

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ
ПРОТОТИПУ ПАРАМЕДИЧНОГО БРАСЛЕТУ

Виконав: студент 2 курсу, групи РТ-229м

Спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Телемедицинні та біомедицинні системи»

Якубовський Денис Григорович

(прізвище та ініціали)

Керівник Гладкова О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пархоменко А.В.

(прізвище та ініціали)

2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіoeлектроніки, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніка та телекомунікації
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Телемедичні та біомедичні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ
 к.т.н, доц. Морицавка С.В. 
 «__» грудня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Якубовського Дениса Григоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та практична реалізація прототипу парамедичного браслету

керівник проєкту (роботи) Гладкова Ольга Миколаївна, к.т.н.,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «6» листопада 2020 року № 315

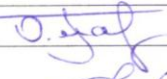
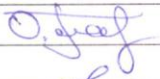
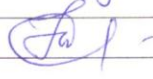
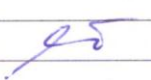
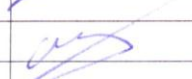
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Методи та засоби контролю фізичного стану людини. Дослідження особливостей реалізації бездротових технологій та мереж. Розробка парамедичного браслету на основі Wi-Fi модуля. Економіко-організаційна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація роботи в Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Гладкова О.М., доцент		
4	Левченко Н.М., професор		
5	Якімцов Ю.В., доцент		
нормо-контроль	Мороз Г.В., ст.викладач		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

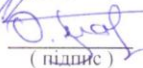
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи	1 тиждень	Завдання
2	Аналіз предметної області	2-3 тижні	Розділ 1
3	Дослідження та удосконалення методів, моделей й алгоритмів вирішення задачі	4-5 тижні	Розділ 2
4	Розробка архітектури системи	6 тиждень	Розділ 3
5	Розробка апаратного та програмного забезпечення	7-9 тижні	Розділ 3
6	Тестування та експериментальне дослідження апаратного та програмного забезпечення	10-11 тижні	Розділ 3
7	Робота над економіко-організаційною частиною	12 тиждень	Розділ 4
8	Розробка рекомендацій з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	13 тиждень	Розділ 5
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	14-й тиждень	Додатки
10	Нормоконтроль та рецензування, перевірка на плагіат, оформлення дублінського ядра	15-й тиждень	

Студент



Якубовський Д.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)



Гладкова О.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 128 сторінок, 56 рисунків, 11 таблиць, 62 джерела, 1 додаток

Об'єкт дослідження – моніторинг показників фізичного стану пацієнтів.

Мета роботи – дослідження та розробка прототипу носимого пристрою віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі відділень екстреної допомоги.

Матеріали та методи: Wi-Fi модуль ESP8266, інтегральний датчик серцевого ритму та пульсоксиметрії MAX 30100, інтегральний датчик акселерометру та гіроскопу GY-521, акумулятор Li-Po 3,7В 2000мАг 103450, OLED екран 0.91" I2C 128x32, зарядний пристрій стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В; метод аналізу.

В першому розділі виконано огляд параметрів моніторингу фізичного стану людини, а також аналіз функціональних можливостей існуючих носимих пристроїв. В другому розділі проведено дослідження бездротових технологій, зокрема Wi-Fi технології, та особливостей їх реалізації, в тому числі на основі побудови Mesh-мережі. В третьому розділі виконано розробку архітектури системи моніторингу; структурної схеми носимого пристрою; аналіз та вибір апаратної частини для забезпечення необхідного функціоналу носимого пристрою (отримана вартість комплексу компонентів електронної частини склала 22,60\$); проектування конструкції носимого пристрою на основі сучасної САПР; дослідження особливостей технології 3D друкування для виготовлення конструкції прототипу; розробку програмного забезпечення для носимого пристрою.

