

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет програмних систем та прикладної математики
Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних
систем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

“ ____ ” _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи»
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
на тему: «Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних
пристроїв»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи КВ-23

Празмовська Владислава Вікторівна _____

Керівник:

Доцент кафедри СПІСКС, к.т.н., доцент,

Петрашенко Андрій Васильович _____

Консультант з нормоконтролю:

Доцент кафедри СПІСКС, к.т.н., доцент,

Клятченко Ярослав Михайлович _____

Рецензент:

к.т.н., доцент кафедри ПЗКС ФПСМ

Заболотня Тетяна Миколаївна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2026 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет програмних систем та прикладної математики
Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних
систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ
«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студента
Прахмовській Владиславі Вікторівні

1. Тема проєкту «Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв», керівник проєкту оцент кафедри СПІСКС, к.т.н., доцент, Петрашенко Андрій Васильович, затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. № 1984-с
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: див. Технічне завдання
4. Зміст пояснювальної записки:
 - 1) Аналіз існуючих рішень та обґрунтування теми дипломного проєкту.
 - 2) Аналіз обраних технологій та апаратних засобів
 - 3) Реалізація програмно-апаратного комплексу
5. Перелік графічного матеріалу:
 - 1) Схема електрична функціональна
 - 2) Концептуальна схема архітектури системи
 - 3) Функціональна схема роботи системи

4) Схема алгоритму циклу вимірювання та відправки

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Клятченко Я. М., доцент кафедри СПіСКС, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вивчення літератури за тематикою проєкту	15.04.2026	
2.	Розроблення та узгодження технічного завдання	30.04.2026	
3.	Аналіз існуючих рішень	05.05.2026	
4.	Підготовка матеріалів першого розділу дипломного проєкту	10.05.2026	
5.	Підготовка матеріалів другого розділу дипломного проєкту	18.05.2026	
6.	Підготовка графічної частини дипломного проєкту	20.05.2026	
7.	Оформлення документації дипломного проєкту	25.05.2026	
8.	Попередній огляд матеріалів диплому на кафедрі	30.05.2026	

Студент _____ Владислава ПРАЖМОВСЬКА

Керівник проєкту _____ Андрій ПЕТРАШЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку (72 с., 17 рис., 2 табл.).

Об'єкт розробки – комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних приладів.

Комп'ютерна система дозволяє: здійснювати передачу результатів медичних пристроїв на мобільний застосунок, зберігати їх у базі даних для подальшого аналізу самим додатком, репрезентувати користувачеві та за потреби медичному спеціалісту. Передбачена можливість відстеження декількох параметрів на основі результатів даних. В процесі розробки були використані: мікроконтролерна платформа з Bluetooth модулем для бездротової передачі даних, Expo Secure Store для безпечного зберігання конфіденційних даних користувача у мобільному додатку. В якості бази даних використовувалась Async Storage.

В ході розробки:

- проведено аналіз існуючих систем збереження та аналізу даних, зібраних з медичних пристроїв;
- сформульовані вимоги до: апаратної частини збору та передачі даних, комп'ютерної системи обробки даних;
- розроблена структура апаратної складової та комп'ютерної системи;
- розроблено комп'ютерну систему для обробки та відображення даних з медичних приладів;
- розроблено апаратний модуль на базі мікроконтролерної платформи з модулем бездротової передачі даних у програмне забезпечення;
- розроблено програмне забезпечення мікроконтролера для взаємодії з модулем передачі даних.

Упровадження цієї системи дозволить покращити збір та довгострокове відображення даних, а також збільшити ефективність користування медичними приладами.

Ключові слова:

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ МЕДИЧНИХ ПРИЛАДІВ, HEALTH CHECKER, REACT NATIVE, EXPO SECURE STORE, BLUETOOTH LOW ENERGY, TONOMETER.

ABSTRACT

The explanatory note to the diploma project consists of (72 pages, 17 figures, 2 tables).

The object of development is a computer system for collecting and analyzing data from medical devices.

The computer system allows: the transfer of medical device results to a mobile application, their storage in a database for further analysis by the application itself, and their presentation to the user and, if necessary, to a medical professional. The system provides the ability to track multiple parameters based on the data results. The following were used during development: a microcontroller platform with Bluetooth module for wireless data transfer, and Expo Secure Store for the secure storage of confidential user data within the mobile app. Async Store was used as the database.

During the development process:

- an analysis was conducted of existing systems for storing and analyzing data collected from medical devices;
- requirements were formulated for: the hardware components for data collection and transmission, and the computer system for data processing;
- the structure of the hardware component and the computer system was developed;
- a computer system for processing and displaying data from medical devices was developed;
- a hardware module based on a microcontroller platform with a wireless data transmission module to the software was developed;

Microcontroller software has been developed to interact with the data transmission module. The implementation of this system will improve data collection and long-term data display, as well as increase the efficiency of medical device use.

Keywords:

COMPUTER SYSTEM FOR COLLECTING DATA FROM MEDICAL DEVICES, HEALTH CHECKER, REACT NATIVE, EXPO SECURE STORE, BLUETOOTH LOW ENERGY, TONOMETER.

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
	A4	ІАЛЦ.045430.002 ТЗ	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв. Технічне завдання	4		
	A4	ІАЛЦ.045430.003 ТП	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв. Відомість технічного проекту	2		
	A4	ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв. Пояснювальна записка	72		
	A4	ІАЛЦ.045430.005 Е2	Електрична схема розробленого апаратного забезпечення. Схема електрична функціональна	1		
	ІАЛЦ.045430.001 ОА					
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив	Пражмовська В.В.				Літ.	Аркуш
Перевірив	Петрашенко А.В.					Аркушів
Консулт.						1
Н. контроль	Клятченко Я.М.				КПП ім. Ігоря Сікорського, ФПСМ КВ-23	
Зав. каф.	Романкевич В.О.				2	
					Опис альбому	

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
	A4	ІАЛЦ.045430.006 Д2	Концептуальна схема	1		
			архітектури системи збору			
			та аналізу даних медичних			
			пристроїв.			
			Схема структурна			
	A4	ІАЛЦ.045430.007 Д3	Взаємодія модулів системи	1		
			збору та аналізу			
			даних медичних			
			пристроїв.			
			Схема структурна			
	A4	ІАЛЦ.045430.008 Д4	Алгоритм	1		
			вимірювання та відправки			
			даних медичних пристроїв			
			Схема алгоритму			
		Диск CD-ROM	Текст пояснювальної	1		
			записки.			
			Графічний матеріал.			
			Лістинг коду програми.			

					ІАЛЦ.045430.001 ОА	Арк.
						2
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ	2
2. ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ.....	2
3. ЦІЛЬ І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ	2
4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ	2
5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ	2
5.1. Вимоги до програмного продукту, що розробляється	2
5.2. Вимоги до апаратного забезпечення	3
5.3. Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача	3
6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ	4

					ІАЛЦ. 045430.002 ТЗ				
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних приладів Технічне завдання				
Розроб.	Празмовська								
Перев.	Петрашенко								
Н. контр.	Клятченко								
Затв.	Романкевич				Лім. Лист 1 Листів 4 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФПСМ, КВ-23				

1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ГАЛУЗЬ РОЗРОБКИ

Назва розробки: «Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних вимірювальних приладів».

Галузь застосування: автоматизація збору, обробки, передачі та візуалізації даних медичних пристроїв у системах моніторингу стану пацієнтів і цифрової медичної інфраструктури.

2. ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, затверджене кафедрою системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського».

3. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Метою даного проекту є створення комп'ютерної системи для збору та аналізу даних медичних пристроїв для ефективізації їх використання.

4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелом інформації є технічна та науково-технічна література, технічна документація, публікації у періодичних виданнях та електронні статті у мережі Інтернет.

5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1. Вимоги до програмного продукту, що розробляється

- сумісність з будь якою операційною системою (IOS,Android,WP);

					ІАЛЦ. 045430.002 ТЗ	Лист 2
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- можливість бездротового підключення до медичних пристроїв за допомогою Bluetooth;
- можливість довгострокового збереження даних;
- можливість додавати поточні виміри;
- наявність візуалізації графіків на основі зібраних даних;
- наявність зручного користувацького інтерфейсу;
- попередня обробка, фільтрація та систематизація даних;
- безпечне збереження конфіденційних даних.

5.2. Вимоги до апаратного забезпечення

- Наявність ESP32 з вбудованим модулем передачі даних;
- Підтримка підключення медичних пристроїв;
- Обсяг оперативної пам'яті не менше 520 КБ для роботи алгоритмів.

5.3. Вимоги до програмного та апаратного забезпечення користувача

- Операційна система Android, iOS.

6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів
1.	Вивчення літератури за тематикою проекту	15.04.2026
2.	Розроблення та узгодження технічного завдання	30.04.2026
3.	Аналіз існуючих рішень	05.05.2026
4.	Підготовка матеріалів першого розділу дипломного проекту	10.05.2026
5.	Підготовка матеріалів другого розділу дипломного проекту	18.05.2026
6.	Підготовка графічної частини дипломного проекту	20.05.2026
7.	Оформлення документації дипломного проекту	25.05.2026
8.	Попередній огляд матеріалів диплому на кафедрі	30.05.2026

					ІАЛЦ. 045430.002 ТЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Поз.	Формат	ПОЗНАЧЕННЯ	НАЙМЕНУВАННЯ	Кількість аркушів	№ прим.	Примітки
	A4	IАЛЦ.045430.004 ПЗ	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв. Пояснювальна записка	72		
	A4	IАЛЦ.045492.005 Е2	Електрична схема розробленого апаратного забезпечення. Схема електрична функціональна	1		
	A4	IАЛЦ.045430.006 Д2	Концептуальна схема архітектури системи збору та аналізу даних медичних пристроїв. Схема структурна	1		
	A4	IАЛЦ.045430.007 ДЗ	Взаємодія модулів системи роботи системи збору та аналізу даних медичних пристроїв. Схема структурна	1		
Zмін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	IАЛЦ.045430.003 ТП	
Розробив	Пражмовська В.В.				Літ.	Аркуш Аркушів
Перевірив	Петрашенко А. В.					1 2
Консульта.					КПП ім. Ігоря Сікорського, ФПСІМ КВ-23	
Н. контроль	Клятченко Я.М.					
Зав. каф.	Романкевич В.О.					

[illegible]

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ**

на тему: «Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних
вимірювальних пристроїв»

Київ – 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	4
ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ	7
1.1 Актуальність цифрових медичних технологій	7
1.2 Роль персональних медичних пристроїв у сучасному моніторингу здоров'я	8
1.3. Аналіз існуючих цифрових рішень моніторингу здоров'я.....	11
1.3.1 Apple Health.....	12
1.3.2 Samsung Health	12
1.3.3 Bayer HealthCare.....	13
1.4 Типова архітектура існуючих систем	14
1.5 Недоліки та обмеження існуючих рішень	17
1.6 Обґрунтування теми дипломного проєкту	20
1.7 Висновки до розділу	22
2 АНАЛІЗ ОБРАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ.....	24
2.1 Тонometr Gamma M 1S1.....	24
2.2 Мікроконтролер ESP32 WROOM-32	26
2.2.1 Inter-Integrated Client (I2C)	28
2.2.2 Операційна система FreeRTOS	30
2.3 Датчик тиску MP3V5050GP NXP.....	31
2.4 Бездротова технологія Bluetooth Low Energy (BLE)	34
2.5 Аналого-цифровий перетворювач ADS1115	36
2.6 OLED-дисплей 0.96 I2C 128x64	38
2.7 Технології розробки мобільного застосунку	40
2.7.1 Бібліотека React Native	40
2.7.2 Інструмент типізації мови програмування Type Script	42

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ			
Змін	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних пристроїв Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Празмівська В.В.						2	72
Перевірив	Петрашенко А.В.							
Н. контроль	Клятенко Я.М.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПСІМ КВ-23		
Затвердив	Романкевич В.О.							

2.7.3 Середовище розробки мобільного застосунку Eхро	43
2.7.4 Бібліотека для роботи з BLE	44
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ	47
3.1 Загальна архітектура	47
3.2 Реалізація апаратної частини.....	50
3.3 Реалізація програмного забезпечення та обробка аналізів апаратної частини.....	53
3.4 Реалізація мобільного застосунку	58
3.4.1 Призначення мобільного застосунку	58
3.4.2 Функціонал та користувацький інтерфейс додатку	60
3.5 Тестування розробленої комп'ютерної системи	63
3.6 Розширення функціональних можливостей платформи збору медичних даних	65
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

ДОДАТКИ

Додаток 1. Копії графічного матеріалу.

- ІАЛЦ. 045430.005 Е2. Схема електрична функціональна
- ІАЛЦ. 045430.006 Д2. Концептуальна схема архітектури системи
- ІАЛЦ. 045430.007 Д3. Функціональна схема роботи системи
- ІАЛЦ.045430.008 Д4. Схема алгоритму циклу вимірювання та відправки

Додаток 2. Фрагменти програмного коду.

Додаток 3. Презентація дипломного проєкту

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач, перетворює аналоговий сигнал

SQL – Structured Query Language, мова запитів до БД

REST API – Representational State Transfer API, інтерфейс обміну даними

BLE – Bluetooth Low Energy, енергоощадний Bluetooth-зв'язок

AI – Artificial Intelligence, штучний інтелект

ESP 32 – Espressif Systems 32, мікроконтролер з Wi-Fi/Bluetooth

API – Application Programming Interface, інтерфейс прикладного програмування. Набір функцій і протоколів для взаємодії між програмними компонентами.

IoT – Internet of Things, інтернет речей, концепція взаємозв'язку фізичних пристроїв з мережею Інтернет.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						4
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Паралельно з появою повсякденних технологій, які виникли для комфорту проживання людства, формувалися також ті, що несли користь іншим галузям, от як медицина. З появою медичних пристроїв процес відстеження стану здоров'я став швидким та ефективним, використання технологій у медицині призвело до інтеграції цих секторів. Відповідно, працівники медичної сфери діють згідно з вимогами сучасності: отримують потрібні навчання та інструкції з використання пристроїв, таких як МРТ чи рентген-систем. Ці апарати використовуються стаціонарно та є масштабним епізодичним методом діагностики. На відміну від них, коли стан здоров'я потребує щоденного моніторингу – використовуються менш масштабні пристрої домашнього вимірювання.

Тонometri, глюкометри, пульсоксиметри та інші подібні прилади готові до використання не залежно від місця перебування, що дає змогу особам із певними медичними особливостями чи захворюваннями контролювати стан протягом дня. Доступність таких пристроїв у необхідні моменти сприяє своєчасному контролю показників, та може допомогти попередити погіршення стану здоров'я у сукупності з подальшим прийняттям запобіжних засобів.

Проте не зважаючи на практичність медичних пристроїв, показники з часом втрачаються, або є знехтуваними самими користувачами, коли значення не відповідає самопочуттю. Людський фактор завжди присутній, а також не можна виключати нечасту наявність нетипових показників, що можуть свідчити про відхилення від норми самопочуття або містити натяк на критичне погіршення стану здоров'я. Такі нюанси повинні бути зафіксовані для подальшого обговорення з лікарем, особливо враховуючи вразливість організму літніх людей.

Варто зазначити, що певні пристрої таки містять вбудовану систему недовгострокової фіксації результатів, проте їх можливості обмежуються

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальним збереженням визначеної кількості вимірювань без детального аналізу чи моніторингу.

Однією із глобальних проблем лишається відсутність систематизації даних та показників різних медичних пристроїв, так як аналіз змін сукупності показників та їх взаємозалежність відіграє важливу роль у правильному встановленні діагнозу. Окрім цього, автоматичне накопичення статистики дозволяє сформувати повну картину стану здоров'я протягом потрібного періоду.

З наявними технологіями сьогодення є можливість створити систему, що зберігатиме усі дані автоматично. Дана робота надасть змогу масштабувати інфраструктуру, зокрема з розвитком мобільних і бездротових технологій існують передумови синхронізації побутових медичних пристроїв з програмними системами моніторингу, та уже існуючих рішень, що активно використовуються країною.

Цифровізація підходів відстеження та ведення звітності стану, історій хвороб, ремісій та рецидивів, замінюючи традиційний паперовий та архівний підходи, створює можливості виконання додаткових досліджень, направлених на покращення стану пацієнта. Таким чином, втрати медичних карток та анамнезів не призведуть до перманентного порушення цілісності даних. Така масштабована система дає можливості агрегації даних пацієнтів для передачі всесвітнім організаціям охорони здоров'я для дослідження різних випадків.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						6
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

1.1 Актуальність цифрових медичних технологій

Стрімкий розвиток інформаційних технологій має суттєвий вплив на життя та діяльність людини, аналогічно він поширився і на медицину. Збільшення обсягів медичної інформації, спрощення обміну досвідом на міжнародних конференціях, де підводяться підсумки статистики захворювань, підходи та практики, дослідження хвороб та їх поширення чи набуття, необхідність точності діагностики і лікування, обмін історій та станів здоров'я пацієнтів між лікарями призвели до активного впровадження цифрових технологій у медичну сферу.

Завдяки інформаційним технологіям з'явилися і модернізувалися багато критично важливих пристроїв і систем, таких як МРТ, КТ, та інші. Такі пристрої часто вимагають складних математичних обчислень і фізичних процесів, які неможливо проводити вручну. Саме тут комп'ютерні системи стали незамінними та широко використовуваними. Комп'ютерні системи дозволили реалізувати всі ці пристрої а також надавати точну, детальну і інтуїтивно зрозумілу інформацію яка значно спрощує діагностування, ведення історії хвороби і лікування. Окрім стаціонарних медичних систем, значного поширення набули побутові персональні пристрої для відстеження стану здоров'я, такі як автоматичні тонометри, пульсоксиметри, глюкометри та інші. Їхнє використання дозволило здійснювати постійний контроль над станом здоров'я без регулярного відвідування медичних закладів. В силу своєї надзвичайної ефективності вони стали необхідною складовою медицини. Разом з цим загострилась проблема збереження всіх результатів і даних.

Традиційне ведення медичної документації, обробки результатів досліджень, історії стану здоров'я і протікання хвороб суттєво залежали від ручної роботи і фізичного зберігання інформації. Це створювало ризик втрати частини даних, ускладнення передавання документів між лікарями і медичними

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

зкладами, відсутності постійного відстеження стану, неточності їх інтерпретації. Такі аспекти ускладнювали швидкий доступ до даних, діагностування і лікування, підвищували ризик помилок і створювали проблеми фрагментації медичної інформації. Сучасна медицина потребує значних обсягів даних, що включають результати аналізів, історію захворювань, показники фізичного стану, результати обстежень, підходи і процеси лікування. Це викликає необхідність у використанні електронних систем збереження, обробки та аналізу інформації.

На сьогоднішній день важливим також став збір інформації не тільки про конкретну людину, а також загалом про конкретні хвороби та якомога більше інформації про випадки, симптоми, передумови, реакції на лікування. Такі деталі корисні для статистичного дослідження і пошуку певних кореляцій в різних випадках, вони також дозволяють покращувати якісні підходи і відсіювати неефективні, збирати бази знань для лікарів, аби вони мали доступ до потрібної інформації з приводу рідкісних захворювань одразу, без потреби відвідування засідання лікарів чи консиліумів. Деякі країни уже впроваджують тренування AI для спрощення аналізу цих баз знань та легкого доступу до них. Це не лише величезний крок для медицини, але й причина повністю відмовитися від традиційного паперового ведення документації.

