові — це показник, що відображає рівень насичення гемоглобіну киснем, і є одним із критично важливих параметрів при оцінці стану дихальної системи та кисневого обміну в організмі [2]. У клінічній практиці для вимірювання сатурації використовують кілька методів, кожен із яких має свої переваги та обмеження. Основними є пульсоксиметрія, газоаналіз крові та сучасні безконтактні методи.

**Пульсоксиметрія** — це найбільш поширений і неінвазивний метод вимірювання сатурації. Він базується на оцінці світлопоглинання гемоглобіном у капілярній крові під час проходження світлового пучка через тканини. Датчики пульсоксиметрів зазвичай працюють у червоному та інфрачервоному спектрах і встановлюються на палець, вухо або інші периферичні частини тіла.

Цей метод є зручним і простим у використанні, оскільки не потребує проколювання шкіри чи спеціальних навичок. Сучасні пульсоксиметри інтегруються в носимі пристрої, що дозволяє забезпечувати постійний моніторинг у реальному

часі. Проте їхня точність може знижуватися у випадках порушеного кровообігу, гіпотермії або низького рівня гемоглобіну. До того ж, пульсоксиметрія чутлива до рухів пацієнта, а зовнішнє освітлення може створювати інтерференції.

Інвазивний метод визначення сатурації передбачає **газоаналіз артеріальної крові**. Цей підхід базується на заборі зразка крові та його аналізі за допомогою спеціального обладнання, що визначає парціальний тиск кисню ( $P_{aO_2}$ ) і розраховує рівень насичення гемоглобіну киснем. Газоаналіз вважається золотим стандартом у визначенні сатурації, оскільки забезпечує високу точність і дозволяє оцінити кисневий статус у складних клінічних випадках.

Цей метод є незамінним у відділеннях інтенсивної терапії, операційних та у пацієнтів із тяжкими респіраторними порушеннями. Проте його використання вимагає спеціалізованого обладнання, навченої медичної команди та є інвазивним, що робить його менш підходящим для тривалого моніторингу. Крім того, процедура може викликати дискомфорт у пацієнта через необхідність забору крові.

### **Сучасні безконтактні методи**

Новітні підходи до визначення сатурації розвиваються у напрямку безконтактних методів. Один із них базується на аналізі спектроскопічних характеристик шкіри та слизових оболонок [3]. Такі системи використовують камери високої роздільної здатності та алгоритми машинного навчання для оцінки насичення гемоглобіну киснем.

Безконтактні методи є перспективними для використання в умовах пандемій або для пацієнтів із важкими травмами, коли фізичний контакт обмежений. Проте вони потребують значних фінансових ресурсів для впровадження, а також складного калібрування. Крім того, їхня точність наразі поступається іншим методам через вплив факторів, таких як освітлення та колір шкіри пацієнта.

### **1.1.3 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників температури тіла**

Температура тіла є важливим фізіологічним показником, який дозволяє оцінити стан організму, виявити запальні процеси або порушення терморегуляції. У сучасній медицині використовуються різні методи вимірювання температури тіла, кожен із

яких має свої переваги, недоліки та специфічні сфери застосування. Їх можна поділити на контактні та безконтактні.

### **Контактні методи вимірювання температури**

Контактні методи вимірювання передбачають безпосередній контакт датчика із поверхнею шкіри або слизової оболонки. Ці методи традиційно є найбільш поширеними через їхню простоту та доступність.

**Ртутні термометри** є одним із найстаріших способів вимірювання температури тіла. Принцип їх роботи базується на термічному розширенні ртуті у скляній трубці. Цей метод забезпечує високу точність і є стандартом для калібрування інших термометрів. Ртутні термометри часто використовуються для вимірювання температури в пахвовій западині, рідше — у ротовій порожнині чи ректально.

Проте їх недоліками є тривалий час вимірювання (до 10 хвилин), крихкість конструкції та екологічна небезпека у випадку розбиття термометра через токсичність ртуті. У багатьох країнах використання ртутних термометрів заборонене або обмежене, що знижує їх актуальність у сучасній практиці.

**Електронні термометри** працюють на основі термісторів або термопар, які фіксують зміну опору залежно від температури. Вони забезпечують точність, порівнянну з ртутними термометрами, але при цьому є значно безпечнішими й швидшими — час вимірювання зазвичай не перевищує 1-2 хвилин.

Електронні термометри можуть використовуватися для вимірювання температури в різних ділянках тіла: пахвовій западині, ротовій порожнині, вушному каналі або ректально. Основними перевагами є їхня зручність у використанні, безпека для дітей та можливість повторного застосування після дезінфекції. Водночас електронні термометри чутливі до механічних пошкоджень і можуть потребувати періодичного калібрування для збереження точності.

**Інфрачервоні контактні термометри** вимірюють інфрачервоне випромінювання, яке виходить від тіла. Для цього вони використовують чутливий сенсор, що встановлюється у вушний канал або спрямовується на лобову ділянку. Їх головною перевагою є швидкість вимірювання, що не перевищує кількох секунд.

Такий підхід зручний для вимірювання температури у дітей і пацієнтів, які перебувають у тяжкому стані, оскільки зводить до мінімуму дискомфорт. Однак точність може залежати від правильного розташування датчика, наявності забруднень у вушному каналі чи поту на лобі.

### **Безконтактні методи вимірювання температури**

Безконтактні методи вимірювання температури базуються на аналізі інфрачервоного випромінювання від поверхні тіла або слизових оболонок без фізичного контакту із пацієнтом. Ці методи набули популярності у зв'язку з пандемією COVID-19, оскільки дозволяють мінімізувати ризик передачі інфекцій.

Принцип роботи **безконтактних інфрачервоних термометрів** аналогічний до контактних, але вони здійснюють вимірювання на відстані кількох сантиметрів від тіла пацієнта. Вони зручні для швидкого масового скринінгу, наприклад, у громадських місцях або лікарнях.

Перевагами цього методу є зручність, гігієнічність та швидкість вимірювання. Водночас точність результатів може залежати від зовнішніх умов, таких як температура навколишнього середовища, рух повітря або пітливість шкіри пацієнта. Для коректного використання потрібна ретельна калібрування та дотримання інструкцій.

**Тепловізори** дозволяють отримати теплове зображення поверхні тіла і виміряти температуру в багатьох точках одночасно. Цей метод використовується для масового скринінгу, наприклад, у зонах перетину кордону або на великих підприємствах.

Перевагами тепловізорів є швидкість обробки даних і можливість дистанційного вимірювання, що особливо важливо у випадках контролю інфекцій. Однак тепловізори є дорогими і потребують спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу результатів. Крім того, їх точність обмежена впливом навколишнього середовища та індивідуальними фізіологічними особливостями пацієнта.

**Радіометричні пристрої** вимірюють теплове випромінювання у мікрохвильовому діапазоні. Цей метод є експериментальним, але демонструє перспективи для безконтактного моніторингу температури. Основною перевагою є

висока чутливість до змін температури навіть на глибоких шарах тканин [4]. Проте технологія потребує подальшого вдосконалення для клінічного застосування.

#### **1.1.4 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників ЕКГ**

Електрокардіографія є основним методом діагностики роботи серця, що дозволяє дослідити його електричну активність, ритм і провідність. Різноманітність методів реєстрації ЕКГ дозволяє забезпечити точність і гнучкість у виборі пристрою залежно від клінічних потреб. Цей розділ розглядає основні методи реєстрації ЕКГ, їх принципи роботи, переваги, недоліки та сфери застосування.

##### **Прямий контактний метод вимірювання ЕКГ**

**Стаціонарні 12-канальні електрокардіографи** є основними інструментами для діагностики серцево-судинних захворювань у медичних закладах. Вони дозволяють отримати високоточні електричні сигнали, що відображають активність серця на різних етапах його роботи. У класичному 12-канальному ЕКГ використовується 10 електродів, які розміщуються на певних точках на тілі пацієнта, що дозволяє отримати запис електричної активності серця з різних куточків організму. Це дозволяє лікарям отримати всебічну картину функціонування серцево-судинної системи, що допомагає в діагностиці різноманітних серцевих порушень.

Основною перевагою 12-канального електрокардіографа є можливість одночасного запису електричних сигналів з дванадцяти різних напрямків, що дає змогу отримати більш точну інформацію про серцевий ритм, структуру міокарда та його електричну активність [5]. Такий пристрій дозволяє виявити не тільки порушення ритму серця, але й змінити внутрішньосерцеву провідність, ознаки інфаркту міокарда, ішемії, кардіоміопатії та інших серцево-судинних захворювань.

Стаціонарні 12-канальні ЕКГ зазвичай використовуються в клініках, лікарнях та спеціалізованих медичних установах, де потрібна висока точність і комплексний аналіз даних. Такі пристрої працюють за допомогою аналізу електричних імпульсів, які генеруються серцем під час його скорочень. Вимірювання проводиться за допомогою електродів, що фіксуються на грудях, руках і ногах пацієнта. Запис, який отримується в результаті вимірювання, є комплексним набором кривих, що відображають електричні потенціали, які виникають при збудженні серцевого м'яза.

Процес проведення ЕКГ є безболісним і швидким. Після того, як електроди підключені до пацієнта, запис починається автоматично. Дані можуть бути збережені в цифровому вигляді для подальшого аналізу, що дозволяє лікарям порівнювати результати з попередніми вимірюваннями або проводити більш детальний аналіз, наприклад, на виявлення змін у сегментах або інтервалах, що можуть бути ознаками захворювань.

**Холтерівський моніторинг серця** є методом безперервної електрокардіографії, який дозволяє записувати електричну активність серця протягом тривалого часу — від 24 до 72 годин, а іноді навіть довше. Цей метод отримав свою назву від американського кардіолога Ноя Холтера, який у 1961 році вперше запропонував використання портативного електрокардіографа для тривалого моніторингу серцевого ритму. Сьогодні холтерівський моніторинг є стандартом в кардіології для діагностики різноманітних серцево-судинних захворювань.

Холтерівський моніторинг полягає в безперервному записі електричної активності серця з використанням портативного електрокардіографа. Апарат складається з кількох електродів, які кріпляться до грудної клітки пацієнта, а також компактного записувального пристрою, що реєструє сигнал. Ці пристрої зазвичай дуже малі та легкі, що дозволяє пацієнту продовжувати свою повсякденну діяльність під час моніторингу.

У процесі холтерівського моніторингу записується електрокардіографічний сигнал, який зберігається в пам'яті пристрою. Пацієнт не відчуває дискомфорту, проте йому рекомендується уникати надмірних фізичних навантажень та виконувати запис певних подій, таких як біль в грудях або запаморочення, щоб допомогти лікарю при аналізі результатів.

**Стрес-тестування, або тредміл-тест**, є важливим інструментом для діагностики серцево-судинних захворювань, зокрема для виявлення ішемії міокарда, порушень серцевого ритму та оцінки загальної функціональності серцево-судинної системи під час фізичного навантаження. Тредміл-тест проводиться з використанням спеціального обладнання — тредміла (бігової доріжки) або велоергометра, і дозволяє оцінити реакцію серця на фізичне навантаження. Це дослідження є важливим для



визначення працездатності серцево-судинної системи пацієнта, а також для встановлення діагнозу при підозрі на коронарну хворобу серця.

Тредміл-тест включає в себе поступове збільшення фізичного навантаження, яке виконується пацієнтом під наглядом лікаря або медичної сестри. Під час виконання тесту пацієнт ходить або бігає на біговій доріжці (третміл), при цьому інтенсивність навантаження поступово зростає. Паралельно з навантаженням проводиться моніторинг електричної активності серця за допомогою електрокардіографа, а також вимірюються артеріальний тиск і інші фізіологічні показники.

Стандартний протокол тесту включає кілька етапів, під час яких третміл або велоергометр збільшується у швидкості або нахилі, що дозволяє створити поступове навантаження на серце. Тривалість кожного етапу, як правило, складає 3-5 хвилин. Тест триває до того часу, поки пацієнт не досягне певної фізичної межі або не з'являться ознаки непереносимості навантаження

### **Безконтактні методи вимірювання ЕКГ**

Безконтактні методи вимірювання ЕКГ стають дедалі популярнішими завдяки розвитку технологій. Вони дозволяють реєструвати електричну активність серця без фізичного контакту із шкірою або з мінімальним використанням датчиків.

**Оптична фотоплетизмографія** є неінвазивним методом моніторингу фізіологічних показників, який широко використовується для оцінки роботи серця, зокрема для вимірювання пульсу, насичення крові киснем (сатурації) і інших кардіоваскулярних параметрів. Метод базується на вимірюванні змін в об'ємі крові в судинах через зміни інтенсивності світла, що проходить через тканини [6]. Завдяки своїй простоті, низьким витратам та зручності у використанні, ФПГ набув широкого застосування у медицині, особливо в носимих пристроях, таких як пульсометри, фітнес-трекери та пристрої для моніторингу стану пацієнтів.

Фотоплетизмографія базується на принципі змін у поглинанні або відбитті світла від кровоносних судин. В основі методу лежить взаємодія світла з біологічними тканинами, зокрема з шкірою та кров'ю. Коли світло (зазвичай в інфрачервоному або червоному діапазоні) проходить через шкіру, його поглинання змінюється в залежності від того, скільки крові є в капілярах або судинах на момент вимірювання.

У фазу систоли, коли серце виштовхує кров до артерій, об'єм крові в судинах збільшується, що змінює кількість світла, яке поглинається. У діастолу об'єм крові зменшується, і відповідно змінюється поглинання світла. Ці циклічні зміни дають можливість визначити пульс і інші фізіологічні параметри.

**Ємнісні датчики** — це тип сенсорів, які використовуються для вимірювання змін ємності між двома електродами, що залежить від фізичних характеристик об'єкта або середовища, яке знаходиться між ними. У контексті моніторингу роботи серця ємнісні датчики можуть використовуватися для вимірювання пульсу, змін у розмірах грудної клітки або навіть для створення електрокардіографічних сигналів.

Використання ємнісних датчиків для моніторингу серцевої діяльності є новим і перспективним напрямком, який активно досліджується, зокрема у галузі носимих медичних пристроїв та технологій дистанційного моніторингу.

Ємнісні датчики засновані на зміні ємності між двома проводами або пластинами, які утворюють конденсатор. Коли між ними змінюється відстань або електричні властивості середовища, що розташоване між ними, змінюється і ємність конденсатора. У контексті моніторингу серця, змінний об'єм грудної клітки під час серцевих скорочень може бути використаний для вимірювання пульсу, або, за допомогою певних адаптацій, для реєстрації електричних сигналів серця.

**Ультразвукові методи моніторингу роботи серця** є одними з найефективніших та широко використовуваних у сучасній кардіології для дослідження серцево-судинної системи. Вони дозволяють отримати детальну інформацію про структуру та функцію серця, без шкоди для пацієнта, оскільки не використовують іонізуюче випромінювання. Ці методи ґрунтуються на використанні високочастотних звукових хвиль, які здатні проникати через тканини організму і відбиватися від різних структур серця.

Ультразвукове дослідження серця використовує звукові хвилі, що генеруються датчиком (трансдюсером). Коли ці хвилі проходять через тканини організму, частина з них відбивається від різних структур серця, таких як стінки камер, клапани, шлуночки та судини. Відбиті хвилі повертаються до датчика, де їх аналізує комп'ютер. Ці сигнали перетворюються в зображення, що дозволяє лікарю оцінити

анатомію серця, його рухливість, об'єм крові, що перекачується, а також виявити будь-які порушення функціонування серцево-судинної системи.

Зростання популярності **носимих пристроїв**, таких як смарт-годинники, що забезпечують реєстрацію одноканальної ЕКГ, робить моніторинг серця більш доступним. Ці пристрої дозволяють пацієнтам отримувати базову інформацію про ритм серця у реальному часі та своєчасно звертатись до лікаря при виявленні порушень.

Основними перевагами носимих пристроїв є їх портативність, легкість використання та можливість інтеграції з мобільними додатками для аналізу даних. Недоліком є обмежена точність у порівнянні з багатоканальними методами, а також залежність від якості апаратного забезпечення.

### **1.1.5 Порівняльна характеристика методів вимірювання показників артеріального тиску**

Артеріальний тиск є одним із ключових показників, що характеризують функціонування кровоносної системи. Його рівень залежить від об'єму крові, яку серце перекачує за одиницю часу, та опору судин. Розрізняють два види артеріального тиску: систолічний і діастолічний. Систолічний тиск відображає тиск у артеріях під час скорочення серцевого м'яза, коли кров виштовхується в артерії. Діастолічний, або мінімальний, тиск показує рівень тиску під час розслаблення серця.

Нормальне значення артеріального тиску для здорової людини зазвичай становить 120/80 мм рт. ст. (систолічний/діастолічний), де різниця між цими показниками, яка називається пульсовим тиском, варіюється від 30 до 60 мм рт. ст. Вимірювання артеріального тиску є важливою процедурою для контролю здоров'я, і для цього застосовуються різні методи.

Одним із найбільш поширених методів вимірювання артеріального тиску є аускультативний метод, розроблений Н.С. Коротковим у 1905 році. Цей метод досі залишається одним з найбільш надійних для визначення АТ. Пристрій для вимірювання цього виду, що називається сфігмоманометр або тонометр, складається з пневматичної манжети, груші для накачування повітря, клапана для регулювання тиску і манометра, який може бути як ртутним, так і стрілочним або електронним. Для

прослуховування використовують стетоскоп або фонендоскоп, розташовуючи чутливу голівку біля нижнього краю манжети над плечовою артерією без значного тиску на шкіру.

Систолічний артеріальний тиск (САТ) визначається при появі першої фази тонів Короткова під час зниження тиску в манжеті, а діастолічний (ДАТ) – коли ці тони зникають. Класифікація тонів Короткова включає п'ять фаз: поява тонів, їх ослаблення (до зникнення, що іноді супроводжується компресійними шумами), посилення тонів, різке ослаблення та повне припинення (хоча п'ята фаза може бути відсутньою при явищі "нескінченного тону").

Цей метод визнаний стандартним для неінвазивного вимірювання АТ. Він може дещо занижувати значення САТ і завищувати ДАТ порівняно з інвазивними методами, але має важливі переваги, такі як висока точність при порушеннях серцевого ритму або рухах руки під час вимірювання. Однак цей метод також має недоліки. Він чутливий до шумів у приміщенні, тертя манжети об одяг і вимагає точного розташування стетоскопа над артерією. Точність знижується при низькій інтенсивності тонів, явищі "аускультативного провалу" або "нескінченного тону". Похибка вимірювань може коливатися від 7 до 14 мм рт. ст.

Ще одним методом є пальпаторний метод вимірювання артеріального тиску, який був запропонований італійським лікарем Рівою Роччі в 1896 році. Цей метод полягає у поступовому зниженні тиску в манжеті до моменту, коли пульс відновлюється після того, як він був тимчасово припинений під впливом високого тиску. Систолічний артеріальний тиск визначається у той момент, коли пульс знову стає відчутним на артерії. Діастолічний тиск визначається при зменшенні наповнення пульсу або, в окремих випадках, при виникненні "хибного" прискорення пульсу, що отримало назву *pulsus celer*. Цей метод дає можливість оцінити рівень тиску без використання складних приладів і залишається важливим для ситуацій, де точний вимір, заснований на інших методах, може бути ускладнений. Пальпаторний метод, хоча і менш точний у порівнянні з іншими, такими як осцилометричний або аускультативний, може бути корисним при екстрених ситуаціях, коли інші методи не доступні або неможливі.

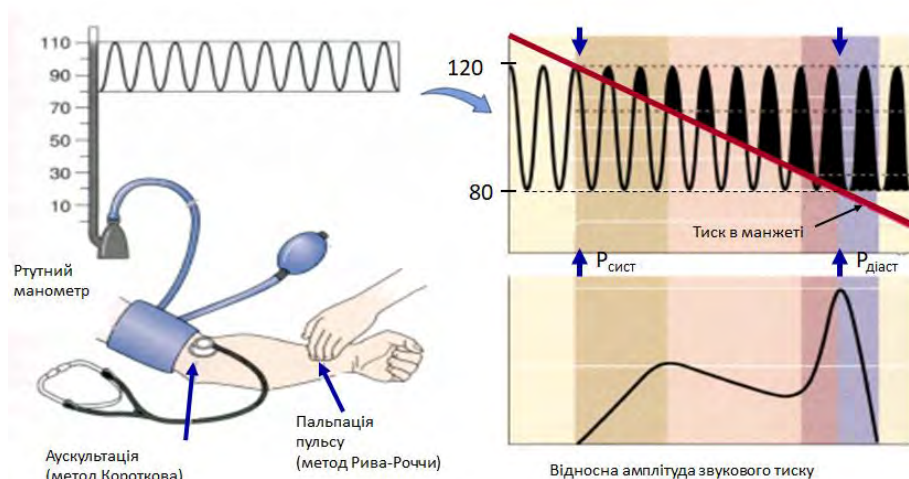


Рисунок 1.1 - Ілюстрація аскультативного та пальпаторного методів

Осцилометричний метод, заснований на оригінальній осцилометричній методиці, розробленій Етьєном Марсєм у 1876 році, передбачає використання водного плетизмографа для створення регульованого тиску навколо кінцівки та реєстрації пульсацій об'єму, що виникають через пульсове кровонаповнення артерій. Проаналізувавши залежність амплітуди пульсацій від здавлюючого тиску, Марсєй запропонував критерії оцінки артеріального тиску (АТ).

Сучасний осцилометричний метод передбачає поетапне зниження тиску в манжеті, де на кожному етапі аналізується амплітуда пульсацій тиску, викликаних пульсовими коливаннями артерій. Систолічний артеріальний тиск (САТ) визначається при різкому збільшенні пульсацій, максимальна амплітуда відповідає середньому АТ, а їх різке зменшення — діастолічному АТ (ДАТ).

Осцилометричний метод є основою для 80% автоматичних і напівавтоматичних пристроїв вимірювання артеріального тиску. Серед переваг методу — висока стійкість до шумів і переміщення манжети, можливість вимірювань через тонкий одяг, а також ефективність у випадках "аскультативного провалу" чи слабких тонів Короткова.

Важливою особливістю осцилометричного методу є його здатність працювати навіть у випадках з низькою інтенсивністю тонів або їх відсутністю, що робить його більш універсальним у порівнянні з традиційним аскультативним методом.

Метод дозволяє оцінювати тиск не лише на плечовій і підколінній артеріях, а й на інших артеріях кінцівок. Це сприяло створенню портативних приладів, які можна закріплювати на плечі чи зап'ясті, що спростило вимірювання АТ в амбулаторних

умовах і під час подорожей. Крім того, осцилометричний метод мінімізує вплив людського фактору, зменшуючи похибку вимірювання (рисунок 1.2).

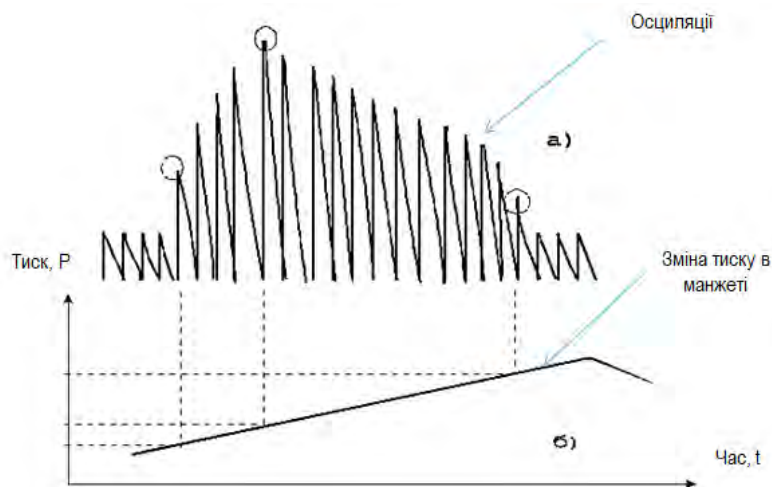


Рисунок 1.2 - Осцилометричний спосіб вимірювання АТ

**Інвазивний метод вимірювання артеріального тиску** є найбільш точним і надійним способом отримання показників артеріального тиску, який використовується в медичних умовах, зокрема під час хірургічних операцій або в реанімаційних відділеннях. Цей метод включає безпосереднє введення катетера або спеціального датчика в артерію пацієнта для прямого вимірювання тиску всередині судини. Інвазивне вимірювання забезпечує постійну і точну реєстрацію артеріального тиску, що особливо важливо у випадках, коли необхідно здійснювати моніторинг стану пацієнта в режимі реального часу або в критичних ситуаціях.

Інвазивний метод передбачає введення катетера, зазвичай через артерію на зап'ясті, стегно або інші великі судини, що дозволяє безпосередньо вимірювати тиск на стінки артерії. Цей катетер з'єднаний з манометром або електронним датчиком, який постійно моніторить рівень тиску в реальному часі. Тиск у судині передається через катетер до приладу, який вимірює і показує його в цифровому або графічному вигляді.

Сучасні технології сприяли появі нових методів вимірювання АТ, таких як фотоплетизмографія та аплантаційна тонометрія.

**Фотоплетизмографія** є безконтактним, неінвазивним методом вимірювання фізіологічних показників, що базується на вимірюванні змін поглинання світла тканинами людського організму, яке залежить від пульсації крові в судинах. Цей

метод широко застосовується для оцінки пульсу, сатурації кисню ( $SpO_2$ ), а також у дослідженнях, пов'язаних з кровообігом. Власне, фотоплетизмографія використовує світлові датчики для реєстрації змін у кров'яному потоці, що дозволяє проводити моніторинг і аналіз різних фізіологічних параметрів [7].