ПОКАЗНИКИ ФІЗИЧНОГО СТАНУ, НОСИМІЙ ПРИСТРІЙ, WI-FI ТЕХНОЛОГІЯ, MESH МЕРЕЖА, САПР, ПРОТОТИП, ARDUINO

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ	10
1.1 Аналіз параметрів для контролю фізичного стану людини	10
1.2 Класифікація та огляд існуючих носимих пристроїв	13
1.2.1 Розумні годинники	18
1.2.2 Фітнес-трекери	22
1.3 Огляд існуючих прототипів носимих пристроїв	24
1.4 Постановка задач магістерської роботи	28
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ.....	30
2.1 Огляд та порівняльна характеристика бездротових мереж.....	30
2.2 Особливості реалізації Wi-Fi технології	33
2.3 Особливості використання RTLS систем у медицині.....	37
2.4 Особливості використання RFID систем у медицині	42
2.5 Організація Mesh-мережі	43
2.6 Висновки до розділу	45
3 РОЗРОБКА ПАРАМЕДИЧНОГО БРАСЛЕТУ НА ОСНОВІ WI-FI МОДУЛЯ.....	46
3.1 Архітектура системи.....	46
3.2 Структурна схема проєктованого носимого пристрою	49
3.3 Розробка апаратного забезпечення.....	52
3.3.1 Аналіз та вибір електронних компонентів	52
3.3.2 Обґрунтування вибору середовища проєктування	64
3.3.3 Проєктування механічної частини носимого пристрою	65
3.3.4 Виготовлення фізичного прототипу	77
3.4 Розробка програмного забезпечення.....	83
3.5 Висновки до розділу	88

4	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	89
4.1	Планування розробки програмного продукту	89
4.2	Визначення витрат на розробку програми	91
4.3	Розрахунок економічної ефективності програмного продукту.....	98
4.4	Висновок	99
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА	100
5.1	Аналіз потенційних небезпек.....	100
5.2	Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	101
5.3	Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	103
5.4	Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	111
5.4.1	Заходи з пожежної безпеки	111
5.4.2	Заходи з цивільного захисту	113
	ВИСНОВКИ.....	117
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	119
	Додаток А.....	124

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AP	– Access Point
BLE	– BlueTooth Low Energy
CAD	– Computer Aided Design
CDMA	– Code Division Multiple Access
GPRS	– General Packet Radio Service
GPS	– Global Positioning System
GSM	– Global System for Mobile Communications
LTE	– Long Term Evolution
MQTT	– Message Queuing Telemetry Transport
RFID	– Radio Frequency IDentification
RSSI	– Received Signal Strength Indicator
RTLS	– Real Time Location System
SSL	– Secure Sockets Layer
TLS	– Transport Level Security
ToA	– Time-of-Arrival
UWB	– Ultra-Wide Band
Wi-Fi	– Wireless Fidelity
WiMAX	– Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	– Wireless Local Area Networks
WMAN	– Wireless Metropolitan Area Networks
WPAN	– Wireless Personal Area Networks
WWAN	– Wireless Wide Area Network
ЕКГ	– Електрокардіограма
ІЧ	- Інфрачервоний
САПР	– Система автоматизованого проєктування
ЧСС	– Частота серцевих скорочень

ВСТУП

Впровадження інформаційних технологій в медицину створює підґрунтя для удосконалення методів та засобів діагностування, самодіагностування та віддаленого моніторингу біологічних параметрів життя людей для організації віддаленої інформаційної взаємодії пацієнта з медичним персоналом.

Парамедики – це фахівці, що працюють в службі швидкої медичної допомоги, аварійно-рятувальних, військових підрозділах та надають екстрену медичну допомогу на догоспітальному етапі, або у відділеннях екстреної допомоги. Щоб допомогти постраждалим в результаті аварії, пожежі, стихійного лиха, інших нещасних випадків, а також внаслідок гострого стану (наприклад, через коронавірусну хворобу), парамедик має контролювати найважливіші параметри фізичного стану людини.

Частота серцевих скорочень (ЧСС), артеріальний тиск і температура тіла є основними показниками, які контролюються як лікарями в медичних закладах, так і особисто пацієнтами вдома. Ці дані є надзвичайно важливими та дозволяють робити обґрунтовані висновки про стан здоров'я людей різних вікових груп. Через пандемію, спричинену коронавірусною хворобою, важливим показником стану здоров'я пацієнта є також насиченість крові киснем. Клінічний досвід показує, що відхилення цих показників від норми – це перший сигнал про різні захворювання [1]. Тому, завдання раннього виявлення патологічних станів, при яких потрібна невідкладна медична допомога або лікування, є актуальним.

На сьогоднішній день в медичній практиці використовуються різноманітні кардіомонітори, що відрізняються умовами застосування, контрольованими параметрами, експлуатаційними властивостями, методами обробки і відображення інформації: амбулаторні, швидкої допомоги, клінічні, тестуючі, реабілітаційні, санаторно-курортні [2]. Більшість з них є

стаціонарними та не забезпечують підключення до мережі Інтернет, або до локальної інформаційної мережі лікарні для передачі даних, які є важливими для надання термінової допомоги або вибору стратегії подальшого лікування.