1.2 Роль персональних медичних пристроїв у сучасному моніторингу здоров'я

Певні медичні прилади у побуті існували завжди, не залежно від їхнього походження, будь це традиційна медицина чи аналогова. Багато медичних технологій було винайдено саме в 70х роках попереднього століття, хоча у широкий вжиток вони ввійшли ближче до 2000х. Візьмемо до прикладу ртутні термометри, їх зручність не переважала проблему постійного пошкодження, та

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

потребу мати запасний. З роками їх виробництво було зведене до мінімуму, через приєднання багатьох країн до Мінаматської конвенції [1], одне з питань якої було спрямоване на захист здоров'я людей та довкілля від антропогенних викидів та вивільнення ртуті. Таким чином, на зміну їм прийшли набагато безпечніші та довготриваліші, по типу електронних (цифрових), автоматичних та інфрачервоних; останні – безконтактні, що зчитують тепловий спектр тіла чи поверхні. Їх використання дозволяє за лічені секунди вимірювати температуру тіла людини будь-якої вікової категорії.

Іншим прикладом стали розумні електронні годинники, що являють собою носимий електронний пристрій з можливістю отримувати дзвінки, сповіщення та повідомлення, якщо під'єднати до телефону. Оскільки популярності вони набрали завдяки сенсорам, що можуть зчитувати: пульс, рівень кисню в крові та інші показники, то через це певні категорії людей почали вважати їх одним із обов'язкових повсякденних пристроїв. Хоча назвати такий годинник медичним приладом складно, але він також спрямований на моніторинг стану здоров'я.

Загалом медичні апарати широко застосовуються у галузі медицини, точність їх вимірювань або змога надати деталізовану картину органів чи частин тіла робить їх незамінними. З їх появою відпала потреба оперативного втручання аби визначити корінь проблеми та на ранніх стадіях запобігти їй, тобто мінімально інвазивний підхід діагностики. Хірургія також почала переймати технологічні методи, та наразі найпростіші операції можуть бути проведені роботизовано, з меншою травматичністю та коротшим періодом реабілітації. Такі технології будуть поширені в уже найближчому майбутньому, а особливо з використанням AI. Його інтеграція у технології уже має місце, і враховуючи те, що він запобігає наявності людської помилки, цей підхід буде чи не ефективнішим за традиційну хірургію, з огляду на тенденцію стрімкого розвитку штучного інтелекту [2].

Інші застосування прикладного сенсу цифровізації медицини в:

- Автоматизації виконання, обробки і збереження аналізів пацієнта;

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Діагностиці за допомогою МРТ, КТ, ультразвукових систем, тощо;
- Домашньому моніторингу фізіологічних показників людини, дистанційній медицині для передачі даних і показників здоров'я між пацієнтом і лікарем;
- Збереженні медичної документації та спрощення доступу до даних пацієнтів;
- Довготривалому збереженні історії протікання хвороби, досліджень та аналізу динаміки показників;
- Автоматичному сповіщенні про критичні або нетипові показники здоров'я
- Інтеграції з пристроями для постійного відстеження і збору інформації про стан організму.

Окрім вищенаведених прикладів існує безліч інших пристроїв, що використовуються повсякденно. Зокрема ця робота націлена на розгляд інтеграції глюкометрів, тонометрів у єдину систему відстеження стану здоров'я. Таким чином з'явиться можливість визнання домашніх вимірювань всеукраїнською електронною системою охорони здоров'я, підкріплюючи дослідження та попередню статистику.

Раніше значна частина діагностики могла виконуватись виключно у медичних закладах спеціалістами. Сьогодні поширення персональних діагностичних пристроїв значно спростило діагностику і дозволяє виконувати контроль стану в самостійно і в домашніх умовах. Розвиток електроніки, мікропроцесорів, сенсорних технологій та мобільних пристроїв створили можливість реалізації компактних, доступних і простих в використанні засобів моніторингу здоров'я.

Найбільш поширеними персональними медичними пристроями є автоматичні тонометри, глюкометри, пульсоксиметри, електронні термометри і розумні годинники. Подібні пристрої допомагають контролювати артеріальний тиск, рівень глюкози в крові, рівень насичення киснем, температуру і для багатьох випадків це суттєво підвищує безпеку людини. Багато таких пристроїв

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

реалізовані повністю автономними, що мінімізує втручання людини і необхідність ручного контролю. Особливої актуальності такі пристрої набули для людей з серцево-судинними, ендокринними і іншими хронічними захворюваннями. Такі функції є важливою перевагою персональних медичних пристроїв перед разовими відвідуванні медичних закладів і часто можуть навіть попередити або пришвидшити надання негайної спеціалізованої допомоги в разі погіршення стану. Наприклад пульсоксиметри, вбудовані в розумні годинники та глюкометри, які встановлюються на тіло пацієнта і безперервно контролюють рівень цукру в крові. Значна частина таких пристроїв має цифрові функції збереження результатів вимірювання та аналізів, передачі інформації лікарям, медичним закладам і програмним системам, формування статистики. Це створює передумови для більш систематизованого підходу до моніторингу здоров'я та подальшого розвитку цифрових медичних систем.

1.3 Аналіз існуючих цифрових рішень моніторингу здоров'я

Сучасні персональні цифрові системи, програми і пристрої спрямовані на постійний контроль фізичного стану людини. Вони реалізують широкий спектр можливих функцій для моніторингу і в межах одного пристрою чи додатку можуть бути імплементовані одразу декілька можливостей, наприклад пульсоксиметр, термометр, тонометр, стан збудження нервової системи і якості сну. Також вони підтримують ведення історичності і передачі даних на мобільні пристрої за допомогою Bluetooth, WiFi або інших бездротових технологій.

Пристрої моніторингу здоров'я мають і певні обмеження. Сучасні системи є пропрієтарними і орієнтовані на конкретні мобільні додатки, хмарні технології і працюють в межах певної цифрової екосистеми, орієнтовані на конкретні пристрої.

Розглянемо приклади Apple health, Samsung health та Bayer HealthCare.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.3.1 Apple Health

Одним із найбільш поширених сучасних рішень моніторингу здоров'я є система Apple Health, розроблена компанією Apple. Дана платформа розроблена для централізованого збору, збереження та перегляду фізіологічних показників користувача, отриманих із мобільних пристроїв і сумісних медичних систем.

Система підтримує різноманітні типи медичної та фізіологічної інформації, зокрема показники серцевого ритму, артеріального тиску, якості сну, фізичної активності та іншими параметрами фізичного стану користувача. Значна частина даних може автоматично інтегруватись з пристроями, такими як Apple Watch, а також із сторонніми Bluetooth пристроями і застосунками здоров'я.

Однією з основних функцій інфраструктури є довготривале збереження історії вимірювань та візуалізації динаміки показників. Система дозволяє переглядати статистику стану користувача в різних проміжках часу, формувати узагальнену статистику змін фізичного стану та зберігати результати досліджень. Архітектурно платформа реалізована лише для цифрової інфраструктури Apple та орієнтована на використання сумісних пристроїв і сервісів компанії, тобто взаємодія між іншими мобільними пристроями і системами здоров'я обмежена і реалізовується тільки через власні механізми передачі даних, синхронізації і збереження даних, через це інтеграція з іншими системами неможлива.

1.3.2 Samsung Health

Ще одним поширеним рішенням у сфері цифрового моніторингу здоров'я є система Samsung Health. Дана платформа орієнтована на збір, аналіз і візуалізацію щоденного контролю стану здоров'я, безперервного моніторингу і

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

12

централізованого збереження інформації в межах однієї цифрової екосистеми, тобто схожі функції що й вищесказаний приклад.

Платформа підтримує моніторинг широкого спектру показників, зокрема частоти серцевого ритму, рівень фізичної активності, показники артеріального тиску, рівня стресу, насичення крові киснем та інші. Основними пристроями інтеграції є Samsung Galaxy Watch та фітнес браслети. Передача інформації між пристроями та мобільними застосунками виконується за допомогою бездротових технологій синхронізації, таких як Bluetooth, Wi-Fi, та іншими.

На відміну від Apple Health, ця платформа надає рекомендації щодо фізичної активності, режиму сну, підтримання стану здоров'я і своєчасного обстеження в разі відхилень чи незадовільних показників здоров'я. Все це реалізовано на основі довготривалого накопичення і аналізу статистики користувача, хоч і не є прямим медичним пристроєм.

Як і Apple Health, Samsung Health архітектурно реалізована як частина цифрової екосистеми Samsung та переважно розрахована на використання сумісних пристроїв компанії. Взаємодія між пристроями, мобільними застосунками та сервісами здійснюється через власні протоколи синхронізації та програмні інтерфейси, що ускладнює інтеграцію з іншими пристроями і системами поза екосистемою Samsung. Платформа Android надає багато інструментів і можливостей для розробки і інтеграції програмного забезпечення з їх інфраструктурою, але все ще має суттєві обмеження через пропрієтарність більшості технологій компанії.

1.3.3 Bayer HealthCare

Окремим прикладом розглянемо спеціалізоване медичне рішення моніторингу діабету, що історично розвивалась компанією Bayer, а згодом була продовжена під брендом Ascensia Diabetes Care. Найбільш відомим рішенням даної екосистеми є платформа Contour Diabetes, яка працює у взаємодії з

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

глюкометрами серії Contour Next та іншими сучасними пристроями вимірювання рівня глюкози в крові.

Основним призначенням даної системи є моніторинг показників глюкози користувача, формування щоденнику та довготривале збереження історії вимірювань. Передача даних між глюкометром та мобільним застосунком відбувається через BLE, що робить пристрій більш надійним і автономним в порівнянні з іншими аналогами. Після передачі даних на мобільний пристрій результати синхронізуються з хмарними сервісами компанії для подальшого збереження та перегляду. Одною із функцій є побудова графіків, аналіз тенденції зміни рівня глюкози в крові, формування нагадувань та передачі вимірювань і звітів лікарям та медичним закладам.

Система дозволяє доповнювати результати вимірювань додатковою інформацією про фізичну активність, прийоми їжі, медикаментів та інші фактори, що можуть впливати на рівень глюкози в крові. Це створює більш точні записи для аналітики, виявлення закономірностей у показниках, в залежності від різних факторів та формування нагадувань та сповіщень про критично високі або низькі показники.

Екосистема реалізована як спеціальне рішення для контролю діабету, що функціонує в межах власної програмно-апаратної інфраструктури. Взаємодія між мобільними додатками, пристроями та медичними системами реалізована через власні програмні інтерфейси та протоколи синхронізації і орієнтовані на використанні спеціальних рішень компанії у межах відповідної інфраструктури. Це відокремлює систему від можливих інтеграцій з іншими рішеннями і призводить до необхідності використовувати різні інфраструктури для різних показників, що робить моніторинг здоров'я більш складною процедурою.

1.4 Типова архітектура існуючих систем

Типова архітектура існуючих систем моніторингу здоров'я базується на багаторівневій моделі взаємодії між апаратними пристроями (рис. 1),

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мобільними застосунками, серверною інфраструктурою та хмарними технологіями. Основною метою подібної архітектури є забезпечення безперервного збору, синхронізації збереження та аналізу фізичних показників користувача у межах єдиної цифрової системи.

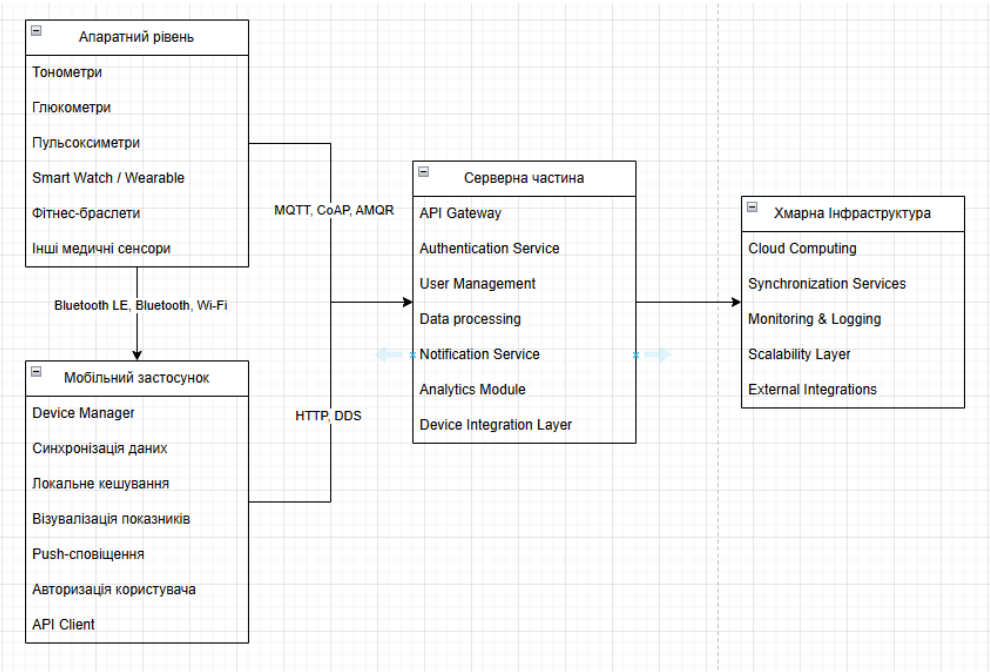


Рисунок 1 – Модель взаємодії компонентів системи збору медичних даних

На нижньому рівні архітектури розташовані апаратні модулі збору даних, представлені персональними медичними пристроями, що мають вбудовані сенсори, модулі обробки сигналів та засоби передачі даних до мобільних застосунків. В залежності від типу системи і кінцевого отримувача інформації, можуть використовувати різні протоколи комунікації, наприклад BLE, Wi-Fi, MQTT, орієнтовані на енергоефективність, стійкість до мережевих помилок та нестабільності і надійності доставки показників і даних.

Проміжним рівнем архітектури зазвичай виступає мобільний додаток. Його роль це інтерактивна взаємодія з користувачем, шлюз між медичними пристроями та серверами екосистеми. На цьому рівні реалізуються модулі

синхронізації даних, локального кешування, візуалізації показників, сповіщень, передачі даних, авторизації і первинної обробки інформації. Значна частина сучасних платформ використовує фонову синхронізацію і інтеграцію з системними сервісами мобільних операційних систем. Завдяки всім цим функціям користувач може постійно відстежувати виміри, додавати інформацію, під'єднувати або видаляти пристрої, а також надавати отриману інформацію лікарям в читабельному вигляді.

Наступним рівнем архітектури зазвичай виступає серверна частина. Реалізується у вигляді хмарної інфраструктури, що відповідає за централізоване збереження даних, керування обліковим записом користувача, синхронізацією між пристроями, довготривалим збереженням інформації, аналізу та інтеграцією з іншими системами. На цьому рівні використовуються різні бази даних SQL/NoSQL, реалізується API, системи резервного збереження інформації. Важливою частиною більшості таких систем є модулі аналізу для структурування інформації, виявлення нетипових показників, формування статистичних звітів і, в окремих випадках, зв'язку з лікарями, медичними закладами і екстреними службами.

Хмарна інфраструктура включає в себе різноманітні технології для стабільності системи, комунікації з компонентами, аналітики великих об'ємів даних. Стабільність системи досягається масштабуванням серверів, протоколів і технологій асинхронної передачі даних для запобігання втрати даних. Для ефективної комунікації використовуються Bluetooth LE – є енергоефективним, MQTT/DSS/GRPC – швидкі, ефективні для масштабування і запобігання мережових нестабільностей, HTTP для високорівневої комунікації і інтеграції з іншими системами [3]. Аналітика даних є окремою складною частиною інфраструктури, там використовуються Cloud Computing, системи Big Data, моніторинг і логування стану самої системи. Все це робить систему стійкою, надійною, ефективною в передачі даних, і відкритою для інтеграції з іншими платформами.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.5 Недоліки та обмеження існуючих рішень

Незважаючи на стрімкий розвиток сучасних систем моніторингу і поширення персональних медичних пристроїв, існуючі рішення мають ряд архітектурних і інтеграційних обмежень. Більшість платформ реалізовані в межах однієї інфраструктури і екосистеми, і використовують власні програмні інтерфейси, формати даних, механізми синхронізації та підходи до збереження даних. Подібний підхід дозволяє реалізувати стабільну роботу окремих систем, але значно обмежує взаємодію між іншими рішеннями різних виробників і медичних систем, а також впровадження нових рішень, функцій і пристроїв від сторонніх компаній.

Однією з особливостей сучасних систем моніторингу є орієнтація на використання пристроїв та сервісів конкретного виробника. Значна частина платформ реалізують власні цифрові екосистеми, де мобільні застосунки, сенсори і серверна архітектура розробляються як єдина і взаємопов'язана система. Такий підхід робить системи надійними і безпечними, хоча і унеможливорює інтеграцію окремих виробників і інших систем.

Прикладом такого підходу є спеціалізовані системи моніторингу діабету Bayer / Ascensia Diabetes Care, орієнтована переважно на роботу з власними пристроями контролю рівня цукру в крові. Така платформа дає ефективний і широкий спектр функціоналу для людей з діабетом, але не дозволяє ефективно інтегрувати інші можливості моніторингу здоров'я. Платформи Samsung Health або Apple Health надають рішення для моніторингу різноманітних показників здоров'я користувача, але так само розраховані тільки на власні пристрої. Подібна залежність від конкретного обладнання формує окремі цифрові середовища, закриті для інтеграції між собою і впровадження нових пристроїв.

Внаслідок цього користувачі вимушені використовувати одночасно декілька незалежних платформ для контролю фізіологічних показників. Так

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

17

створюються незручності в користуванні, вимагаються одразу багато мобільних застосунків, іноді навіть пристроїв-дублерів, і ускладнює передачу інформації лікарю.

Одним із наслідків обмеженої сумісності є складність централізованого збору та об'єднання фізіологічних показників здоров'я людини. Відсутність централізованого підходу до збереження і візуалізації даних створюють незручності під час довготривалого аналізу динаміки фізичного стану. Деякі показники з різних систем можуть мати кореляцію в межах однієї хвороби і створюється проблема збору і аналізу інформації з різних джерел спостереження. Часто навіть інтерпретація показників відрізняється в різних системах, і це значно ускладнює аналіз і порівняння динаміки стану.

Наочним прикладом стане екосистема загального фізичного стану по типу Apple або Samsung: екосистеми загального фізичного стану надають інформацію про тиск, пульс, насичення крові, в той час як платформа направлена на реабілітацію реалізує функціонал тільки для відстеження процесу реабілітації. Часто прогрес реабілітації має супроводжуватись і показниками загального фізичного стану пацієнта, що вказує на ефективність симбіозу таких систем. Такий підхід надав би можливість наглядати за станом людини не тільки з точки зору реабілітолога, а також терапевта або, в разі потреби, полегшив би діагностування або виявлення нових ризиків для здоров'я. Існуючі системи не надають відкритого API або інших механізмів інтеграції, що призводить до неможливості реалізації такого комплексного спостереження і ведення історичних даних.