Принцип роботи фотоплетизмографії полягає в тому, що світло, яке випромінюється джерелом (наприклад, світлодіодом), проникає в тканини (найчастіше в шкіру), де частина світла поглинається кров'ю, а інша частина відбивається і повертається до фотодетектора. Оскільки кількість крові в капілярах змінюється з кожним серцевим ударом, відповідно змінюється й поглинання світла. Ці коливання в поглинанні світла реєструються датчиком і обробляються для визначення пульсу, рівня сатурації або інших фізіологічних показників.

Існують різні варіанти фотоплетизмографії, серед яких найбільш популярні — це використання одно- або двоканальних систем, що дають змогу оцінювати різні аспекти кровообігу, залежно від вимірюваних параметрів.

**Аплантаційна тонометрія** - метод вимірювання тиску, який застосовується для оцінки внутрішньоочного тиску або артеріального тиску за принципом визначення сили, необхідної для сплюснення певної ділянки тканини. У контексті вимірювання артеріального тиску аплантаційна тонометрія використовується для оцінки пульсової хвилі та еластичності судин, часто у великих артеріях, таких як сонна артерія або променева артерія.

Цей метод заснований на законі Гука та принципах механіки тканин. Прилад прикладає контрольовану силу до поверхні судини через датчик, при цьому вимірюється зміна форми або компресія тканини. Інтенсивність цієї сили, а також площа контакту між приладом і шкірою дозволяють отримати значення тиску. Результати аналізуються для оцінки характеристик пульсової хвилі, яка є показником функціонального стану судин та їх еластичності.

**Носимі пристрої для вимірювання артеріального тиску** представляють собою зручні й компактні інструменти, які дозволяють людям моніторити свій кров'яний тиск в реальному часі, без необхідності використовувати громіздкі медичні прилади. Вони особливо корисні для пацієнтів з гіпертонією, хворобами серця та для тих, хто

хоче контролювати своє здоров'я на щоденній основі. Завдяки технологічному прогресу, багато з цих пристроїв мають можливість інтегруватися з мобільними телефонами або іншими пристроями для зберігання, аналізу та моніторингу даних.

### 1.1.6 Спектральні властивості біологічних тканин і рідин при вимірюванні рівня глюкози в крові

Для проведення більшості терапевтичних та діагностичних заходів необхідно враховувати спектральні властивості біологічних тканин. Це дозволяє вибрати оптичне волокно, яке відповідає критеріям пропускання, необхідним для реєстрації біологічних процесів у певному діапазоні довжин хвиль [8].

Взаємодія світла з біологічними тканинами та рідинами є складним процесом через оптичну неоднорідність цих середовищ. Компоненти тканин мають різні показники заломлення, що викликає розсіювання, відбиття та поглинання світла. Ефективний показник заломлення біологічних тканин може змінюватися поступово або різко на межах між різними компонентами. Світло може проникати в тканину на кілька сантиметрів, але сильне розсіювання часто ускладнює отримання чіткого зображення аномалій [8]. Поглинання світла також відіграє важливу роль у визначенні глибини його проникнення в біологічний матеріал. На рис. 1.3 зображені коефіцієнти поглинання для основних компонентів тканин, таких як вода, кров, меланосоми, епідерміс і судини, у діапазоні довжин хвиль від 190 нм (ультрафіолет) до 10 мкм (інфрачервоний) [8].

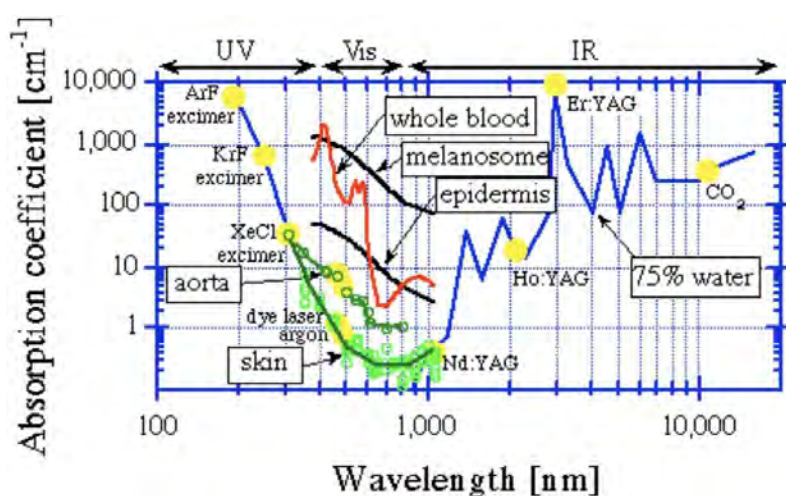


Рисунок 1.3 - Властивості поглинання основних біологічних тканин і рідин [8]



Оптичні властивості тканин, наприклад, гіподерми, залежать від вмісту меланіну. Як видно на рис. 1.4, більшість тканин мають низький коефіцієнт поглинання в спектральному діапазоні від 600 до 1500 нм (від помаранчевої зони видимого спектра до ближнього інфрачервоного) [9].

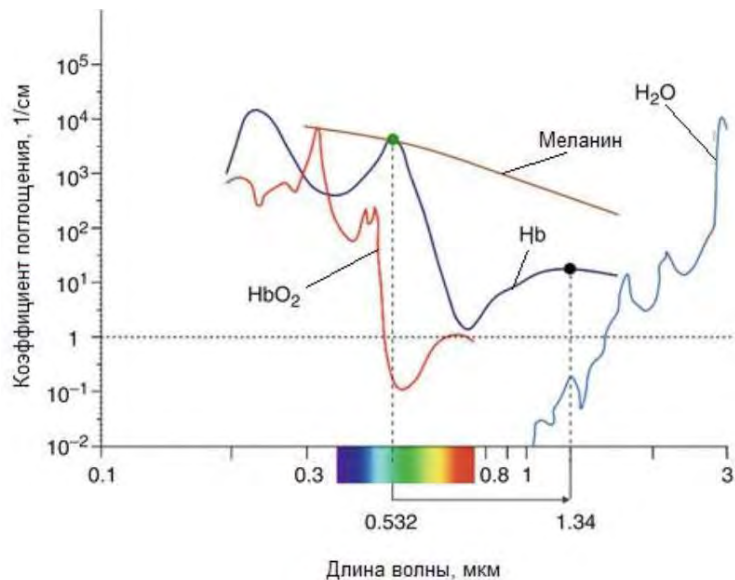


Рисунок 1.4 - Спектри поглинання світлової енергії основними хромофорами шкіри

Водні тканини (включно з кров'ю) характеризуються низьким поглинанням у цьому діапазоні через властивості пігментів, таких як меланін і гемоглобін. Глибина проникнення світла для різних довжин хвиль показана на рис. 1.5, де також демонструються світлорозсіювальні властивості крові, які змінюються залежно від фізіологічних процесів [10].

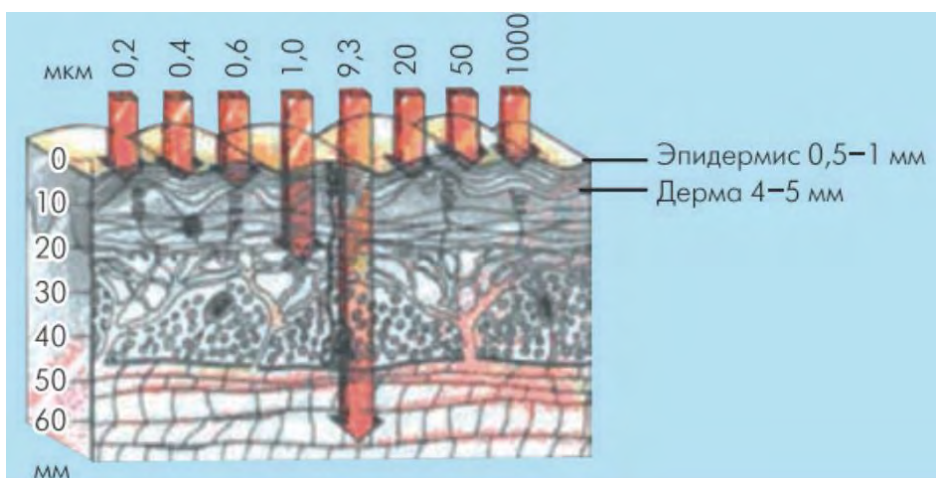


Рисунок 1.5 - Структура шкіри і глибина проникнення світлового випромінювання на різних довжин хвиль

Частина оптичного випромінювання, що взаємодіє з поверхнею тіла, може відбиватися, розсіюватися, поглинатися або проникати через різні шари тканин. На рис. 1.6 представлено коефіцієнт відбиття випромінювання для слабопигментованої та пигментованої шкіри. Наприклад, слабопигментована шкіра може відбивати 43–55% світла, причому у чоловіків ці значення на 5–7% нижчі, ніж у жінок [11].

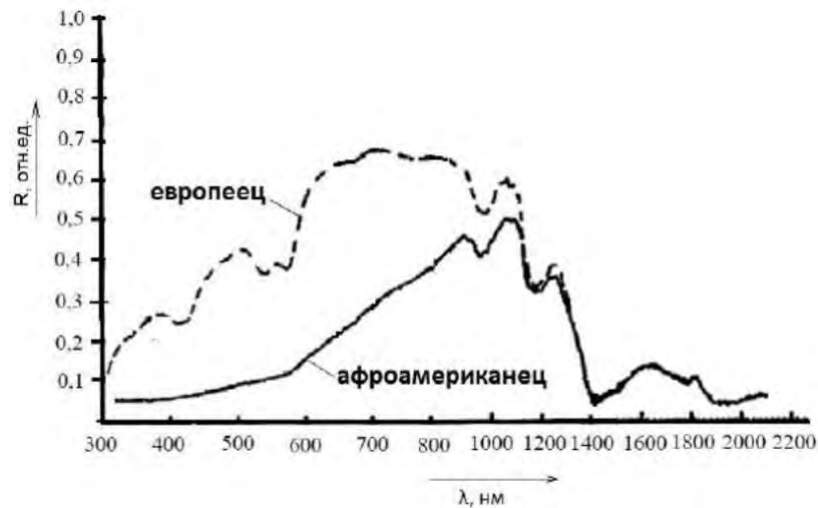


Рисунок 1.6 - Відносні коефіцієнти відображення шкіри європейця і афроамериканця

Що стосується крові, вона складається з плазми (55–60%) і формених елементів (40–45%), таких як еритроцити, лейкоцити та тромбоцити. Структуру складу крові показано на рис. 1.7 [12].

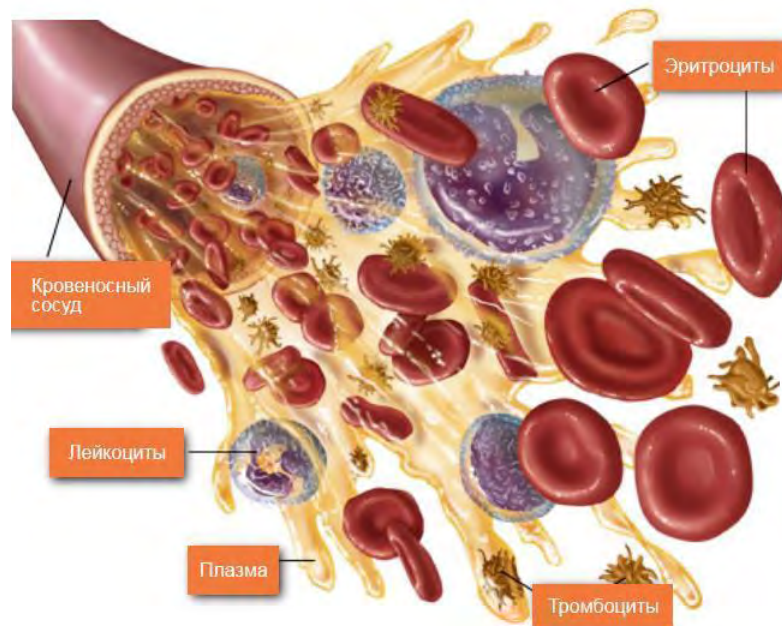


Рисунок 1.7 - Структура складу крові

Основну функцію еритроцитів – транспорт кисню та вуглекислого газу – забезпечує гемоглобін. Його структура, яка включає глобін і залізовмісний гем, зображена на рис. 1.8.

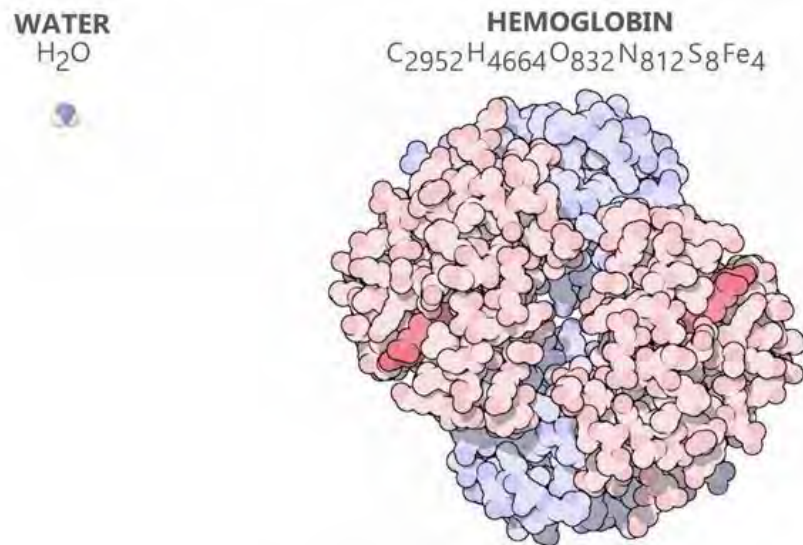


Рисунок 1.8 - Будова молекули води і молекули гемоглобіну

Гемоглобін існує у фізіологічних (оксигемоглобін, дезоксигемоглобін, карбоксигемоглобін) і патологічних формах (карбгемоглобін, метгемоглобін). На рис. 1.9 показано спектри поглинання різних форм гемоглобіну, включаючи оксигемоглобін, дезоксигемоглобін, метгемоглобін і сульфгемоглобін [13].

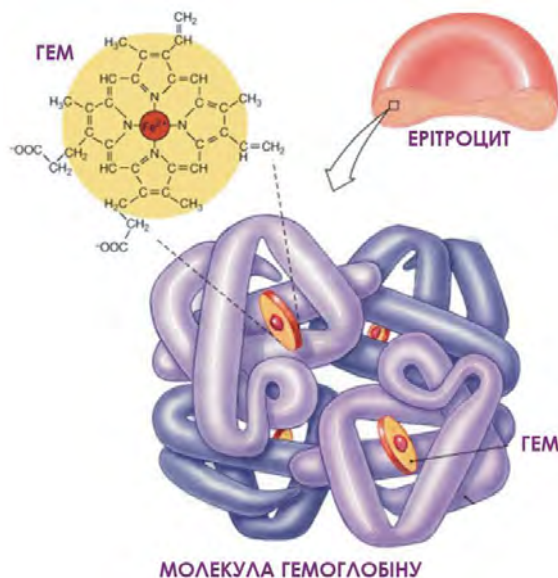


Рисунок 1.9 - Структура молекулі гемоглобіну [14]

Світлове поглинання залежить від концентрації гемоглобіну: з підвищенням концентрації збільшується поглинання, а при зменшенні об'єму крові зростає

інтенсивність виявленого світла. Ці параметри дозволяють визначити концентрацію гемоглобіну за модифікованим законом Бера-Ламберта.

## 1.2 Аналіз протоколів передачі даних

**Локальна передача даних між** сенсорами та контролером є ключовим компонентом будь-якої системи моніторингу, включаючи медичні пристрої. Цей процес передбачає обмін інформацією між сенсорами, які збирають дані про фізіологічні параметри, і контролером, який здійснює їх обробку, аналіз і передачу до користувача або зовнішніх систем.

Передача даних між сенсорами та контролером є критичним компонентом сучасних систем моніторингу. Існує кілька ключових технологій, які забезпечують ефективний обмін інформацією залежно від вимог до швидкості, точності та енергоспоживання.

Однією з найпоширеніших провідних технологій є **I2C (Inter-Integrated Circuit)**. Це інтерфейс, який використовує лише дві лінії: одну для передачі даних (SDA) і одну для синхронізації (SCL). Він дозволяє підключати кілька сенсорів до одного контролера, забезпечуючи адресацію кожного пристрою в мережі. I2C є зручним для систем із невеликою кількістю компонентів, оскільки зменшує кількість з'єднань. Однак він має обмежену швидкість передачі, що може стати недоліком у високопродуктивних системах.

Іншим популярним інтерфейсом є **SPI (Serial Peripheral Interface)**, який забезпечує високу швидкість передачі даних. Ця технологія використовує окремі лінії для даних і синхронізації, що дозволяє уникнути затримок. SPI підходить для передачі великих обсягів даних, наприклад, з високошвидкісних сенсорів. Проте його недоліком є більша кількість ліній підключення, що ускладнює монтаж у компактних пристроях.

**UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)** є асинхронним інтерфейсом, який часто використовується для обміну даними між контролером і периферійними пристроями. Він простий у реалізації, оскільки не вимагає лінії синхронізації. UART підходить для систем із невисокими вимогами до швидкості

передачі даних. Однак через його асинхронну природу можуть виникати затримки при передачі великих обсягів інформації.

Бездротові технології передачі також знаходять широке застосування. **Bluetooth Low Energy (BLE)** є одним із найпопулярніших стандартів для носимих пристроїв. Він забезпечує ефективну передачу даних на невеликі відстані, зазвичай до 10 метрів, і споживає мінімум енергії. Це робить BLE ідеальним вибором для автономних пристроїв, таких як фітнес-трекери або медичні сенсори. Обмеження BLE полягають у невеликій дальності та обмеженій пропускній здатності.

**Wi-Fi** є іншою бездротовою технологією, яка забезпечує високу швидкість передачі даних на більших відстанях. Ця технологія часто використовується для підключення пристроїв до локальних мереж або хмарних сервісів. Однак Wi-Fi споживає значно більше енергії, що обмежує його використання в пристроях із живленням від батарей.

Для передачі даних на коротких відстанях може використовуватися **NFC (Near Field Communication)**. Ця технологія є енергоефективною та ідеально підходить для контактних з'єднань, наприклад, у портативних медичних пристроях для передачі даних до смартфонів або планшетів. Обмеження NFC полягають у дуже невеликій дальності передачі, зазвичай до декількох сантиметрів.

### **1.2.1 Особливості передачі даних**

Передача даних у системах моніторингу фізіологічних параметрів має низку особливостей, які визначають її ефективність, надійність та відповідність поставленим завданням. До основних аспектів відносяться точність і швидкість обміну, енергоефективність, захищеність даних, а також сумісність компонентів системи.

**Точність і швидкість обміну** є критично важливими для передачі даних у реальному часі, особливо в медичних системах. Наприклад, у моніторингу ЕКГ або артеріального тиску затримка передачі може вплинути на діагностику або швидкість реагування на критичні зміни стану пацієнта. Вибір протоколу передачі залежить від обсягу даних і частоти їх оновлення. Наприклад, I2C забезпечує достатню швидкість

для низькошвидкісних сенсорів, тоді як SPI або BLE можуть бути кращими для високопродуктивних систем.

**Енергоефективність** є важливим аспектом для пристроїв, що працюють від батарей, особливо носимих медичних сенсорів. Бездротові протоколи, такі як Bluetooth Low Energy, розроблені для мінімізації енергоспоживання, що дозволяє тривалу автономну роботу пристроїв. Водночас більш енерговитратні технології, як Wi-Fi, підходять для стаціонарних систем або пристроїв із зовнішнім живленням.

**Захищеність даних** є обов'язковою умовою для медичних систем, оскільки вони працюють із конфіденційною інформацією про стан здоров'я пацієнтів. Методи шифрування даних, автентифікація пристроїв та захист від несанкціонованого доступу допомагають запобігти витоку інформації або втручанню у функціонування системи. Це особливо актуально для бездротової передачі, де ризик перехоплення даних вищий.

**Сумісність компонентів** є ще однією особливістю передачі даних. Сенсори, контролери та комунікаційні модулі повинні підтримувати спільні стандарти інтерфейсів, такі як I2C, UART або BLE. Важливо також враховувати особливості апаратної реалізації, наприклад, рівні напруги сигналів або частотні обмеження.

Таким чином, організація передачі даних у системах моніторингу потребує збалансованого підходу, який враховує всі зазначені аспекти, забезпечуючи ефективний обмін інформацією між компонентами системи.

### **1.2.2 Інтеграція сенсорів та контролера**

**Інтеграція сенсорів та контролера** є ключовим етапом розробки систем моніторингу, що забезпечує коректний збір, обробку та передачу даних. Цей процес включає вибір сенсорів, їхнє фізичне підключення до контролера, налаштування інтерфейсів передачі даних і програмну інтеграцію.

На першому етапі вибираються сенсори, які відповідають вимогам системи, зокрема точності, швидкості вимірювань і енергоспоживання. Наприклад, для моніторингу пульсу використовуються фотоплетизмографічні датчики, а для вимірювання температури – термістори або інфрачервоні сенсори. Сенсори повинні

бути сумісними з технічними характеристиками контролера, включаючи типи інтерфейсів та рівні напруги.

Фізичне підключення сенсорів до контролера реалізується через відповідні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART або аналогові входи. Провідні інтерфейси, як-от I2C та SPI, дозволяють підключати кілька сенсорів до одного контролера, використовуючи спільні лінії даних і синхронізації. Аналогові сенсори передають сигнал у вигляді напруги, який контролер зчитує через вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП). У разі використання сенсорів із низьким вихідним сигналом можуть бути додатково встановлені підсилювачі, щоб забезпечити точність вимірювання.

Інтеграція бездротових сенсорів вимагає наявності в контролері відповідного комунікаційного модуля, наприклад, для Bluetooth або Wi-Fi. У цьому випадку сенсори і контролер обмінюються даними через бездротову мережу, що мінімізує кількість проводів і підвищує мобільність системи.

Програмна інтеграція включає написання коду для взаємодії з сенсорами через відповідні драйвери та бібліотеки. Програмне забезпечення обробляє отримані дані, виконує їхню валідацію та передає на наступні етапи обробки чи зберігання. Наприклад, зчитування даних із сенсорів через I2C може здійснюватися через бібліотеки HAL (Hardware Abstraction Layer) або CMSIS для STM32.

Особливу увагу приділяють калібруванню сенсорів, щоб забезпечити точність вимірювань. Калібрування може проводитися апаратно, шляхом налаштування електронних компонентів, або програмно, через корекцію даних на основі відомих еталонних значень.

Важливим аспектом інтеграції є управління енергоспоживанням. Сенсори та контролер повинні мати режими низького енергоспоживання для забезпечення тривалої автономної роботи. Наприклад, можна використовувати функцію «сон» для сенсорів, які не потребують постійного моніторингу.

Таким чином, інтеграція сенсорів та контролера є багатокомпонентним процесом, який охоплює вибір, фізичне підключення, налаштування передачі даних і



програмне забезпечення. Успішна реалізація цієї інтеграції забезпечує точність і надійність роботи всієї системи моніторингу.

### 1.2.3 Протоколи передачі даних через сервер

**Вибір протоколів передачі даних через сервер** є важливим етапом проектування систем моніторингу, оскільки від цього залежить швидкість, надійність і енергоефективність обміну інформацією. Найбільш поширеними технологіями для передачі даних у таких системах є Wi-Fi у поєднанні з протоколами вищого рівня, такими як MQTT та HTTP.

**MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)** – це легкий мережевий протокол, оптимізований для передачі даних у реальному часі в умовах обмежених ресурсів. Його було розроблено для систем із низькою пропускну здатністю, високими затримками або нестабільним з'єднанням, що робить його ідеальним вибором для IoT-пристроїв, сенсорних мереж і систем моніторингу.

Основна концепція MQTT базується на моделі публікації/підписки (publish/subscribe), яка відрізняється від традиційної клієнт-серверної архітектури. У цій моделі пристрої, що публікують дані (публішери), і ті, що отримують їх (підписники), взаємодіють через проміжний сервер – **брокер MQTT**. Брокер відповідає за отримання повідомлень від публішерів, їх фільтрацію, збереження та передачу відповідним підписникам. Ця структура забезпечує гнучкість, оскільки публішери та підписники не потребують прямого з'єднання між собою.

Однією з ключових переваг MQTT є його компактність. Повідомлення, передані через MQTT, мають невеликий розмір, що мінімізує навантаження на мережу. Це особливо корисно для пристроїв з обмеженими ресурсами, таких як сенсори чи носимі пристрої. MQTT також дозволяє вибирати рівні якості обслуговування (QoS), які визначають, наскільки гарантовано повідомлення буде доставлено:

- **QoS 0 (At most once):** повідомлення надсилається лише раз, без підтвердження доставки.

- **QoS 1 (At least once):** повідомлення доставляється щонайменше один раз, що може призвести до дублювання.



- **QoS 2 (Exactly once)**: повідомлення доставляється точно один раз, що гарантує найвищу надійність, але додає накладні витрати.

MQTT підтримує механізм постійних з'єднань між пристроями та брокером, що дозволяє миттєво передавати дані. Це також дає можливість використовувати функцію **retained messages**, коли брокер зберігає останнє повідомлення на тему і передає його новим підписникам одразу після їх підключення.

Для забезпечення безпеки MQTT використовує механізми автентифікації через логіни та паролі, а також шифрування даних за допомогою TLS. Це важливо для передачі конфіденційних даних, таких як медичні показники.