Серед десяти найважливіших технологій у 2019 році Білл Гейтс назвав використання для моніторингу серцевої діяльності носимих пристроїв, які дозволяють своєчасно виявити критичний стан людини та допомогти їй уникнути наслідків [3].

На ринку представлено багато різних моделей пульсометрів, фітнес-годинників і навіть бездротових навушників, які можна використовувати для отримання кардіо-даних [4-5]. Типовий їх недолік – низька точність. Тому провідні компанії (Apple, AliveCor, Withings) працюють над розробкою носимих пристроїв з функцією електрокардіограми (ЕКГ), які надають більш високу точність. Недоліком цих пристроїв є досить висока вартість (наприклад, для Apple Watch Series 6 це близько 450 євро) [6]. Проблема також в тому, що дані моніторингу зазвичай відображаються та зберігаються локально без можливості візуалізації для лікаря, передачі в інформаційну мережу медичного закладу та подальшої обробки для прийняття рішень щодо лікування. Тому, тема роботи є актуальною.

Метою роботи є дослідження та розробка прототипу носимого пристрою віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі відділень екстреної допомоги.

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ФІЗИЧНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ

1.1 Аналіз параметрів для контролю фізичного стану людини

Пульс – це коливання судинних стінок, які виникають в результаті скорочень серцевих м'язів. Даний показник дозволяє оцінювати силу і ритмічність серцебиття, а також стан судин. У здорової людини інтервали між пульсаціями повинні бути однаковими, нерівномірність ударів серця розцінюється як симптом порушень в організмі. Це може бути як патологія серця, так і інше захворювання, наприклад, збій в роботі ендокринної системи [7].

Пульс вимірюють за ударами пульсуючої крові в променевій артерії, частіше на зап'ясті з внутрішньої сторони, оскільки судод в цьому місці розташований до шкіри найближче. Для найбільшої точності показники фіксують на обох руках. Якщо порушення ритму відсутні, то досить провести підрахунок пульсу за 30 секунд і помножити його на два. Якщо удари серця неритмічні, то доцільніше заміряти кількість пульсових хвиль за цілу хвилину.

У більш рідкісних випадках підрахунок проводять в місцях проходження інших артерій – плечової, стегнової, підключичної. Виміряти пульс можна, доклавши пальці до ший за місцем проходження сонної артерії або до скроні. Якщо необхідна ретельна діагностика, наприклад, при підозрі серйозних захворювань, то виконуються й інші обстеження, зокрема вольтерівське монтування (підрахунок за добу) та зняття електрокардіограми (ЕКГ) [7]. Використовують також тредміл-тест – це метод дослідження стану серця, його ритму, а також показників артеріального тиску при фізичному навантаженні, який застосовується для контролю стану хворих після інфаркту міокарда, стентування, аорто-коронарного шунтування[8].

Якщо норма пульсу у дорослих в стані спокою залишається в межах 60-90, то в силу багатьох причин він може тимчасово зростати або приймати декілька підвищені постійні значення [7].

На це впливає вік, фізичні навантаження, прийом їжі, зміна положення тіла, температура та інші фактори зовнішнього середовища, стреси, викид гормонів в кров. Число пульсових хвиль, що виникають за хвилину, завжди залежить від кількості серцевих скорочень за цей же час.

Зазвичай пульс в нормі у чоловіків на 5-8 ударів нижче, ніж у жінок (60-70 в хвилину). Різняться нормальні показники у дітей і дорослих, наприклад, у новонародженої дитини пульс в 140 ударів вважається нормальним, а для дорослого це тахікардія, яка може бути як тимчасовим функціональним станом, так і ознакою захворювання серця або інших органів. ЧСС залежить і від добових біоритмів і найбільш висока вона в період з 15 до 20 год. Норми пульсу в залежності від віку у жінок і чоловіків наведено у таблиці 1.1 [7].