Розробка незалежної інфраструктури ускладнена закритими програмними інтерфейсами та протоколами синхронізації даних. Більшість платформ орієнтовані на функціонування в межах власної екосистеми, в результаті створює великі труднощі в інтеграції окремих пристроїв, отримання інформації для незалежних систем контролю стану здоров'я користувача, синхронізацію з пристроями і сервісами інших виробників, тощо.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Важливим є неможливість або складність інтеграції з системами медичних закладів. Існуючі інфраструктури ізольовані, що не дозволяє передати потрібну інформацію лікарям, і створює необхідність ручного ведення і аналіз даних спеціалістом, що в свою чергу ускладнює відстеження стану пацієнта, діагностування і лікування. Через децентралізацію даних, в екстрених випадках, де історичні показники можуть значно полегшити процес надання допомоги, стає дуже складно оперативно отримати необхідну інформацію.

Проблема полягає у відсутності централізованого об'єднання фізіологічних показників, взаємодія між різними цифровими екосистемами та побудова незалежної інфраструктури моніторингу залишається актуальною. З огляду на це виникає потреба у розробці уніфікованого підходу до організації моніторингу здоров'я, здатного забезпечити взаємодію між медичними пристроями, програмним забезпеченням та сервісами обробки даних незалежно від виробника та обладнання. Важливим аспектом є використання відкритих програмних інтерфейсів, відкритого програмного коду та відкритої реалізації апаратної частини пристроїв, що дозволить спростити інтеграцію, модифікацію та подальший розвиток систем.

Одним із наступних кроків розвитку системи може бути інтеграція з зовнішніми інформаційними системами, що використовуються для зберігання, обробки та аналізу медичних даних. Потенційною реалізацією може бути інтеграція з системами медичних закладів. У такому випадку результати вимірювань будуть автоматично передаватись до електронної картки пацієнта, де вони будуть доступні лікарю для аналізу та контролю динаміки показників. Це дозволить набагато зменшити кількість ручних введень даних, регулярно відправляти дані в різні моменти часу, що дасть більш повну картину, також убезпечить від випадкової втрати даних чи неточностях при записі.

Перспективним також є підключення до спеціалізованих платформ дистанційного моніторингу пацієнта. Такі системи використовуються для спостереження за станом здоров'я людей з хронічними захворюваннями та

дозволяють медичному персоналу оперативно отримувати дані про стан здоров'я людини. Інтеграція з такою системою може суттєво розширити список відстежуваних даних пацієнта без необхідності в додатковому відвідуванні медичного закладу чи нових пристроях пристроях, а також через розвиток практики телемедицини можна буде повноцінно ставити діагноз пацієнту. Користувачу буде достатньо просто під'єднати всі необхідні пристрої до розробленої платформи і всі необхідні показники будуть автоматично відправлятися в медичний заклад або платформу дистанційного моніторингу здоров'я.

Інтеграція із зовнішніми інформаційними системами дозволить суттєво розширити функціональні можливості існуючих та розробленого рішень. Отримані дані зможуть використовуватися не лише в межах одного мобільного застосунку, а й у складі комплексних медичних інформаційних систем, що сприятиме підвищенню ефективності моніторингу та аналізу стану здоров'я користувачів. Розроблена система стане більш значущою і універсальною в світі медичних інформаційних систем.

1.6 Обґрунтування теми дипломного проєкту

Актуальність теми дипломного проєкту обумовлена активним розвитком цифрових медичних технологій та зростанням кількості персональних медичних пристроїв у домашньому користуванні для відстеження стану людини. Сучасні системи моніторингу дозволяють вимірювати і автоматизувати збір фізіологічних показників та підвищити оперативність контролю стану організму.

Враховуючи те, що багато сучасних рішень орієнтовані на пристрої конкретного виробника і реалізуються в межах власної програмно-апаратної інфраструктури, це робить складним розробку централізованого об'єднання показників стану здоров'я, не кажучи вже про інтерпретації та передачі потрібної інформації лікарям та медичним закладам, тобто ускладнює реалізацію

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

незалежних систем відстеження стану здоров'я. Окремою проблемою є використання пропрієтарного API, технологій комунікації пристроїв і закритих механізмів синхронізації.

Значна частина сучасних систем також орієнтовані на сегментні напрямки контролю стану здоров'я, що призводить до фрагментації даних між різними цифровими рішеннями, у результаті чого користувач повинен використовувати декілька незалежних додатків чи сервісів одночасно для контролю різних фізіологічних показників. Міжплатформенне розсіювання важливої інформації запобігає формуванню і веденню єдиної історії спостережень за пацієнтом, тим самим лишаючи без змоги аналізу стану здоров'я та пошуку кореляцій між різними показниками і передумовами.

Враховуючи вищенаведені аргументи виникає потреба в створенні систем моніторингу здоров'я з уніфікованим підходом до взаємодії між пристроями, програмними платформами, медичними закладами та сервісами збереження інформації. Важливим аспектом є залишити відкритими програмні інтерфейси, архітектуру і протоколи комунікації, що дозволить спростити інтеграцію нових пристроїв, а також дозволить великим виробникам орієнтуватися на уже доступне рішення для їх інтеграції; та дозволити подальший розвиток функціональності незалежно від конкретних екосистем.

Об'єктом розробки у рамках дипломного проєкту є система моніторингу здоров'я з уніфікованим і розширюваним інтерфейсом взаємодії та відкритою реалізацією апаратної і програмної частини. У проєкті передбачено створення відкритої реалізації персонального медичного застосунку та пристрою на прикладі напівавтоматичного тонометра, а також окремого апаратного функціоналу для збору, збереження та аналізу показників користувача. Розроблена система створює основу для побудови незалежної та масштабованої системи відстеження стану здоров'я надаючи можливість інтеграції різних типів пристроїв та цифрових сервісів.

1.7 Висновки до розділу

Вищезазначені програмно-системні продукти мають значні переваги, але їх недолік полягає у відсутності можливості інтеграції з іншими системами, змушуючи користувачів до збереження даних у різних системах, що є незручністю через недоступність. Тут і приходить ідея щодо розробки саме відкритої системи, яка може використовуватись великою кількістю компаній для доступності усіх даних в одному місці, з подальшою можливістю інтеграції з всеукраїнською медичною системою обліку

Дипломна робота орієнтована на розробку централізованої системи, яка буде доступна користувачам, що зможуть зберігати усі дані щодо здоров'я та показників у одному місці. Не лише це, а й передача даних, орієнтована на розширення та інтеграцію з численними домашніми медичними пристроями, дозволить масштабно зберігати та отримувати аналіз даних усієї екосистеми медичних пристроїв не залежно від їх виробника. Така система дає можливість відкритого застосування та з'єднання з апаратом передавання даних, через особливість гнучкості його підключення. Найбільш перспективним напрямком розвитку розробленої системи є підтримка додаткових медичних вимірювальних пристроїв, так як у поточній реалізації система орієнтована на взаємодію з напівавтоматичним тонометром, розробленим в межах цього дипломного проєкту, а також має прототип функціоналу для роботи з глюкометрами.

Зважаючи на сучасний ринок медичної електроніки, що дає змогу мати велику кількість пристроїв оснащених модулями бездротового зв'язку, наприклад пульсоксиметри, електроні термометри, кардіомонітори та різноманітні фітнес трекери, – подальший розвиток системи може передбачати імплементацію окрім реалізованого універсального механізму підключення, також і окремі механізми для найпоширеніших пристроїв. Це дозволить додатку накопичувати більш повний спектр інформації про стан здоров'я пацієнтів, що є важливим для статистики та коректності інформації у медичних закладах.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

22

Наприклад інтеграція з глюкометром дозволить контролювати рівень глюкози в крові, а особливо це перспективно для пристроїв безперервного контролю цукру. Часто виміри тиску, фізичної активності і насичення киснем крові можуть корелюватись відповідно до якоїсь хвороби, і об'єднаний аналіз цих даних в межах однієї системи сформує максимально повну картину стану здоров'я користувача та спростить доступ до його медичної інформації. Для користувачів це значно полегшить використання персональних медичних пристроїв через реалізацію функціоналу додатку.

У наступному розділі буде детальніше розглянуто елементи, що використовувались у розробці, їх особливості, а також чому вони підходять для гнучкого підключення до різних медичних пристроїв.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

23

2 АНАЛІЗ ОБРАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Тонometr Gamma M 1S1

Для дослідження принципу функціонування сучасних електронних медичних пристроїв вимірювання артеріального тиску було розглянуто тонометр Gamma M 1S1, для визначення та аналізу архітектури електронних компонентів, принципу роботи та обробки сигналів. Цей пристрій належить до типу автоматичних електронних осцилометричних тонометрів, метод вимірювання полягає в аналізі пульсації тиску повітря в манжеті, що відбуваються в наслідок надходження крові в артерію, що розташовується під мембранним пневматичним датчиком тиску, мембрана деформується та передає зміни на тензорезистивні елементи, після чого вони формують електричний сигнал. Спуск та накачування повітря у цій моделі відбувається мануально, тобто помпа не контролюється електронною схемою через транзитивний ключ, що спрощує роботу з пристроєм та лишає на розгляд основні важливі елементи.

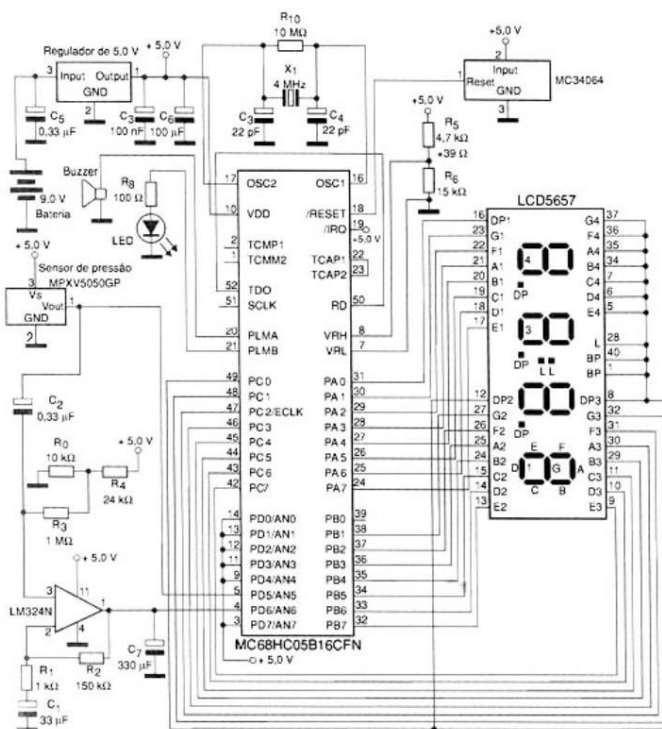


Рисунок 2 – Схема тонометру Gamma M 1S1

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

24

Центральним керуючим елементом є мікроконтролер, він виконує збір даних із датчика тиску та проводить аналіз осциляцій і цифрову конвертацію сигналу для подальшого виведення на екран. Відображається інформація про діастолічний і систолічний тиск, частота пульсу та інформація про стан приладу на сегментному рідкокристалічному дисплеї LCD з семисегментною структурою індикації, що також значно спрощує апаратну реалізацію та мінімізує енергоживлення. Система, схема якої показана на рисунку 2, працює від батарейного блоку, вихідна напруга якого становить 6,6 В, також використовуються елементи фільтрації, розподілення та стабілізації напруги.

Зробивши дослідження конструкції тонометра, був встановлений концепт роботи датчика тиску, він відповідає за обробку зміни тиску повітря в електричний сигнал, що в подальшому обробляється мікрочіпом. Використавши мультиметр було виміряно вихідну напругу датчика і досліджено зміну його параметрів залежно від тиску. Було також встановлено, що датчик реагує на зміну тиску зміною електричних сигналів під дією механічного впливу. Важливо те, що датчик, який являє собою дві мідні пластини, що розташовані паралельно одна над одною, може також виступати в ролі резистора, бо у результаті вимірювання було виявлено, що при зміні тиску напруга датчика змінюється у межах 7мВ до 0В. Це може означати те, що датчик формує дуже слабкий аналоговий сигнал, що створений коливанням тиску, прикладеного до чутливого елемента.

Через амплітуду у кілька мілівольт, отриманий сигнал неможливо надійно використовувати без попередньої обробки чи додаткового підсилення, так як більшість мікроконтролерів мають вбудовані аналого-цифрові перетворювачі, і ці елементи не є підходящими для зчитування сигналів таких малих масштабів. Сигнал цього діапазону може бути співмірним із рівнем електромагнітних шумів чи живлення, тому інформація про зміну тиску може бути втраченою або некоректно інтерпретовано системою.

Обрані подальші елементи для зчитування працюють у межах 7В, тому якщо вимірювальний опір датчика та мікроконтролера буде не відповідним, то це може призвести до більшого ослаблення і викривлення сигналу; тобто сигнал буде спотворений каскадом через неузгодженість імпедансів між датчиком та вхідним каскадом. Так, можливо впровадити рішення про попереднє підсилення операційним або інструментальним методом, вони забезпечать необхідний високий стабільний вхідний опір для зменшення впливу шумів та фільтрації сигналу від завад інших електронних компонентів. Проте було прийняте рішення про розробку власного пристрою зчитування сигналів, принцип роботи якого буде подібним до роботи розглянутого автоматичного тонометру.

Такий розроблюваний пристрій забезпечить фіксацію змін тиску, перетворення їх в електричний сигнал та подальшу обробку даних; зокрема система буде відкрита для зовнішнього втручання і можливості заміни елементів на необхідні, при розробці самої комп'ютерної системи.

Таким чином, дане дослідження дозволило визначити загальні вимоги до майбутньої апаратної частини, спрощуючи подальше редагування та коригування елементів, та реалізації частин відповідно до поставлених задач роботи. При цьому готовий тонометр не використовується як основа для розробки, а є прикладом для апаратної частини, задля якої і було проведене дослідження.

2.2 Мікроконтролер ESP32 WROOM-32

Мікроконтролер ESP32 WROOM-32 – одне із найпоширеніших рішень для розробки вбудованих систем і IoT-пристроїв. На модулі зібрані всі необхідні елементи базової інфраструктури для розробки апаратних частин. Інтегровані засоби бездротового зв'язку та широкий вибір периферійних інтерфейсів. ESP32 часто активно використовується розробниками у системах автоматизації,

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

створенні власних апаратних забезпечень що потребують бездротового зв'язку, енергоефективності і швидкості програм.

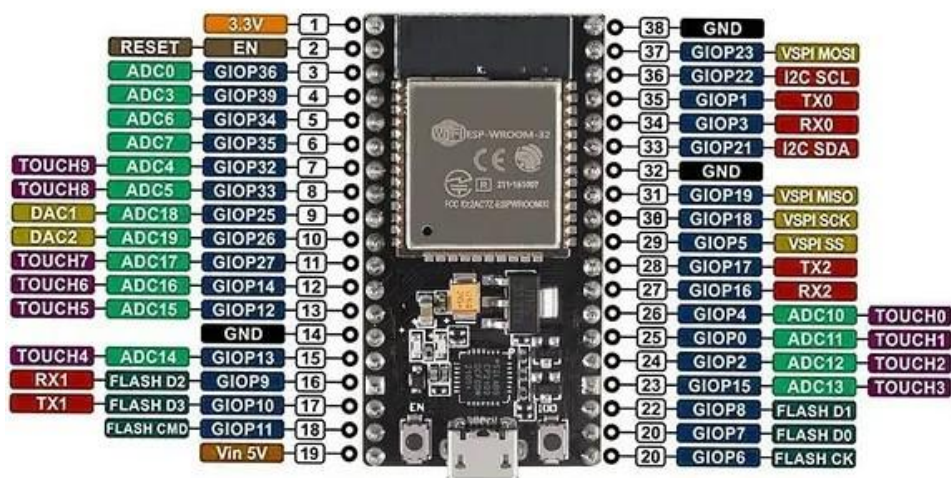


Рис. 3 – Вигляд та призначення виводів мікроконтролера

Модуль виконаний на базі двох ядерного процесору Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою від 80 до 240МГц. Чіп підтримує роботу в режимах реального часу, тобто виконує обробку даних, керує і обробляє інформацію з декількох сенсорів, передає дані між пристроями, а також за допомогою написаного коду може аналізувати і відправляти дані на віддалені сервера. Його архітектура розрахована на використання у компактних пристроях, що безумовно підходить для розробки апаратної частини проєкту.

Перевагою мікроконтролера для імплементації медичного пристрою є наявність Wi-Fi та BLE, що реалізують широкий спектр функціоналу для обміну даними в побудові мереж пристроїв без необхідності в додаткових модулях. Важливість виражається у енергоефективності для персонального медичного пристрою: ESP32 підтримує декілька режимів сну з енергозбереженням до 10мкА. Для медичних персональних пристроїв це критично важливий показник, так як вони вимагають довгої автономної роботи без зарядки чи заміни акумуляторів. Це дає можливість розробити повністю автономний і зручний пристрій для користувача.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

27

Модуль має 34 GPIO-портів (рис. 3), що можуть підтримувати основні периферійні інтерфейси: SPI, I2C, UART, PWM, ADC, DAC. Широкий набір підтримуваних інтерфейсів дає можливість реалізовувати медичні пристрої з усіма можливими сенсорами, без додаткових модулів, а також як і сказано вище, орієнтується на розширення системи для комунікації з іншими приладами.

Для програмування ESP32 існує багато інструментів, SDK, документації, а також вже готових шаблонів і програм в відкритому доступі, завдяки чому зменшується кількість часу на розробку і спрощується процес, і це дає реалізувати проєкти як професійним розробникам, так і студентам. Основним офіційним SDK для розробки є ESP-IDF – це середовище розробки від Espressif Systems, призначене для програмного забезпечення мовами C та C++ та надає доступ до низькорівневих функцій і можливостей мікроконтролера для роботи з інтерфейсами, Bluetooth, Wi-Fi, енергозберігаючими режимами і іншими системними компонентами. Окрім цього, на сьогоднішній день, доступні і більш зручні середовища розробки, такі як розширення PlatformIO для Visual Studio Code. Таким чином, можна не тільки швидко розробити програмне забезпечення, а й легко інтегрувати і керувати різними бібліотеками, конфігурувати проєкт під конкретні потреби, збирати і завантажувати прошивку без додаткових інструментів і відстежувати serial-вивід, що робить тестування простішим [4].

В підсумку можна стверджувати що ESP32 WROOM-32 є раціональним вибором для створення недорогого, енергоефективного і з можливістю масштабування програмно-апаратного комплексу для відстеження показників здоров'я людини. Всі вищевказані характеристики, а також простота програмування дають гнучкість і надійність кінцевого апарату, що повністю відповідає цілям розробки комп'ютерної системи.