Завдяки своїй універсальності MQTT підходить для різних сфер: від автоматизації будинків і промислових систем до медичних пристроїв і транспортних систем. Його ефективність у використанні ресурсів і здатність працювати в умовах нестабільних мереж роблять його одним із найпопулярніших протоколів для IoT і систем моніторингу.

**HTTP (Hypertext Transfer Protocol)** – це основний протокол для передачі даних в Інтернеті, який визначає, як клієнт і сервер взаємодіють для обміну інформацією. Він широко використовується для передачі різноманітних ресурсів, таких як вебсторінки, зображення, відео та інші типи контенту. HTTP працює за принципом клієнт-серверної архітектури, де клієнт ініціює запит, а сервер на нього відповідає. Протокол є безплатним і відкритим, що робить його універсальним і простим для впровадження в різні застосування.

Однією з ключових особливостей HTTP є те, що він є **безстанним**, тобто кожен запит є незалежним від попереднього. Сервер не зберігає інформацію про попередні запити клієнта, що робить кожен запит обробленим як окрему одиницю. Протокол підтримує різні типи запитів, зокрема GET, POST, PUT і DELETE. Запит GET використовується для отримання ресурсів, таких як вебсторінки чи зображення, POST дозволяє відправляти дані на сервер (наприклад, заповнені форми), PUT призначений для оновлення існуючих ресурсів, а DELETE використовується для видалення ресурсів з сервера.

HTTP також працює через заголовки (headers), які містять метадані про запит чи відповідь, наприклад, тип вмісту або мови. Залежно від версії, HTTP підтримує додаткові функціональні можливості для оптимізації передачі даних. Наприклад, в HTTP/1.1 реалізована підтримка постійних з'єднань, що дозволяє виконувати кілька запитів через одне з'єднання, що зменшує затримки при великій кількості запитів.

Нова версія HTTP/2 оптимізує швидкість завантаження сторінок завдяки мультиплексуванню запитів і стисненню заголовків. HTTP/3 використовує протокол QUIC, що додатково знижує затримки та забезпечує кращу безпеку за допомогою шифрування всіх з'єднань.

У системах моніторингу фізіологічних показників, таких як пульс, температура або сатурація, HTTP використовується для передачі даних від пристроїв до серверів. Пристрої можуть надсилати дані на сервер, де вони зберігаються для подальшого аналізу. Користувачі, зокрема лікарі або пацієнти, можуть отримувати ці дані через веб-інтерфейси або мобільні додатки. Однак HTTP не завжди є оптимальним протоколом для таких систем, якщо потрібно забезпечити передачу даних у реальному часі. Його модель запит-відповідь може створювати затримки, які неприємні для застосувань, де важлива миттєва реакція на зміни фізіологічних показників.

В таких випадках можуть використовуватися альтернативні протоколи, такі як MQTT або CoAP, які спрощують передачу повідомлень і дозволяють знизити затримки. Проте HTTP залишається одним із найбільш універсальних протоколів і є зручним для широкого спектра застосувань, коли не потрібна негайна передача даних.

### **1.3 Розгляд варіантів зберігання та обробки даних**

#### **1.3.1 База даних для системи: вибір між SQL та NoSQL**

Вибір між SQL (Structured Query Language) і NoSQL (Not Only SQL) базами даних є важливим етапом при проектуванні системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Оскільки така система обробляє великі обсяги даних, які постійно змінюються та мають різну структуру, важливо правильно вибрати тип бази даних, який відповідатиме вимогам щодо продуктивності, масштабованості, доступності та надійності.

SQL бази даних, як правило, є найбільш традиційними і широко використовуваними для зберігання структурованих даних. Вони організують дані у вигляді таблиць, де встановлені чіткі зв'язки між різними об'єктами даних. У контексті системи моніторингу фізіологічних показників SQL бази можуть бути корисними, коли система працює з чітко структурованими даними, як, наприклад, пульс, температура або тиск. Оскільки ці дані мають чітко визначену форму і зберігаються в таблицях, реляційні бази даних дозволяють організувати ці дані з урахуванням міжтабличних зв'язків, що робить їх зручними для аналітики та збору інформації.

Однією з переваг SQL баз даних є те, що вони гарантують дотримання принципів ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability). Це означає, що вони забезпечують цілісність і надійність даних, що є критично важливим для медичних систем, де точність і консистентність даних мають велике значення. SQL бази також добре підходять для систем, які потребують надійної обробки запитів і аналітики в реальному часі, а також можуть легко працювати з великими обсягами даних.

Однак реляційні бази даних мають і деякі обмеження. Їх масштабування зазвичай вимагає вертикального розширення, що передбачає збільшення потужностей серверів. Це може бути менш ефективним, якщо обсяг даних швидко зростає, оскільки для обробки великих обсягів інформації потрібен постійно потужніший апаратний комплекс. Крім того, реляційні бази даних вимагають чітко визначеної схеми (структури таблиць), що може стати обмеженням у випадках, коли структура даних може змінюватися або коли дані мають різну форму, наприклад, у разі збору інформації з різних сенсорів.

На противагу SQL базам даних, NoSQL бази даних включають різні типи, зокрема документо-орієнтовані, колоно-орієнтовані та графові бази даних. NoSQL системи не потребують суворої схеми даних, що дозволяє зберігати більш гнучкі дані. Це є корисним, коли система моніторингу працює з інформацією, яка змінюється або має різні формати, наприклад, коли дані збираються з різних типів сенсорів, і структура даних може бути різною для кожного з них. NoSQL також забезпечує

високу гнучкість у роботі з даними, що робить його привабливим для систем, де структура даних змінюється або де часто додаються нові типи вимірювань.

Одна з головних переваг NoSQL баз даних — це їхня масштабованість. Вони легше піддаються горизонтальному масштабуванню, що дозволяє системі обробляти великі обсяги даних, додаючи нові сервери без значних витрат на апаратне забезпечення. Це особливо важливо для систем, які працюють з великим потоком даних у реальному часі, наприклад, при вимірюванні різних фізіологічних показників пацієнтів у системах моніторингу.

Ще однією перевагою є висока швидкість обробки даних. NoSQL системи можуть бути оптимізовані для роботи з великими обсягами даних, що дозволяє досягти високої продуктивності при обробці постійно змінюваної інформації. Це є важливим фактором, оскільки в таких системах дані постійно надходять від сенсорів і повинні бути швидко оброблені для надання користувачеві актуальної інформації.

Водночас, у NoSQL баз є свої обмеження. Одне з них — це потенційна проблема з консистентністю даних, особливо в розподілених системах. У таких базах даних може бути складніше забезпечити повну консистентність, оскільки вони можуть працювати за принципом CAP (Consistency, Availability, Partition tolerance), де консистентність може поступатися місцем доступності чи толерантності до розподілу. Це може бути важливим у випадках, коли потрібна гарантія коректності даних, як, наприклад, при зберіганні медичних записів пацієнтів.

Вибір між SQL і NoSQL базами даних залежить від кількох важливих факторів, таких як структура даних, швидкість обробки, потреби в масштабуванні та надійності. У випадку, коли система зберігає добре структуровані дані і потрібна висока точність при обробці, SQL може бути кращим вибором. Якщо ж система потребує обробки даних із різних джерел з різними структурами і необхідна масштабованість, то NoSQL може бути більш оптимальним рішенням.

Загалом, вибір бази даних для системи моніторингу фізіологічних показників людини буде залежати від специфіки вимог до зберігання і обробки даних, а також від того, яка система краще відповідатиме вимогам щодо продуктивності,

масштабованості та надійності для забезпечення ефективного функціонування системи в реальному часі.

### **1.3.2 Особливості запису даних у базу через сервер**

Запис даних у базу через сервер є критично важливим етапом для будь-якої системи, яка зберігає великі обсяги інформації, наприклад, систему моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Особливості цього процесу залежать від багатьох факторів, таких як архітектура системи, тип бази даних, вимоги до швидкості і надійності запису, а також від використовуваних технологій для передачі даних.

Однією з основних особливостей запису даних є забезпечення надійності цього процесу, що включає гарантію цілісності та консистентності даних. Для досягнення цих цілей часто використовуються різноманітні механізми збереження даних, включаючи підтвердження транзакцій, контроль за повторними записами та механізми резервного копіювання. Такі підходи дозволяють зберігати дані у базі навіть у разі несподіваних збоїв або відмови частин системи.

Під час запису даних через сервер важливим є вибір оптимального методу обробки запитів. Для більшості сучасних систем застосовуються асинхронні механізми запису, що дозволяють мінімізувати затримки і підвищити продуктивність системи. Однак це потребує складніших алгоритмів для обробки можливих конфліктів даних, таких як одночасний запис кількох користувачів або сенсорів. Це може бути вирішено за допомогою спеціальних протоколів і стратегій, як-от черги запитів, які обробляються по черзі, або використання транзакцій у базах даних.

Ще однією особливістю запису даних у базу через сервер є забезпечення безпеки. Для систем, що працюють із чутливою інформацією, наприклад, медичними даними пацієнтів, потрібно застосовувати методи шифрування, автентифікації та авторизації. Це дозволяє захистити дані від несанкціонованого доступу під час їх передачі і зберігання, а також забезпечити відповідність вимогам законодавства, таким як GDPR або HIPAA. Всі ці заходи включають налаштування захисту на різних рівнях: від безпечних з'єднань (HTTPS, VPN) до шифрування самих даних перед їх збереженням у базі.

Що стосується передачі даних на сервер, то використовуються різні протоколи і технології, залежно від типу системи і її вимог. Наприклад, у реальному часі для медичних пристроїв можуть використовуватись протоколи, що підтримують передачу даних із низькою затримкою, такі як MQTT або WebSocket. Вони дозволяють мінімізувати затримки між збором даних і їх записом у базу, що є критично важливим у системах, де потрібна оперативна реакція, наприклад, у системах моніторингу здоров'я пацієнтів.

Ще однією важливою особливістю є масштабованість запису даних. Коли система моніторингу працює з великою кількістю підключених сенсорів або користувачів, необхідно забезпечити ефективне масштабування серверів і бази даних для обробки великих обсягів даних. В такому випадку важливо використовувати технології горизонтального масштабування, як-от розподілені бази даних або сервери з балансуванням навантаження. Це дозволяє системі витримувати великі навантаження та забезпечити швидкий доступ до даних навіть за великих обсягів користувачів або сенсорних пристроїв.

Іншою важливою характеристикою є необхідність забезпечення обробки і запису даних у реальному часі. Багато медичних або сенсорних систем вимагають, щоб дані, зібрані від сенсорів, записувалися в базу з мінімальними затримками. Це є критичним для забезпечення актуальності і точності інформації, що може впливати на процес прийняття рішень, особливо у випадках, коли система моніторить життєво важливі показники здоров'я людини.

При записі даних важливим аспектом є також наявність системи журналювання (logging), яка дозволяє відстежувати кожен етап запису даних у базу. Це може бути корисним для аудитів, відновлення в разі збоїв, а також для відстеження ефективності та надійності роботи системи. Журнали допомагають виявляти та виправляти проблеми, забезпечуючи прозорість роботи системи та дозволяючи вчасно реагувати на можливі помилки.

Отже, запис даних у базу через сервер є важливим процесом, що вимагає врахування багатьох факторів, таких як надійність, безпека, масштабованість, обробка в реальному часі та можливості журналювання. Правильний вибір підходів

до цього процесу дозволяє забезпечити стабільну роботу системи моніторингу, зберігаючи при цьому високу точність і надійність даних.

## **Висновки до розділу I**

У рамках розділу було проведено огляд сучасних методів і технологій моніторингу фізіологічних параметрів людини. Дослідження показало, що інтеграція сенсорних технологій, алгоритмів обробки даних і засобів бездротової передачі інформації є важливим кроком для підвищення ефективності медичних систем.

Обґрунтовано доцільність впровадження системи моніторингу стану людини, яка дозволяє здійснювати постійний контроль таких важливих параметрів, як пульс, сатурація, температура, артеріальний тиск, рівень глюкози і електрокардіограма. Зростання кількості хронічних захворювань і потреба у швидкому реагуванні на зміни стану пацієнтів підкреслює актуальність цієї системи.

Запропоноване рішення забезпечує автоматизацію процесу збору даних, їх збереження у базах даних, а також віддалений доступ для лікарів і зацікавлених осіб. Результати аналізу підтверджують, що розробка такої системи є доцільною з точки зору покращення якості діагностики, персоналізації лікування та зниження навантаження на медичні установи.

## РОЗДІЛ II. ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Основний принцип роботи приладу здійснюється у вимірюванні ключових фізіологічних показників людини, їх обробці та передачі на сервер для подальшого аналізу. Це досягається за рахунок інтеграції сенсорів, мікроконтролеру та модулів зв'язку в єдину систему. Сенсори реєструють біосигнали, такі як пульс, сатурація ( $SpO_2$ ), температура, артеріальний тиск, рівень глюкози в крові та електрокардіограма. Всі ці показники є важливими показниками для здоров'я людини, і будь яке критичне відхилення від норми може бути показником серйозних проблем в організмі.

### 2.1 Розробка функціональної схеми

Розробка функціональної схеми є одним з найважливіших етапів у створенні системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Цей етап визначає архітектуру всієї системи та забезпечує її ефективну взаємодію з іншими компонентами. Функціональна схема визначає принципи роботи пристрою, організацію обміну даними між різними модулями та реалізацію основних операцій. Вона є основою для подальшої розробки апаратної частини, а також для створення програмного забезпечення, яке буде управляти роботою всіх компонентів.

Однією з ключових задач є побудова логіки роботи системи, яка повинна включати не тільки базові вимірювання фізіологічних параметрів, таких як пульс, сатурація, температура і рівень глюкози, а й можливість віддаленого моніторингу та передачі даних. Функціональна схема визначає порядок взаємодії між сенсорами, мікроконтролером, модулями зв'язку, блоками живлення і відображення результатів. Вона також включає визначення параметрів обробки сигналів, таких як фільтрація шумів, нормалізація даних та алгоритми для обчислення показників на основі отриманих сигналів [15].

Функціональна схема дозволяє чітко визначити зв'язки між усіма елементами системи і дає змогу забезпечити оптимальну організацію передачі даних від датчиків до серверів для подальшого аналізу. Важливим аспектом є також забезпечення зручності для кінцевого користувача, що включає створення інтерфейсів для зворотного зв'язку і надання даних лікарям та пацієнтам. Правильна розробка цієї



схеми є основою для створення ефективної, надійної та масштабованої системи моніторингу стану здоров'я людини [16]. Для реалізації запланованої системи було розроблено функціональну схему, яка зображена на рисунку 2.1.

*Надається за звернення до авторів*

Рисунок 2.1 - Функціональна схема системи

Функціональна схема системи моніторингу стану людини включає кілька основних компонентів, що забезпечують вимірювання, обробку та відображення фізіологічних показників. Кожен блок виконує окрему функцію, а взаємодія між ними забезпечує коректну роботу системи.

Джерело живлення (АКБ) забезпечує автономну роботу системи. Воно підключене до всіх ключових компонентів і модулів, забезпечує їх стабільним живленням. Між АКБ та компонентами які він живить знаходиться кнопка (on/off) яка відповідає за включення живлення всіх елементів системи моніторингу стану людини. Мікроконтролер (МК) є центральним елементом системи, що координує роботу всіх компонентів, обробляє отримані дані та взаємодіє з іншими блоками схеми, містить в собі блок керування (БК), блок обробки сигналів (БОС), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та пам'ять для збереження даних (FIFO). Кнопки керування (КК) забезпечують можливість керування пристроєм. Схема також містить датчики які відповідають за моніторинг показників стану людини. Датчик пульсу та сатурації (ДПС) фіксує частоту серцевих скорочень і рівень насиченості крові киснем. Від БК надходить сигнал на модуль ДПС він вимірює показники та передає інформацію на блок обробки сигналів, який аналізує їх та передає на БК. Модуль електрокардіограми (ЕКГ) зчитує електричну активність серця. На модуль ЕКГ надходить сигнал від БК про необхідність початку вимірювання після чого модуль починає надсилати електросигнали за електроди які були прикріплені в певних місцях на тілі людини. Модуль зчитує сигнали роботи серця та передає їх на БОС, який аналізує їх та передає в FIFO та на БК. Світлодіод (СД) служить як частина датчика для визначення рівню глюкози в крові. Світлодіод підносять до пальця людини з однієї сторони, з іншої сторони пальця встановлюється фотодетектор. Світлодіод

програмно вмикається, а в цей самий час фотодетектор (ФД) уловлює кількість світла який пройшов через тіло людини, ця інформація підсилюється неінвертуючим підсилювачем, фільтрується фільтром високих частот на частоті зрізу 1 Гц та передається на АЦП, що вбудований в МК. ДТ (датчик температури) вимірює температуру тіла людини. Після ДТ встановлено ФВЧ, який виконую функцію фільтрації низькочастотних шумів.

Блок вимірювання тиску включає в себе основні компоненти: датчики тиску для повітря та води, двокамерну манжету, насос, клапан, а також фільтри високих (ФВЧ) та низьких частот (ФНЧ). Для початку вимірювання на руку пацієнта одягається еластична двокамерна манжета, яка розташовується таким чином, щоб гідравлічна камера була між рукою пацієнта та повітряною камерою. Насос закачує повітря в манжету, створюючи високий тиск. Коли потрібний рівень тиску досягнуто, насос вмикається, і тиск поступово знижується за рахунок роботи клапана, який забезпечує контрольоване випускання повітря. Усі процеси керуються мікроконтролером (МК).

Під час стиснення руки манжетою виникають слабкі пульсації тиску, які є результатом циркуляції крові в організмі пацієнта. Сигнал з датчика тиску проходить через ФВЧ, налаштований на частоту 1 Гц, що дозволяє виділити пульсові коливання. У результаті отримується сигнал, який є графічним відображенням серцевого ритму пацієнта. Цей сигнал надходить на вхід МК, де встановлені порогові значення для визначення тонів Короткова. Систолічний артеріальний тиск (САТ) реєструється в момент появи тонів, а діастолічний (ДАТ) — у момент їх зникнення.

САТ та ДАТ визначаються шляхом осцилометричного аналізу. У процесі зниження тиску амплітуда пульсацій зростає до моменту досягнення значення середнього артеріального тиску, після чого починає знижуватися. Виміряні значення САТ і ДАТ зберігаються в пам'яті МК і можуть бути записані в базу даних для подальшого аналізу.

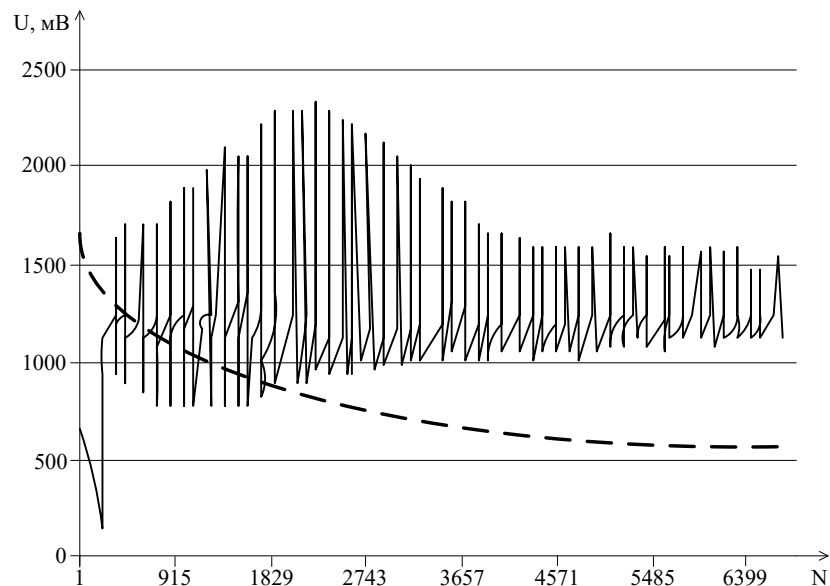


Рисунок 2.2 – Графік тиску в манжеті (пунктир) та серцевого ритму (суцільна лінія)

DC-DC перетворювач забезпечує стабільну напругу для живлення мікроконтролера, незалежно від коливань вхідної напруги. На вхід перетворювача може подаватися напруга в діапазоні від 4,5 В до 9 В. Незважаючи на ці зміни, вихідна напруга залишається постійною і становить 5 В, що забезпечує надійне живлення електронних компонентів системи.

## 2.2 Гідропневматична схема манжети вимірювання артеріального тиску

Гідропневматична схема є кількістю елементів системи, що використовуються для вимірювання артеріального тиску. Основною схемою є манжета, що складається з двох камер — повітряної та водної. Повітряна камера забезпечує створення необхідного тиску на артерію, тоді як водно служить для вловлювання пульсацій, що створюється під час деформації артерії. Додатково до схем інтегрованих клапанів, насосів та датчиків, які забезпечують стабільне регулювання тиску і точне зчитування сигналів.

Гідропневматична схема пристрою (рис. 2.3) являє собою систему, що складається з двох основних трактів: пневматичного та гідравлічного. Пневматичний тракт включає в себе двокамерну манжету (1), повітряний фільтр (2), компресор (3),

зворотний клапан (4), електромагнітний клапан (5) і датчик тиску. Гідравлічний тракт, у свою чергу, містить двокамерну манжету (1), автоматичний воздухоотвід і датчик тиску. Така конфігурація забезпечує ефективну роботу системи для вимірювання та контролю фізіологічних параметрів людини.

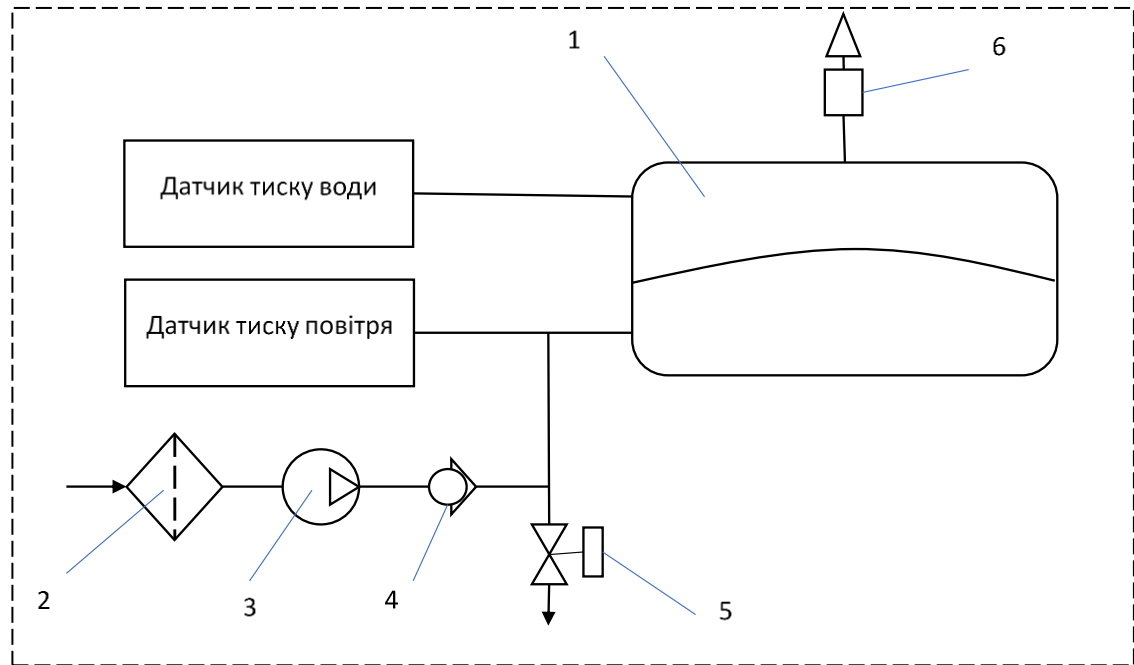


Рисунок 2.3 - Гідропневматична схема

Манжета встановлюється на передпліччя пацієнта для проведення вимірювань. Компресор (3) через повітряний фільтр (2) і зворотний клапан нагнітає повітря у повітряну камеру манжети (1), створюючи необхідний тиск у системі. Датчик тиску виконує контроль тиску в пневматичній частині системи. Завдяки рівномірно розподіленій силі від тиску в пневматичній камері виникає протилежна за напрямком, але рівна за величиною сила в гідравлічній камері, що забезпечує баланс тиску між обома камерами. Електромагнітний клапан (5) використовується для регулювання скидання повітря, забезпечуючи як швидке, так і поступове зниження тиску. Осциляції, що виникають у гідравлічній камері, фіксуються за допомогою датчика тиску води, тоді як значення тиску в манжеті визначається через датчик тиску повітря. Після аналізу зібраних даних система визначає характерні точки систолічного (САТ) та діастолічного (ДАТ) тиску.

### 2.3 Розробка алгоритму роботи системи

Блок-схеми є візуальним способом відображення програмних операцій у вигляді послідовності дій. Вони складаються з різних типів блоків, які з'єднані між собою лініями, що ілюструють логіку виконання процесу. Основними типами блоків, які використовуються у створенні блок-схем (рис. 2.4), є блоки прямокутної, ромбічної та овальної форм. Прямокутні блоки застосовуються для опису конкретних дій або операцій програми. Ромбічні блоки призначені для позначення точок прийняття рішень, де відбувається розгалуження процесу. Блоки овальної форми використовуються для позначення початку та кінця блок-схеми, зокрема всередині такого блоку розташовується назва програми або відповідна мітка завершення.