Таблиця 1.1 – Таблиця нормативних показників

Вік	Пульс min-max	Середнє значення	Норма артеріального тиску (сistol./діастол.)	
			Жінки	Чоловіки
До 50 років	60-80	70	116-137/70-85	123-135/76-83
50-60	65-85	75	140/80	142/85
60-80	70-90	80	144-159/85	142/80-85

Пульсоксиметрія (оксигеметрія, гемоксиметрія) – неінвазивний метод визначення ступеня насичення крові киснем. В основі методу лежить спектрофотометричний спосіб оцінки кількості гемоглобіну в крові. Проводиться за допомогою пульсоксиметра [9].

Показання для пульсоксиметрії:

- дихальна недостатність або явна підозра на неї;
- контроль стану пацієнта;

- під час наркозу та в післяопераційному періоді;
- під час кисневої терапії;
- в ході лікування важких пацієнтів;
- діагностика деяких порушень сну, наприклад, синдрому обструктивного апноє.

Норми показників:

- 95-98% у здорових випробовуваних;
- більш високі значення бувають при кисневій терапії;
- значення нижче цього рівня вказують на дихальну недостатність [9].

Температура тіла є комплексним показником теплового стану організму людини та одним з основних та найстаріших біомаркерів. З медичної точки зору вимірювання температури тіла відіграє важливу роль. Це пояснюється тим, що багато захворювань супроводжуються характерними змінами температури тіла. Більш того, протікання деяких захворювань контролюється шляхом вимірювання температури тіла, отже лікар може оцінювати ефективність свого призначення. Підвищення температури – це реакція на збудника будь-якого захворювання, при якому центр терморегуляції змінює температуру для активізації захисної системи організму на боротьбу проти механізмів захворювання. Жар – це найпоширеніша форма патологічного підвищення температури тіла [10].

Показники температури тіла багато в чому залежать від того, в якому місці тіла її вимірюють. Тому, всупереч одностайно сформованій думці, "нормальної температури" просто не існує. Крім того, температура тіла здорової людини змінюється в залежності від фізичної активності і часу доби. Відмінність відбувається через різницю рівня внутрішньої температури і зовнішньої температури тіла, яка вимірюється на поверхні шкіри, і являє собою комбінацію внутрішньої температури тіла і температури навколишнього середовища. Внутрішня температура вимірюється

термометром, який поміщається в різні порожнини тіла, де вимір відбувається на слизовій тканини [10].

Сучасна медицина довела, що у кожної людини своя норма, що може знаходитись в інтервалі від 35,9 до 37,2°C. Для вимірювання температури використовують як традиційні термометри, так і сучасні безконтактні термометри на основі інфрачервоних датчиків. Для останніх важливо враховувати технічну точність пристрою та умови експлуатації.

Таким чином, описаний набір параметрів є важливим при оцінюванні фізичного стану людини та його вимірювання може бути забезпечене на основі використання носимих пристроїв.

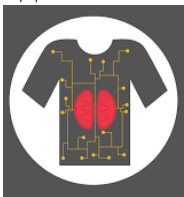
1.2 Класифікація та огляд існуючих носимих пристроїв

Для контролю за показниками фізичного стану людини, окрім професійного медичного обладнання сьогодні активно використовуються різноманітні носимі пристрої. Носимі пристрої можна класифікувати на основі їх функцій, зовнішнього вигляду, близькості до тіла людини та іншими параметрами. В таблиці 1.2 представлено класифікацію носимих пристроїв за їх властивостями, функціональними можливостями та галузями застосування [11].

Таблиця 1.2 – Класифікація носимих пристроїв

Тип	Властивості	Можливості	Застосування
1	2	3	4
Розумний годинник 	Низька робоча потужність; зручний інтерфейс користувача з командами на основі дотику та голосу.	Відображення конкретної інформації; оплата; відстеження фізичної активності; комунікація; навігація	Бізнес, адміністрування; маркетинг, страхування; професійний спорт, тренування; освіта; інформаційні розваги.