2.2.1 Inter-Integrated Client (I2C)

I2C – це послідовний інтерфейс передачі даних, який широко використовується у вбудованих системах з'єднання мікроконтролерів із

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

периферійними модулями. У межах даного дипломного проєкту цей інтерфейс є основним, оскільки через нього будуть взаємодіяти ESP32, АЦП, та дисплей.

Перевага I2C полягає у тому, що для обміну даними використовується лише дві сигнальні лінії:

- SDA використовується для передавання даних між пристроями
- SCL для передавання тактового сигналу, який синхронізує процес обміну

Завдяки цьому до одного мікроконтролера можна підключати декілька пристроїв, не використовуючи великої кількості GPIO-пінів. Кожен пристрій на шині має власну адресу, тому мікроконтролер може звертатись до потрібного модуля окремо.

Особливістю I2C є адресна модель взаємодії. Кожен пристрій, підключений до спільної шини, має власну адресу і мікроконтролер може звертатися до кожного модуля окремо, навіть якщо всі вони підключені до тих самих ліній SDA та SCL. У розробленій системі ESP32 виступає головним пристроєм на шині, тобто ініціює обмін даними, а АЦП та дисплей виконують роль периферійних пристроїв.

У даній системі інтерфейс виконує дві основні функції. Перша – це зчитування даних з аналого-цифрового перетворювача. Датчик тиску передає аналоговий сигнал на АЦП, який далі надходить на вхід АЦП. Друга – це передача даних на дисплей, який також підключений до цієї шини і відображає дані отримані з мікроконтролера.

Інтерфейс працює достатньо швидко, тому вимірювання артеріального тиску не потребує надвисокої швидкості, можливості I2C достатньо аби періодично зчитувати дані з аналого-цифрового перетворювача і оновлювати інформацію на дисплеї. Це рішення є економним але дозволяє ефективно реалізувати пристрій без втрати додаткового функціоналу. При цьому інтерфейс реалізується доволі просто і широко підтримується як ESP32, так і іншими периферійними пристроями.

Основні режими швидкості I2C:

- Standart-mode – до 100 кбіт/с,
- Fast-mode – до 400 кбіт/с,
- Fast-mode Plus – до 1 Мбіт/с,
- High-speed mode – до 3.4 Мбіт/с,
- Ultra Fast-mode – до 5 Мбіт/с [5].

2.2.2 Операційна система FreeRTOS

FreeRTOS – це операційна система реального часу, яка використовується в вбудованих системах для організації виконання задач на мікроконтролері. На відміну від звичайного послідовного виконання задач, система розділяє логіку роботи на окремі незалежні задачі, кожна з яких відповідає окремій частині функціоналу пристрою.

FreeRTOS організовує роботу мікроконтролера ESP32 у вигляді набору задач. У розробленому апаратному середовищі одна задача відповідає за періодичне опитування АЦП для отримання вимірів, друга задача – за оновлення інформації на дисплеї, третя задача – за обмін даними з мобільним застосунком через інтерфейс BLE. Тобто структурно і організовує роботу програмної логіки і дозволяє розширювати її.

Важливою особливістю операційної системи є наявність планувальника задач, який розподіляє яка задача має виконуватись в той чи інший момент часу, враховуючи її пріоритетність і стан системи, так задачі з вищою пріоритетністю стають першочерговими, наприклад зчитування вимірювальних даних, і нижчий пріоритет для менш важливих задач: оновлення інформації на дисплеї. Якщо вся програма виконувалась б у вигляді послідовного циклу, то затримки при роботі з Bluetooth або дисплеєм могли б впливати на своєчасність отримання результатів вимірів, а використання FreeRTOS дозволяє уникнути такої проблеми, розподіляючи функції на окремі задачі.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для обміну даними між задачами у операційній системі можуть використовуватись черги, семафори та інші механізми синхронізації задач, наприклад задача зчитування даних з датчику може передавати значення до задачі обробки, а далі результати обробки паралельно передаватись до задачі комунікації з мобільним застосунком через BLE і оновлювати інформацію на дисплеї. Це впорядковує обмін інформацією між задачами, та уникає конфлікт доступу до спільних ресурсів. Для ESP32 підходить FreeRTOS, бо потужності мікроконтролера достатньо для виконання кількох задач одночасно. Крім того, середовища розробки підтримують дану операційну систему, що робить процес розробки і застосування в апаратній частині значно швидше.

У даному апаратному пристрої FreeRTOS виконує для організації таких задач:

- Первинна обробка даних тиску,
- Оновлення інформації на дисплеї,
- Обробка BLE-з'єднання з мобільним застосунком,
- Передача результатів вимірювання,
- Контролю стану пристрою.

Завдяки цій операційній системі, розроблена комп'ютерна система стає надійнішою і структурує організацію програмної частини тонометра. Вона розділяє функціональність апаратного модуля на окремі задачі, зменшує затримки і пришвидшує саму розробку системи.

2.3 Датчик тиску MP3V5050GP NXP

Для розробки апаратної частини використовуватиметься датчик тиску MP3V5050GP, так як його характеристики найкраще відповідають задачам експериментального пристрою. Він працює на основі п'єзореzystивного ефекту, його принцип роботи базується на зміні електричного опору чутливих елементів під дією механічної деформації кремнієвої мембрани під дією тиску. Унаслідок

цієї деформації змінюються електричні параметри п'єзорезистивних елементів, та внутрішня електронна схема перетворює ці зміни у вихідну напругу[6]. Елемент зчитує діапазон до 375 мм рт. ст., хоча в автоматичних тонометрах тиск у манжеті зазвичай знаходиться нижче цього рівня, – цей датчик має достатній запас по вимірюванню тиску. Крім цього, він вимірює відносний тиск, що означає тиск у манжеті відносно атмосферного, так як в подібних системах потрібно визначати надлишковий тиск у манжеті або у пневматичному контурі.

На рисунку 4 показаний вид зверху на корпус датчика з позначеннями контактів. У роботі датчика важливі лише три контакти: V_{out} – для отримання аналогового вихідного сигналу, GND – для підключення до спільної землі схеми, та V_S – напруга живлення датчика. Решта виводів мають позначення DNC (не під'єднуються), що не мають підключатися до інших елементів схеми.

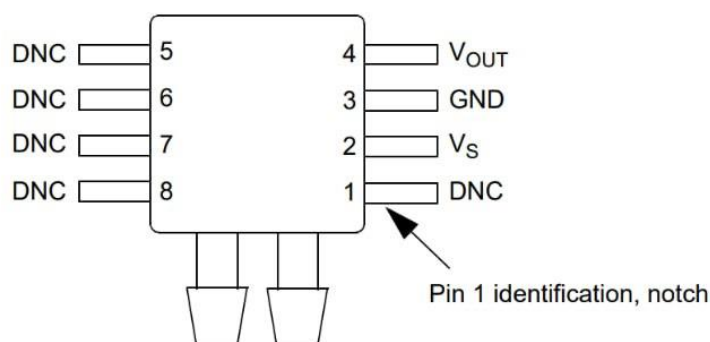


Рис. 4 - Розташування та призначення виводів датчика тиску MP3V5050GP

Основними причинами, через які було обрано саме цей датчик – наявність вбудованої системи попереднього формування сигналу; на відміну від простих мостових чи резистивних датчиків, що формують слабкий сигнал у мілівольтному масштабі, цей має вбудовану систему підсилення, калібрування і температурну компенсацію. Завдяки цим вбудованим елементам аналоговий електричний сигнал простіше зчитувати за допомогою АЦП. Іншою перевагою також являється можливість роботи з вищою напругою, аніж як у вищесказаному медичному тонометрі. Такі позитивні відмінності зменшують потребу у

додатковому узгодженні рівнів сигналів між датчиком, мікроконтролером та АЦП.

З інших характеристик (таблиця 1), представлено наступні: максимальна похибка 2.5% у температурному діапазоні 0°C - 85°C – у нормальних умовах експлуатації вимірювання лишаються достатньо стабільними та точними; температурна компенсація у діапазоні від -40°C до +125°C – параметри датчику можуть змінюватися в залежності від температури, та температурна компенсація допомагає зменшити похибки, що виникають через нагрівання чи переохолодження пристрою. Корпус датчика виконаний із термопластичного матеріалу PPS (термостійкий пластик), є призначеним для поверхневого монтажу, що дозволяє встановлювати датчик безпосередньо на друковану плату, роблячи конструкцію компактнішою. Також датчик має різні варіанти портів для підключення, забезпечуючи гнучкість під час використання пристрою, тобто в залежності від конструкції можна обрати власний спосіб підключення трубки чи пневматичного каналу до цього елемента. На корпусі розташований штуцер (порт) з насічками для під'єднання гумової трубки, що йде від манжети[7]. Конструкція передбачає герметичність і надійність з'єднаних елементів без витоку повітря, але людська похибка також може бути присутня при приєднанні.

Таблиця 1 – Характеристики датчику тиску

Характеристика	Позначення	Мін.	Типове	Макс.	Одиниця
Діапазон вимірювання тиску	POP	0	-	50	кПа
Напруга живлення	VS	2,7	3,0	3,3	В
Струм споживання	IO	-	7,0	10	мА
Початкове зміщення вихідної напруги при мін. тиску	VOFF	0,053	0,12	0,188	В

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

33

Продовження таблиці 1

Вихідна напруга при макс. тиску	VFSO	2,752	2,8	2,888	B
Діапазон зміни вихідної напруги при повній шкалі	VFSS	-	2,7	-	B
Чутливість	V/P	-	54	-	мВ/кПа
Стабільність зміщення	-	-	±0,5		%VFSS

Через вищезазначені характеристики датчик тиску MP3V5050GP було обрано для інтеграції у розробку пристрою, його конструктивні та функціональні особливості дозволять спростити апаратну частину і підвищити надійність зчитування сигналу з його подальшим перетворення у цифровий.

2.4 Бездротова технологія Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy, або BLE – це технологія бездротової передачі даних і призначена для енергоефективного обміну невеликих об’ємів даних між пристроями. На відміну від класичного Bluetooth, BLE розрахована не на постійну передачу великих обсягів даних, а періодичного обміну невеликими повідомленнями з мінімальним енергоспоживанням. Це робить систему автономною і енергоефективною.

Основною перевагою BLE є низьке енергоспоживання. Для персональних медичних пристроїв це є критично важливим аспектом, задля забезпечення автономності пристрою, оскільки тонометр може працювати від автономного джерела живлення.

Взаємодія пристроїв побудована за моделлю «периферійний пристрій – центральний пристрій». Як приклад, у даній системі тонометр виконує функцію периферійного пристрою для передачі вимірів тиску, а мобільний додаток

центрального. Центральний пристрій виконує пошук периферійних пристроїв, встановлює з'єднання та зчитує результати вимірів. Основні режими роботи з BLE:

- Read – мобільний додаток одноразово зчитує значення;
- Write – додаток записує дані в пристрої;
- Write without Response – запис без очікування відповіді пристрою;
- Notify – пристрій сам надсилає нові дані до застосунку, без окремого запиту на кожне зчитування;
- Indicate – пристрій самостійно надсилає нові дані, але з підтвердженням отримання від центрального пристрою;
- Broadcast – пристрій передає дані в пакетах без встановлення з'єднання.

Передача даних через BLE через сервіси та характеристики: сервіс можна розглядати як набір логічних функцій пристрою, а характеристику – як окреме значення яке можна прочитати, записати або на яке можна підписатись для постійного отримання нових даних. Для передачі даних може використовуватись вільний формат даних, як розширений так і компактний [8].

BLE є доречним для використання в цьому проєкті з кількох причин: по-перше, ця технологія підтримується більшістю сучасних смартфонів, що дозволяє інтегрувати апаратний модуль із мобільним застосунком не використовуючи додаткових модулів, по-друге, ESP32 має вбудовану підтримку BLE, тому для реалізації бездротового зв'язку не потрібно додавати окремі модулі. Це також було враховано при виборі між Wi-Fi та BLE для передачі даних не залежно від статусу з'єднання з інтернет-мережею. По-третє, BLE є енергоефективним, він передає дані невеликими обсягами, чого достатньо для пристрою виміру артеріального тиску, що і робить його автономним, без потреби окремого живлення. Окрім цього, треба зауважити, що BLE дозволяє також відправляти повідомлення на периферійні пристрої, наприклад аби відобразити на дисплеї пристрою, що дані успішно отримані, або для обробки помилок в разі невдалої обробки і відображення потрібної інформації на дисплеї.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

35

Також важливо, що BLE добре підходить до інших систем збору медичних даних. Такі системи зазвичай не потребують постійною високошвидкісної передачі, а передають короткі, готові до інтерпретації, частини цифрових сигналів у певний момент часу. Як і традиційно, користувач виконує вимірювання, після чого результат передається до мобільного застосунку.

Отже, використання Bluetooth Low Energy у розробленій системі дозволяє забезпечити зручний, енергоефективний і достатньо швидкий спосіб передавання даних між апаратним модулем і мобільним застосунком. При цьому не обмежуючи можливостей для подальшого розширення і покращення системи. BLE виступає ключовою технологією, яка поєднує апаратну частину системи і мобільного застосунку, та забезпечує можливість подальшого аналізу отриманих медичних даних.

2.5 Аналого-цифровий перетворювач ADS1115

Аналого-цифровий перетворювач ADS1115 забезпечує зчитування аналогового сигналу з датчику тиску і перетворення його в цифровий формат для подальшої обробки мікроконтролером.

ADS1115 є 16-бітним перетворювачем (рис. 5), який дозволяє отримувати достатньо точні цифрові значення з аналогового сигналу. Вища розрядність АЦП дає змогу детальніше фіксувати зміну напруги на виході датчика, що є важливим для вимірювальних систем. У випадку тонометра це дозволяє точніше відстежувати зміну тиску в манжеті під час процесу вимірювання.

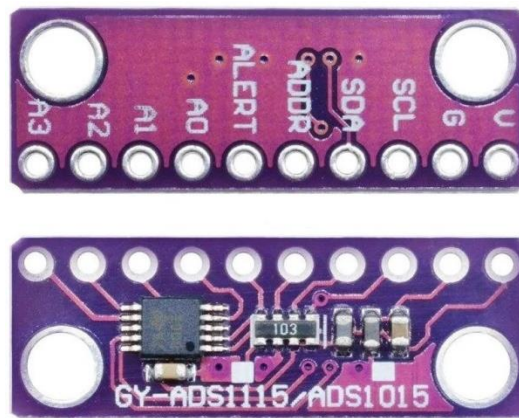


Рисунок 5 – Вигляд та структура аналого-цифрового перетворювача

Передача даних між даним АЦП і мікроконтролером відбувається використовуючи інтерфейс I2C. Це робить систему легшою в реалізації, так як потребується всього дві доріжки – для передачі даних і тактового сигналу. Це особливо зручно, оскільки на тій самій шині можуть бути встановлені і інші модулі системи. Таким чином зменшується кількість використовуваних доріжок і апаратний модуль спрощується, не втрачаючи можливості подальшого розширення системи. Вбудований в ESP32 аналого-цифровий перетворювач має всього 12-бітну розрядність, що робить сигнал з датчику менш точним. Також, через особливості виконання мікроконтролера, на вбудований АЦП може впливати робота Wi-Fi або Bluetooth створюючи шуми, що є неприпустимим для точності вимірювань персонального медичного пристрою.

Принцип роботи АЦП полягає у вимірюванні рівня входної аналогової напруги та представленні цього рівня у вигляді числового коду. Чим більша розрядність перетворювача, тим більше рівнів квантування він може розрізнити. Для 16-бітного АЦП кількість можливих цифрових значень є значно більшою, ніж у менш розрядних перетворювачів, що дозволяє точніше оцінювати зміну сигналу.

Також, однією з переваг використання цього АЦП є простота використання та доступність готових модулів ADS1115. Він добре підтримується бібліотеками ESP32, має декілька аналогових входів та оптимальний по вартості.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

37

Отже, використання АЦП у розробленій системі обумовлено точністю завдяки 16-бітній розрядності, доброю підтримуваністю мікроконтролером і можливістю до розширення системи без необхідності в додаткових модулях.

2.6 OLED-дисплей 0.96 I2C 128x64

Для відображення результатів вимірювання у апаратній розробці буде використаний OLED-дисплей 0,96 дюйма з роздільною здатністю 128x64 пікселі. Не зважаючи на його компактність, він має достатньо пікселів для виводу результатів вимірювань, результатів обробки сигналу, тощо. Сам дисплей складається зі світловипромінювальних пікселів, кожен з яких може незалежно вмикатися, будучи керованим контролером дисплею. Як і на більшості дисплеїв, цей підходить також для виведення тексту, простих графічних елементів чи піктограм (приклад на рис. 6)

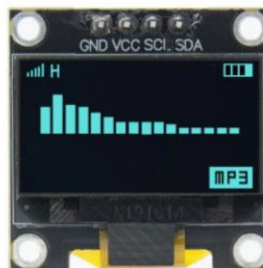


Рисунок 6 – Вигляд OLED-дисплею та приклад виводу графічного елемента

На відміну від LCD-дисплеїв, OLED не потребує додаткового підсвічування, так як кожен піксель окремо випромінює світіння, таким чином забезпечуючи високу контрастність навіть на малих розмірах дисплею. Іншою перевагою є низьке енергоспоживання, бо неактивні пікселі не світяться, через це елемент не потребує високого вольтажу, що важливо у портативних системах. Даний модуль може підтримувати декілька інтерфейсів підключення, що дає

На рисунку 7 можна розглянути принцип підключення дисплею на базі контролера SSD1306, у центрі розташована мікросхема, що керує самою OLED-матрицею, приймає команди мікроконтролера. Вона надає вказівки щодо ввімкнення пікселів і формування зображення на екрані. Ліворуч знизу вказаний PORT, через нього можна підключити дисплей до основної плати, чотири основні контакти означають наступне: GND – загальна земля схеми, VCC – живлення дисплею, SCL – тактова лінія інтерфейсу, SDA – лінія передачі даних. Два останні передають сигнали по протоколу I2C, резистори R3 та R4 підтягують ці лінії до VCC, для забезпечення правильної роботи відкритого інтерфейсу, що використовує відкритий колектор.

У верхній правій частині схеми показано резистор та конденсатори, останні згладжують пульсації, фільтрують шуми а також стабілізують напругу. Резистор підключений до виводу IREF контролера і задає опорний струм для матриці дисплею: впливає на яскравість пікселів та режим живлення. Ліворуч від

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера конденсатори C1 та C2 підключені до виводів C1P, C1N, C2P та C2N, що використовуються внутрішнім перетворювачем напруги контролера, тобто вони формують необхідні напруги для дисплею. Також на схемі видно виводи, що підключені до VCC та GND, це службові входи контролера що задають режим дисплею, наприклад BS0, BS1 та BS2 використовуються для вибору інтерфейсу і саме в цій схемі вони налаштовані на I2C, для SPI чи паралельного інтерфейсу вони не використовуються, хоча також можна використовувати його[9]. Завдяки цьому OLED-дисплей є адаптивним елементом, що можна використовувати на різних протоколах передачі, і він є підходящим для апаратних схем різного застосування.