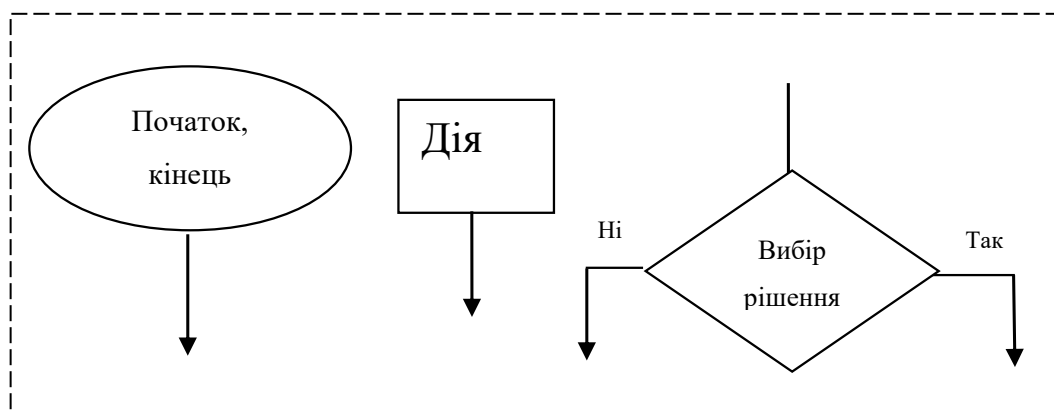


Рисунок 2.4 - Основні типи блоків

Таким чином, блок-схема алгоритму роботи вимірювальної системи представлена на рисунках 2.5 та 2.6:

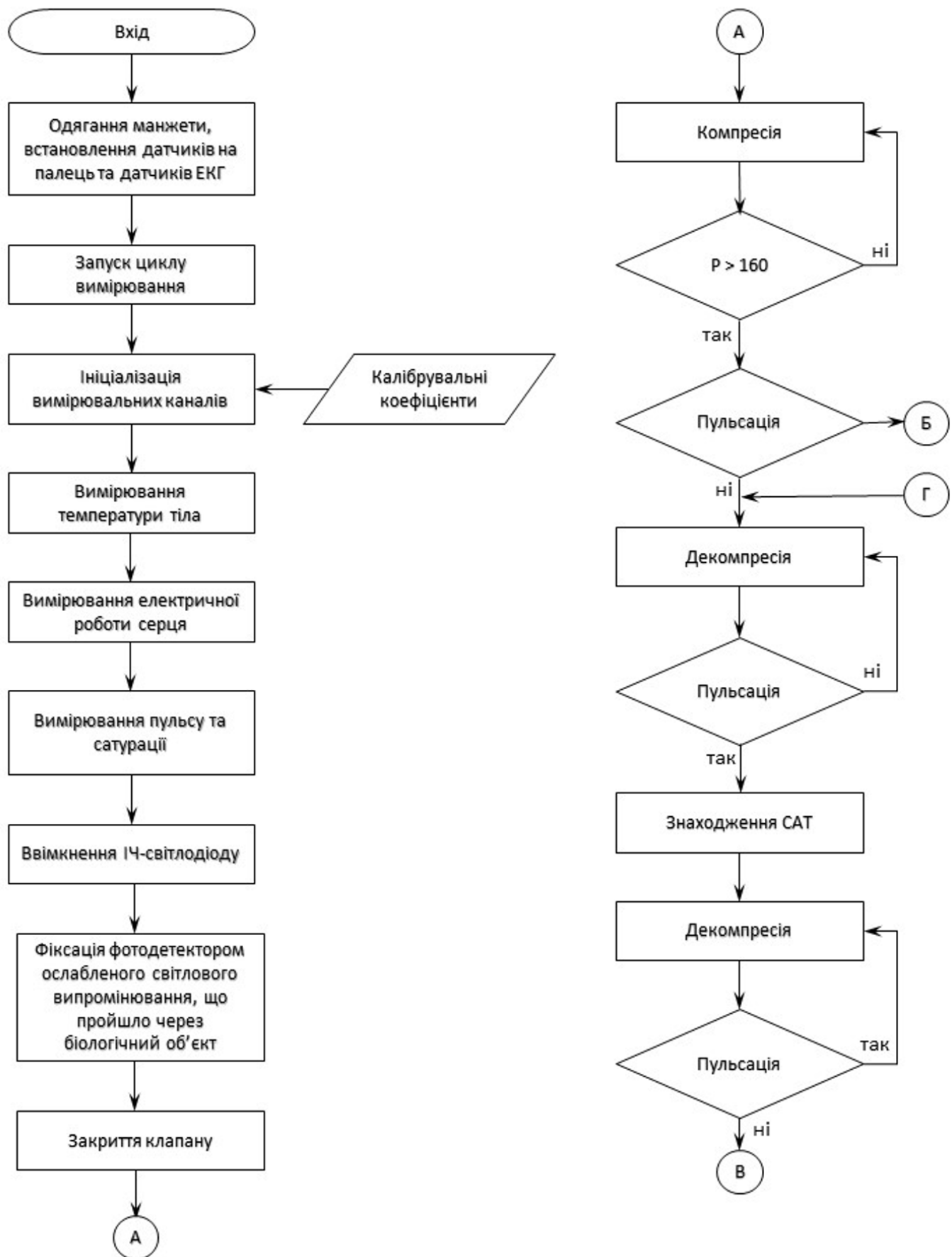


Рисунок 2.5 – Алгоритм роботи системи – Ч.1

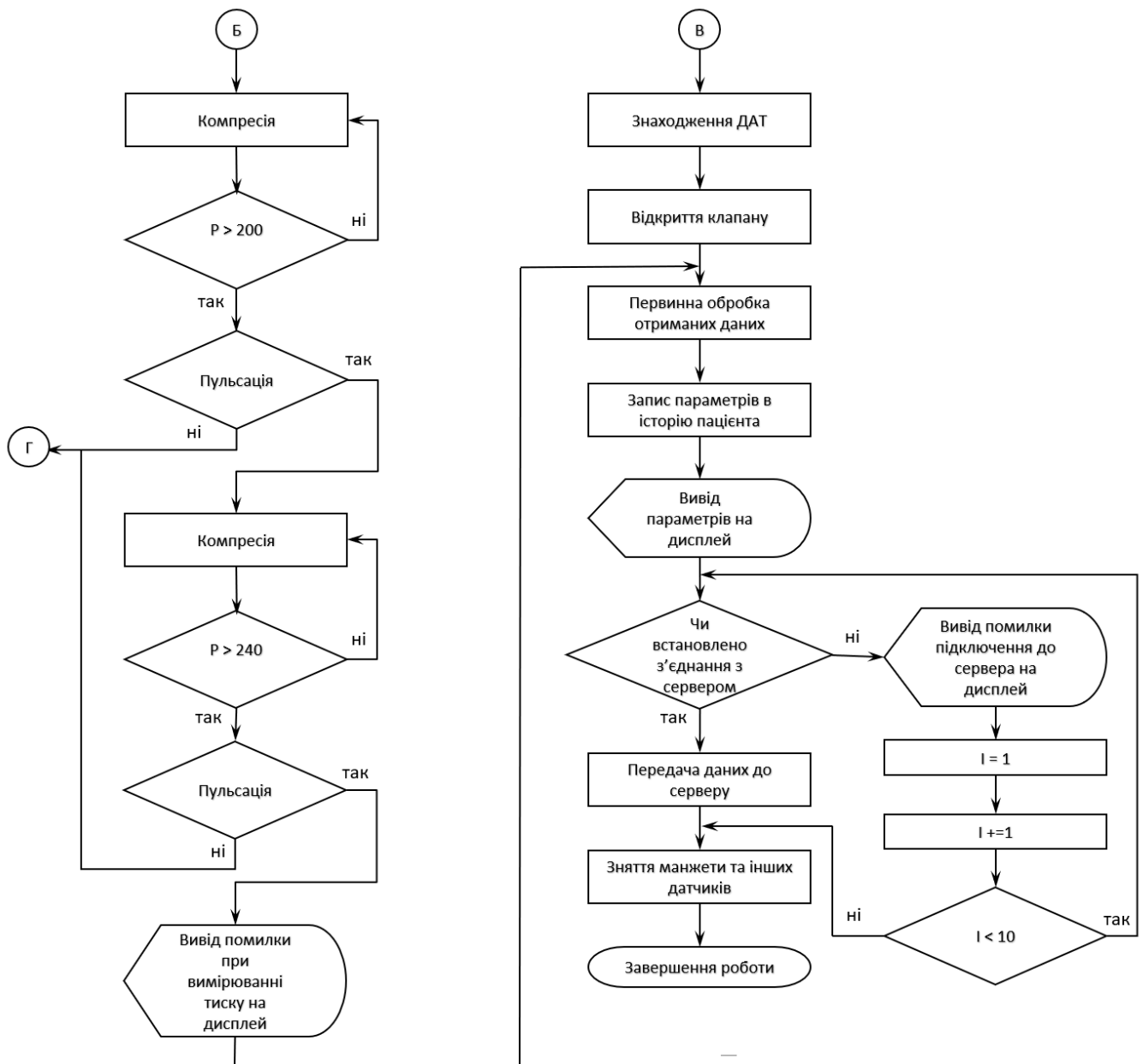


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи системи – Ч.2

В роботі прилад функціонує за визначеним алгоритмом, що забезпечує послідовне виконання всіх необхідних вимірювань. Спочатку манжета встановлюється на зап'ястя, вимірювальний пристрій розташовується на пальці, а електроди ЕКГ прикріплюються до тіла в потрібних місцях. Це дозволяє підготувати пристрій до збору даних.

Процес вимірювання починається з визначення температури тіла за допомогою відповідного сенсора. Після цього активується модуль ЕКГ, який фіксує електричну активність серця, забезпечуючи реєстрацію основних характеристик серцевого ритму.

Далі включається модуль для вимірювання пульсу та сатурації кисню ( $SpO_2$ ). На основі фотоплетизмографічного методу відбувається оцінка рівня кисню в крові та частоти серцевих скорочень.

Наступним кроком є вимірювання рівня глюкози в крові. Для цього активується інфрачервоний (ІЧ) світлодіод, випромінювання якого проходить через біологічний об'єкт. Фотодіод фіксує випромінювання, що пройшло через тканини, і передає сигнал для подальшої обробки.

Наступним етапом запускається процес вимірювання артеріального тиску. ЕМ клапан закривається шляхом подачі живлення від мікроконтролера, після чого активується компресор, який нагнітає повітря в систему до тиску  $P \geq 160$  мм рт. ст. На цьому етапі перевіряється наявність пульсацій. Якщо фіксується високий артеріальний тиск, компресор знову запускається, підвищуючи тиск до  $P \geq 200$  мм рт. ст., а за критично високого тиску — до  $P \geq 240$  мм рт. ст.. У разі, якщо при  $P \geq 240$  мм рт. ст. пульсації все ще присутні, клапан відкривається, на дисплеї з'являється повідомлення про помилку вимірювання, і система переходить до використання попередніх даних із інших модулів. Якщо пульсації відсутні до моменту досягнення тиску  $P \geq 240$  мм рт. ст., викликається програма-обробник. Вона аналізує амплітуду осциляцій, визначає середній артеріальний тиск і очікує переходу порогового рівня для реєстрації діастолічного тиску. Далі обчислюється систолічний тиск (САТ). У випадку, якщо осциляції не були виявлені одразу, компресор запускається повторно, доки тиск не досягне 200 мм рт. ст.. У разі успішної реєстрації осциляцій програма видає значення середнього АТ, ДАТ і САТ. Отримані дані зберігаються в масиві та відображаються на графічному дисплеї. Наступним етапом роботи системи іде перевірка зв'язку з сервером та передача даних на сервер. У випадку якщо з'єднання з сервером відсутнє – виводиться сповіщення про помилку при встановленні зв'язку з сервером та відбувається ще 9 спроб зв'язатися з сервером. Якщо після 9 спроби з'єднання не буде встановлено – програма завершує роботу. По закінченні вимірів потрібно зняти манжету та інші вимірювальні датчики.



## 2.4 Розрахунок та підбір елементів схеми електричної принципової

Розробка принципової електричної схеми є одним із ключових етапів проектування системи моніторингу фізіологічних параметрів людини. Основною метою цього процесу є забезпечення точності роботи пристрою, стабільності вимірювань та відповідності компонентів технічним вимогам. Процес включає визначення параметрів джерел живлення, реалізацію фільтрації сигналів і забезпечення інтеграції системи в єдину функціональну структуру.

### 2.4.1 Розрахунок фільтру високих частот

Фільтр високих частот — це пристрій або електронна схема, яка пропускає частоти, що перевищують певну частоту зрізу ( $f_c$ ), і пригнічує частоти нижчі за цей поріг. Він використовується для видалення низькочастотних шумів або дрейфу постійного струму з сигналу, залишаючи корисну високочастотну інформацію. Схема електрична фільтру високих частот зображена на рис. 2.7.

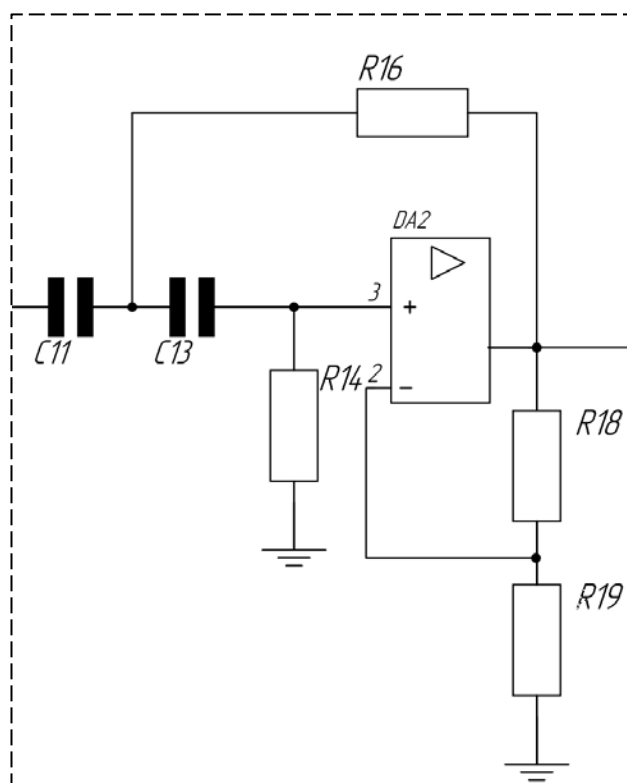


Рисунок 2.7 - Фільтр високих частот

Для фільтрації сигналу фільтром високих частот було обрано частоту зрізу 1 Гц. На основі заданої частоти зрізу буде проведено розрахунок елементів схеми.

- Частота зрізу:  $f_c = 1$  Гц

- Коефіцієнт затування (для фільтра Баттерворта):  $a = 1,414$

Для спрощення розрахунків приймаємо, що  $C = C11 = C13$ ,  $R = R14 = R16$ .

Через малий діапазон номіналів конденсаторів, на відміну від діапазону номіналів резисторів, оберемо номінали конденсатори та на базі них розрахуємо номінали резисторів.

Номінал конденсаторів:  $C11 = C13 = 10 \text{ мкФ}$ .

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 15915 \text{ Ом} = 15,91 \text{ кОм}$$

Номінал резисторів:  $R14 = R16 = 16 \text{ кОм}$ .

Нехай  $R18 = 10 \text{ кОм}$ , тоді  $R19 = R18 \cdot (2 - a) = 10000 \cdot (2 - 1,414) = 5860 \text{ Ом}$

Номінал резисторів:  $R18 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R19 = 5,9 \text{ кОм}$ .

Коефіцієнт підсилення фільтра:  $K = R19/R18 + 1 = 1,59$ .

#### 2.4.2 Розрахунок фільтру низьких частот

Фільтр низьких частот (ФНЧ) — це електронна схема або пристрій, який пропускає частоти нижчі за певну частоту зрізу ( $f_c$ ), і пригнічує частоти, вищі за цей поріг. Основною функцією ФНЧ є виділення повільно змінюваних компонентів сигналу, що особливо корисно для обробки аналогових сигналів, які часто супроводжуються високочастотним шумом. Застосування таких фільтрів поширене в аудіосистемах для зменшення шумів, а також у цифрових системах для згладжування сигналів перед їхнім аналізом [17]. ФНЧ може бути реалізований за допомогою пасивних компонентів, таких як резистори та конденсатори, або активних схем з використанням операційних підсилювачів. Ефективність роботи фільтра залежить від крутизни спаду амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) та правильно вибраних параметрів схеми.. Схема електрика фільтру низьких частот зображена на рис. 2.8.

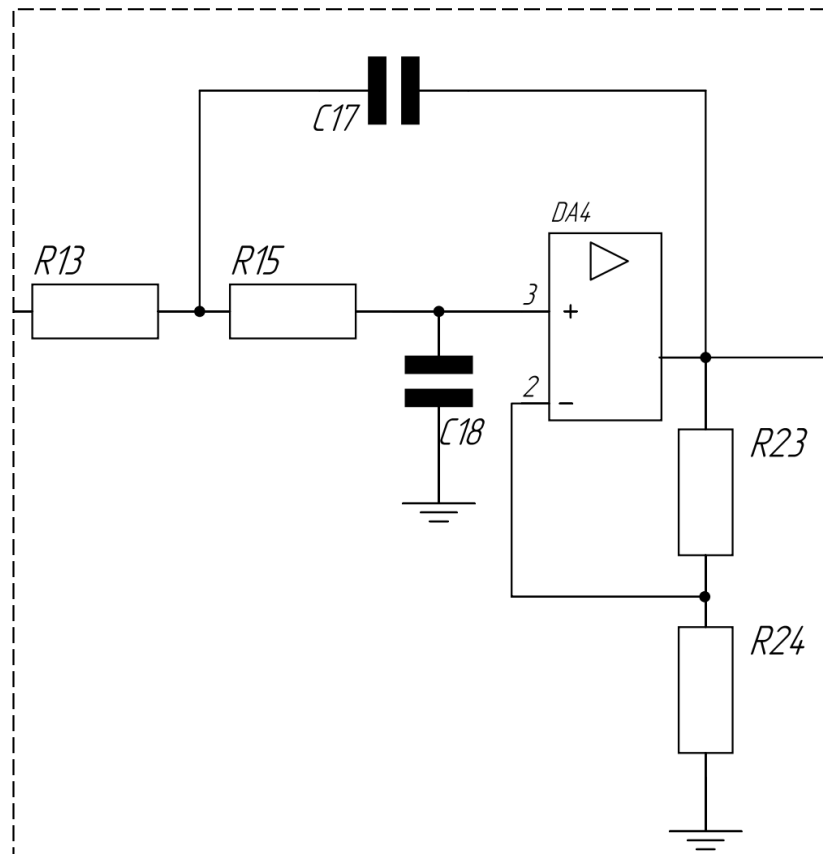


Рисунок 2.8 - Фільтр низьких частот

Для фільтрації сигналу з датчику тиску води було обрано частоту зрізу 50 Гц. На основі заданої частоти зрізу буде проведено розрахунок елементів схеми.

- Частота зрізу:  $f_c = 50$  Гц
- Коефіцієнт затухання (для фільтра Баттерворта):  $a = 1,414$

Для спрощення розрахунків приймаємо, що  $C = C17 = C18$ ,  $R = R12 = R14$ .

Через малий діапазон номіналів конденсаторів, на відміну від діапазону номіналів резисторів, оберемо номінали конденсатори та на базі них розрахуємо номінали резисторів.

Номінали конденсаторів:  $C17 = C18 = 100$  нФ.

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 31830 \text{ Ом} = 31,83 \text{ кОм}$$

Номінали резисторів:  $R13 = R15 = 32$  кОм.

Нехай  $R23 = 10$  кОм, тоді  $R24 = R23 \cdot (2 - a) = 10000 \cdot (2 - 1,414) = 5860$  Ом

Номінали резисторів:  $R23 = 10$  кОм,  $R24 = 5,9$  кОм.

Коефіцієнт підсилення фільтра:  $K = R24/R23 + 1 = 1,59$ .

### 2.4.3 Розрахунок неінвертуючого підсилювача фотодетектора

Неінвертуючий підсилювач — це конфігурація операційного підсилювача (ОУ), яка забезпечує підсилення сигналу без зміни його фази. Вихідний сигнал залишається в одній фазі з вхідним, що є важливим для багатьох систем, де потрібно зберегти початковий напрямок сигналу [17]. Схема електрична неінверційного підсилювача зображена на рис. 2.9.

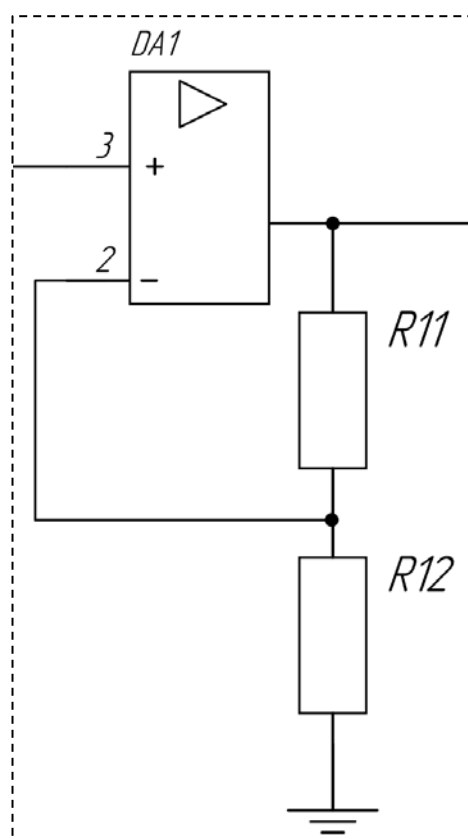


Рисунок 2.9 - Неінвертуючий підсилювач фотодетектора

Вихідна напруга фотодіода ФД-21КП не перевищує 100 мВ, тому сигнал потрібно підсилити в 30 раз (до 3 В). Тобто коефіцієнт підсилення підсилювача рівний 30. З формули знаходимо номінали опорів резисторів.

$$K = 1 + \frac{R11}{R12}$$

Опір  $R11 = 1000$  Ом, тоді:

$$R12 = \frac{R11}{K - 1} = \frac{1000}{30 - 1} = 34,5 \text{ Ом}$$

Отже, номінал резисторів:  $R11 = 1000$  Ом,  $R12 = 34$  Ом.

## 2.4.4 Розрахунок DC-перетворювача

**DC-перетворювач** (або **DC-DC перетворювач**) — це електронний пристрій, який перетворює одну постійну напругу (DC) в іншу постійну напругу, при цьому він дозволяє регулювати рівень вихідної напруги, зберігаючи постійний напрямок струму [17]. Схему підключення DC-перетворювача в режимі пониження/стабілізації напруги наведено на рис. 2.10.

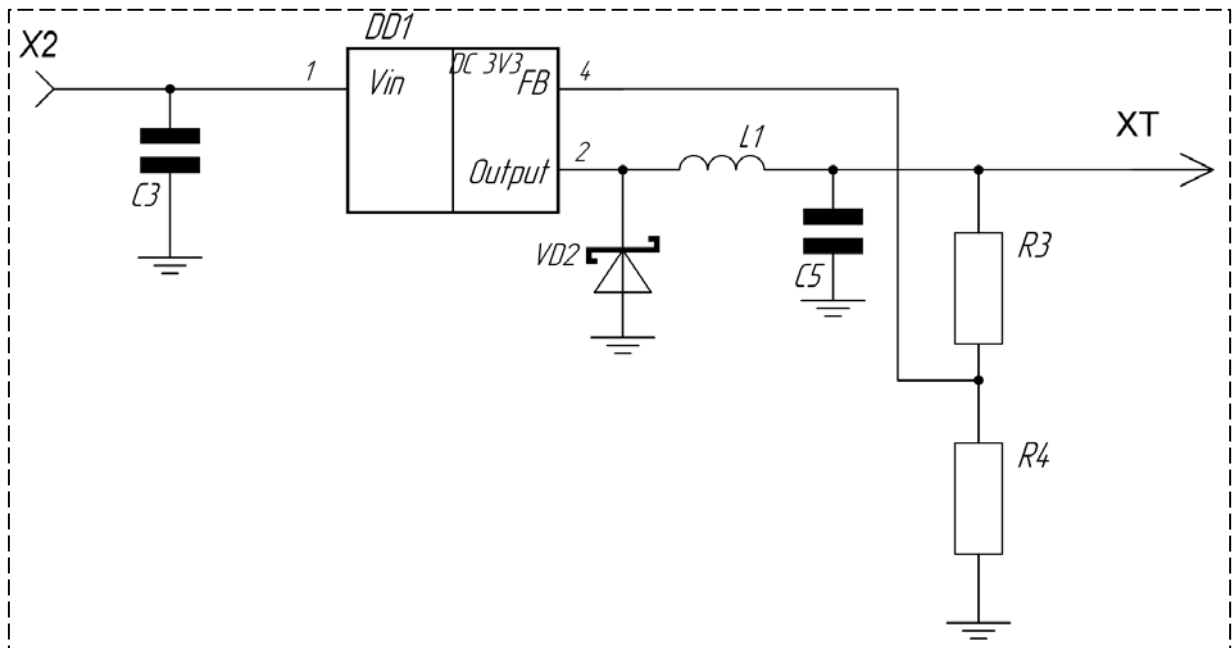


Рисунок 2.10 – Схема підключення DC-перетворювача в режимі пониження/стабілізації напруги

Розрахунок номіналів підлаштовуваних резисторів для роботи DC-DC перетворювача в режимі пониження до 3.3 В.

Виконаємо розрахунки за формулою:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R3}{R4}\right)$$

Референтна напруга  $V_{ref} = 1.23$  В (стандартна для LM2596).