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
Розумні окуляри 	Керованість на основі торкань екрану, руху головою, голосових команд та стискання руки; низька робоча потужність; посилення звуку безпосередньо на вухо	Візуалізація; мовна інтерпретація; комунікація; координація завдань	Хірургія; космос і оборона; логістика; освіта; інформаційні розваги.
Фітнес-трекер 	Висока точність; водонепроникність; легка вага; бездротова комунікація.	Фізіологічне оздоровлення; навігація; відстеження фізичної активності; моніторинг серцевого ритму	Фітнес; охорона здоров'я; професійний спорт; спорт на відкритому повітрі / в приміщенні
Розумний одяг 	Немає візуальної взаємодії з користувачем через дисплей або екран; дані отримуються тілом за допомогою датчики та виконавчих механізмів	Відстеження частоти серцевих скорочень, щоденної діяльності, температури і положення тіла; нагрівання та охолодження тіла; автоматична оплата.	Професійний спорт-фітнес; лікування; військова сфера; логістика.
Носима камера 	Виконання захоплення від першої особи; прикріплюється на одязі або тілі; менші розміри; нічне бачення	Захоплення фотографій та відео від першої особи в режимі реального часу; живе потокове передавання; відстеження фізичної активності.	Захист; фітнес; промисловість; освіта.
Носимі медичні пристрої 	Управління болем; фізіологічний моніторинг; моніторинг глюкози, сну, активності мозку.	Серцево-судинні захворювання; фізіологічні розлади; хронічні захворювання; діабет.	Хірургія, неврологія, дерматологія, реабілітація, фітнес, серцево-судинна медицина, психіатрія, хірургія, онкологія, дерматологія, респірологія

Таким чином, носимі пристрої з різними комплектами датчиків широко використовуються в медицині, спорті та сфері безпеки. Вони дозволяють сигналізувати про небезпечні ситуації, контролювати фізіологічні параметри і симптоми, збирати великі дані для покращення лікування. Ця технологія змінила підхід до охорони здоров'я, оскільки зробила можливим безперервний моніторинг за пацієнтом без його госпіталізації. Через трекер активності медичним працівникам доступна інформація про температуру тіла пацієнта, частоту серцевих скорочень, активність мозку, рухи м'язів і інші дані. Також зріс попит на трекери в сфері спорту. Наприклад, раніше, пітливість можна було виміряти тільки в лабораторних умовах. А зараз це можливо за допомогою просунутих трекерів активності.

Фітнес-браслет – це пристрій, який містить в собі датчики для відстеження показників фізичної активності користувача, таких як пульс, кількість пройдених кроків, швидкість переміщення. Пристрій як правило синхронізується зі смартфоном за допомогою Bluetooth [12].

Сучасні фітнес-браслети дуже умовно можна розділити на декілька груп: трекери, смарт-браслети та браслети здоров'я.

Фітнес-трекер – пристрій, призначений для моніторингу показників, пов'язаних з фітнесом: пройдена відстань, споживання калорій, показники серцевого ритму та якості сну. Є одним з видів носимого комп'ютера. Термін найчастіше вживається щодо носимих пристроїв, які синхронізуються зі смартфоном або комп'ютером для відстеження даних, і виконують роль трекера активності.

Смарт-браслети – це вдосконалені моделі трекерів. Крім фітнес-функцій, мають в своєму арсеналі індикацію дзвінків і повідомлень, нагадування про заняття, GPS, компас. В основному оснащені дисплеєм і нагадують «розумні» годинники.

Браслети здоров'я розроблені для професійного застосування в медицині або спорті. Основною відмінністю даного пристрою є вбудований

тонометр для вимірювання тиску, а також датчики для вимірювання рівня кисню в крові.

Пульсометр з оптичним датчиком користується популярністю у спортсменів і любителів активного відпочинку. При його виборі слід звернути увагу на тип датчика. Нагрудні ремінні моделі, до недавнього часу були найпоширенішими і вважалися максимально точними. Але в останні роки їх активно заміщує годинник (зап'ясний пульсометр) з оптичним пульсометром, який просвічує шкірний покрив світловим променем, а за пульсацією крові, що проходить через кровоносні судини, розраховується частота скорочення серцевого м'язу. Головна й безперечна перевага цих пристроїв – зручність. Тому, кращі оптичні пульсометри інтегрують в наручний браслет. У переважній більшості випадків, виробники намагаються не обмежуватися одним датчиком пульсу. Браслети з пульсометрами знімають показники не тільки в стані спокою, а й під час інтенсивних навантажень. Для того, щоб підрахувати пульс, людині не потрібно зупинятися. На внутрішній стороні корпусу пульсометра розташований електронний оптичний елемент, який вимірює пульс за допомогою вузького світлового пучка. Програмний блок фіксує кількість розсіяного в кровотоці світла та розраховує частоту пульсу. Щоб досягти максимального поглинання в оптичних пульсометрах використовується зелений світлодіод зі значенням довжини хвилі 525 нм. Багато виробників пропонують різні за стилем і дизайном браслети-ремінці, в які вставляється пульсометр з оптичним датчиком [13].