Через наявність мобільного застосунку може виникнути дисонанс, так як дисплей також використовується у комп'ютерній системі, тобто немає сенсу виводити інформацію двічі, на дисплей та на екрані додатку. Натомість причина проста – дисплей являється частиною розробленого власноруч тонометру, що і було описано вище, однак не повторюючи тонометр з його екраном було б важче протестувати ефективність та точність передачі даних, і тоді результат вважався б недостовірним через відсутність першопочаткового результату, з яким можна було б порівняти отримані дані чи вирахувати похибку.

2.7 Технології розробки мобільного застосунку

2.7.1 Бібліотека React Native

React Native – це бібліотека для розробки мобільних застосунків використовуючи мову програмування Java Script або Type Script. Вона базується на підходах бібліотеки React, але замість веб елементів використовуються нативні компоненти мобільної операційної системи. Завдяки цьому додаток може мати вигляд і поведінку, близькі до звичайних мобільних програм.

Однією з головних переваг React Native є можливість кросплатформенної розробки. Це означає, що значна частина програмного коду може

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

використовуватися як для Android, так і для iOS. Такий підхід зменшує витрати часу на розробку, спрощує підтримку застосунку та дозволяє швидше створити робочий прототип системи.

React Native також є зручним для побудови інтерфейсу користувача. У застосунку можна реалізувати екрани для підключення до тонометра, перегляду результатів вимірювання, відображення історії та аналізу отриманих даних. Компонентний підхід може розділити інтерфейс на окремі частини, наприклад кнопку підключення, блок результатів вимірювання, список попередніх вимірювань або повідомлення про стан з'єднання [10].

Бібліотека підтримує інші бібліотеки для розробки мобільних платформ, що є перевагою, адже існує багато вже готових бібліотек зі стилями, бібліотек для роботи з нативними модулями мобільного телефону, та інших допоміжних. Також React Native дозволяє розробляти додаток використовуючи найкращі практики, архітектуру, підтримує модульність.

Важливим також є те, що React Native підтримує роботу з бібліотеками для роботи з BLE, спрощує розроблення функції у застосунку виконувати пошук пристроїв, встановлювати з'єднання, зчитувати характеристики та отримувати результати вимірювання. Окрім BLE, для майбутнього покращення системи, підтримуються бібліотеки Blood Pressure Profile, та інші стандарти для різноманітних персональних медичних пристроїв.

Застосування React Native допомагає ефективніше подавати дані користувачеві і забезпечує основу для розширення системи, наприклад додавання збереження історії, побудови графіків, експорту результатів або інтеграції з іншими медичними пристроями.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

41

2.7.2 Інструмент типізації мови програмування TypeScript

TypeScript – це мова програмування, яка є розширенням JavaScript і додає до нього можливість статичної типізації. На відміну від звичайного JavaScript, де типи змінних визначаються під час виконання програми, TypeScript дозволяє описувати типи даних ще на етапі написання коду. Це допомагає виявляти частину помилок до запуску застосунку та робить програмну логіку більш зрозумілою.

Перевагою використання TypeScript є підвищення надійності коду застосунку. Наприклад, якщо в програмі очікується числове значення тиску, а в коді був переданий рядок або об'єкт, така помилка може бути виявлена ще під час написання коду, це ключовий момент бо неправильна обробка даних може привести до неправильної інтерпретації користувачу і в подальших функціях системи.

Також мова програмування полегшує роботу з BLE-даними. Після отримання результату з апаратного модуля, застосунок повинен перетворити їх у внутрішню структуру, зручну для подальшого збереження і відображення. Опис структури дозволяє наперед чітко визначити, які саме поля мають приходити в результаті вимірювання, їх коректні діапазони значень та в якому форматі вони мають використовуватись. Це дає можливість оголосити типи даних як стандарт застосунку, для подальшого додавання підтримки інших пристроїв, крім цього можна використати вже існуючі структури стандартів для персональних медичних пристроїв. Опис типів даних важливий якщо в подальшому система буде мати можливість інтегруватись з іншими платформами або медичними рішеннями. забезпечить точний опис даних які системи очікують [11].

Також, TypeScript підтримує розширення програмного коду, мова програмування використовує загальні практики і підходи до написання програмного коду, таких як об'єктно орієнтоване та функціональне

програмування, що допомагає в написанні ефективного та читабельного коду. Оскільки застосунок має бути розрахований на подальше розширення можливостей, наприклад підтримки інших медичних пристроїв, наявність типів робить структуру коду більш передбачуваною. Для кожного екрану і компоненту можна описати типи вхідних параметрів, стану та даних які він використовує.

Таким чином, TypeScript був використаний як інструмент підвищення надійності та структурованості мобільного застосунку. За допомогою цього інструменту було описано структуру медичних вимірювальних даних і зменшити кількість помилок під час розробки, а також створити основу для подальшого розширення програмної частини системи.

2.7.3 Середовище розробки мобільного застосунку Expo

Expo – це набір інструментів і сервісів для розробки, запуску, тестування та збірки мобільних застосунків на базі React Native. Він надає готове середовище для роботи з проектом, допомагає запустити застосунок на фізичному пристрої або емуляторі та готує проєкт до фінальної збірки.

За допомогою Expo розробник може швидко запускати розроблювану програму та перевіряти зміни на мобільному пристрої без складного налаштування нативних проєктів Android або iOS. Це додає впевненості при створенні інтерфейсу користувача, підключення до апаратного модуля, відображення результатів вимірювання та перевірки загальної логіки роботи застосунку.

Expo також надає зручну структуру для роботи з React Native-проєктом, завдяки цьому можна зосередитися на реалізації функціональності мобільного застосунку, а не на низькорівневому налаштуванні платформи. Також можна врахувати його дію в реальному часі, він одразу зчитує код та дозволяє переглянути написаний дизайн одразу, без додаткового запуску кодової частини.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так скорочується час на написання коду та виправлення частин, що відображені некоректно.

Важливою особливістю Exro є підтримка збірки застосунку мобільних платформ. Є три можливі варіанти для збору застосунку: перший – зібрати швидкий прототип який можна оновлювати в режимі реального часу під час розробки, другий – це повноцінний файл для встановлення на мобільну платформу, з набором інструментів для відладки, доступу до нативних модулів, та іншими інструментами розробки для спрощення тестування додатку, третій – збірка повноцінного додатку. Тут Exro виступає в ролі провайдера для різних платформ які можуть збирати кінцеві файли для встановлення в різних форматах, з різними інструментами та можливостями для підготовки фінальної версії додатку. Спектр підтримуваних інструментів скорочує час розробки і підготовки до випуску мобільного застосунку, до цього спектру належать: накладання підпису розробника, для убезпечення додатку від клонування, обфускації програмного коду, шифрування окремих компонентів і в багато інших функцій.

Exro було обрано як середовище розробки мобільного застосунку через швидкий запуск проєкту та підготовки збірок для мобільних платформ. У межах даної роботи Exro дозволяє реалізувати програмну частину системи, яка забезпечує взаємодію користувача з апаратним модулем тонометра з попереднім переглядом самого розробленого додатку в реальному часі, поки безпосередньо пишеться код.

2.7.4 Бібліотека для роботи з BLE

Для реалізації взаємодії мобільного застосунку з апаратним модулем була використана бібліотека react-native-ble-plx. Вона призначена для роботи з Bluetooth Low Energy у React Native-застосунках і надає засоби для пошуку BLE-пристроїв, встановлення з'єднання, отримання списку сервісів і характеристик, а також читання, запису та підписки на зміну значень характеристик.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

44

Перевагою цієї бібліотеки є зручність використання, оскільки вона інкапсулює складну низькорівневу логіку роботи з BLE на Android та iOS і надає єдиний програмний інтерфейс для взаємодії з пристроями. Це дозволяє реалізувати основну логіку підключення до медичного приладу без необхідності окремо писати нативний код для кожної мобільної платформи. Це скорочує час на імплементацію мобільного застосунку не втрачаючи функціональних можливостей. Важливо також зазначити, що бібліотека підтримує і інші стандарти Bluetooth, особливо сервіси для роботи з медичними пристроями. Як приклад, можна назвати Blood Pressure Profile. Це сервіс, що спеціально використовується для тонометрів і має попередньо визначену структуру даних для обміну. Бібліотека підтримує ці профілі та відповідає стандартам безпеки і дає можливість інтегруватись з іншими системами і тонометрами різних виробників.

Бібліотека надає наступні необхідні функції для роботи розробленої системи:

- перевірка стану Bluetooth на смартфоні;
- сканування доступних BLE-пристроїв;
- підключення до медичного пристрою;
- отримання BLE-сервісів і характеристик пристрою;
- зчитування результатів вимірювання;
- підписка на оновлення характеристик;
- обробка розриву з'єднання та помилок комунікації [12].

Мобільному застосунку не потрібен постійний високошвидкісний канал зв'язку, достатньо стабільного підключення для отримання короткого набору значень, наприклад систолічного тиску, діастолічного тиску та пульсу.

Бібліотека react-native-ble-plx була обрана зокрема через те, що самостійно організує пошук тонометра, підключення до нього, зчитування або отримання результатів вимірювання через повідомлення. Вона є простою в використанні,

підтримує більшість сервісів Bluetooth стандарту для персональних мобільних пристроїв.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Загальна архітектура

Розроблена комп'ютерна система збору та аналізу даних медичних вимірювальних пристроїв складається з двох основних частин: апаратного модуля та мобільного застосунку. Апаратний модуль представлений прототипом напівавтоматичного тонометра, що виконує отримання вимірювальних даних; в той час як мобільний застосунок – є програмною частиною системи та забезпечує взаємодію користувача з тонометром, зчитування результатів вимірювання, їх відображення та подальший аналіз.

Необхідність реалізації власного апаратного модуля пов'язана з тим, що розглянуті медичні пристрої не мають відкриті або зручні засоби інтеграції зі сторонніми програмними системами, їх системи занадто закриті для інтеграції і під'єднання розроблюваного модуля передачі даних. Саме тому для проєкту було розроблено власний прототип тонометра, який виступає джерелом медичних вимірювальних даних для мобільного застосунку. Комп'ютерна система у нашому випадку розглядається як єдиний програмно-апаратний комплекс, де апаратна частина формує результат вимірювання, а програмна частина забезпечує його подальшу обробку (рис. 8).

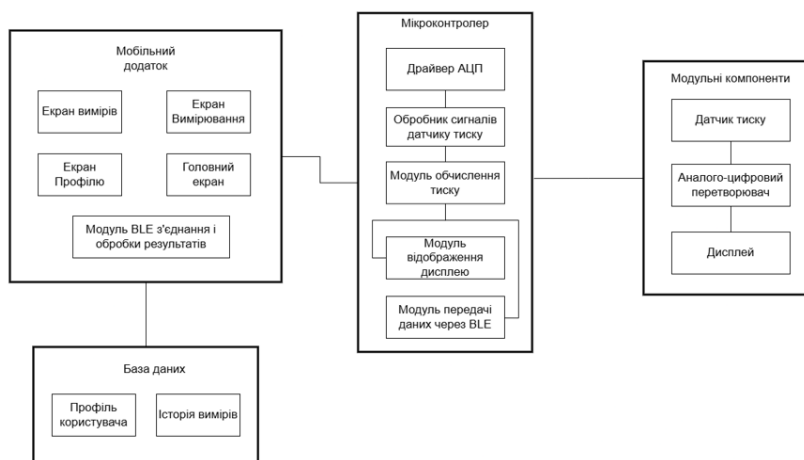


Рисунок 8 – Концептуальна схема архітектури системи

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

47

Загальна архітектура системи побудована за модульним принципом (рис. 8), у якому кожен функціональний блок виконує окрему задачу, а взаємодія між блоками завершує цикл роботи системи: від отримання фізичного сигналу, до відображення результату користувачу. Першою з переваг використання даного підходу є спрощення процесу розробки: кожен модуль розробляється окремо, не має сильну зв'язаність, аби можна було змінювати програмний код чи апаратні складові не порушуючи роботу системи.

Під час вимірювання датчик тиску формує аналоговий сигнал і для перетворення його на цифровий формат використовується АЦП, він приймає аналогове значення і перетворює на цифрове. Передача цифрових даних на мікроконтролер здійснюється за допомогою інтерфейсу I2C.

Центральним елементом апаратної частини є мікроконтролер, що координує роботи всіх основних вузлів тонометра: зчитує дані з АЦП, виконує первинну обробку отриманих вимірів, керує OLED-дисплеєм для відображення отриманих результатів, помилок, результату передачі даних до мобільного застосунку, та забезпечує бездротову передачу даних до мобільного застосунку.

OLED-дисплей відображає результати вимірювання, та, за необхідності, службову інформацію, завдяки чому користувач може бачити результати показників артеріального тиску та пульсу без обов'язкового підключення до мобільного застосунку. Дисплей робить модуль повністю незалежним від окремого користувацького інтерфейсу чи іншої системи, а також під'єднаний до мікроконтролера через інтерфейс I2C, що використовується загальною в системі і дає змогу використовувати спільну шину для декількох компонентів апаратного модуля і значно зменшити кількість необхідних з'єднань і складність системи.

Програмна частина представлена в вигляді мобільного додатку, що виконує роль інтерфейсу користувача та забезпечує взаємодію з апаратним модулем тонометра. Мобільний додаток дозволяє відокремити апаратну частину від користувацького інтерфейсу і розрахований на масштабування: як додавання нових функцій, так і підтримки нових пристроїв.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

48

Зв'язок мобільного застосунку і апаратної частини виконаний за допомогою бездротової технології BLE. У цій взаємодії тонометр виконує роль периферійного пристрою, який надає результати вимірювання тиску, а мобільний застосунок – центрального пристрою який відповідає за пошук, підключення і зчитування результатів даних з апаратного модуля. Таким чином апаратна частина має низьке енергоспоживання, автономність кожного з модулів і можливість до інтеграції системи у більш застосовувані.

Загальний потік даних у системі (рис. 9) починається з вимірювання тиску в манжеті: датчик тиску перетворює зміну тиску в аналоговий електричний сигнал, що далі цей сигнал надходить на АЦП, де відбувається його перетворення в цифровий формат. Мікроконтролер зчитує отримані дані, виконує їх первинну обробку та формує результат вимірювання. Після цього результат передається до мобільного додатку використовуючи BLE, а також відображається на дисплеї апаратного модуля.



Рисунок 9 – Діаграма потоку даних вимірювання тиску

Відповідно, загальна архітектура системи поєднує апаратний модуль вимірювання та мобільний програмний в єдину комп'ютерну систему. Апаратна частина відповідає за отримання та первинну обробку медичних вимірювальних даних, а мобільний застосунок забезпечує зручну взаємодію користувача із системою, відображення результатів і їх аналізу.

3.2 Реалізація апаратної частини

У розробленій схемі OLED-дисплей підключено до мікроконтролера ESP32 за допомогою інтерфейсу I2C. Між входом живлення і шиною заземлення встановлено фільтруючий конденсатор для стабілізації живлення дисплею.

Дисплей не бере безпосередньої участі в вимірюванні тиску, але виконує функції відображення результатів вимірів користувачу, службової інформації про стан підключення, передачі даних, а також відображення помилок в разі їх виникнення. Важливим є також те, що дисплей не обмежений відображенням тільки вимірами чи текстом, а також може використовуватись для будь-якої іншої інформації чи виведення піксельних символів.

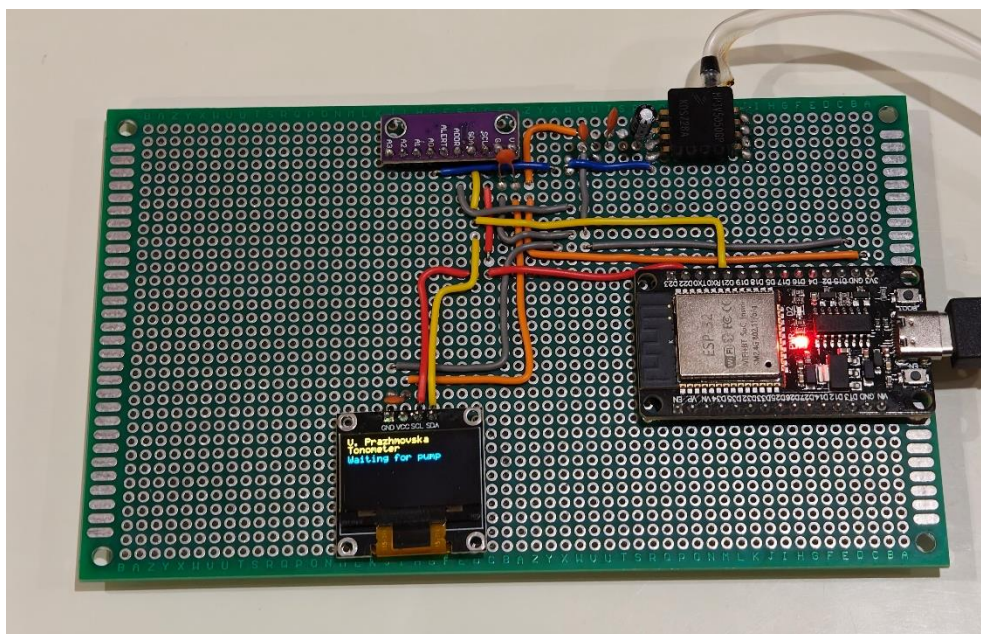


Рисунок 10 – Розроблена апаратна реалізація тонометра з передачею даних на мобільний додаток

Процес роботи системи починається з вимірювання тиску в манжеті: датчик перетворює фізичну величину тиску на аналоговий електричний сигнал, вихідна напруга датчика змінюється пропорційно зміні тиску та надходить на вхід АЦП, розроблену апаратну реалізацію показано на рисунку 10. Датчик

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

50

MP3V5050 виконує роль первинного вимірювального перетворювача, тобто перетворює фізичну величину тиску в електричний сигнал. У межах розробленої системи цей датчик використовується для отримання даних про зміну тиску повітря в манжеті тонометра. У розробленій схемі датчик тиску позначений як U2. Його вивід живлення підключається до лінії живлення схеми, вивід GND — до спільної землі, а вихідний сигнал VOUT подається на вхід АЦП, і це дозволяє відокремити етап отримання аналогового сигналу від етапу цифрової обробки даних.

У схемі біля датчика та ліній живлення використано кілька конденсаторів, які виконують функції фільтрації та стабілізації сигналів. Конденсатор C1 має ємність 100 нФ, C2 – 1 мкФ, а C3 – 470 пФ. Перші два конденсатори використовуються для згладжування та фільтрації живлення датчика, що зменшує вплив короткочасних завад і коливань напруги, це потрібно, оскільки стабільність живлення датчика впливає на стабільність його вихідного аналогового сигналу. Конденсатор C3 ємністю 470 пФ встановлено на вихідній сигнальній лінії датчика. Його роль – фільтрація живлення мікросхеми та зменшення високочастотних шумів, які можуть накладатися на аналоговий сигнал перед його подачею на вхід до АЦП.