Вибираємо стандартне значення для  $R4 = 1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$ , тоді:

$$R3 = 1000 \cdot \left(\frac{3,3}{1,23} - 1\right) = 1680 \text{ Ом} = 1,69 \text{ кОм}$$

Номінали резисторів:  $R4 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R3 = 1,69 \text{ кОм}$ .

Розрахунок номіналів підлаштовуваних резисторів для роботи DC-DC перетворювача в режимі стабілізації до 5 В

Вибираємо стандартне значення для  $R6 = 1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$ , тоді:

$$R5 = 1000 \cdot \left( \frac{5}{1,23} - 1 \right) = 3065 \text{ Ом} = 3,065 \text{ кОм}$$

Номінали резисторів:  $R6 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R5 = 3 \text{ кОм}$ .

Схему підключення DC-перетворювача в режимі реверсного перетворення наведено на рис. 2.11.

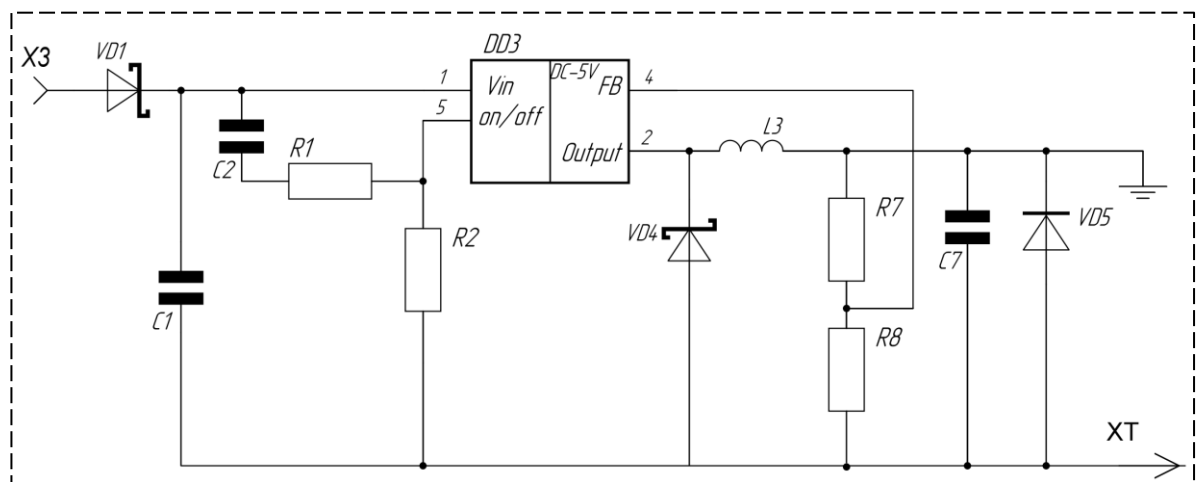


Рисунок 2.11 – Схема підключення DC-перетворювача в режимі реверсного перетворення

Розрахунок номіналів підлаштовувачих резисторів для роботи DC-DC перетворювача в режимі реверсного перетворення до -5 В

Виконаємо розрахунки за формулою:

$$V_{out} = -V_{ref} \cdot \left( 1 + \frac{R7}{R8} \right)$$

Вибираємо стандартне значення для  $R8 = 1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$ , тоді:

$$R7 = 1000 \cdot \left( \frac{-5}{-1,23} - 1 \right) = 3065 \text{ Ом} = 3,065 \text{ кОм}$$

Номінали резисторів:  $R8 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R7 = 3 \text{ кОм}$ .

## Висновки до розділу II

У розділі було детально розглянуто функціональну схему пристрою, яка включає всі необхідні елементи для здійснення вимірювань фізіологічних параметрів. Описано також гідропневматичну схему, що є важливою складовою для роботи системи, зокрема для вимірювання артеріального тиску. Під час розрахунку та

підбору елементів електричної принципової схеми були враховані вимоги до точності, стабільності та надійності роботи системи.

Особлива увага була приділена вибору правильних значень компонентів, таких як резистори, конденсатори та підлаштовувальні елементи, для досягнення бажаних параметрів роботи схем. Завдяки проведеному розрахунку було забезпечено правильне функціонування всіх блоків схеми, що підтверджує правильність обраних технічних рішень.

## РОЗДІЛ III. ПІДБІР АПАРАТНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

На основі функціональної схеми було проведено детальний аналіз та вибір електронних компонентів.

### 3.1 Вибір мікроконтролера

Було вибрано мікроконтролер STM32F103C8T6 Blue Pill (див. рис. 3.1) через його технічні характеристики, які ідеально відповідають вимогам для розробки системи моніторингу стану людини. Архітектура ARM Cortex-M3, що працює на частоті 72 МГц, забезпечує необхідну високу продуктивність для швидкої обробки даних, отриманих від датчиків, і дозволяє ефективно обробляти великі обсяги інформації в реальному часі. Висока продуктивність важлива для забезпечення швидкої реакції системи на зміни в фізіологічних показниках людини, таких як пульс, сатурація, температура та інші параметри.

Достатній обсяг пам'яті (64 КБ флеш і 20 КБ SRAM) дозволяє не тільки зберігати виміряні дані, але й виконувати алгоритми обробки сигналів, що є важливим для нормалізації результатів і їх подальшої передачі для аналізу. Завдяки цьому, плата здатна забезпечити роботу системи без втрат даних або зниження точності результатів, що особливо важливо для медичних застосувань.

Підтримка різноманітних інтерфейсів, таких як UART, I<sup>2</sup>C, SPI і USB, значно спрощує підключення датчиків, зокрема для вимірювання пульсу, температури, сатурації та інших фізіологічних параметрів, а також забезпечує зручний зв'язок з іншими пристроями, такими як мобільні телефони або медичні сервери для віддаленого моніторингу. Це відкриває можливості для інтеграції з іншими модулями і забезпечує гнучкість системи при подальшому розширенні її функцій.

Компактність мікроконтролера та низьке енергоспоживання роблять його ідеальним вибором для використання в портативних системах моніторингу. Він може бути вбудований в різні носимі пристрої або пристрої для домашнього використання, забезпечуючи високий рівень автономності та ефективне використання енергоресурсів.



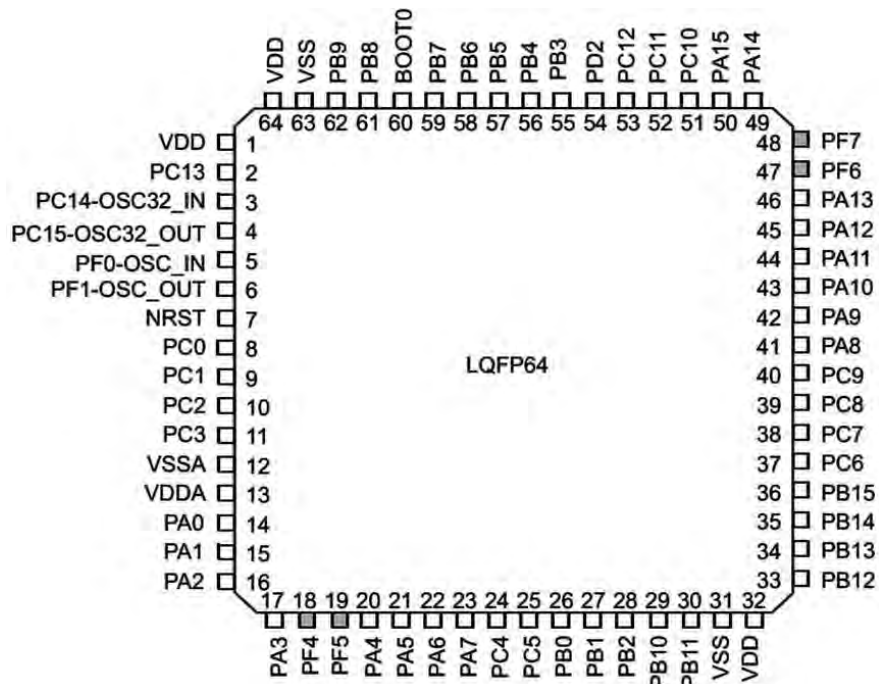


Рисунок 3.1 - Виводи мікроконтролера STM32F103C8T6

Розглянемо характеристики плати у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Характеристики мікроконтролера STM32F103C8T6

| Характеристика            | Параметр  |
|---------------------------|---|
| Мікроконтролер            | STM32F103C8T6   |
| Архітектура               | ARM Cortex-M3   |
| Тактова частота           | 72 МГц  |
| Флеш-пам'ять              | 64 КБ   |
| Оперативна пам'ять (SRAM) | 20 КБ   |
| GPIO                      | 37 пінів  |
| Аналогові входи (ADC)     | 10-канальний, 12-бітний                               |
| Інтерфейси                | UART (3), SPI (2), I2C (2), USB Full-Speed            |
| Живлення                  | 5 В (VIN, USB) або 3.3 В                              |
| Кварцові генератори       | 8 МГц (основний), 32.768 кГц (RTC)                    |
| Світлодіоди               | 2 (індикатор живлення та користувацький LED)          |
| Порти програмування       | SWD, USB DFU (Bootloader)                             |
| Роз'єми                   | 2 ряди пінів (по 20) для підключення до макетних плат |
| Підтримка периферії       | PWM, таймери, DMA                                     |
| Розміри                   | 5.3 x 2.2 см  |
| Програмне забезпечення    | STM32CubeIDE, PlatformIO                              |

### 3.2 Вибір датчику тиску

Для вимірювань був обраний датчик тиску MPXV5050GP, розроблений компанією Motorola. Його технічні характеристики дозволяють забезпечити точність і надійність у цьому типі застосувань. Основні параметри датчика наведені у таблиці 3.2, що ілюструє його відповідність вимогам системи моніторингу.

Таблиця 3.2 Технічні характеристики модуля MPXV5050GP [18]

| Параметр                              | Мін.  | Ном. | Макс. | Од.вим. |
|---------------------------------------|-------|------|-------|---------|
| Діапазон вимірювання                  | 0     | -    | 50    | кПа     |
| Напруга живлення                      | 4,75  | 5,0  | 5,25  | В       |
| Струм живлення                        | -     | 7,0  | 10    | мА      |
| Робочий температурний діапазон        | -40   | -    | 125   | °С      |
| Рівень вихідної напруги при $P_{min}$ | 0,088 | 0,2  | 0,313 | В       |
| Рівень вихідної напруги при $P_{max}$ | 4,587 | 4,7  | 4,813 | В       |
| Час реакції                           | 1     |      |       | мс      |
| Чутливість                            | 90    |      |       | мВ/кПа  |
| Максимальне зн. відносної похибки     | 2,5   |      |       | %       |

Датчик тиску генерує вихідну напругу, яка пропорційна різниці прикладеного диференціального тиску. Тобто вихідний сигнал датчика залежить від різниці між тиском в манжеті і атмосферним тиском в приміщенні. Основні технічні характеристики датчика представлені в таблиці. Передаточна характеристика цього датчика зображена на рисунку 3.2.

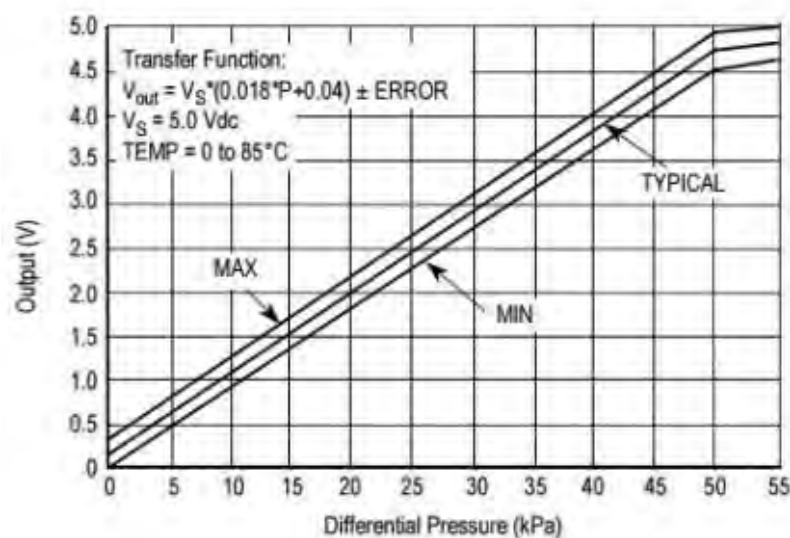


Рисунок 3.2 - Передаточна характеристика датчика

### 3.3 Вибір датчику пульсу і сатурації

Для вимірювання серцевого ритму використовується модуль MAX30102, який застосовує метод фотоплетизмографії для збору даних пульсу та рівня кисневої сатурації капілярної крові ( $SpO_2$ ). Цей датчик здатний здійснювати безконтактне вимірювання важливих фізіологічних параметрів завдяки використанню інфрачервоного та червоного світла, що проходить через шкіру. Структура сенсора MAX30102 представлена на рис. 3.3, де показано розташування основних компонентів датчика для вимірювання пульсу і рівня сатурації.

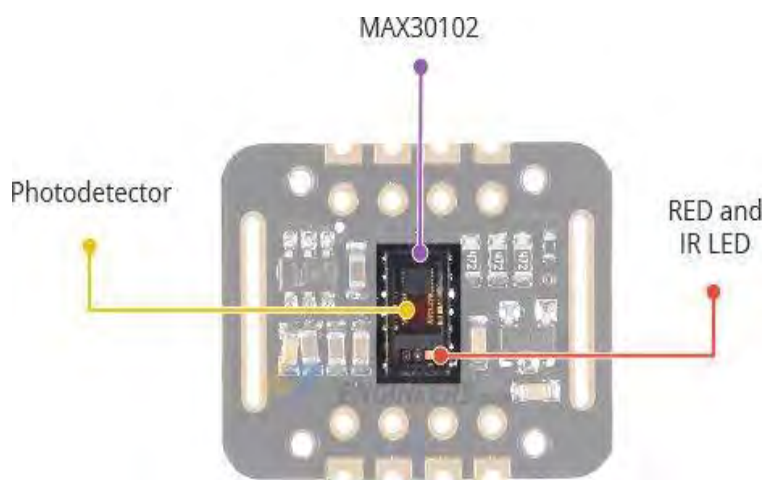


Рисунок 3.3 – Структура модуля MAX30102

У крові існує кілька типів сполук гемоглобіну, але для розрахунків рівня насичення киснем ( $SpO_2$ ) враховуються лише оксигенований та дезоксигенований гемоглобін як основні чинники. Під час використання методу відбивної пульсоксиметрії, світлодіоди випромінюють світло, яке проходить через тканини шкіри, а фотодіод отримує відбитий сигнал. Цей сигнал включає світло, яке змінюється під впливом об'ємних коливань в артеріях та капілярах. Важливість цього відбитого сигналу, що називається фотоплетизмографією (PPG), полягає в його здатності визначати частоту серцевих скорочень і рівень  $SpO_2$ . Сигнали PPG складаються з постійної та змінної компонент, що наочно продемонстровано на рис. 3.4. Постійна компонента сигналу вимірюється через поглинання світла в неімпульсних тканинах, таких як венозна, капілярна і артеріальна кров, що не змінюється в залежності від серцевих скорочень.

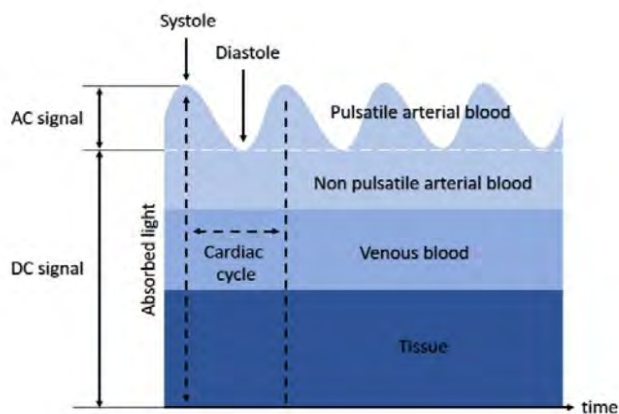


Рисунок 3.4 – Компоненти сигналу фотоплетізографії

Змінна компонента сигналу зумовлена пульсуючим характером артеріальної крові. Оскільки артерії тісно пов'язані з серцем, кров пульсує у відповідь на серцеві скорочення. Час між систолічними піками, який можна виміряти за допомогою лише одного світлодіода (наприклад, червоного), дозволяє обчислити частоту серцевих скорочень, оскільки лише змінна компонента є необхідним сигналом для визначення пульсу.

Для визначення рівня сатурації киснем ( $SpO_2$ ) використовуються два світлодіоди з різними довжинами хвиль: червоний і інфрачервоний (ІЧ). Це дозволяє виміряти співвідношення оксигенованого гемоглобіну до дезоксигенованого, що важливо для розрахунку  $SpO_2$ . Постійні та змінні компоненти сигналу для кожного з світлодіодів мають різну амплітуду, тому їх потрібно нормалізувати для коректного порівняння. Визначене відношення «R» прямо пропорційне рівню  $SpO_2$ . Важливо зазначити, що  $SpO_2$  наближається до сатурації артеріального кисню ( $SaO_2$ ).

$$R = \frac{\frac{AC_{red}}{DC_{red}}}{\frac{AC_{infrared}}{DC_{infrared}}}$$

Після визначення коефіцієнта R можна використовувати криволінійне наближення або пошукову таблицю для отримання значення  $SpO_2$ . Це наближення базується на емпіричних даних, де можуть впливати такі фактори, як вік, тип шкіри, загальний стан здоров'я та медичні умови пацієнта. Для точності вимірювань необхідно враховувати ці фактори.

$$SpO_2 = 104 - 17R$$

### 3.4 Вибір датчику серцевого ритму (ЕКГ)

Модуль AD8232 (рис 3.5) виконує роль датчика серцевого ритму та часто використовується для реєстрації та обробки електрокардіографічних (ЕКГ) і електроміографічних (ЕМГ) сигналів.

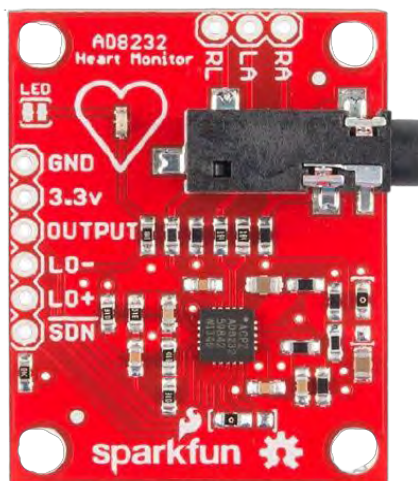


Рисунок 3.5 - Модуль AD8232

Це розробка компанії Analog Devices, яка пропонує оптимальне поєднання вартості та технічних характеристик серед аналогів. У стандартну комплектацію входять плата AD8232, кабелі та електроди, як зображено на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 - Комплектуючі наліпки та електроди модуля AD8232

Основною функцією модуля є вимірювання електричної активності серця. Ця активність фіксується у вигляді електрокардіограми (ЕКГ), яка надається як аналоговий сигнал. ЕКГ-сигнали зазвичай мають малу амплітуду та схильні до

спотворень через шуми та перешкоди. Тому в конструкцію модуля вбудовано операційний підсилювач із двополюсними фільтрами високих і низьких частот. Це дозволяє виділити корисний сигнал і забезпечити його підсилення навіть в умовах значного рівня завад. Завдяки цьому можна точно визначати інтервали серцевих скорочень, а також зменшувати вплив шумів. [19].

Основні характеристики модуля AD8232 представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Основні характеристики модуля AD8232

| Назва параметру                        | Характеристика   |
|--|--|
| Споживання струму                      | 170 мкА  |
| Напруга живлення                       | Від 2 до 3.5 В   |
| Кількість відведень ЕКГ                | 1  |
| Коефіцієнт ослаблення фазового сигналу | 80 дБ  |
| Вихідний сигнал                        | Аналоговий   |
| Фільтри ВЧ та НЧ                       | 2-полюсний фільтр високих частот та 3-полюсний фільтр низьких частот |

Сенсор AD8232 використовує стандартне двополюсне відведення, запропоноване Віллемом Ейнтгоуеном у 1913 році. Воно реєструє різницю потенціалів між двома точками електричного поля через встановлені електроди. Отримані дані дозволяють відстежувати серцеві ритми не лише під час фізичних навантажень чи занять спортом, але й для моніторингу роботи серцево-судинної системи в стані спокою.

Окрім електрокардіографії, модуль може реєструвати електроміограми (ЕМГ), які відображають біоелектричну активність м'язів. Це відкриває можливості для використання сенсора у біоніці, протезуванні та управлінні фізичними пристроями, такими як джойстики чи клавіатури в системах доповненої та віртуальної реальності. Таким чином, AD8232 є багатofункціональним рішенням для вимірювання та аналізу біоелектричних сигналів у медичних і технічних застосуваннях [20].

### 3.5 Вибір дисплею

Для виведення зібраної та проаналізованої інформації на пристрій був обраний OLED-дисплей SSD1309 (рис. 3.7). Це компактний OLED-дисплей, що використовується для відображення текстової та графічної інформації у чорно-білому форматі. Завдяки відсутності підсвічування і високій контрастності зображень, цей модуль забезпечує чудову видимість навіть в умовах слабкого освітлення. SSD1309 підтримує інтерфейси I<sup>2</sup>C та SPI, що дозволяє його безперешкодно інтегрувати з різними мікроконтролерами, зокрема STM32 та Arduino. Його основні переваги, такі як низьке енергоспоживання, компактні розміри та висока якість зображення, роблять його ідеальним вибором для портативних пристроїв, медичних гаджетів



Рис. 3.7 Модуль SSD1309

Основні характеристики модуля SSD1306 представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Основні характеристики модуля SSD1309

| Назва параметру      | Характеристика                                    |
|----------------------|---|
| Тип дисплея          | OLED, монохромний                                 |
| Роздільна здатність  | 128x256 пікселів                                  |
| Розмір дисплею       | 2.42-дюйма  |
| Інтерфейси зв'язку   | I <sup>2</sup> C                                  |
| Робоча напруга       | 3,3 В   |
| Споживана потужність | Низька (залежить від кількості активних пікселів) |
| Драйвер дисплея      | SSD1309   |



### 3.6 Вибір модулю WiFi

Для системи було обрано ESP-01 — компактний Wi-Fi модуль на базі чипа ESP8266, який широко використовується для реалізації бездротового зв'язку в IoT-пристроях. Завдяки вбудованому стеку протоколів TCP/IP модуль здатен забезпечувати стабільний зв'язок із Wi-Fi мережами. Його основними перевагами є компактність, низька вартість, підтримка інтерфейсу UART для інтеграції з іншими мікроконтролерами та можливість роботи як автономний мікроконтролер. Модуль підтримує Wi-Fi протоколи 802.11 b/g/n, що забезпечує високу швидкість передачі даних. Вихідна потужність передавача становить +20.5 дБм, що забезпечує стабільний сигнал навіть у складних умовах. Зображення пінів наведено на рис. 3.8 та описано в табл. 3.5.

#### NOTES:

- ▲ Typ. pin current 8mA (Max. 12mA)
- ▲ For sleep mode, connect GPIO16 and EXT\_RSTB. On wakeup, GPIO16 will output LOW for system reset.
- ▲ On boot/reset/wakeup, keep GPIO15 LOW and GPIO2 HIGH.

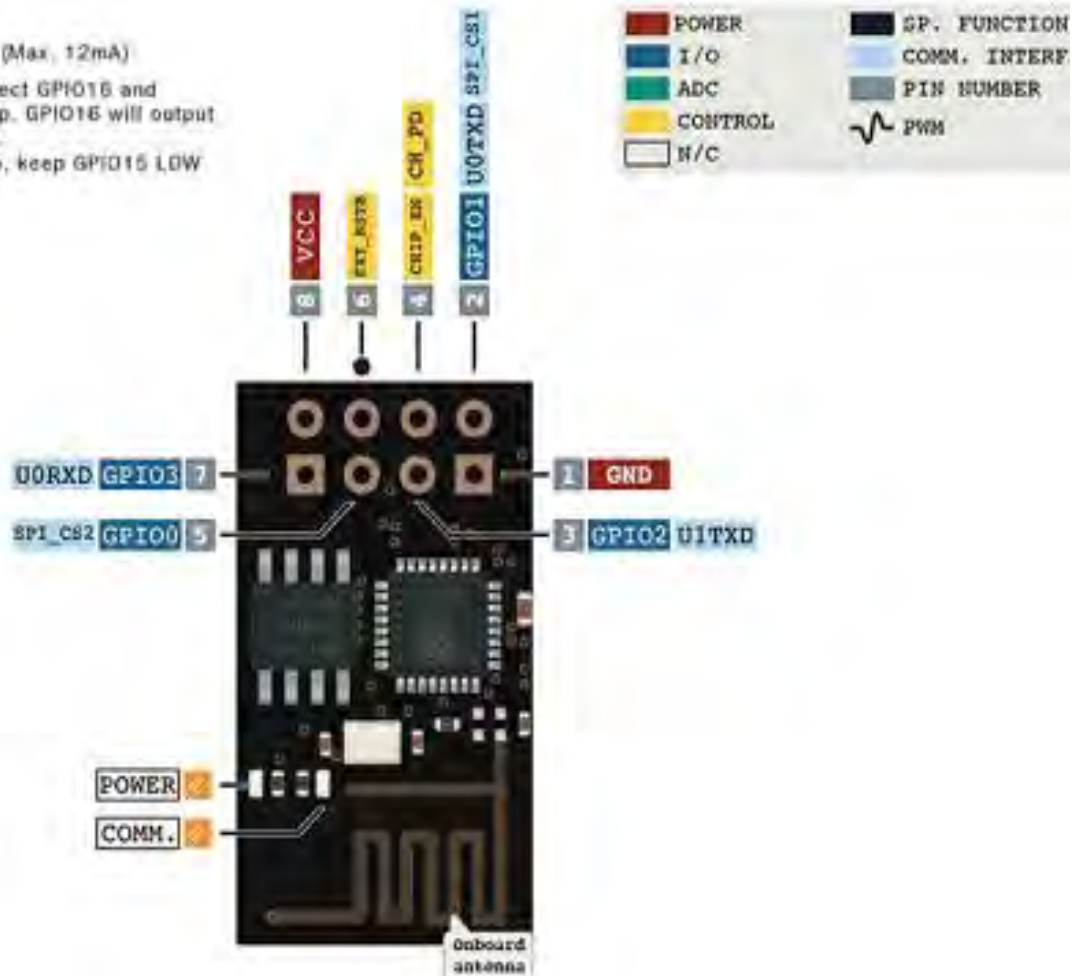


Рисунок 3.8 - Модуль ESP-01



Таблиця 3.5 Опис пінів модуля ESP-01

| Номер піну | Позначення | Призначення  |
|------------|------------|--|
| 1          | GND        | заземлений штифт, який використовується для підключення наземної лінії живлення      |
| 2          | TXD        | використовується для надсилання даних, передачі даних з модуля на зовнішній пристрій |
| 3          | GPIO2      | вхід/вихідний штифт загального призначення   |
| 4          | CH_PD      | штифт управління потужністю модуля   |
| 5          | GPIO0      | штифт вводу/вихідний загальний призначення   |
| 6          | RST        | використовується для скидання модуля ESP -01   |
| 7          | RXD        | використовується для отримання даних   |
| 8          | VCC        | штифт живлення 3,3 В   |

### 3.7 Вибір операційного підсилювача

AD9631 є сучасним широкосмуговим підсилювачем із високою швидкістю роботи та низьким рівнем спотворень. Використання структури зворотного зв'язку по напрузі забезпечує стабільну роботу підсилювача, високий рівень експоненційної стабілізації часу і широку смугу пропускання, що робить його ідеальним для застосування в приладах, які раніше покладалися на підсилювачі зі зворотним зв'язком по струму.