Розумний годинник (англ. Smartwatch) – комп'ютеризований наручний пристрій, який окрім вимірювання часу виконує додаткові функції: відтворення музики, прийом сповіщень та дзвінків з мобільного телефону, відстеження маршрутів, збір інформації з вбудованих та зовнішніх датчиків (наприклад, акселерометру, термометру) тощо. На відміну від браслетів,

«розумні» годинники дозволяють користувачеві встановлювати сторонні застосунки, що розширюють їх функціональність [14].

Смарт-годинники – це комп'ютеризовані пристрої, що виконують роль годинника, фітнес-трекера, комутатора та пульта управління. Можуть виступати:

- застосунком для смартфона (трансляють дзвінки, повідомлення, передають голосові команди, запускають застосунки на телефоні, керують іншими видами смарт-техніки і т. п.);
- самостійним гаджетом (здійснюють дзвінки, відсилають повідомлення, фотографують, відтворюють музику і т. д).

Хоча фітнес-трекери мають обмежену кількість функцій у порівнянні з розумним годинником та зазвичай спрямовані лише на відстеження активності користувача, вони мають велику автономність, а також значно меншу вартість, що робить їх більш привабливими для використання [15].

Фітнес-браслети і розумні годинники пропонують власнику стандартний набір спортивної статистики, можуть сполучатися з мобільними пристроями, синхронізуються з мобільними застосунками (рис. 1.1-1.3).



Рисунок 1.1 – Приклад інтерфейсу застосунку Runtastic [16]

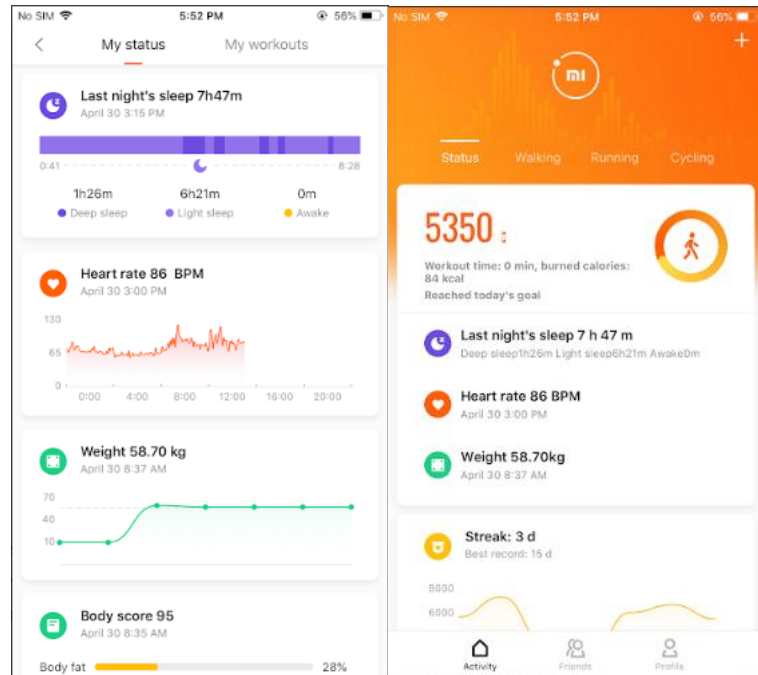


Рисунок 1.2 – Інтерфейс застосунку Mi Fit [17]

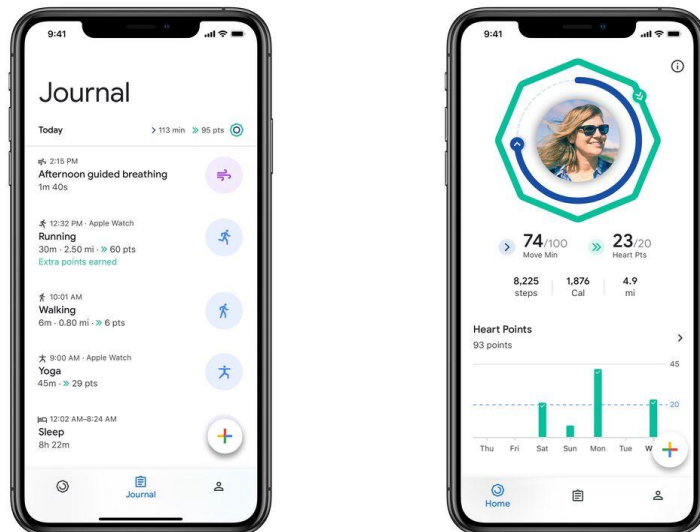


Рисунок 1.3 – Інтерфейс застосунку Google fit [18]