Для перетворення аналогового сигналу з датчику тиску в цифровий, який буде оброблений мікроконтролером, використовується АЦП: на загальній схемі його вхід AIN0 підключений до виходу датчика тиску, а для обміну даними використовують виходи SDA та SCL, інтерфейсу I2C. Ці виходи під'єднані до D21 та D22 мікроконтролера ESP32, через них мікроконтролер періодично зчитує результати вимірювання та використовує їх для обчислення та передачі даних до мобільного додатку.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

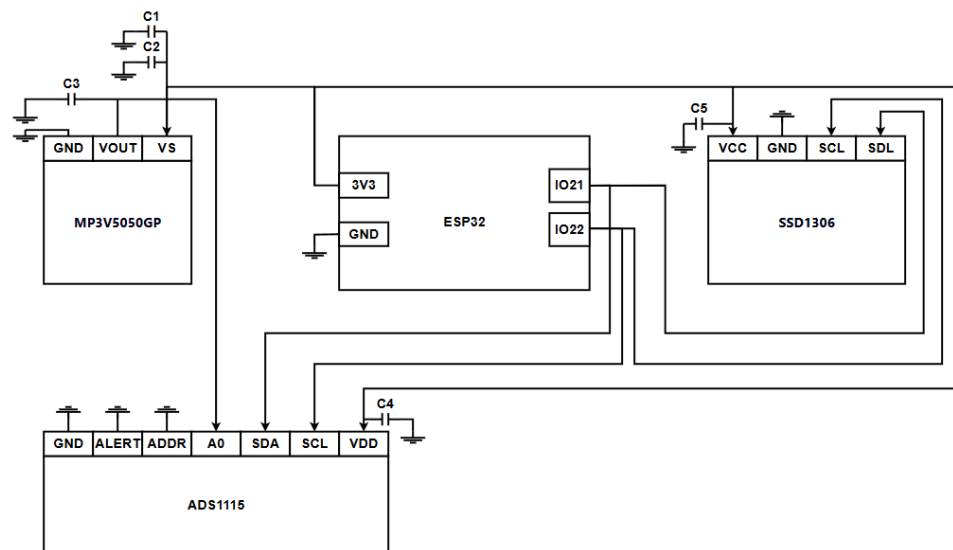


Рисунок 11 – Схема електрична функціональна

Для забезпечення стабільної роботи АЦП у схемі використовується конденсатор С4 ємністю 100 нФ що було підключено до лінії живлення мікросхеми а також фільтрування високочастотних завад, так зменшуючи вплив шумів на результати вимірювання (рис. 11). Варто зауважити, що виходи ADDR та ALERT для стабільної роботи мають бути приєднані до заземлення, що і виконано в апаратній частині модуля. Завдяки використанню адресації пристроїв на шині один і той самий інтерфейс одночасно використовується для обміну даними як з АЦП, так і з дисплеєм.

Після завершення процесу перетворення отриманий результат стає доступним для зчитування мікроконтролером. Аналоговий сигнал від датчика проходить шлях від фізичного вимірювання тиску до цифрового представлення, придатного для обробки програмним забезпеченням.

У розробленій схемі мікроконтролер виконує декілька основних функцій:

- отримання цифрових даних від АЦП;
- виконання алгоритмів обробки вимірювань;
- керування OLED-дисплеєм;
- організація бездротового зв'язку через BLE;
- формування та передача результатів вимірювання;

- координація роботи всіх вузлів системи.

Використовуючи входи D21 і D22 мікроконтролер підключений одночасно до АЦП та дисплею. Компоненти апаратного модуля живляться від мікроконтролера через його вихід 3V3, також до його входу GND під'єднані всі виходи заземлення модулів тонометра, а мікроконтролер координує взаємодію всіх компонентів, зчитуючи дані з АЦП, обробляючи та формуючи результат вимірювання. На основі отриманих значень мікроконтролер визначає необхідну інформацію для відображення та передачі користувачу. Після завершення вимірювання сформований результат стає доступним для мобільного застосунку, який може підключитися до тонометра та зчитати отримані значення.

3.3 Реалізація програмного забезпечення та обробка аналізів апаратної частини

Для повного розуміння суті розроблених алгоритмів програмного забезпечення, спочатку варто зрозуміти принцип роботи осцилометричного методу вимірювання тиску. Загальні методи базуються на зчитуванні коливань тиску в манжеті, осциляцій, що виникають внаслідок перетікання крові в артеріях під час поступового спуску (стравлювання) повітря, адже при цьому кров поступово відновлює свій рух та саме в цей момент і починається зчитування [13].



Рисунок 12 – Осцилометричний метод зчитування тиску

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Після достатнього тиску в манжеті коливання мають високу амплітуду, а потім поступово зменшуються. Систолічний тиск визначається на початку, коли кров лише починає проходити через стиснену артерію, а діастолічний визначається тоді, коли артерія вже майже не обмежує кровообіг. Розглянувши графік на рисунку 12, можна побачити залежності амплітуди осциляцій від тиску в манжеті, коли утворюється характерна крива, яка називається осцилометричною огинаючою, обвівши криву поверх крайніх точок графіку. Максимум цієї кривої відповідає середньому артеріальному тиску (МАР – Mean Arterial Pressure). Значення систолічного та діастолічного тиску визначаються за спеціальними коефіцієнтами як точки на висхідній та спадній частинах огинаючої відповідно.

```

4 // Експоненційне ковзне середнє
5 const float alpha = CONFIG_LPF_ALPHA_x1000 / 1000.0f;
6 s->lp_value += alpha * ((float)raw - s->lp_value);
7 // Виявлення осциляційної складової сигналу
8 float pulse = (float)raw - s->lp_value;
9 // Пошук мінімуму пульсової хвилі
10 if (pulse < s->trough_val) {
11     s->trough_val = pulse;
12 }

```

Рисунок 13 – Фрагмент коду

Алгоритм починає свою роботу з підготовки, а саме зі збереження вимірів з датчика. Кожен раз, коли датчик зчитує нові значення, вони записуються у стан алгоритму. У функції, яка за це відповідає, спочатку записується перше прийняте значення зі стану, коли пристрій почав вимірювання, для подальшого використання для фільтрації і функції визначення піків. Далі вираховується експоненційне ковзне середнє для фільтрації сигналу. Для цього алгоритм бере попереднє згладжене значення і поступово наближає його до нового початкового, тобто додає до попереднього різницю між новим і попереднім.

Оскільки, окрім пульсацій, сигнал з датчика також містить загальний рівень тиску, відбувається виділення осциляційної складової сигналу, а саме

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віднімання згладженого значення від початкового значення тиску. Таким чином отримуються значення повільного спадання тиску і пульсові хвилі. Для оцінки амплітуди пульсової хвилі потрібно знайти не тільки вершину хвилі, а й її мінімум. Тому перед пошуком піку алгоритм відстежує мінімальне значення пульсового сигналу.

Далі відбувається виявлення піків пульсової хвилі. Використовується простий метод за трьома точками, вказаний на рисунку 14: перевіряється, якщо попереднє значення більше за два попередні та більше за поточне, – то попереднє значення є локальним максимумом. Таким чином знаходиться вершина пульсової хвилі. Щоб алгоритм не сприймав шум як окрему пульсову хвилю, додається перевірка на мінімальний інтервал між піками. Це запобігає ситуації, коли 2 піки з'явилися занадто близько один до одного, що означає, що один з них хибний. Далі додається ще один фільтр амплітуди пульсової хвилі. Вираховується амплітуда і порівнюється з мінімально допустимою амплітудою. Якщо вона замала, то такий сигнал відсікається і не враховується в подальшому. Для подальшого розрахунку MAP, SYS, DIA зберігаються точки осцилометричної огинаючої. Для кожної знайденої пульсової хвилі зберігається тиск у манжеті в момент пульсової хвилі та амплітуда такої хвилі. Зберігаються також і інтервали між піками пульсу. Якщо проміжок часу достатньо великий, щоб рахуватись пульсовою хвилею, і алгоритм ще не отримав достатню кількість пульсів, то записується інтервал між ними.

```
13 // Умова виявлення піків пульсової хвилі
14 if (s->prev1_pulse > s->prev2_pulse && s->prev1_pulse > pulse)
15 // Перевірка мінімального інтервала між піками
16 int32_t spacing = elapsed_ms - s->last_peak_time_ms;
17 if (spacing >= CONFIG_PEAK_MIN_SPACING_MS)
18 // Розрахунок амплітуди і перевірка мінімальної амплітуди
19 float amplitude = s->prev1_pulse - s->trough_val;
20 if (amplitude >= (float)CONFIG_PEAK_MIN_PROMINENCE)
21 // Збереження точок осцилометричної огинаючої
22 if (s->env_count < BP_MAX_PULSES) {
23     s->env_pressure[s->env_count] = (int16_t)s->lp_prev1;
24     s->env_amplitude[s->env_count] = (int16_t)amplitude;
25     s->env_count++;
26     ESP_LOGD(TAG, "Peak #%d: lp=%.0f amp=%.0f t=%ldms",
27               s->env_count,
28               s->lp_prev1,
29               amplitude,
30               (long)elapsed_ms);
31 }
```

Рисунок 14 – Фрагмент алгоритму

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

55

Після збору потрібних даних алгоритм може почати рахувати тиск. Він перевіряє, що якщо було зібрано достатньо пульсових хвиль, то шукає максимальну амплітуду. Найбільша амплітуда пульсових хвиль серед записаних точка MAP відповідає середньому артеріальному тиску.

```

4 // Алгоритм обчислення SYS
5 float sys_threshold = (CONFIG_SYSTOLIC_RATIO_PCT / 100.0f) * (float)a_max;
6 float sys_raw = (float)s->env_pressure[0]; // fallback to highest recorded pressure
7
8 for (int i = 0; i < i_max; i++) {
9     float a0 = (float)s->env_amplitude[i];
10    float a1 = (float)s->env_amplitude[i + 1];
11
12    if (a0 <= sys_threshold && a1 >= sys_threshold) {
13        float t = (sys_threshold - a0) / (a1 - a0);
14
15        sys_raw = (float)s->env_pressure[i] +
16                t * ((float)s->env_pressure[i + 1] - (float)s->env_pressure[i]);
17
18        break;
19    }
20 }

```

Рисунок 15 – Алгоритм SYS

Для обчислення систолічного тиску алгоритм на рисунку 15 вираховує поріг: відсоток від максимальної амплітуди. Систолічний тиск вираховується до точки MAP. Це означає, що алгоритм шукає момент, де пульсація на зростаючому сегменті графіка досягає цього порогу від максимальної амплітуди. Пояснюється це тим, що в манжеті тиск поступово падає, і амплітуда пульсації спочатку росте, досягає максимуму біля MAP, а потім зменшується, тобто на графіку SYS вираховується саме з лівої частини від MAP (рисунок 12). Так як значення систолічного тиску може знаходитись між двома точками, виконується лінійна інтерполяція. Використовуючи це, алгоритм бере не найближчу точку, а приблизно визначає тиск між двома сусідніми точками. Також є обробка на випадок, якщо алгоритм не знайде перетинання порогу. Оскільки SYS використовується при спаданні тиску, зазвичай перший записаний є найвищим серед збережених точок.

Як і при обчисленні систолічного тиску, задається поріг спаду пульсацій, після якого можна починати рахувати діастолічний тиск. Як приклад, такий поріг може бути 70%, а це означає, що обчислення відбувається, коли після максимуму

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

56

амплітуда зменшилась до 70%. У цьому випадку також виконується інтерполяція, тобто відбувається пошук коефіцієнта, де саме між двома точками амплітуда перетнула поріг діастолічного тиску. Так само визначається і запасний тиск на випадок, якщо алгоритм не знаходить перетинання порогу. У випадку діастолічного тиску, на відміну від систолічного, найнижчий зафіксований тиск є діастолічним[14].

Фінальним кроком є перетворення цифрового значення тиску в міліметри ртутного стовпчика і перевірка на фізіологічні обмеження. У програмному коді вказано, що систолічний тиск не може бути нижчим за 40 і вищим за 250. Так само обмежується і діастолічний.

На початку всієї роботи програми ініціалізуються основні апаратні компоненти системи. Спочатку налаштовується дисплей, модуль BLE та АЦП, який використовується для зчитування сигналу з датчика тиску. Після цього ініціалізується алгоритм обробки даних і службові змінні, що потрібні для збереження поточного стану пристрою, попередніх значень сигналу та результатів вимірювання. Після завершення етапу ініціалізації програма переходить до нескінченного циклу, типового для схожих систем, так як мікроконтролер повинен постійно опитувати інші елементи, для реагування на зміну стану системи. У кожній ітерації циклу зчитується поточне значення АЦП та перевірка поточного стану тонометру для оновлення даних на дисплеї.

У кодї робота тонометра побудована як автомат станів: пристрій у кожен момент часу перебуває лише у одному із чотирьох, перехід між якими відбувається в залежності від тиску у манжеті. STATE_WAITING – початковий стан пристрою, у цьому режимі тонометр очікує, поки користувач почне накачувати манжету. Програма постійно порівнює початкове значення сигналу з датчика тиску і порівнює його з заданим порогом. У STATE_DESCEND пристрій переходить після того, як тиску достатньо і можна починати стравлювати повітря вручну, так як розроблений тонометр напівавтоматичний, програма контролює момент, коли тиск починає знижуватися і переходить в STATE_READING. В

цьому стані починається накопичення значень датчика: часу вимірювання, пульсових осциляцій та піків сигналу. Вимірювання завершується після досягнення мінімального порогу тиску або після закінчення заданого часу зчитування. Після цього, викликається алгоритм обчислення результату, який визначає систолічний тиск, діастолічний тиск і частоту пульсу. Якщо результат успішно отримано, система переходить у стан STATE_RESULT і тут алгоритм оброблює всі накопичені дані і видає на екран діастолічний і систолічний тиск та пульс. Розраховані значення виводяться на дисплей та передаються до мобільного застосунку.

За допомогою описаних алгоритмів основна програма виконує роль керуючого модуля, який координує роботу апаратних компонентів, контролює етапи вимірювання та забезпечує передачу отриманих результатів користувачу.

3.4 Реалізація мобільного застосунку

3.4.1 Призначення мобільного застосунку

Мобільний застосунок було розроблено з використанням фреймворку React Native, мовою програмування JavaScript а стилізація елементів виконувалася за допомогою стилів, подібних до CSS. Використання цього підходу дозволило створити зручний користувацький інтерфейс для взаємодії з апаратною частиною. Призначення мобільного додатку полягає у тому, аби приймати дані від розробленої апаратної системи; виступати в ролі програмного інтерфейсу між користувачем сформованою повноцінною комп'ютерною системою. Початково додаток був призначений для отримання даних з медичних пристроїв, їх відображення та аналізу, але при розробці було виявлено неабиякий потенціал розширення не лише додатку, але й системи. З відображенням даних та можливістю додати опис самопочуття в момент вимірювання – додаток стає відстеженням не лише стану тиску чи рівня глюкози в крові, але й важливою заміткою для користувача.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Такий тип записів та збереження даних слугує помічником візитів до лікаря, адже пацієнту не обов'язково мати при собі записи результатів на папері, більше того, звичайна скарга на головний біль чи утруднене дихання не є повноцінними підставами для встановлення діагнозу, адже таке серйозне твердження потребує довгострокового відстеження, що і робить розроблений додаток, з його функцією історії вимірів, що зберігає усі виміри від моменту приєднання до медичного пристрою. Саме через це додаток є корисним, всі результати зберігаються з датами та часом вимірювань, симптомами, записаними особисто користувачем у замітках, все це формує надійну базу даних про пацієнта і допоможе в подальшому правильно поставити діагноз.

Особливою перевагою є те, що мобільний телефон постійно знаходиться з людиною, незалежно від місцезнаходження; а у парі з переносним медичним приладом можна виміряти тиск чи глюкозу та вжити запобіжні заходи проти погіршення самопочуття. Таким чином, навіть у непередбачуваних обставинах є можливість задокументувати результати вимірів, незалежно від інтернет з'єднання.

Простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс додатку спрощує використання навіть для літніх людей, дозволяє відстежувати статистику та на основі попередніх результатів показувати повідомлення порад для запобігання погіршень чи як покращити самопочуття. Аналіз відбувається безпосередньо у додатку та виводить статистику у вигляді графіку з усіма попередніми даними, адже візуалізуючи їх стає легше відстежувати прогрес. Зокрема варто згадати, що всі дані користувача, а особливо сенситивні – надійно зашифровані у самому пристрої, використовуючи базу даних Secure Store. Ніхто не може отримати доступ до вказаних даних, що заповнюються на сторінці профілю користувача, де вказані ім'я, дата народження, та екстрений контакт, а також є можливість записатися до лікаря, що перенесе користувача у особистий кабінет всеукраїнської системи записів до лікаря.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3.4.2 Функціонал та користувацький інтерфейс додатку

Структура мобільного застосунку складається з чотирьох основних екранів, кожен з яких відповідає за окрему функціональну частину системи. Його інтерфейс побудований таким чином, щоб користувач міг легко орієнтуватися між основними розділами, отримувати необхідну інформацію та виконувати потрібні дії без складних налаштувань. Дизайн застосунку розроблено на платформі Figma та виконано у мінімалістичному стилі з використанням світлої блакитної кольорової гами, простих візуальних елементів та зрозумілої навігації, такий додаток є психологічно приємним у використанні за рахунок кольору, а також повторює інтерфейс звичних додатків для легкості пристосування.

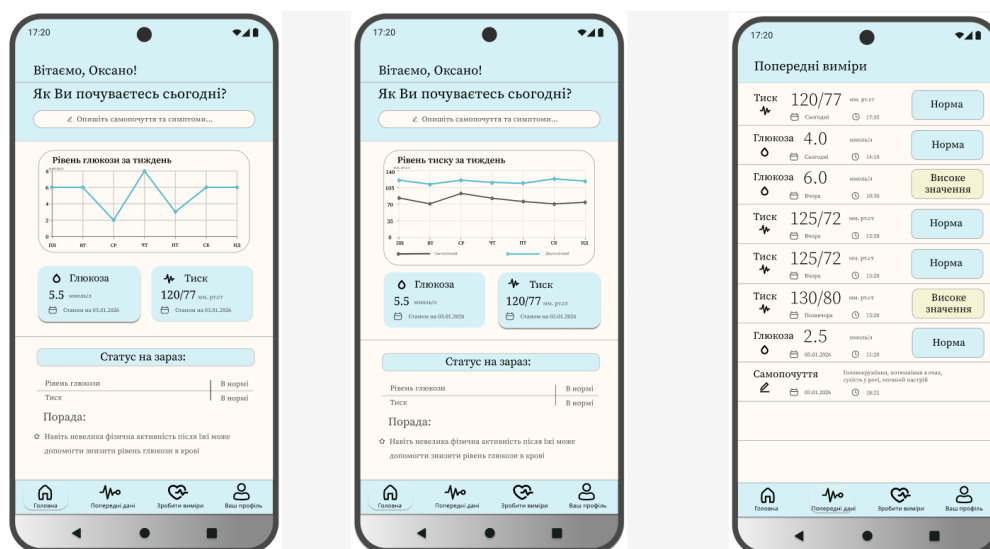


Рисунок 16 - Дизайн екранів додатку (Головна, Попередні дані)

Перша частина функціоналу зображена на рисунку 16, задано неіснуючого користувача та його дані, зібрані за останній тиждень. Перші два прототипи це екран головної сторінки, за винятком обраних показників. Наразі додаток розрахований на показники глюкози в крові та тиску, але є можливість його розширення та додавання нових вимірів, в залежності від медичного приладу, що використовується. Користувач може переглянути статистику за попередній

тиждень, статус показників на теперішній момент часу, а також ввести нотатку про самопочуття, якщо медичний пристрій не в зоні досяжності. Кожен із записів залишається в історії вимірів (третя частина рисунку 16) та в подальшому враховуватиметься лікарем, так як дата та час також зафіксовані, є можливість відстежити денний перебіг показників, і скорегувати розпорядок дня для якомога ефективнішого лікування чи запобігання.