Даний підсилювач побудований на класичній структурі операційного підсилювача, що сприяє передбачуваності роботи та стабільності сигналу на виході.

Розташування пінів і їх функції детально відображені на рис. 3.9, що додає зручності при інтеграції підсилювача в електронні схеми. AD9631 є оптимальним рішенням для багатьох додатків, включаючи вимірювальні прилади, системи зв'язку та обробки сигналів.

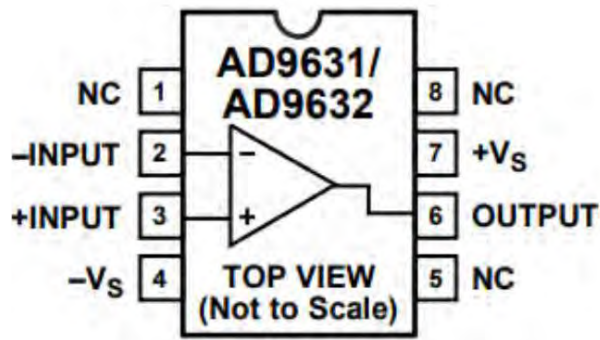


Рисунок 3.9 - Операційний підсилювач AD9631

### 3.8 Вибір фотодетектора

Для приймання сигналу будемо використовувати кремнієвий фотодіод ФД-21КП, що зображено на рис 3.10 та технічні характеристики приведені на рис.3.11.

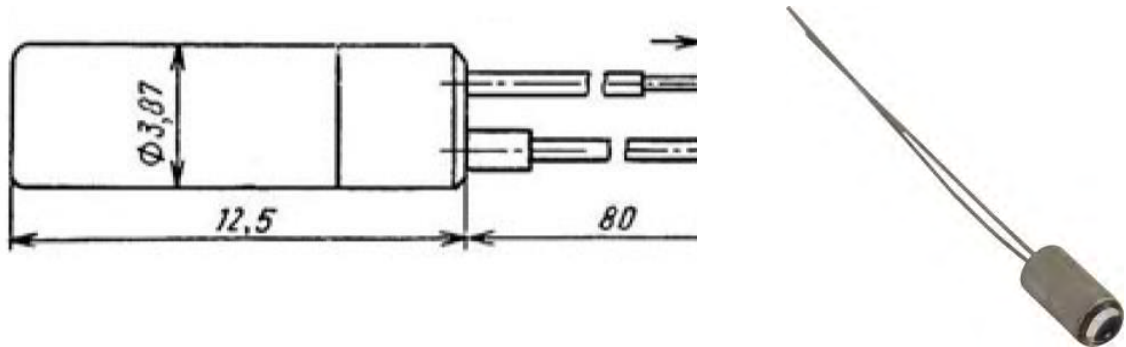


Рисунок 3.10 - Кремнієвий фотодіод ФД-21КП [21]

| Тип прибора | $A_{\text{фид}}$ , мм (кол-во<br>элементов) | $2\beta$ , град., не менее | $\Delta\lambda$ , мкм | $\lambda_{\text{макс}}$ , мкм | $U_p$ , В | $I_T$ , мкА, не более | $S_{\text{инт}}$ , мА/лм, (мкА/<br>лк), не менее | $\Phi_{\text{л1}}$ , лм·Гц <sup>-1/2</sup> , не<br>более | $\tau$ , с, не более | $K_{\text{фс}}$ %, не более | $\Delta T$ , °C | Габаритные<br>размеры, мм,<br>[масса, г], не<br>более |
|-------------|---|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|--|--|----------------------|-----------------------------|-----------------|---|
| ФД-21КП     | ∅1,55                                       | -                          | 0,4–<br>1,1           | 0,72–<br>0,85                 | 10        | 0,017                 | 3,3  | $4 \cdot 10^{-10}$                                       | $6 \cdot 10^{-9}$    | -                           | -60...+85       | ∅3,9 × 12,5<br>[1]                                    |

Рисунок 3.11 - Технічні характеристики кремнієвого фотодіоду ФД-21КП [21]

### 3.9 Вибір інфрачервоного світлодіоду

Для випромінення ІЧ променю світла було використано світлодіод інфрачервоний L-53F3C [22], що показаний на рис. 3.12 та його технічні характеристики приведені в таблиці 3.6.

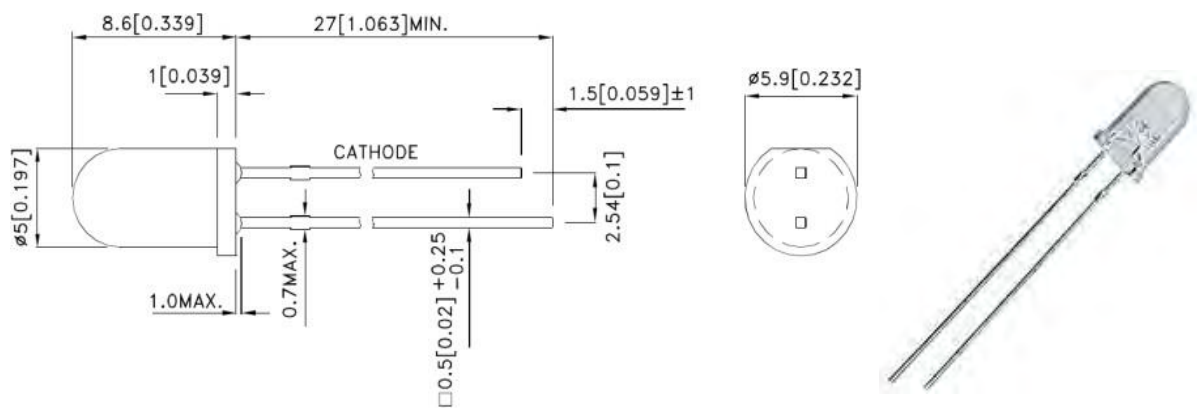


Рисунок 3.12 - Світлодіод інфрачервоний L-53F3C

Таблиця 3.6. Технічні характеристики L-53F3C [22]

| Назва параметру                        | Характеристика |
|--|----------------|
| Ток прямий, мА                         | 20             |
| Напруга робоча                         | від 2 до 18    |
| Довжина хвилі, нм                      | 940            |
| Кут випромінювання, °                  | 20             |
| Діаметр світлодіода, мм                | 5              |
| Потужність випромінювання (20 мА), мВт | 100            |

### Висновки до розділу III

У даному розділі було здійснено підбір електронних компонентів для реалізації системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Під час аналізу враховувалися технічні вимоги до компонентів, їх сумісність із мікроконтролерною платформою, а також їх функціональні можливості та надійність.

Вибрані датчики, такі як AD8232 для вимірювання ЕКГ, MAX30102 для визначення пульсу та рівня кисню у крові, а також фотодетектори для оцінки рівня глюкози, забезпечують точність і стабільність вимірювань. Високошвидкісний широкопasmовий підсилювач AD9631 гарантує надійну обробку сигналів із мінімальними спотвореннями, що особливо важливо для медичних додатків. Для передачі даних обрано компактний і економічний Wi-Fi модуль ESP-01, який забезпечує стабільне з'єднання та інтеграцію із серверними системами.

Проведений аналіз дозволив підібрати оптимальні компоненти, які відповідають вимогам проєкту щодо точності, енергоефективності та компактності.

## РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

### 4.1. Опис ідеї проєкту технології

У попередніх частинах дипломного проєкту був розроблений модуль системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. У цьому розділі проведено аналіз стартап-проєкту, мета якого полягає у створенні системи, що забезпечує щоденний контроль ключових фізіологічних показників пацієнта, запис їх у базу даних та передачу результатів через сервер на мобільні пристрої користувача, лікаря та зацікавлених сторін, які мають доступ до системи. Основне завдання системи полягає у розробці автономного пристрою, який може виконувати вимірювання таких параметрів, як пульс, сатурація, температура тіла, артеріальний тиск, рівень глюкози та ЕКГ, зберігати отримані дані та передавати їх через бездротові інтерфейси.

Система побудована таким чином, щоб забезпечити не лише контроль, але й зручний доступ до історії показників. Дані записуються у базу даних, що дозволяє здійснювати аналіз змін стану пацієнта протягом тривалого часу. За допомогою інтеграції з сервером інформація передається на мобільні телефони користувача, лікаря та інших осіб, які мають доступ до даних, наприклад, родичів пацієнта. Така архітектура забезпечує багатосторонній доступ до результатів моніторингу, що дозволяє оперативно реагувати на зміни стану здоров'я пацієнта [23, 24].

Для кращого розуміння вимог до реалізації проєкту, його цілей, завдань та орієнтовних термінів була створена інформаційна карта, яка включає ключові аспекти розробки, обробки даних та інтеграції з телемедициними платформами. Інформаційна карта представлена у вигляді таблиці 4.1 нижче.

Таблиця 4.1 Інформаційна карта

| Назва блоку                                      | Характеристика  |
|--|---|
| 1  | 2   |
| <b>Загальна характеристика стартап-проєкту</b>   |   |
| Назва стартап-проєкту                            | Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних  |
| Проблематика, яку вирішує стартап проєкт         | Стартап-проєкт, описаний у цьому дипломному проєкті, спрямований на створення системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Система забезпечує щоденний контроль фізіологічних показників, таких як пульс, сатурація, температура, тиск, рівень глюкози та ЕКГ. Дані автоматично записуються в базу, передаються на сервер і стають доступними для пацієнта, лікаря та родичів. Це вирішує проблему несвоєчасного контролю за станом здоров'я та забезпечує оперативну реакцію на зміни. Проєкт спрямований на покращення доступності медичного моніторингу та підвищення якості життя пацієнтів.   |
| Головні цілі та завдання проєкту                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Забезпечення регулярного моніторингу стану здоров'я: Мета проєкту полягає у створенні системи, яка дозволяє здійснювати щоденний контроль за ключовими фізіологічними показниками, такими як пульс, сатурація кисню, температура, тиск, рівень глюкози та ЕКГ, забезпечуючи своєчасне виявлення відхилень.</li> <li>2. Забезпечення зручності доступу до медичних даних: Розроблена система повинна забезпечити автоматичний запис результатів у базу даних та передачу зібраної інформації через сервер на мобільні пристрої пацієнта, лікаря та родичів, які мають доступ.</li> <li>3. Підвищення якості медичного моніторингу: Система повинна включати алгоритми обробки даних для виділення релевантної інформації, зменшення шумів і забезпечення точності вимірювань, що дозволяє покращити діагностику та лікування пацієнтів.</li> <li>4. Запобігання погіршенню стану пацієнта: Проєкт спрямований на впровадження механізму сповіщення про критичні відхилення параметрів, що дозволить оперативно реагувати на потенційно небезпечні ситуації та знижувати ризик ускладнень.</li> <li>5. Розвиток і адаптація системи: Система повинна мати можливість масштабування та модернізації шляхом інтеграції нових сенсорів, функцій або розширення інтерфейсів для роботи з медичними платформами, що дозволить пристосовуватися до нових технологій і потреб користувачів.</li> </ol> |
| Головні цільові групи, на які спрямований проєкт | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Пацієнти з хронічними захворюваннями</li> <li>• Лікарі та медичні працівники</li> <li>• Медичні установи та клініки</li> <li>• Люди, що займаються спортом або активно підтримують своє здоров'я</li> <li>• Сім'ї та опікуни людей похилого віку</li> </ul>  |
| <b>Автори та команда стартап-проєкту</b>         |   |
| Автори стартап-проєкту                           | Автори проєкту: Новожилова Альона Володимирівна, Лисенко Юлія Юріївна   |
| Команда стартап-проєкту                          | Новожилова Альона Володимирівна, Лисенко Юлія Юріївна автори проєкту, Інвестори, керівники, працівники-дизайнери, інженери  |
| <b>Опис продукту стартап-проєкту</b>             |   |

|  |   |
|--|---|
| Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP) | «HealthMonitor Pro» – це мінімально життєздатний продукт для моніторингу стану здоров'я людини. Забезпечуючи точний вимір таких показників, як пульс, сатурація кисню, температура, артеріальний тиск, рівень глюкози та ЕКГ, цей пристрій дозволяє проводити безперервний моніторинг основних параметрів здоров'я пацієнта. «HealthMonitor Pro» пропонує базовий функціонал для збору даних з медичних сенсорів, з можливістю віддаленого моніторингу та аналізу через мобільний додаток або веб-інтерфейс, що дає змогу лікарям та пацієнтам контролювати стан здоров'я в реальному часі [25].  |
| Сфера застосування та функціональне призначення продукту                           | «HealthMonitor Pro» призначений для використання в сфері охорони здоров'я та медичних технологій, де постійний моніторинг фізіологічних параметрів є важливим для забезпечення здоров'я пацієнтів. Система використовується в клініках, медичних установах, для дистанційного спостереження за пацієнтами з хронічними захворюваннями, а також для активних людей, які стежать за своїм здоров'ям.  |
| Опис унікальних властивостей продукту стартапу                                     | Унікальні властивості «HealthMonitor Pro» включають в себе його багатофункціональність та здатність точно вимірювати кілька важливих фізіологічних показників одночасно. Пристрій легко інтегрується з іншими медичними пристроями та системами, що забезпечує його зручність у використанні як в домашніх умовах, так і в медичних установах. «HealthMonitor Pro» має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для збору та аналізу даних, що робить його доступним навіть для користувачів без спеціалізованих медичних знань. Крім того, система підтримує віддалений моніторинг в реальному часі через мобільний додаток або веб-інтерфейс, що дозволяє лікарям та пацієнтам ефективно стежити за змінами в стані здоров'я та оперативно реагувати на будь-які відхилення. |
| Стадія розробки продукту стартапу  | Стадія розробки продукту передбачає перехід до серійного виробництва, налагодження партнерських відносин з українськими компаніями, а також потенційний вихід на міжнародні ринки.  |
| Технічні характеристики  | «HealthMonitor Pro» – це пристрій для моніторингу стану здоров'я, який використовує плату STM32 для обробки даних. Він оснащений датчиками пульсу, сатурації кисню, температури, артеріального тиску, рівня глюкози та ЕКГ. Дані з сенсорів передаються через сервер на мобільний пристрій користувача, лікаря та інших зацікавлених осіб, які мають доступ до інформації. Завдяки використанню STM32, пристрій забезпечує високу продуктивність і точність вимірювань, а також надає можливість віддаленого моніторингу в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в стані здоров'я.  |
| Супровід продукту  | Супровід продукту, включає безкоштовне технічне обслуговування в разі несправностей у технічних сервісах компанії. Також передбачено регулярне технічне обслуговування для забезпечення коректної роботи пристрою, яке проводиться кожні шість місяців. Користувачі можуть звертатися до служби підтримки для вирішення будь-яких питань або проблем, пов'язаних з роботою пристрою, а також отримати консультації з налаштування та експлуатації продукту.   |
| <b>Забезпечення стартап-проєкту</b>  |   |
| Необхідні ресурси  | На першому етапі розробки «HealthMonitor Pro» будуть потрібні датчики для вимірювання пульсу, сатурації кисню, температури, артеріального тиску, рівня глюкози та ЕКГ, а також плата STM32 для обробки даних та збирання всіх модулів. Крім того, для виробничих витрат, просування проєкту та маркетингових заходів необхідно забезпечити грошове фінансування в розмірі 3 650 000 грн.  |
| Потреба в інвестиціях  | Для залучення фінансування на ранніх етапах розвитку проєкту «HealthMonitor Pro» доцільно використовувати платформу Kickstarter   |

|   |  |
|---|--|
|   | для збору коштів та привернення уваги інвесторів. Водночас важливо активно шукати потенційних інвесторів, які зацікавлені у впровадженні інноваційних рішень для моніторингу стану здоров'я пацієнтів та розширенні використання технологій дистанційного медичного спостереження.   |
| Інтелектуальна власність                      | Усі майнові авторські права на дизайн пристрою, його модулі, а також зображення, малюнки, фотографії, креслення, відео- та аудіоматеріали, включаючи літературний і технічний опис, належать авторам стартапу «HealthMonitor Pro».   |
| <b>Результати стартап-проєкту</b>             |  |
| Термін реалізації стартап-проєкту             | Термін реалізації стартап-проєкту «HealthMonitor Pro» складає 18 місяців, включаючи етапи розробки перших прототипів, тестування, серійного виробництва та запуску на ринок.   |
| Плановані кількісні показники стартап-проєкту | Плановані кількісні показники проєкту «HealthMonitor Pro» включають запуск серійного виробництва та вихід на український ринок протягом перших 12 місяців. Подальший розвиток передбачає розширення продажів та вихід на міжнародний ринок у наступні 24 місяці.   |
| Якісні показники стартап-проєкту              | Якісні показники проєкту «HealthMonitor Pro» включають покращення доступності та ефективності моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Продукт має на меті покращити точність та своєчасність діагностики, а також забезпечити надійність збору та передачі медичних даних.   |
| Загальні очікувані результати                 | Загальні очікувані результати для стартап-проєкту «HealthMonitor Pro» включають успішний запуск продукту на ринку та його популяризацію серед медичних установ та приватних користувачів. Метою є забезпечення ефективного та безпечного моніторингу стану здоров'я пацієнтів, зокрема за допомогою віддаленого моніторингу в реальному часі, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни в стані здоров'я. |

Із сформованої вище таблиці можна зробити висновок, що процес реалізації стартап-проєкту «HealthMonitor Pro» займе приблизно 18 місяців, з урахуванням всіх етапів від залучення інвестицій до запуску серійного виробництва та налаштування оптимального режиму роботи продукту.

Для формування більш ефективних і обґрунтованих рішень щодо конструкції модулю було вирішено застосувати метод формування «морфологічної карти». Саму карту представлено в таблиці 4.2 нижче.



Таблиця 4.2 Морфологічна карта проєкту

| Параметри                | Проміжні рішення                        |   |   |  |
|--------------------------|---|---|---|--|
|                          | 1-ше                                    | 2-ше                                    | 3-ше  | 4-ше   |
| Кількість датчиків       | 1 датчик                                | 2 датчики                               | 3 і більше  | Інше   |
| Тип датчиків             | Пульсометр                              | Пульсометр та сатурація                 | Датчики для пульсу, сатурації, температури, тиску, рівня цукру, ЕКГ | Інші датчики                                 |
| Розташування             | У корпусі який контактує з тілом людини | У корпусі який контактує з тілом людини | У корпусі та у манжеті які контактують з тілом людини               | У корпусі де розміщені електронні компоненти |
| Механізм фіксації модулю | Вбудований в корпус                     | Вбудований в корпус                     | Вмонтовані в корпус та манжету                                      | Вмонтовані у корпус                          |
| Тип інтерфейсу           | Кабельний                               | Кабельний                               | Кабельний або бездротовий (Wi-Fi)                                   | Кабельний або бездротовий (Wi-Fi)            |

Відповідно до морфологічної карти проєкту «HealthMonitor Pro», оптимальні рішення для безпосередньої розробки модуля визначаються наступним чином:

1. Кількість датчиків: 5 датчиків (для пульсу, сатурації, температури, тиску, рівня цукру, ЕКГ).
2. Тип датчиків: Пульсометр, сатурація, температура, тиск, рівень цукру, ЕКГ.
3. Механізм фіксації модуля: Вмонтовані в корпус і манжету, які контактують з тілом людини.
4. Тип інтерфейсу: Бездротове з'єднання з мобільним пристроєм через мережу Інтернет.

Таким чином, оптимальним рішенням є використання п'яти датчиків для збору повної інформації про стан здоров'я людини. Модуль буде вбудований у корпус, який контактує з тілом людини, а чутливі датчики будуть розміщені в манжетах, що носяться на руці пацієнта. Інтерфейс забезпечуватиме бездротову передачу даних на мобільний пристрій через Інтернет, що дозволить здійснювати віддалений моніторинг стану здоров'я.

Для більш ретельного розгортання концепції стартап-проєкту ми визначили створення таблиці, в якій визначено сфери застосування та вигоди від використання модулю для кінцевого користувача (див. табл. 4.3).

Таблиця 4.3 Опис ідеї стартап-проєкту

| Зміст ідеї   | Напрямки застосування  | Вигоди для користувача  |
|--|--|---|
| Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних – «HealthMonitor Pro» | Моніторинг основних параметрів здоров'я людини (пульс, сатурація, температура, тиск, рівень цукру, ЕКГ).               | Безперервний контроль і моніторинг здоров'я пацієнта.   |
|  | Інтеграція з медичними системами для збору та аналізу даних здоров'я пацієнта.   | Запобігання загостренням хронічних захворювань завдяки своєчасному виявленню відхилень.           |
|  | Використання персонально-розробленого ПЗ для обробки та аналізу зібраних даних.  | Покращення якості лікування через регулярний збір даних та можливість коригувати терапію.         |
|  | Віддалений моніторинг стану пацієнта через інтернет для зручного доступу лікаря та пацієнта до результатів вимірювань. | Зручний доступ до результатів аналізу та можливість дистанційного моніторингу з будь-якого місця. |

Відповідно до табл. 4.3, «HealthMonitor Pro» є інноваційним модулем для моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних. Цей модуль дозволяє здійснювати автоматизований моніторинг параметрів здоров'я, таких як пульс, сатурація, температура, тиск, рівень цукру та ЕКГ. Його інтеграція з системами медичних даних дозволяє ефективно стежити за станом здоров'я пацієнта та проводити необхідний аналіз. Модуль використовує персонально-розроблене програмне забезпечення без необхідності встановлення додаткових програм для роботи з іншими медичними системами. Крім того, віддалений моніторинг через Інтернет дозволяє лікарям отримувати актуальну інформацію про стан пацієнта, що значно полегшує управління лікувальними процесами.

Розглянемо основних конкурентів на ринку систем моніторингу стану здоров'я:

1. Fitbit Health Monitor
2. Withings Health Solutions
3. Apple Health

Для більш детального аналізу техніко-економічних характеристик і переваг конкурентів було проведено порівняльний аналіз, що представлений у табл. 4.4 нижче. У таблиці використовуються позначення: W — гірші значення, N — аналогічні або нейтральні значення, S — кращі показники.

Висновки з порівняльного аналізу:

1. Швидкий зворотний зв'язок: Усі конкуренти мають наявність швидкого зворотного зв'язку, що забезпечує стандартний рівень обслуговування.

2. Інтеграція з медичними системами: «HealthMonitor Pro» вирізняється наявністю інтеграції з медичними системами для збору та аналізу даних, що дає йому перевагу перед конкурентами.

3. Здатність до апгрейду: «HealthMonitor Pro» та Withings Health Solutions мають можливість апгрейду, що дозволяє розширювати функціонал з часом.

4. Вебсайт з моніторингом: «HealthMonitor Pro» має вебсайт з моніторингом, що робить його конкурентоспроможним порівняно з відсутністю цієї можливості у конкурентів.

5. Легкість у використанні: «HealthMonitor Pro» має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його привабливим для користувачів.

6. Портативність: «HealthMonitor Pro» є портативним приладом, що робить його зручним у використанні в будь-якому місці та дозволяє пацієнту контролювати свій стан на ходу.

7. Наявність персонального кабінету: «HealthMonitor Pro» та Withings Health Solutions мають персональний кабінет для зручного керування даними пацієнта.

8. Ціна обслуговування та модулів: «HealthMonitor Pro» має конкурентоспроможну ціну обслуговування та модулів, що є його сильнішою стороною на ринку.

Таблиця 4.4 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № п/п |  | (потенційні) товари/концепції конкурентів |   |   |                                    | W<br>(слабка сторона) | N<br>(нейтральна сторона) | S<br>(сильна сторона) |
|-------|--|---|---|---|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
|       |  | Мій Проект                                | Конкурент 1<br><b>Fitbit Health Monitor</b> | Конкурент 2<br>1.<br><b>Withings Health Solutions</b> | Конкурент 3<br><b>Apple Health</b> |                       |                           |                       |
| 1.    | Швидкий зворотній зв'язок  | Наявний                                   | Наявний                                     | Наявний   | Наявний                            | -                     | +                         | -                     |
| 2.    | Інтеграція з системами вимірювання та аналізу даних стану людини | Наявна                                    | Відсутня                                    | Відсутня  | Відсутня                           | -                     | -                         | +                     |
| 3.    | Здатність до апгрейду  | Наявна                                    | Відсутня                                    | Відсутня  | Наявна                             | -                     | +                         | -                     |
| 4     | Вебсайт з моніторингом   | Наявний                                   | Відсутній                                   | Відсутній   | Відсутній                          |                       | -                         | -                     |
| 5     | Легкість у використанні  | Наявна                                    | Наявна                                      | Відсутня  | Відсутня                           |                       | -                         | +                     |
| 6.    | Портативність  | Наявний                                   | Відсутне                                    | Відсутне  | Відсутне                           |                       | -                         | -                     |
| 7.    | Наявність персонального кабінету                                 | Наявне                                    | Відсутне                                    | Відсутне  | Наявне                             |                       | -                         | +                     |
| 8     | Ціна обслуговування і модулів                                    | Низька                                    | Висока                                      | Висока  | Висока                             |                       | -                         | -                     |

З врахуванням зазначеної інформації, можна стверджувати, що "HealthMonitor Pro" є конкурентоспроможним проектом на ринку систем моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних.

Для того, щоб оцінити можливість реалізації проекту, проведемо технологічний аудит сформованої ідеї (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 Технологічна здійсненність ідеї проєкту

| № п/п   | Ідея проєкту  | Технології її реалізації   | Наявність технологій | Доступність технологій |
|---|---|--|----------------------|------------------------|
| 1.  | Автоматизований модуль для моніторингу стану людини | Використання мікроконтролера STM32 для програмування модуля  | Наявні               | У відкритому доступі   |
| 2.  | Система вимірювання та аналізу даних стану людини   | Інтеграція з датчиками пульсу, сатурації, температури, тиску, рівня цукру, ЕКГ, використання платформи STM32 | Наявні               | Доступно               |
| 3.  | Оптимізація обчислень                               | Використання персонально-розробленого програмного забезпечення без використання додаткових програм           | Наявні               | У відкритому доступі   |
| 4.  | Віддалений моніторинг показів стану людини          | Використання мережі Інтернет для віддаленого моніторингу показів стану людини                                | Наявні               | Доступно               |
| 5.  | Інтеграція з існуючими системами                    | Сумісність з системами моніторингу та аналізу даних стану людини   | Наявні               | Доступно               |
| Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: можлива для реалізації |   |  |                      |                        |

Виходячи з наведеної вище таблиці, можна зробити висновок, що реалізація проєкту "HealthMonitor Pro" є технологічно здійсненною. Всі необхідні технології, використані для створення автоматизованого модуля моніторингу стану людини, є наявними та доступними для використання. Плати STM32, як основний елемент проєкту, є доступними для закупівлі за конкурентними цінами, а програмне забезпечення, розроблене на платформі STM32, є відкритим для користувачів, що забезпечує доступність для широкого кола розробників.

#### 4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Оцінимо основні перспективи ринкового впровадження нашого проєкту "HealthMonitor Pro", а також визначимо можливі загрози, які можуть виникнути під час його реалізації. Цей аналіз спрямований на успішний вивід проєкту на український ринок з можливістю подальшого розширення на міжнародному рівні. Почнемо з детального вивчення попиту на нашу продукцію, оцінюючи його обсяг, динаміку розвитку та загальну наявність.

Для початку проведемо аналіз попиту на цю продукцію, зокрема це: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування)                     | Характеристика  |
|-------|--|---|
| 1     | Кількість головних гравців, од                           | 3   |
| 2     | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од                        | 5 000 000   |
| 3     | Динаміка ринку (якісна оцінка)                           | Стабільний ріст   |
| 4     | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Висока конкуренція, інтелектуальна власність                            |
| 5     | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації      | Необхідна сертифікація відповідно до стандартів безпеки та ефективності |
| 6     | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %  | 12,8 %  |

Відповідно до попередньої характеристики, зокрема до середньої норми рентабельності в галузі, яка становить 12.8%, можна визначити, що ринок моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних є перспективним. Основна перевага полягає в тому, що основні постачальники подібних систем часто є іноземними виробниками, що створює можливість для вітчизняних стартапів у цій галузі. Запуск власного проєкту з моніторингу стану людини може бути перспективним в першу чергу в Україні, а подальша експансія на міжнародні ринки стане доцільною.

Для подальшого вивчення ринку та оцінки можливостей впровадження стартап-проєкту, необхідно провести аналіз потенційних сегментів клієнтів, їх характеристик і сформулювати приблизний перелік вимог до нашого продукту (див. Таблицю 4.7).

Таблиця 4.7 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

| Потреба, що формує ринок  | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)   | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів  | Вимоги споживачів до товару   |
|---|--|--|---|
| Автоматизований моніторинг стану людини з віддаленим збором та аналізом даних | Медичні заклади, фітнес-клуби, спортивні установи, клініки для догляду за літніми людьми | Різниця в потребах щодо точності вимірювань і специфікаціях для різних типів клієнтів (літні люди, пацієнти, спортсмени) | Надійність і точність вимірювань, зручність у використанні, віддалений моніторинг |

Враховуючи представлену таблицю, можна зробити висновок, що на ринку існує попит на системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних, адже подібні технології починають набирати популярність, проте ще не є широко доступними. Основною цільовою аудиторією є медичні заклади, фітнес-клуби,

спортивні установи та клініки для догляду за літніми людьми, які потребують постійного моніторингу фізіологічних показників пацієнтів або клієнтів. Різниця у вимогах клієнтів залежить від їх специфічних потреб: для лікарень важлива точність і надійність даних, тоді як для фітнес-клубів основна увага приділяється зручності у використанні та можливості віддаленого моніторингу.

При впровадженні технології, яка подібна за принципом дії до запропонованої, можна визначити ряд потенційних викликів, які відображені у таблиці 4.8 нижче. Ці фактори можуть вплинути на можливості успішної реалізації та утримання конкурентоспроможності проекту на ринку.

Таблиця 4.8 Фактори загроз

| № п/п | Фактор  | Зміст загрози   | Можлива реакція компанії   |
|-------|---|---|--|
| 1.    | Неоптимальна інтеграція з існуючими системами         | Можливість недостатньої сумісності з іншими системами моніторингу здоров'я та медичними пристроями, наприклад, через різні протоколи чи формати даних.      | Проведення тестування та оптимізація інтеграційного процесу з урахуванням сумісності з популярними медичними пристроями та системами. Розробка адаптерів для підтримки різних стандартів.                        |
| 2.    | Високі вартості обслуговування та підтримки           | Можливість збільшення витрат на обслуговування та технічну підтримку кінцевих користувачів, особливо в разі використання спеціалізованих медичних датчиків. | Оптимізація процесів обслуговування, створення системи самообслуговування для користувачів, а також впровадження віддаленої підтримки через онлайн-платформи.  |
| 3.    | Низька готовність ринку до інновацій у сфері здоров'я | Можливість відмови ринку від інновацій в області медичних технологій, зокрема в сегменті систем моніторингу здоров'я з віддаленим збором і аналізом даних.  | Проведення кампанії з підвищення обізнаності щодо важливості моніторингу здоров'я в реальному часі, співпраця з медичними установами та університетами для впровадження інноваційних рішень.                     |
| 4.    | Недостатня точність даних через обмеженість сенсорів  | Потенційні проблеми з точністю даних від сенсорів, таких як AD8232 (ЕКГ) і MAX30102 що може знижувати ефективність моніторингу здоров'я.                    | Покращення алгоритмів обробки даних, впровадження методів фільтрації та компенсації похибок. Постійне вдосконалення апаратної частини (сенсорів) та програмного забезпечення для підвищення точності вимірювань. |
| 5.    | Безпека і захист персональних даних                   | Небезпека витоку або неправильного використання чутливих медичних даних користувачів, особливо в разі   | Впровадження високих стандартів безпеки даних, таких як шифрування даних під час передачі, а також сертифікація програмного забезпечення відповідно до   |

|    |   |   |   |
|----|---|---|---|
|    |   | віддаленого збору і передачі даних.   | медичних і технологічних стандартів безпеки.  |
| б. | Залежність від постачальників компонентів | Затримки чи дефіцит постачання компонентів для збору та обробки даних, таких як мікроконтролери (STM32) чи сенсори для вимірювання біоелектричних сигналів. | Диверсифікація постачальників, укладення стратегічних партнерств для забезпечення стабільності поставок. Визначення альтернативних компонентів для мінімізації ризиків. |

У рамках реалізації проєкту моніторингу здоров'я людини з використанням технологій на базі STM32, особливо для медичних систем, інтеграція з існуючими системами може бути критичним етапом. Багато медичних пристроїв мають свої власні протоколи комунікації та специфікації, що може ускладнити процес інтеграції. Тому для забезпечення сумісності з основними медичними стандартами і системами, ми активно тестуватимемо та налаштовуватимемо програмне забезпечення й апаратні частини.

Щодо високих витрат на обслуговування та підтримку, ми зосередимося на розробці інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів користувача, що забезпечить простоту використання нашої системи. Також ми створимо можливості для віддаленої підтримки, що дозволить знизити навантаження на клієнтську службу підтримки. Розробка онлайн-ресурсів і програм для самостійного вирішення проблем допоможе зменшити витрати на технічну підтримку.

Низька готовність ринку до інновацій у медичній сфері може стати серйозною перешкодою для впровадження нових технологій. Тому ми зосередимося на проведенні освітніх кампаній, спрямованих на підвищення обізнаності про важливість постійного моніторингу здоров'я та переваги нашої системи. Окрім цього, ми плануємо укласти партнерства з медичними закладами та академічними установами для сприяння впровадженню інновацій.

Щодо точності даних, ми передбачаємо можливі проблеми з вимірюваннями через похибки сенсорів. Тому постійно вдосконалюватимемо алгоритми аналізу даних та перевірку точності вимірювань. Це дозволить покращити ефективність моніторингу здоров'я. Окрему увагу приділимо забезпеченню безпеки даних, адже захист персональної інформації є критично важливим у медичних системах. Для



цього інтегруємо сучасні методи шифрування та захисту інформації на всіх етапах передачі даних.

Щодо безпеки і захисту персональних даних, існує загроза витоку або неправильного використання чутливих медичних даних користувачів, особливо в разі віддаленого збору і передачі даних. Для забезпечення високого рівня безпеки, ми впровадимо шифрування даних під час передачі та сертифікацію програмного забезпечення відповідно до медичних і технологічних стандартів безпеки. Це дозволить гарантувати конфіденційність і цілісність медичних даних.

Щодо залежності від постачальників компонентів, існує ризик затримок або дефіциту постачання компонентів, таких як мікроконтролери STM32 чи сенсори для вимірювання біоелектричних сигналів. Для мінімізації цього ризику ми плануємо диверсифікувати постачальників і укласти стратегічні партнерства для забезпечення стабільності поставок. Крім того, будемо визначати альтернативні компоненти, що дозволить знизити залежність від конкретних постачальників і забезпечити стабільність виробництва.

Ці стратегії допоможуть забезпечити ефективне впровадження нашої системи моніторингу здоров'я, зберігши при цьому конкурентоспроможність на ринку та підвищуючи довіру споживачів до нашого проєкту..

Окрім ряду загроз, існує також низка можливостей для реалізації проєкту моніторингу здоров'я людини з використанням технологій на базі STM32, які можуть сприяти розвитку та успіху на ринку медичних пристроїв та систем (табл. 4.9).

На основі аналізу можливостей можна зробити висновок про значний потенціал впровадження та розвитку проєкту на ринках України та за її межами. Ключовими перевагами є відсутність аналогічних рішень у широкому доступі на ринку та відносна простота конструкції, що сприятиме швидкому впровадженню та масштабуванню виробництва. Це дозволить зайняти лідерську позицію в галузі моніторингу здоров'я людини, ставши одним з основних гравців у цій ніші.

Таблиця 4.9 Фактори можливостей

| № п/п | Фактор                          | Зміст можливості   | Можлива реакція компанії   |
|-------|---------------------------------|--|--|
| 1     | Ефективність вартості           | Проведений аналіз наявних компонентів для технологічної складової проекту дозволяє обрати оптимальні за якістю і ціною компоненти.                           | Розгляд можливості використання більш точних, хоча трошки дорожчих компонентів для поліпшення якості модуля.                             |
| 2     | Неперевершена технологія        | На сучасному українському та міжнародному ринках відсутня доступна технологія моніторингу здоров'я людини, зокрема для дистанційного збору та аналізу даних. | Запуск виробництва на українському ринку дозволить зайняти лідерську позицію в даній ніші.   |
| 3     | Простота конструкції            | Простота реалізації модуля забезпечить доступність складових частин, що дозволить швидко запустити та масштабувати виробництво.                              | Швидке налагодження та розширення масштабів виробництва.   |
| 4     | Постійна технологічна підтримка | Постійний контроль за якістю роботи модуля та його впливом на моніторинг здоров'я людини.  | Компанія здійснює постійну технологічну підтримку, консультації щодо використання модуля та проведення опитувань щодо його вдосконалень. |
| 5     | Розвиток технології             | Можливість покращення конструкції та програмної складової модуля.  | Компанія активно досліджує ринок для пошуку варіантів покращення модуля та реалізації нових рішень для його вдосконалення.               |

Для отримання більш докладного уявлення про конкурентне середовище та його вплив на функціонування підприємства, був проведений детальний аналіз особливостей конкурентного оточення, результати якого наведені у таблиці 4.10 нижче.

Відповідно до проведеного ступеневого аналізу конкуренції на ринку систем моніторингу стану здоров'я виявлено певний бар'єр проникнення на український та міжнародний ринки. Зокрема, спостерігається олігопольна структура, де невелика кількість іноземних компаній через посередників домінує на українському ринку.

Таблиця 4.10 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| № | Особливості конкурентного середовища          | В чому проявляється дана характеристика  | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)   |
|---|---|--|--|
| 1 | Тип конкуренції: олігополія                   | Невелика кількість компаній-постачальників, які домінують через посередників на ринку медичних технологій. | Розвиток власного виробництва в Україні, щоб здобути значну частку ринку та скоротити залежність від посередників.                     |
| 2 | Рівень конкурентної боротьби: національний    | Присутність бар'єрів для нових учасників на ринку медичних технологій.                                     | Співпраця з великими виробниками та вдосконалення технології, підвищення стандартів якості.  |
| 3 | Галузева ознака: внутрішньогалузева           | Конкуренція серед компаній, які працюють у галузі моніторингу здоров'я та біоелектричних сигналів.         | Поліпшення якості продукції, впровадження нових функцій, удосконалення технологічних процесів для забезпечення конкурентоспроможності. |
| 4 | Конкуренція за видами товарів: товарно-видова | Змагання з іншими компаніями, які пропонують аналогічні рішення для моніторингу здоров'я людини.           | Збільшення витрат на маркетинг, рекламу та інформування ринку про переваги нових технологій та інновацій.                              |
| 5 | Характер конкурентних переваг: нецінова       | Концентрація на якості, функціональності та простоті реалізації технологій.                                | Збільшення попиту на продукцію завдяки високій якості та точності вимірювань.  |
| 6 | Інтенсивність конкуренції: марочна            | Присутність відомих міжнародних брендів на ринку медичних технологій.                                      | Потреба в створенні унікальної пропозиції, налагодження чіткої позиції на ринку, орієнтація на специфічні потреби користувачів.        |

Зважаючи на ринкові умови та конкурентні виклики, створення повністю українського виробництва для моніторингу здоров'я людини дасть змогу ефективно зайняти лідерську позицію на ринку, зокрема на фоні домінування міжнародних компаній, що працюють через посередників. Це відкриває можливості для підприємства зайняти значну частку ринку, пропонуючи інноваційні рішення та конкуруючи з міжнародними брендами на основі якості, доступності та адаптації до локальних потреб.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за Портером. Отриманий аналіз показано у таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| Складові аналізу | Прямі конкуренти в галузі  | Потенційні конкуренти  | Постачальники  | Клієнти   | Товари-замінники  |
|------------------|--|--|--|---|---|
|                  | IDF monitoring   | Fitbit Health Monitor, Apple Health  | Виробники електронних компонентів, бази даних  | Лікарні, фітнес клуби, будинки для людей похилого віку  | Смарт-годинники   |
| Висновки:        | Низька інтенсивність конкуренції обумовлена наявністю аналогічної продукції на ринку, яка відрізняється масштабами та за функціоналом і ціною. | Існують можливості для виходу на ринок через відсутність аналогічного модулю від потенційних конкурентів | Постачальники не диктують особливих умов, але маємо певний рівень залежності від них, зокрема від виробників електронних компонентів та баз даних. | Клієнти представлені лікарнями фітнес-клубами, будинками для людей похилого віку, можуть впливати на умови контрактів та співпраці. | Наявні товари замінники мають схожий функціонал моніторингу стану людини, проте не мають такого функціоналу |

З проведеного аналізу випливає, що наявний ринок моніторингу стану людини насичений аналогічними продуктами, які мають подібний функціонал контролю фізичних показників, але відрізняються масштабами, технологічною оснасткою та ціною. Можливості виходу на ринок існують завдяки відсутності аналогічного модулю від потенційних конкурентів, а також відносно невисокій інтенсивності конкуренції, обумовленої наявністю аналогічних продуктів, які, однак, не спеціалізуються на контролі на контролі стану людини. Залежність від постачальників відбувається в контексті співпраці з виробниками електронних компонентів та баз даних, що може впливати на умови контрактів і співпраці.

Клієнтська база представлена лікарнями, фітнес-клубами, будинками для людей похилого віку, що вимагає уваги до умов контрактів та індивідуальних потреб замовників.

Після проведених аналізів слід сформувавши повний перелік факторів, які впливають на конкурентоспроможність проекту на поточному ринку контролю стану людини ( табл. 4.12).

Таблиця 4.12 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності                | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)   |
|-------|--|---|
| 1     | Точність і надійність вимірювань             | Високоточні сенсори, як AD8232 і MAX30102, забезпечують точність даних, що є критичним для медичних застосувань, знижуючи ризик помилок та підвищуючи надійність системи.                               |
| 2     | Масштабованість системи                      | Можливість адаптації системи від індивідуального моніторингу до великих медичних установ завдяки використанню потужних мікроконтролерів STM32 робить її універсальною та привабливою для різних потреб. |
| 3     | Енергоефективність                           | Використання енергоефективних компонентів знижує витрати на електроенергію, що важливо для довгострокового використання системи в умовах постійного моніторингу.  |
| 4     | Гнучкість інтеграції з існуючими системами   | Здатність інтегруватися з наявними медичними системами дозволяє зберегти існуючі інвестиції та полегшує впровадження нової технології без великих витрат.   |
| 5.    | Регулярні оновлення програмного забезпечення | Автоматичні оновлення ПЗ забезпечують постійну актуалізацію функцій, покращення безпеки та оптимізацію роботи системи, знижуючи витрати на технічне обслуговування.                                     |

Після аналізу факторів конкурентоспроможності проведемо порівняльний аналіз слабких та сильних сторін (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «HealthMonitor Pro»

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності                | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER Kompany |    |    |   |    |    |    |
|-------|--|-----------|--|----|----|---|----|----|----|
|       |  |           | -3   | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1     | Точність і надійність вимірювань             | 18        |  |    |    |   |    |    | +  |
| 2     | Масштабованість системи                      | 16        |  |    |    |   |    | +  |    |
| 3     | Енергоефективність                           | 12        |  |    |    | + |    |    |    |
| 4     | Гнучкість інтеграції з існуючими системами   | 17        |  |    |    |   |    | +  |    |
| 5.    | Регулярні оновлення програмного забезпечення | 14        |  |    |    |   | +  |    |    |

Порівняльний аналіз показує, що проєкт "HealthMonitor Pro" має значні конкурентні переваги завдяки високій точності вимірювань і надійності, що досягається через використання таких сенсорів, як AD8232 і MAX30102. Масштабованість системи дозволяє адаптувати її до різних потреб, від

індивідуальних користувачів до великих медичних установ. Енергоефективність компонентів, таких як STM32, сприяє зниженню витрат на електроенергію, що є важливим для тривалого використання.

Гнучкість інтеграції з існуючими системами медичного моніторингу та регулярні оновлення програмного забезпечення забезпечують підтримку нових функцій і покращення безпеки. Ці фактори підвищують конкурентоспроможність проекту та його привабливість для користувачів.

Сформуємо узагальнений аналіз слабких і сильних сторін, а також загроз і можливостей у вигляді загального SWOT-аналізу (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 SWOT-аналіз для проєкту "HealthMonitor Pro"

|   |  |
|---|--|
| <p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока точність і надійність вимірювань</li> <li>2. Масштабованість системи</li> <li>3. Енергоефективність</li> <li>4. Гнучкість інтеграції</li> <li>5. Регулярні оновлення ПЗ</li> </ol>  | <p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можливі труднощі з інтеграцією з певними медичними системами.</li> <li>2. Необхідність у додаткових ресурсах для підтримки великого масштабу.</li> <li>3. Витрати на сертифікацію та відповідність стандартам безпеки</li> <li>4. Ризик неповної сумісності з деякими існуючими технологіями</li> <li>5. Потенційні затримки в оновленнях через обмеження в ресурсах</li> </ol> |
| <p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розвиток ринку віддаленого медичного моніторингу.</li> <li>2. Зростаючий попит на персоналізоване здоров'я</li> <li>3. Розширення функціональності системи.</li> <li>4. Співпраця з медичними установами та навчальними закладами</li> </ol> | <p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Залежність від постачальників компонентів</li> <li>2. Ризик витоку чутливих медичних даних через недосконалість систем захисту</li> <li>3. Низька готовність ринку до нових медичних інновацій</li> <li>4. Збільшення конкуренції з боку великих міжнародних компаній</li> </ol>   |

Загальний аналіз підтверджує, що "HealthMonitor Pro" має великі перспективи на ринку, зокрема завдяки унікальній технології та можливості інтеграції з існуючими медичними системами. Незважаючи на деякі слабкі сторони та загрози, вони можуть бути успішно подолані через впровадження відповідних стратегій і забезпечення високої якості роботи системи.

На основі проведеного SWOT-аналізу для проєкту "HealthMonitor Pro" розроблено стратегії для покращення ринкового впровадження, які враховують як внутрішні, так і зовнішні фактори впливу на успішність проєкту (табл. 4.15).

Визначено кілька альтернативних напрямків, які допоможуть підвищити конкурентоспроможність і успішність проєкту на ринку моніторингу здоров'я. Ключовими аспектами є покращення точності та надійності вимірювань, а також розширення функціоналу системи, що відповідає сучасним вимогам медичних технологій. Крім того, стратегія передбачає активну рекламну кампанію, що дозволить залучити більше користувачів і партнерів, що сприятиме збільшенню частки ринку. Ці альтернативи спрямовані на забезпечення тривалого та стабільного розвитку проєкту на ринку, враховуючи його специфіку і потреби споживачів.

Таблиця 4.15 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту "HealthMonitor Pro"

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки | Ймовірність отримання ресурсів   | Строки реалізації |
|-------|--|--|-------------------|
| 1     | Вдосконалення точності і надійності вимірювань                 | Ресурси доступні та використовуються для підвищення ефективності модулю  | 3 місяці          |
| 2     | Розширення функціоналу та можливостей системи                  | Забезпечить конкурентні переваги та високий рівень використання продукту | 4-5 місяці        |
| 3     | Інтенсивна рекламна кампанія та розвиток партнерських відносин | Сприятиме підвищенню усвідомленості та популярності продукту             | 2 місяці          |

Ці стратегії спрямовані на досягнення різних цілей: від покращення точності вимірювань та надійності системи до розширення функціональних можливостей продукту та підвищення популярності через рекламу і партнерства.

Вибір оптимальної стратегії для реалізації проєкту «HealthMonitor Pro» допоможе ефективно скористатися наявними ресурсами і максимально використовувати переваги продукту на ринку медичних технологій.