Екран попередніх вимірювань реалізовано у вигляді списку записів. У застосунку передбачено класифікацію отриманих показників: кожен із записів має символ виміру (глюкоза чи тиск), а також підсумок показника від низького значення до критичного: низький, норма, високий, критичний; і його колір в залежності від рівня небезпеки що змінюється в гамму червоного.

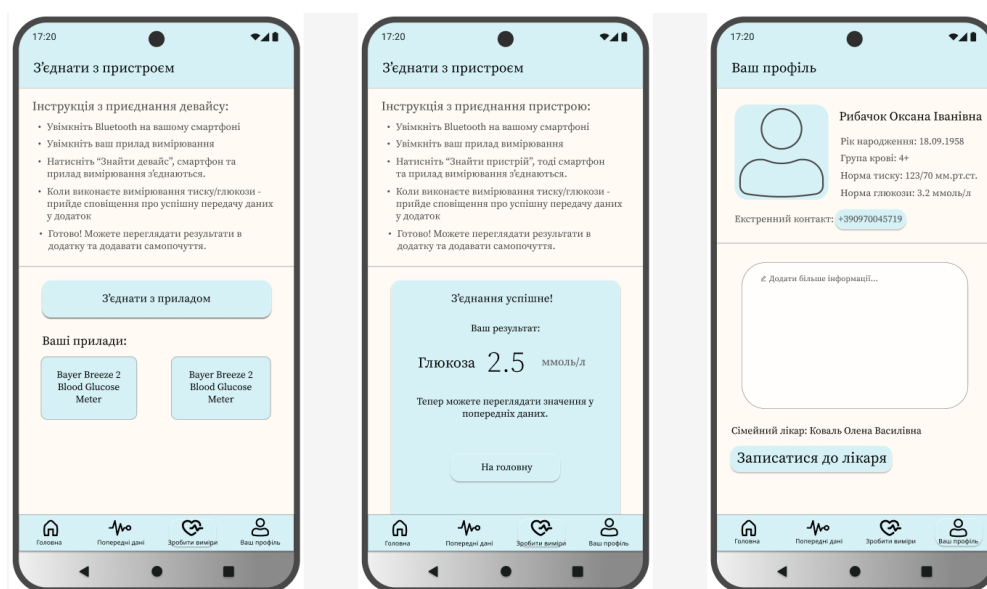


Рисунок 17 - Дизайн екранів додатку (Зробити виміри, Ваш Профіль)

На рисунку 17 показана друга частина функціоналу додатку: два екрани з'єднання з пристроєм, та профіль користувача. З'єднання – основна функція цього додатку, інструкція описана угорі сторінки для полегшення розуміння. Додаючи пристроєве з'єднання користувач отримує дані, що зберігаються у локальній базі даних телефону, а їх аналіз буде відображено на головній сторінці.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

61

Коли з'єднання буде успішно встановлено, з'явиться відповідне повідомлення з результатом виміру для зручності користувача, завдяки цьому з'єднання буде явним та підтвердженням, а також користувацький досвід покращиться за допомогою цієї функції. Спеціальна увага при розробці додатку була приділена самим вимірам, так як необхідно аби вони виділялися задля кращого та швидшого розпізнавання, тому, зокрема тут, результат виміру показано великим шрифтом.

Профіль користувача містить декілька важливих елементів, окрім повного імені чи дати народження. На цьому екрані можна редагувати як і вищесказане, так і в поле «додати більше інформації» можна записати норму своїх вимірів, з причини індивідуальності показників від однієї людини до іншої. Інше прикладне застосування – записати свої діагнози чи висновки лікаря а також виписані медикаменти, так як у критичних ситуаціях не завжди людина може розповісти особисто, а критично важливим буде прийняття рішення стороннім щодо типу медикаменту, який надати у екстреній ситуації. Знаючи про наявність цих деталей у додатку, можна моментально впевнитися у правильності інформації та прийняти необхідні міри. Це також підійде не лише для діабетиків чи людей з серцево-судинними захворюваннями, а й епілептиків чи алергіків.

Іншою функцією на останньому екрані є кнопка записатися до лікаря, яка дозволяє перейти на свій профіль у Helsi та обрати до кого саме потрібно записатися. Саме із цієї деталі було розпочато інтеграцію з іншими платформами, без потреби комунікації з розробниками напрямку чи спонукання прямої співпраці, даючи можливість користувачам самостійно визначити корисність цієї функції або звикнути до подальших глобальних інтеграцій. Через значну потребу у інформації про користувача, важливо розуміти функціонал додатку та використовувати його з наміром, що і був вкладений у розробку застосунку.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
						62
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Тестування розробленої комп'ютерної системи

Метою тестування розробленого програмного забезпечення для тонометру була перевірка отримання значень з датчика тиску, передачі результатів через BLE, коректне відображення даних на OLED-дисплеї і перевірка правильності роботи алгоритму визначення артеріального тиску.

Для підтвердження коректної роботи модуля збору даних були перевірені коректна робота датчика тиску, ініціалізація АЦП, зчитування даних з АЦП і робота шини I2C. Для датчика було проведено 2 тести:

- завади від роботи Bluetooth та шумів живлення;
- щільність з'єднання пневматичної трубки, стабільність та однорідність сигналів.

Для перевірки впливу шумів тестування проводилось з увімкненим Bluetooth та вимкненим. Результати показали, що спроектована апаратна частина має достатній захист датчика від шумів. Тест на щільність пневматичної складової і якості сигналів проводився одночасно. Декілька разів на датчик подавався різний тиск – малий, середній, високий, близький до максимального, і всі з них видавали однорідні стабільні результати. Комунікація через I2C перевірялась без дисплею і з дисплеєм. Визначено, що драйвер написаний правильно, пристрої не конфліктують один з одним.

Для підтвердження коректної роботи BLE були проведені тести на виявлення пристрою, підключення, передачу результатів. Комплексний тест на очікувану поведінку показав, що пристрій виявляється нормально, доступний для під'єднання з правильними характеристиками і всі операції та дані передаються правильно. Тести на неочікувану поведінку показали, що при реалізації програмного забезпечення всі виключні ситуації оброблені і не заважають роботі пристрою.

Для підтвердження коректної роботи інтерфейсу користувача перевірялась правильність роботи через I2C, правильне візуальне відображення, правильне

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

63

відображення значень і станів. В результаті проведення комплексних тестів під час вимірювань визначено, що інтерфейс правильно комунікує з мікроконтролером, візуалізує і відображає дані відповідно до очікуваних.

Для підтвердження коректної роботи алгоритму визначення тиску виконувались тести на:

- фільтрацію сигналу;
- перевірку обчислення SYS та DIA, визначення MAP, пошуку максимальної амплітуди;
- перевірку розрахунку пульсу.

Перевірка згладжування (фільтрації) проводилась ізольовано від функцій алгоритму визначення тиску. Імітувались значення з датчику тиску і подавались на вхід формули. Таким чином визначено, що після фільтрації випадкові коливання сигналу зменшуються, без втрати пульсових хвиль.

Для тестування SYS, DIA, MAP та максимальної амплітуди було записано всі знайдені пульсові хвилі в межах десятків вимірювань, побудовані графіки «амплітуда – тиск» та огинаючої та перевірено, чи алгоритм знаходить значення відповідно до цих графіків. В результаті тестування підтверджено, що всі коефіцієнти підібрані правильно, алгоритм знаходить правильні значення і відхилення від еталонних значень незначне.

Перевірка розрахунку пульсу відбувалась в комплексі з іншими функціями алгоритму та еталонними пристроями. Тестування підтвердило правильне обчислення пульсу в ударах на хвилину. Також було проведено близько 100 вимірювань тиску у різних людей під час навантаження та без, результати порівнювались з такими самими вимірами, але використовуючи еталонний пристрій (таблиця 2).

Таблиця 2 – Тестування розробленого тонометра, результати вимірів

Об'єкт тестування	Особа 1	Особа 2	Особа 3	Особа 4
Вікова категорія, стать	20-25 р., ж.	25-30 р., ч.	40-45 р., ж.	45-50 р., ч.
Кількість тестів	30	30	20	20
Тест у спокої, сист. тиск (мм. рт. ст.)	120-127	122-128	110-120	125-130
Тест у спокої, діаст. тиск (мм. рт. ст.)	75-83	80-85	75-82	80-87
Тест після навантаження, сист. тиск (мм. рт. ст.)	130-140	128-135	125-130	140-145
Тест після навантаження, діаст. тиск (мм. рт. ст.)	85-90	80-85	75-80	80-90
Похибка, у мм. рт. ст.	± 3	± 3	± 2	± 3

Після тестування було проведено ознайомлення з нормами тиску різних вікових категорій та досліджено, що у всіх осіб тиск є у межах норми, хоча показники особи 1 підпадають під верхню межу норми. Після порівняння результатів з вимірами еталонного пристрою, було встановлено похибку, що склала ± 4 мм. рт. ст., що вказує на коректне функціонування пристрою, тобто похибкою такого масштабу можна знехтувати через округлення вимірів.

3.6 Розширення функціональних можливостей платформи збору медичних даних

Одним із перспективних напрямків розвитку розробленої системи є розширення функціональних можливостей програмної платформи збору та

аналізу медичних даних. У поточній реалізації мобільний застосунок забезпечує під'єднання медичного пристрою, зчитування показників, відображення користувачу і збереження в межах його мобільного пристрою. Проте архітектура системи дозволяє додавати функції, які підвищать її практичність та цінність.

Насамперед доцільним є впровадження облікових записів користувачів та хмарне зберігання даних. Це дозволить прив'язувати результати вимірювань до облікового запису та забезпечить централізоване і персоналізоване зберігання медичних даних. Крім того це дозволить використовувати додаток на декількох пристроях одночасно, без ризику втрати накопиченої історії вимірювань. Використання хмарної інфраструктури також дозволить збирати дані користувача, надавати звіти по запиті, відправляти в інші медичні системи, тощо.

Перспективним напрямком є також реалізація механізму сповіщень і нагадувань. Такий функціонал дозволить налаштовувати нагадування про необхідність чергового виміру, або повідомляти про відсутність нових даних. Такий механізм особливо актуальним є для людей, які здійснюють регулярний контроль здоров'я.

Таким чином подальший розвиток програмної платформи дозволить перетворити її з інструменту отримання результатів вимірювань в повноцінну платформу для персоналізованого зберігання, аналізу, ведення статистики та поширення результатів вимірів з медичними системами чи закладами.

Для реалізації повної універсальності системи і підтримки більшості медичних пристроїв перспективним буде підтримка стандартизованих профілів передачі медичних даних організації Bluetooth SIG.

Існує декілька стандартів для комунікації з пристроями:

- Blood Pressure Profile (BPP) — артеріальний тиск;
- Glucose Profile (GLP) — рівень глюкози в крові;
- Health Thermometer Profile (HTP) — температура тіла;
- Pulse Oximeter Profile (PLXP) — насичення крові киснем та пульс;

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

66

- Weight Scale Profile (WSP) — маса тіла;
- Heart Rate Profile (HRP) — частота серцевих скорочень;

Всі ці профілі описують структуру сервісів і формат даних необхідних для передавання медичних показників між пристроями різних виробників. Підтримка таких профілів дозволить застосунку взаємодіяти не тільки з розробленим в межах даного дипломного проєкту тонометром, а також інтегрувати готові комерційні пристрої, які підтримують цей стандарт.

Наприклад підтримка Glucose Profile дозволить інтегруватись з готовими пристроями для виміру рівня цукру в крові. Це надасть системі широкі можливості в підключенні пристроїв і відстеженні стану здоров'я. Разом з іншими перспективними напрямками розвитку, система може стати незамінною платформою для відстеження стану здоров'я користувача.

Використання стандартизованих профілів має декілька важливих переваг. По-перше, це забезпечує сумісність між пристроями різних виробників без необхідності розробляти окремі протоколи обміну для кожного типу обладнання. По-друге, зменшуються витрати на підтримку та розвиток програмного забезпечення, оскільки логіка взаємодії з пристроями будується відповідно до загальноприйнятих специфікацій. По-третє, підвищується масштабованість системи та спрощується підключення нових медичних пристроїв.

Підтримка стандартизованих BLE-профілів дозволить перетворити розроблену систему з рішення, орієнтованого на один конкретний пристрій, на універсальну платформу збору медичних даних. У результаті користувач зможе працювати з різними типами медичних вимірювальних пристроїв через єдиний мобільний застосунок, що значно розширить практичні можливості системи.

Не менш важливою є підтримка міжнародних стандартів обміну медичними даними. Для формування довіри до системи і інтеграції з професійними пристроями і системами необхідно використовувати саме такі протоколи комунікації.

Одним із найпоширеніших стандартів у сфері медичних інформацій технологій є Health Level Seven (HL7). Даний стандарт визначає правила обміну клінічними та адміністративними даними між різними медичними системами. Його використання дозволяє забезпечити сумісність між програмними рішеннями різних виробників та спрощує інтеграцію нових компонентів у медичну інфраструктуру.

Останніми роками широкого поширення набув стандарт FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), який є сучасним розвитком сімейства стандартів HL7. FHIR використовує веб-технології та REST API для обміну даними, що значно спрощує інтеграцію медичних систем із мобільними застосунками та хмарними сервісами. Підтримка FHIR дозволила б передавати результати вимірювання артеріального тиску до електронних медичних карток, інформаційних систем медичних закладів або сервісів дистанційного моніторингу пацієнтів.

Для персональних медичних пристроїв особливе значення має сімейство стандартів IEEE 11073. Воно визначає моделі даних і правила взаємодії між медичними приладами та інформаційними системами. Стандарти IEEE 11073 широко використовуються виробниками медичного обладнання для забезпечення сумісності між різними пристроями та програмним забезпеченням. Реалізація підтримки цього стандарту дозволить спростити інтеграцію системи з іншими медичними вимірювальними приладами та забезпечити використання загальноприйнятих форматів представлення даних.

ВИСНОВКИ

У рамках бакалаврського дипломного проєкту було спроектовано та реалізовано комп'ютерну систему збору та аналізу даних медичних пристроїв, що допомагає спростити відстеження стану здоров'я користувача а також надає можливість довгострокового збереження інформації. Проєкт орієнтований на вирішення актуальної проблеми відсутності системи, що дозволить зберігати усі дані в одному додатку. Така система підходяща для людей різного віку, бо є простою у користуванні.

Розроблена комп'ютерна система побудована на базі мікроконтролера ESP32, до якого підключено датчик тиску та допоміжні електронні компоненти для вимірювання артеріального тиску. Обробка сигналів здійснюється на мікроконтролері із застосуванням алгоритму осцилометричного аналізу, який вираховує значення систолічного та діастолічного тиску, а також частоту серцевих скорочень. Передача результатів вимірювання виконується через технологію BLE до мобільного застосунку, де вони зберігаються та аналізуються. Розроблений мобільний застосунок має зрозумілий інтерфейс та зручний доступ до поточних і попередніх результатів вимірювань, що сприяє ефективному моніторингу стану серцево-судинної системи користувача.

Проведене тестування в реальних умовах показало працездатність розробленого програмно-апаратного комплексу: стабільність зчитування сигналів з датчика тиску, коректність передавання результатів до мобільного застосунку. Розроблена система забезпечує обробку вимірювальних даних, визначення основних показників артеріального тиску та їх зручне відображення для користувача. Доступні електронні компоненти дозволили створити прототип тонометра та модуля передачі даних з мінімальною вартістю, порівняно з ринковою ціною медичних пристроїв.

Система є придатною для подальшого розвитку, модернізації та інтеграції з іншими цифровими медичними системами та пристроями. Це дозволить

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

вдосконалити алгоритми обробки сигналів, додати нові функції мобільного застосунку та загалом розширити межі використання системи. На відміну від багатьох готових рішень інших виробників, розробка є відкритою для інтеграції, що дає змогу адаптувати її під різні програмні сервіси чи медичні платформи. Гнучкість системи створює основу для його подальшого використання в дослідницьких або прикладних медико-технічних проєктах.

					ІАЛЦ.045430.004 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мінаматська конвенція про ртуть : Конвенція ООН від 10 жовтня 2013 р. Документ 995_001-13, чинний, приєднання України від 29 травня 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_001-13#Text (дата звернення: 23.05.2026).
2. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ. *eDilo*. URL: <https://edilo.com.ua/blog/novitni-tehnologiyi-v-medyczyni/> (дата звернення: 23.05.2026).
3. Design Secure And Reliable Cloud Communication Architecture. Punch Through. URL: <https://punchthrough.com/cloud-communication-architecture/> (дата звернення: 23.05.2026).
4. ESP32-WROOM-32 Datasheet. Espressif Systems. URL: https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 23.05.2026).
5. I2C-bus specification and user manual. NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf> (дата звернення: 23.05.2026).
6. MP3V5050GP Datasheet. AllDataSheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1223841/NXP/MP3V5050GP.html> (дата звернення: 23.05.2026).
7. MP3V5050, 0 to 50 kPa, Differential, and Gauge Pressure Sensor. NXP Semiconductors. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MP3V5050.pdf> (дата звернення: 23.05.2026).
8. The Bluetooth LE Primer. Bluetooth SIG. URL: <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2022/05/the-bluetooth-le-primer-v1.2.0.pdf> (дата звернення: 23.05.2026).

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

Арк.

71

9. Display bicolore OLED 0.96" 128x64 - SSD1306. Adrirobot. URL: <https://www.adrirobot.it/oled-096-128x64-pixel-interface-i2c/> (дата звернення: 23.05.2026).
10. Core Components and APIs. React Native. URL: <https://reactnative.dev/docs/components-and-apis> (дата звернення: 23.05.2026).
11. When to use TypeScript: a detailed guide through common scenarios. freeCodeCamp. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/when-to-use-typescript-a-detailed-guide-through-common-scenarios-b0a57e57905/> (дата звернення: 23.05.2026).
12. react-native-ble-plx 3.3.0 Documentation. DotIntent. URL: <https://dotintent.github.io/react-native-ble-plx/> (дата звернення: 01.06.2026).
13. Oscillometric Waveform Evaluation for Blood Pressure Devices. ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667099222000226> (дата звернення: 23.05.2026).
14. Babbs C. F. Oscillometric measurement of systolic and diastolic blood pressures validated in a physiologic mathematical model. BioMedical Engineering OnLine. 2012. видання 11, стаття 56. URL: <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-11-56> (дата звернення: 23.05.2026).
15. HL7 FHIR Foundation. About HL7 FHIR Foundation. URL: <https://hl7.org/fhir/overview.html> (дата звернення: 23.05.2026).