### 4.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для якісної розробки ринкової стратегії проєкту "HealthMonitor Pro" необхідно визначити стратегію охоплення ринку, яка включатиме основні цільові групи потенційних споживачів. Це дозволить зосередитися на ключових сегментах ринку, з урахуванням їхніх потреб і готовності сприймати нові технології для моніторингу здоров'я. Ось таблиця, яка відображає цільові групи потенційних споживачів та їхні характеристики (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п   | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів  | Готовність споживачів сприйняти продукт   | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)  | Інтенсивність конкуренції в сегменті  | Простота входу у сегмент   |
|---|---|---|--|---|--|
| 1   | Медичні установи (клініки, лікарні, реабілітаційні центри)  | Споживачі мають високий інтерес до інноваційних рішень для моніторингу стану здоров'я   | Високий попит через необхідність постійного контролю стану пацієнтів   | Висока  | Складно через регуляції та сертифікацію медичних пристроїв   |
| 2   | Будинки для людей похилого віку   | Споживачі зацікавлені в технологіях, які допоможуть підтримувати здоров'я та безпеку людей похилого віку                          | Високий попит через зростаючу кількість людей похилого віку  | Середня, оскільки цей сегмент потребує спеціалізованих рішень для догляду           | Середня, через необхідність адаптації до специфічних вимог   |
| 3   | Люди з хронічними захворюваннями або схильністю до їх розвитку (діабет, серцево-судинні захворювання) | Споживачі активно шукають технології для моніторингу свого стану і попередження ускладнень  | Високий попит, оскільки ці люди потребують постійного контролю стану здоров'я                                    | Середня, ринок активно розвивається, але є конкуренція від інших медичних пристроїв | Середня, потребує створення доступних і зручних рішень для користувачів  |
| 4   | Фітнес-клуби та спортсмени  | Споживачі шукають рішення для покращення фізичної форми та здоров'я, включаючи моніторинг пульсу, рівня кисню та інших показників | Високий попит серед активних спортсменів та користувачів фітнес-клубів, які активно слідкують за своїм здоров'ям | Середня, конкуренція з іншими пристроями для фітнесу та здоров'я                    | Легкий вхід, оскільки цей ринок вже має досвід роботи з різними технологіями для моніторингу фізичних показників |
| Обрано цільові групи: медичні установи, будинки для людей похилого віку, люди з хронічними захворюваннями, фітнес-клуби та спортсмени |   |   |  |   |  |

Отже, можна зазначити, що проєкт «HealthMonitor Pro» орієнтований на широкий спектр споживачів, включаючи медичні установи, будинки для людей похилого віку, людей з хронічними захворюваннями, фітнес-клуби. Вибір конкретної



цільової групи є важливим, але не є вирішальним кроком у стратегії впровадження на ринок. Ключовим є забезпечення універсальності продукту та його здатності адаптуватися до різних потреб користувачів, зокрема для моніторингу здоров'я в реальному часі та з віддаленим збором і аналізом даних.

Для кращого розуміння яким чином працювати з обраними цільовими групами необхідно сформуванню базову стратегію розвитку (табл.4.17).

Таблиця 4.17 Визначення базової стратегії розвитку

| № п/п | Обрана альтернатива розвитку проєкту  | Стратегія охоплення ринку           | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи  | Базова стратегія розвитку*                                  |
|-------|---|-------------------------------------|---|---|
|       | Розширення функціоналу та можливостей системи, інтенсивна рекламна кампанія та розвиток партнерських відносин | Стратегія концентрованого зростання | Висока точність та надійність вимірювань, масштабованість, енергоефективність, гнучкість інтеграції, регулярні оновлення ПЗ | Стратегія диференціації за спеціалізованістю та інноваціями |

В ході аналізу стратегії розвитку для проєкту «HealthMonitor Pro» можна визначити ключові напрямки для досягнення успіху на ринку моніторингу здоров'я. Обрані стратегії дозволяють позиціонувати проєкт як передовий та конкурентоспроможний на ринку здоров'я та моніторингу стану людини, сприяючи залученню нових клієнтів, таких як медичні установи, будинки для літніх людей, фітнес-клуби, люди з хронічними захворюваннями та пацієнти, які проходять амбулаторне лікування. Розширення функціоналу та активна рекламна кампанія допоможуть підвищити впізнаваність і популярність продукту серед цільових груп. Стратегія диференціації через інноваційні функції та спеціалізацію забезпечить проєкту конкурентні переваги на ринку.

Наступним кроком буде вибір стратегії конкурентної поведінки. Обрану стратегію показано у табл. 4.18 нижче.

Таблиця 4.18 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| № п/п | Чи є проєкт «першопроходьцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які? | Стратегія конкурентної поведінки*    |
|-------|---|--|---|--------------------------------------|
| 1     | Ні                                      | Буде і шукати нових споживачів і частково забирати існуючих конкурентів        | Не буде, основою проєкту є розробка альтернативних та інноваційних рішень   | Стратегія зайняття конкурентної ніші |

Обрана стратегія конкурентної поведінки для проєкту «HealthMonitor Pro» передбачає активний пошук нових споживачів серед таких груп, як медичні установи, будинки для літніх людей, фітнес-клуби та амбулаторно лікуються пацієнти. Крім того, компанія частково буде забирати споживачів у конкурентів, проте основним завданням є розробка альтернативних та інноваційних рішень, які відрізняються від існуючих продуктів на ринку. Це дозволить зайняти конкурентну нішу у сфері моніторингу здоров'я та розширення можливостей для користувачів.

На основі проведеного аналізу обраного сегменту ринку, а також спираючись на обрану стратегію розвитку та конкурентної поведінки слід розробити стратегію позиціонування (табл. 4.19).

Обрана стратегія позиціонування для проєкту «HealthMonitor Pro» підкреслює високу точність вимірювань, ефективність, надійність системи моніторингу, а також її масштабованість і простоту інтеграції. Стратегія розвитку орієнтована на надання інноваційних та спеціалізованих рішень для віддаленого моніторингу стану здоров'я. Це дозволяє вирізняти проєкт на ринку та задовольняти потреби цільових груп, таких як люди з хронічними захворюваннями, літні люди, пацієнти, які перебувають на амбулаторному лікуванні, а також користувачі фітнес-клубів. Ключовими асоціаціями, що формують комплексну позицію проєкту, є точність, надійність та ефективність. Ці фактори мають критичне значення для створення конкурентних переваг у сфері медичних технологій, що забезпечують моніторинг стану здоров'я на високому рівні.

Таблиця 4.19 Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії                 | Базова стратегія розвитку                                   | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту                                     | Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових) |
|-------|---|---|--|---|
| 1     | Наявність надійного та точного моніторингу здоров'я | Стратегія диференціації за спеціалізованістю та інноваціями | Висока точність вимірювань, надійність системи моніторингу, масштабованість, простота інтеграції | Точність, надійність, ефективність  |

#### 4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розроблення потужної і якісної маркетингової програми для проекту «HealthMonitor Pro» необхідно сформувавши маркетингову концепцію товару, що отримає споживач у кінцевому варіанті, а також визначити вигоди, які це принесе користувачу. На основі проведеного аналізу конкурентоспроможності товару та потреб цільових груп, було узагальнено ключові переваги концепції продукту, представлені в таблиці 4.20 нижче.

Таблиця 4.20. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба   | Вигода, яку пропонує товар   | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)                   |
|-------|---|--|--|
| 1     | Наявність точного моніторингу стану здоров'я  | Забезпечення точності вимірювань параметрів здоров'я (пульс, температура, сатурація, тиск)   | Висока точність та надійність вимірювань порівняно з існуючими моніторинговими системами       |
| 2     | Оперативність збору та аналізу даних  | Забезпечення швидкості збору та обробки даних в реальному часі                               | Швидка обробка та аналіз даних з можливістю миттєвого реагування на зміни в стані здоров'я     |
| 3     | Інтеграція з іншими медичними системами (наприклад, для лікарів, реабілітаційних установ) | Можливість використання даних в поєднанні з іншими системами здоров'я                        | Сумісність з іншими медичними пристроями та платформами для зручності віддаленого моніторингу  |
| 4     | Простота використання та доступність для кінцевого користувача                            | Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів, навіть для людей з обмеженими можливостями | Доступність інтерфейсу для людей з обмеженим зором або похилого віку, зручність у використанні |

Аналізуючи ключові переваги концепції потенційного товару для проекту «HealthMonitor Pro», видно, що він має унікальні характеристики, які сприяють його конкурентоспроможності на ринку. Ці переваги дозволяють «HealthMonitor Pro» стати сильним конкурентом на ринку, орієнтуючись на потреби тих, хто прагне

контролювати своє здоров'я, зокрема, для людей із хронічними захворюваннями, літніх людей, пацієнтів, що перебувають на амбулаторному лікуванні, а також користувачів фітнес-клубів.

Сформуємо основні характеристики і властивості нашого проекту у вигляді трьохрівневої моделі товару. Сформований опис представлено у вигляді таблиці 4.21 нижче.

Таблиця 4.21 Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару                    | Сутність та складові  |         |                   |
|---------------------------------|---|---------|-------------------|
| I. Товар за задумом             | Система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних «HealthMonitor Pro»  |         |                   |
| II. Товар у реальному виконанні | Властивості/характеристики  | М/Нм    | Вр/Тх<br>/Тл/Е/Ор |
|                                 | 1. Точні вимірювання параметрів здоров'я (пульс, температура, сатурація, тиск).   | Нм<br>М | Тх<br>Е           |
|                                 | 2. Швидкий збір і обробка даних в реальному часі.   | Нм      | Вр                |
|                                 | 3. Легка інтеграція з існуючими медичними системами та платформами.   | М       | Тх                |
|                                 | 4. Постійні оновлення програмного забезпечення.   | Нм      | Е                 |
|                                 | 5. Зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувачів.   |         |                   |
|                                 | Якість: висока точність, надійність і простота використання для різних категорій користувачів.  |         |                   |
|                                 | Пакування: комплексна система моніторингу стану людини в комплекті з пристроєм для вимірювань, додатком для мобільних пристроїв і веб-платформою для віддаленого доступу та аналізу даних.  |         |                   |
|                                 | Марка: HealthMonitor Pro  |         |                   |
| III. Товар із підкріпленням     | Після продажу система супроводжується технічною підтримкою, консультаціями з налаштування та інструкцією для користувачів. Також передбачено навчання користувачів на веб-платформі для ефективного моніторингу стану здоров'я та коригування налаштувань |         |                   |

Із наведеної вище таблиці видно, що на першому рівні представлено основну ідею проекту — система моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних «HealthMonitor Pro». На другому рівні описано важливі характеристики та переваги проекту, такі як точні вимірювання ключових показників здоров'я (пульс, температура, сатурація, тиск), швидка передача даних для аналізу, ефективна цінова політика, легка інтеграція з існуючими медичними системами, регулярні оновлення програмного забезпечення та зручний інтерфейс для користувачів. Загалом, представлені характеристики вказують на перспективний та конкурентоспроможний

продукт, здатний задовольнити потреби ринку моніторингу стану здоров'я для різних груп користувачів, включаючи літніх людей, пацієнтів з хронічними захворюваннями та тих, хто проходить амбулаторне лікування.

Після детального аналізу властивостей та характеристик товару слід визначити цінові межі на які слід зважати при встановленні ціни на потенційний товар. Ці межі формуються внаслідок аналізу цін на товари конкурентів та в залежності від доходів споживачів продукту. Отримані межі представлені у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги                     | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|--|--|---|
| 1     | Від 5000 до 55000 грн          | Немає аналогів в широкому доступі, ціна невідома | Від 15000 грн і вище                     | Від 10000 до 30000 грн                                  |

Для «HealthMonitor Pro» межі встановлення ціни коливаються від 10000 до 30000 грн. Це обґрунтовано аналізом цін на товари-замінники та аналогічні медичні пристрої, а також доходами цільової групи споживачів.

Після проведеного аналізу ціни на «HealthMonitor Pro» слід розробити систему збуту товару. Отриману систему представлено у таблиці 4.23 нижче.

Таблиця 4.23 Формування системи збуту

| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів           | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару   | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту                 |
|-------|---|---|----------------------|--|
| 1     | Лікарні, люди з хронічними захворюваннями, люди похилого віку | Технічна підтримка, налаштування, навчання користувачів | Ринок України        | Продажі через веб-сайт та прямі поставки |

Для «HealthMonitor Pro» система збуту включатиме продажі через веб-сайт і партнерські медичні компанії, орієнтуючись на кінцевих споживачів (літніх людей, пацієнтів) і медичних працівників, а також на ринок клінік і лікарень.

Останнім етапом буде формування концепції комунікацій для маркетингу, що ґрунтуються на основі попереднього аналізу проекту. Отриману концепцію представлено у вигляді таблиці 4.24 нижче.

Таблиця 4.24 Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів   | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти    | Ключові позиції, обрані для позиціонування       | Завдання рекламного повідомлення                               | Концепція рекламного звернення  |
|-------|---|---|--|--|---|
|       | Пошук продукту для моніторингу здоров'я | Спеціалізовані медичні сайти, соцмережі, медичні виставки | Моніторинг здоров'я, віддалений контроль показів | Пояснення переваг та ефективності системи моніторингу здоров'я | Акцент на простоті використання та точності вимірювань, надійності й ефективності |

Концепція маркетингових комунікацій для «HealthMonitor Pro» полягає у підкресленні високої точності вимірювань, ефективності в моніторингу здоров'я та легкості використання. Основні канали комунікацій — медичні сайти, соцмережі та спеціалізовані заходи. Рекламні звернення повинні акцентувати увагу на унікальності продукту і його технологічних перевагах.

#### 4.4. Організація реалізації стартап-проєкту

Для успішної реалізації проєкту HealthMonitor Pro важливо створити команду, яка забезпечить ефективне виконання завдань. Ключовими учасниками команди є інженери, програмісти, маркетологи та менеджери, які виконуватимуть конкретні функції. Згідно з розподілом завдань у таблиці 4.25, кожен учасник відповідає за свою частину проєкту, що дозволить зосередитись на основних етапах розвитку продукту.

Таблиця 4.25 Команда стартап-проєкту

| Учасник команди                     | Посада                     | Завдання, що необхідно виконати  |
|-------------------------------------|----------------------------|--|
| Інженер-розробник                   | Керівник розробки          | Розробити прототип системи моніторингу здоров'я, забезпечити його функціональність.    |
| Архітектор програмного забезпечення | Головний програміст        | Розробити програмне забезпечення для системи моніторингу здоров'я.                     |
| Менеджер проєкту                    | Керівник проєкту           | Координувати роботу команди, визначити критичні точки та організувати виконання задач. |
| Спеціаліст з інтеграції систем      | Інженер з інтеграції       | Забезпечити сумісність системи моніторингу зі сторонніми медичними платформами.        |
| Експерт з маркетингу                | Спеціаліст з аналізу ринку | Провести маркетинговий аналіз, розробити стратегію просування продукту на ринку.       |

З метою забезпечення своєчасного виконання завдань створено детальний графік, який чітко визначає терміни та відповідальних осіб за кожну частину робіт. Створений графік подано у табл. 4.26 нижче.

Таблиця 4.26 Календарний план реалізації проекту

| № п/п | Зміст етапу   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |      | Собівартість реалізації |        |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|------|-------------------------|--------|
|       |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12   |                         |        |
| 1     | Розробка прототипу системи моніторингу                    | ■ | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |      |                         | 5000\$ |
| 2     | Розробка програмного забезпечення                         |   |   | ■ | ■ |   |   |   |   |   |    |    |      |                         | 2500\$ |
| 3     | Тестування та налаштування функціональності системи       |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |   |    |    |      |                         | 2000\$ |
| 4     | Проведення аналізу ринку та розробка стратегії маркетингу |   |   |   |   |   |   | ■ |   |   |    |    |      |                         | 1200\$ |
| 5     | Підготовка та запуск рекламної кампанії                   |   |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ |    |    |      |                         | 1500\$ |
| 6     | Випуск на ринок та подальша підтримка клієнтів            |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■    | ■                       | 6000\$ |
|       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | Сума | 18200\$                 |        |

На підставі розробленого календарного плану, вартість повного процесу від формування проекту до початку продажу «HealthMonitor Pro» оцінюється приблизно в 728 тис. грн. Сам процес реалізації проекту включає кілька етапів, серед яких: розробка надійного високоточного модуля для моніторингу стану людини, розробка конструкції та супутньої документації, розробка програмного забезпечення, пошук інвестицій, запуск виробництва та продажу.

Таким чином, виробництво та впровадження «HealthMonitor Pro» передбачає кілька етапів, які включають розробку модуля для моніторингу стану людини, програмне забезпечення, пошук інвестицій та запуск виробництва, що забезпечить успішну реалізацію проекту.

Після створення календарного плану необхідно розробити таблицю вихідних витрат на компоненти та обладнання, необхідні для виготовлення модуля. Розрахунки за цією ініціативою наведено в табл. 4.27.

Таблиця 4.27 Витрати на виробництво

| № п/п | Витрати                               | Тип  | Терміни постачання/виконання | Вартість, \$ |
|-------|---------------------------------------|------|------------------------------|--------------|
| 1     | Мікроконтролер STM32                  | ---- | 3 днів                       | 10           |
| 2     | Модуль для Wi-Fi                      | ---- | 3 днів                       | 3            |
| 3     | Датчик пульсу та сатурації (MAX30102) | ---- | 4 днів                       | 5            |
| 4     | Макетна платформа                     | ---- | 2 днів                       | 4            |
| 5     | Паяльна станція                       | ---  | 2 дні                        | 60           |
| 6     | Припій                                | ---  | 3 днів                       | 5            |
| 7     | Флюс                                  | ---  | 5 днів                       | 4            |
| 8     | Розхідні матеріали                    | ---- | 5 днів                       | 50           |
| Сума  |                                       |      |                              | 141          |

Отже, для старту виробництва одного модулю на початковому етапі потрібно 141 долар. На першій фазі наявні 20 000 доларів для втілення проєкту, а в подальшому можливо залучити інвесторів за допомогою платформи Kickstarter.

### **Висновки до розділу IV**

У цьому розділі розглянуто перспективи впровадження системи моніторингу стану людини з віддаленим збором та аналізом даних — «HealthMonitor Pro». Проєкт має велике значення в контексті сучасних вимог до моніторингу здоров'я, оскільки він надає можливість точно і своєчасно відстежувати фізіологічні параметри, такі як пульс, насичення киснем, температура, артеріальний тиск, рівень глюкози та ЕКГ. Завдяки такій системі користувачі зможуть здійснювати віддалений контроль над своїм здоров'ям, що особливо важливо для людей з хронічними захворюваннями або для тих, хто потребує постійного спостереження.

Розроблений календарний план реалізації проєкту показує, що загальна вартість етапів, пов'язаних із його втіленням, оцінюється на рівні приблизно 22,300 доларів США. Цей процес включає кілька важливих етапів, таких як створення високоточних датчиків та модулів для моніторингу фізіологічних параметрів, розробка конструкції пристрою, програмного забезпечення для збору та обробки даних, а також тестування отриманого продукту. Крім того, передбачається залучення інвестицій через платформи для запуску стартапів, зокрема Kickstarter, а також через участь у IT-



виставках, що дозволить забезпечити необхідне фінансування для запуску виробництва і подальшої реалізації проєкту на ринку.

Висновок підтверджує важливість та актуальність впровадження «HealthMonitor Pro» як інноваційної системи для моніторингу стану здоров'я. Реалізація цього проєкту сприятиме не лише покращенню якості медичного спостереження, а й розвитку нових можливостей у галузі персоналізованої медицини, надаючи людям зручний інструмент для віддаленого моніторингу їх фізичного стану в реальному часі.

## ВИСНОВОК

У магістерській роботі проведено дослідження та розробку концептуальної моделі апаратно-програмного комплексу для моніторингу фізіологічного стану людини з можливістю віддаленого збору, передачі, зберігання та аналізу даних. Основна увага була приділена забезпеченню точності вимірювань, надійності передачі інформації та можливості інтеграції системи із сучасними медичними інформаційними платформами.

Робота містить огляд сучасних методів вимірювання фізіологічних параметрів, таких як пульс, сатурація, температура, артеріальний тиск, рівень глюкози та ЕКГ. На основі цього виконано аналіз апаратних компонентів, таких як датчики, мікроконтролери, модулі зв'язку та джерела живлення, і обґрунтовано їх вибір.

Розроблено алгоритми обробки сигналів для фільтрації шумів і нормалізації даних, а також розглянуто аспекти захисту інформації під час її передачі та зберігання. Використання протоколів MQTT та HTTP дозволяє реалізувати ефективну передачу даних до серверів і мобільних пристроїв, забезпечуючи оперативний доступ до результатів вимірювань для лікарів та зацікавлених осіб.

Розроблена концепція системи показує перспективність її впровадження в медичну практику та домашні умови. Очікується, що така система сприятиме підвищенню доступності та якості медичних послуг, особливо для пацієнтів із хронічними захворюваннями або в реабілітаційний період.

Таким чином, запропонована система моніторингу стану людини відповідає сучасним вимогам у сфері охорони здоров'я та є перспективною для подальшої реалізації та впровадження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] IoT-Based Smart Health Monitoring System: Investigating the Role of Temperature, Blood Pressure and Sleep Data in Chronic Disease Management | IIETA / Abdikarim Abi Hassan та ін. IIETA | Advancing the World of Information and Engineering. URL: <https://www.iieta.org/journals/i2m/paper/10.18280/i2m.220602> (дата звернення: 29.11.2024).
- [2] Towards remote healthcare monitoring using accessible IoT technology: state-of-the-art, insights and experimental design - BioMedical Engineering OnLine / G. Coulby та ін. BioMed Central. URL: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-020-00825-9> (дата звернення: 29.11.2024).
- [3] De Michele R., Furini M. IoT Healthcare. GoodTechs '19: EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good, Valencia Spain. New York, NY, USA, 2019. URL: <https://doi.org/10.1145/3342428.3342693> (дата звернення: 29.11.2024).
- [4] IoT-Based Smart Health Monitoring System: Investigating the Role of Temperature, Blood Pressure and Sleep Data in Chronic Disease Management | IIETA / Abdikarim Abi Hassan та ін. IIETA | Advancing the World of Information and Engineering. URL: <https://www.iieta.org/journals/i2m/paper/10.18280/i2m.220602> (дата звернення: 29.11.2024).
- [5] - Warsi G. G., Hans K., Khatri S. K. IOT Based Remote Patient Health Monitoring System. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), Faridabad, India, 14–16 February 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/comitcon.2019.8862248> (дата звернення: 29.11.2024).
- [6] D. Anandhavalli, N. Shanmuga Sundari, S. Aparna Tharshini, P. Pavithra, and G. Sona, "Patient Health Monitoring System Using IoT Techniques," SSRN Electronic Journal, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3852046.

- [7] Кафедра фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій » Пальцевий фотоплетизмограф. URL: <http://fbme.univer.kharkov.ua/2011/02/palcevyj-fotopletizmograf/> (дата звернення: 06.12.2024).
- [8] Keiser, Gerd & Kao, Fu-Jen. (2008). Biophotonic applications of optical communication devices. Proc SPIE. 6991. 10.1117/12.779945. Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/253554280\\_Biophotonic\\_applications\\_of\\_optical\\_communication\\_devices/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/253554280_Biophotonic_applications_of_optical_communication_devices/citation/download)
- [9] Яковенко І.О. Неінвазивний моніторинг складу макроелементів в крові / Яковенко І.О., Ключко Т.Р., Леус О.О.,// XI Міжнародна науково-практична конференція «Людина і космос» 2009р.—Дніпропетровськ; Дніпропетровськ; НЦАОМУ, 2009. -С.265.
- [10] Біофізика і біомеханіка : підруч. / В.С.Антонюк, М.О Бондаренко., В.А.Ващенко та ін. Г.В. Канашевич, Г.С. Тимчик, І.В. Яценко – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 344 с.
- [11] M. Bezuglyi, N. Bezuglaya, O. Kuprii and I. Yakovenko, "The non-invasive optical glucometer prototype with ellipsoidal reflectors," 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/RTUCON.2018.8659864.
- [12] Coralie Le Greneur, Brice Sagot Brice. Non-Invasive Glucose Monitoring. Patent Landscape. Режим доступу: [https://www.knowmade.com/wp-content/uploads/2015/09/Non-Invasive-Glucose\\_Patent\\_Landscape\\_2015\\_Flyer.pdf](https://www.knowmade.com/wp-content/uploads/2015/09/Non-Invasive-Glucose_Patent_Landscape_2015_Flyer.pdf)
- [13] Noninvasive Blood Gas Monitoring. - Режим доступу: <https://thoracickey.com/noninvasive-blood-gas-monitoring/>
- [14] Гемоглобін (Hb, hemoglobin). Режим доступу: <https://donor.ua/pages/2029>
- [15] Баженов В. Г. Електроніка. Лабораторний практикум / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслов, Ю. Ю. Лисенко, А. С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.

- [16] Галаган Р. М., Момот А. С. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.
- [17] Faulkenberry L. M. An introduction to operational amplifiers with linear ic applications. 2nd ed. New York : John Wiley and Sons, 1982. 530 p.
- [18] Датчик тиску NXP (FREESCALE) MPXV5050GP PBF Imrad - інтернет-магазин радіодеталей та електронних комплектуючих. URL: <https://imrad.com.ua/ua/mpxv5050gp-pbf-7> (дата звернення: 07.12.2024).
- [19] Модуль AD8232 серцевого ритму ЕКГ. Інтернет-магазин ЧП Ворон. URL: <https://voron.ua/uk/catalog/042194--modul-ad8232-serdechnogo-ritma-ekg> (дата звернення: 07.12.2024).
- [20] Y. Krainyk, Y. Darnapuk, and I. Simakova, “Software System for Physical Activity Monitoring: Smart Watch Case,” in IDAACS-SWS 2020 - 5th IEEE International Symposium on Smart and Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Proceedings, 2020. doi: 10.1109/IDAACSSWS50031.2020.9297093.
- [21] Фотодіод ФД-21КП. URL: <https://standart-pribor.com.ua/product/fd-21kp-fotodiod/> (дата звернення: 06.12.2024).
- [22] Світлодіод інфрачервоний 5mm, 940nm L-53F3C. РКС Компоненти - РАДІОМАГ. URL: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/svitlodiod-infrachervonyi-5mm-940nm-l-53f3c\\_36517.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/svitlodiod-infrachervonyi-5mm-940nm-l-53f3c_36517.html) (дата звернення: 06.12.2024).
- [23] Муравйов, О. В. Передача даних та сучасні методи обробки сигналів. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / О. В. Муравйов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 7,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.

[24] Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29. (DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/05>)

[25] Куц, Ю. В. Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно–інтегровані технології / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.