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ІАЛЦ.045430.004 ПЗ

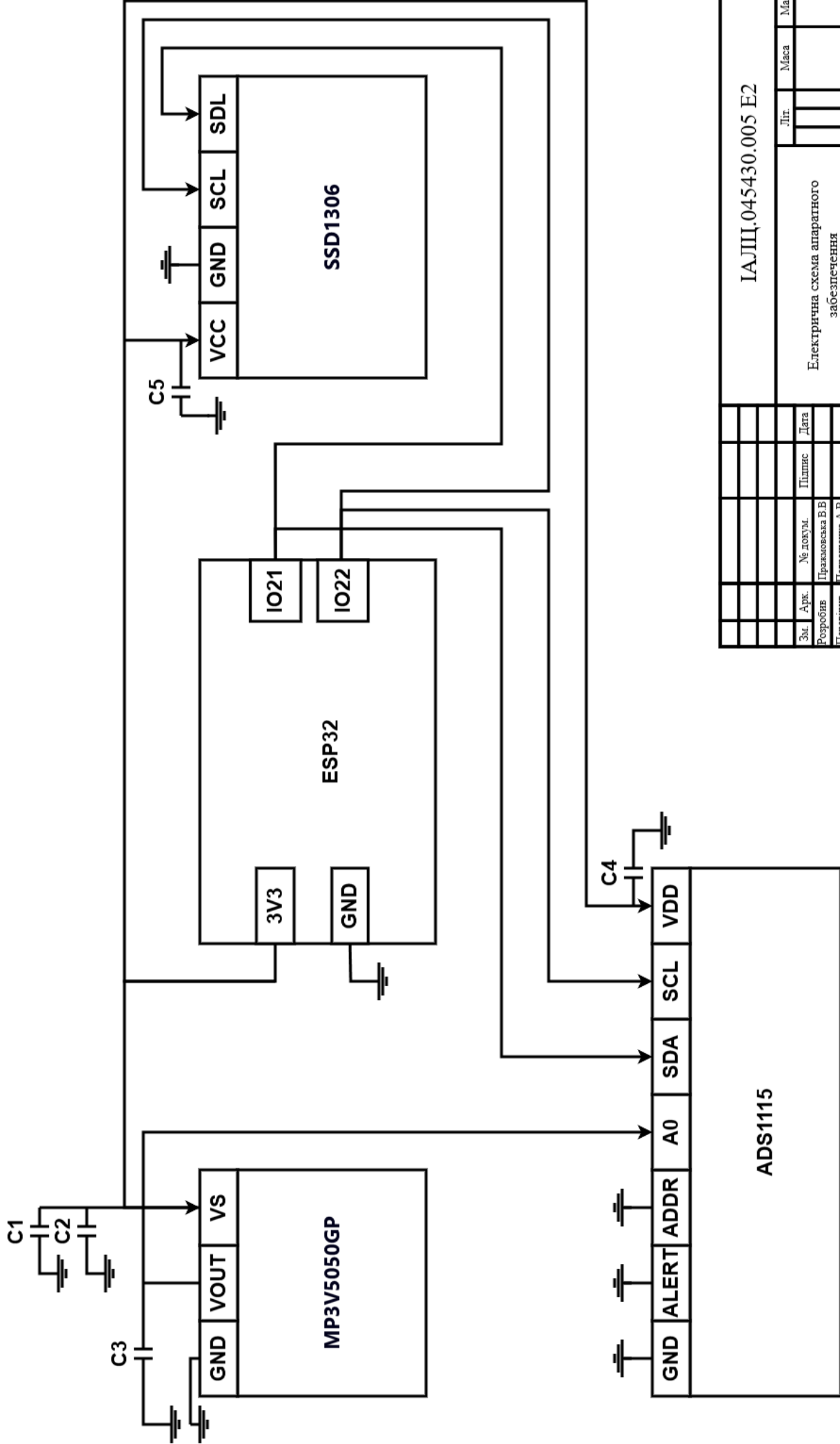
Арк.

72

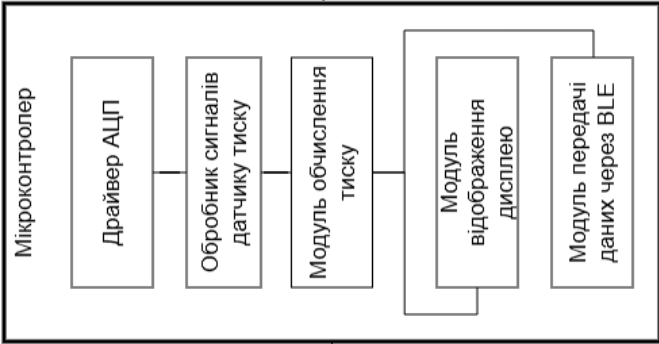
ДОДАТКИ

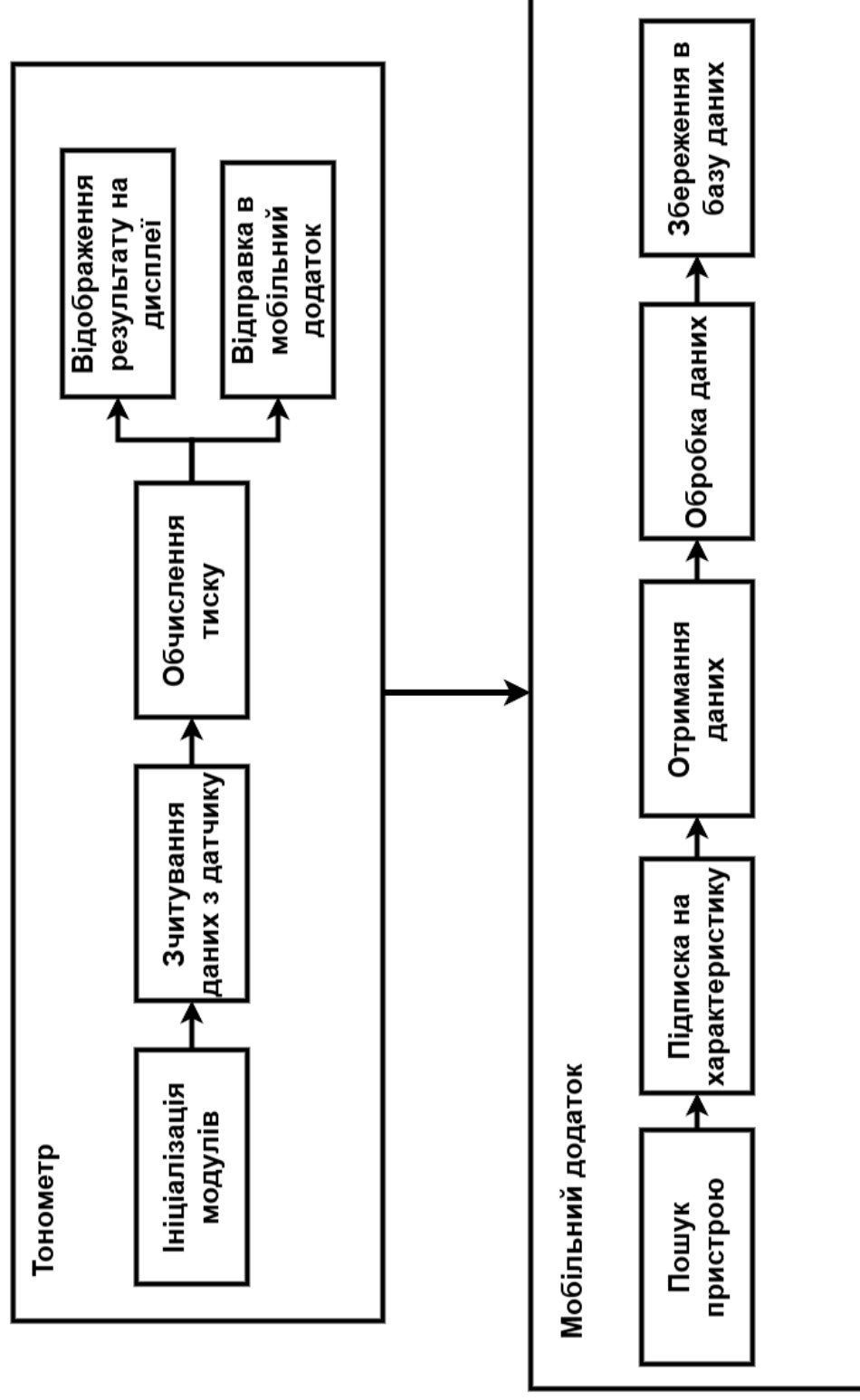
ДОДАТОК 1

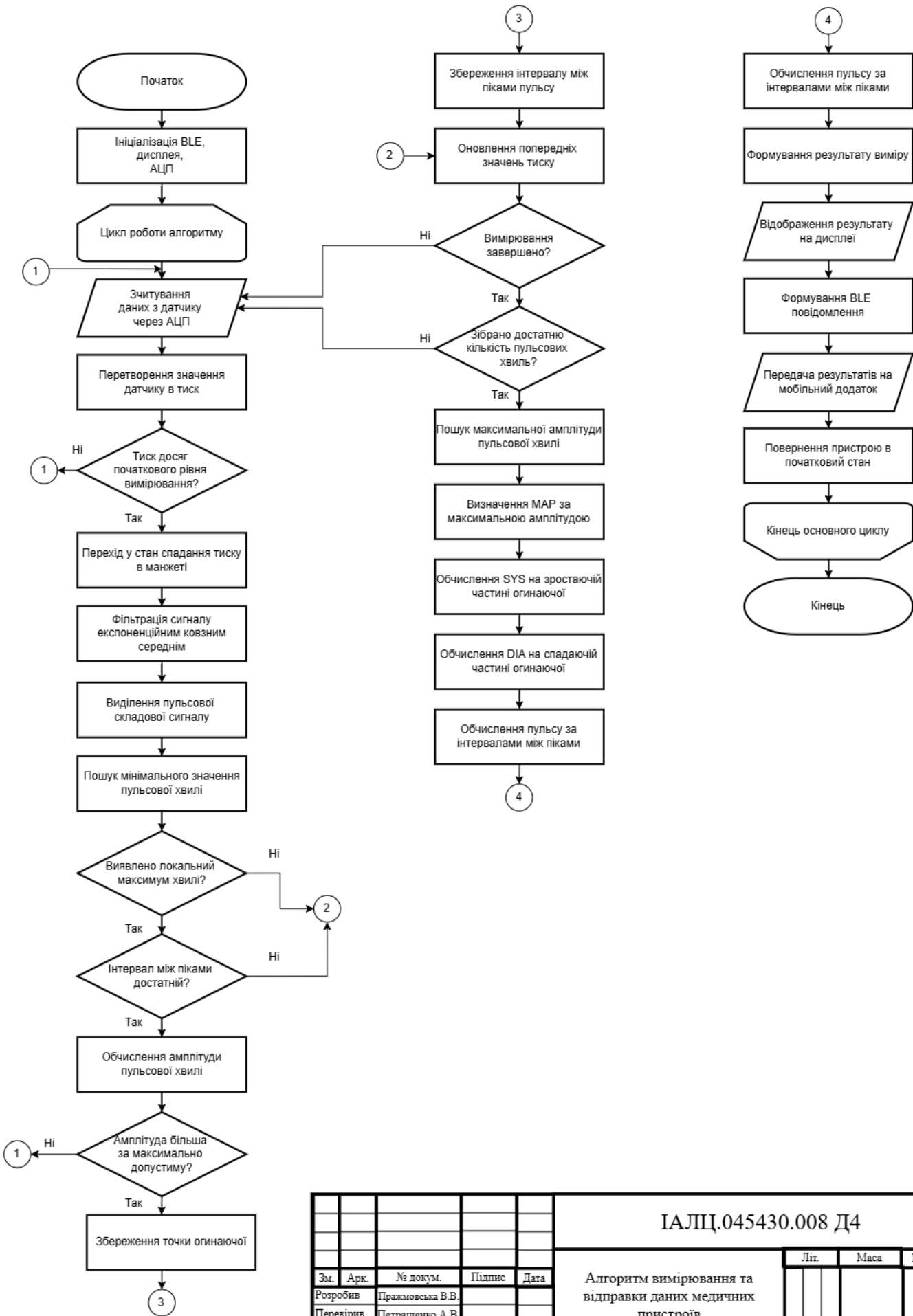
Копії графічних матеріалів



ІАЛП.045430.005 Е2									

[illegible]

[illegible]



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Іржамовська В.В.			
Перевірив		Петрашенко А.В.			
Н. контр.		Клятченко Я.М.			
Затв.		Романкевич В.О.			

ІАЛЦ.045430.008 Д4

Алгоритм вимірювання та відправки даних медичних пристроїв

Схема алгоритму

Літ.	Маса	Масштаб
Арк.	Аркушів	
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФПСІМ КВ-23		

ДОДАТОК 2

Лістинг коду

Main.c

```
#include "esp_log.h"
#include "freertos/idf_additions.h"
#include "headers/ads1115.h"
#include "headers/ble_notify.h"
#include "headers/bp_algorithm.h"
#include "headers/constants.h"
#include "lcd/oled_ssd1306.h"
#include "nvs_flash.h"
#include "ssd1306_1bit.h"
#include "ssd1306_fonts.h"
#include "ssd1306_generic.h"
#include <stdio.h>

static const char *TAG = "MAIN";

typedef enum {
    STATE_WAITING,
    STATE_DESCEND,
    STATE_READING,
    STATE_RESULT,
} app_state_t;

static void setup(void) {
    // Initialize NVS
    esp_err_t ret = nvs_flash_init();
    if (ret == ESP_ERR_NVS_NO_FREE_PAGES || ret == ESP_ERR_NVS_NEW_VERSION_FOUND) {
        nvs_flash_erase();
        nvs_flash_init();
    }

    // Initialize display
    ssd1306_128x64_i2c_initEx(I2C_SCL, I2C_SDA, I2C_SA);
    ssd1306_setFixedFont(ssd1306xled_font6x8);
    ssd1306_clearScreen();

    // Initialize ADS1115
    esp_err_t err = ads1115Init();
    if (err != ESP_OK) {
        ESP_LOGE(TAG, "ADS1115 init failed: %s", esp_err_to_name(err));
    }

    // Initialize BLE
    bleNotifyInit();
}

void app_main(void) {
    setup();

    app_state_t state = STATE_WAITING;
    TickType_t reading_start = 0;
    int16_t prev_raw = 0;

    bp_algo_state_t bp_state;
    bpAlgoInit(&bp_state);

    uint8_t result_systolic = 0;
    uint8_t result_diastolic = 0;
    uint8_t result_pulse = 0;

    static char state_line1_buf[22];
    static char state_line2_buf[22];
    const char *state_line1 = "Waiting for pump ";
    const char *state_line2 = "          ";

    while (1) {
        int16_t raw = 0;
        ads1115ReadRaw(ADS1115_CHANNEL_0, &raw);
        int16_t delta = raw - prev_raw;
        prev_raw = raw;

        switch (state) {
            case STATE_WAITING:
                if (raw > PRESSURE_START_THRESHOLD) {
                    state = STATE_DESCEND;
                    bleNotifyStateChange((uint8_t)STATE_DESCEND);
                    state_line1 = "Waiting for release ";
                }
            
```

```

    state_line2 = "          ";
    ESP_LOGI(TAG, "State -> DESCEND (raw=%d)", raw);
}
break;

case STATE_DESCEND:
if (raw <= PRESSURE_START_THRESHOLD) {
    state = STATE_READING;
    bleNotifyStateChange((uint8_t)STATE_READING);
    reading_start = xTaskGetTickCount();
    bpAlgoInit(&bp_state);
    state_line1 = "Reading          ";
    state_line2 = "          ";
    ESP_LOGI(TAG, "State -> READING (raw=%d)", raw);
}
break;

case STATE_READING: {
    TickType_t elapsed = xTaskGetTickCount() - reading_start;
    int32_t elapsed_ms = (int32_t)pdTICKS_TO_MS(elapsed);
    bpAlgoAddSample(&bp_state, raw, elapsed_ms);
    if (elapsed >= pdMS_TO_TICKS(READING_TIMEOUT_MS) || raw < PRESSURE_STOP_THRESHOLD) {
        state = STATE_RESULT;
        int sys = 0, dia = 0, map_val = 0, pulse_bpm = 0;
        if (bpAlgoCompute(&bp_state, &sys, &dia, &map_val, &pulse_bpm)) {
            result_systolic = (uint8_t)(sys > 255 ? 255 : sys);
            result_diastolic = (uint8_t)(dia > 255 ? 255 : dia);
            result_pulse = (uint8_t)(pulse_bpm > 255 ? 255 : pulse_bpm);
        } else {
            result_systolic = 0;
            result_diastolic = 0;
            result_pulse = 0;
        }
        bleNotifyStateChange((uint8_t)STATE_RESULT);
        bleNotifyResult(result_systolic, result_diastolic, result_pulse);
        if (result_systolic > 0) {
            snprintf(state_line1_buf, sizeof(state_line1_buf), "BP: %d/%d", result_systolic, result_diastolic);
            snprintf(state_line2_buf, sizeof(state_line2_buf), "Pulse: %d", result_pulse);
        } else {
            snprintf(state_line1_buf, sizeof(state_line1_buf), "BP: --/--");
            snprintf(state_line2_buf, sizeof(state_line2_buf), "Pulse: --");
        }
        state_line1 = state_line1_buf;
        state_line2 = state_line2_buf;
        ESP_LOGI(TAG, "State -> RESULT (raw=%d)", raw);
    }
    break;
}

case STATE_RESULT:
if (raw > PRESSURE_START_THRESHOLD) {
    state = STATE_WAITING;
    bleNotifyStateChange((uint8_t)STATE_WAITING);
    state_line1 = "Waiting for presure..";
    state_line2 = "          ";
    ssd1306_printFixed(0, 16, "          ", STYLE_NORMAL);
    ssd1306_printFixed(0, 24, "          ", STYLE_NORMAL);
    ESP_LOGI(TAG, "State -> WAITING (raw=%d)", raw);
}
break;
}

char buf_sensor[22];
char buf_delta[22];
snprintf(buf_sensor, sizeof(buf_sensor), "Sensor: %6d", raw);
snprintf(buf_delta, sizeof(buf_delta), "Delta: %6d", delta);

ssd1306_printFixed(0, 0, "V. Prazhmovska", STYLE_NORMAL);
ssd1306_printFixed(0, 8, "Tonometer", STYLE_NORMAL);
ssd1306_printFixed(0, 16, state_line1, STYLE_NORMAL);
ssd1306_printFixed(0, 24, state_line2, STYLE_NORMAL);
// ssd1306_printFixed(0, 32, buf_sensor, STYLE_NORMAL);
// ssd1306_printFixed(0, 40, buf_delta, STYLE_NORMAL);

vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(DRAWER_TASK_INTERVAL_MS));
}
}

```