1.2.1 Розумні годинники

Сучасні розумні годинники забезпечують користувача низкою функцій та можливостей щодо відстежування активності та різноманітних

шляхів для організації власного часу та комунікацій, але мають велику вартість, відносно малий автономний час через велику кількість виконуваних процесів. Також варто відмітити великі габарити у порівнянні з фітнес-трекерами.

Найбільш популярними смарт-годинниками в Україні за даними сайту HotLine [19] є наступні.

Samsung Galaxy Watch 46mm Silver (SM-R800NZSA), основні характеристики та вартість якого зображено на рисунку 1.4. Дана модель має всі сучасні функції та можливості, які необхідні для точного відстежування фізичної активності користувача за рахунок оптичного пульсометру, а також великий запас по автономності та апаратній частині взагалі відносно інших продуктів цієї категорії.

☐ Порівняти



Samsung Galaxy Watch 46mm Silver (SM-R800NZSA)

Смарт-годинник • сумісність • iOS • Android • повідомлення: + • пульсометр: + (Оптичний) • час роботи: до 7 днів • дисплей: Super AMOLED • 1,3 • ремінець: гума • колір корпусу: темно-сірий • колір ремінця: чорний • 08.2018

Відгуки та питання (16)  Купити на hotline (3 пропозиції) Уцінені 7 111 грн

Акції (2)  Додати до списку

 6
  8

8 733 грн

6 700 – 9 679 грн

Всі пропозиції (60)

ПОРІВНЯТИ ЦІНИ

Рисунок 1.4 – Основні характеристики
Samsung Galaxy Watch 46mm [19]

Варто зазначити, що годинник має вбудований Wi-Fi модуль, що значно збільшує можливу зону використання цього пристрою для використання у закладах з необхідністю догляду за користувачами. Однак, ціна та велика кількість специфічних функцій, що не потрібні звичайному користувачеві, роблять їх специфічним продуктом, що не може бути використаний для досягнення мети, поставленої у цій роботі.

Amazfit GTS Black, основні характеристики та вартість якого зображено на рисунку 1.5.

☐ Порівняти



Amazfit GTS Black

Смарт-годинник • сумісність • iOS • Android • повідомлення: + • пульсометр: + • час роботи: до 46 днів при вимкнених бездротових режимах, до 14 днів в режимі розумних годин • дисплей: AMOLED • 1,69 • ремінець: силікон • колір корпусу: сірий • колір ремінця: сірий • 12.2019 • Модель з лінійки [GTS](#)

Відгуки та питання (1) Купити на hotline (2 пропозиції) Акції (5)

1 2 Додати до списку

3 646 грн

3 153 – 4 169 грн

Всі пропозиції (57)

ПОРІВНЯТИ ЦІНИ

Рисунок 1.5 – Основні характеристики Amazfit GTS Black [19]

Перш за все, він виділяється через значно більший автономний час та вдвічі нижчу вартість, ніж Samsung Galaxy Watch. Має всі необхідні функції для звичайного користувача, але відсутня низка специфічних можливостей. Через відсутність Wi-Fi модулю та досить високу ціну для масового використання, не може бути використаний у якості пристрою для досягнення мети даної роботи.

Apple Watch Series 5 GPS 44mm, основні характеристики і вартість якого зображено на рисунку 1.6.

☐ Порівняти



Apple Watch Series 5 GPS 44mm Space Gray Aluminum w. Black b.-Space...

Смарт-годинник • сумісність • iOS • Android • повідомлення: + (Дзвінки, повідомлення) • пульсометр: + • час роботи: 18 годин • дисплей: OLED • ремінець: силікон • колір корпусу: чорний • колір ремінця: чорний • 09.2019 • Модель з лінійки [Watch Series 5 GPS 44mm](#)

Купити на hotline (2 пропозиції) Акції (9) Додати до списку

3 1

13 419 грн

12 095 – 15 034 грн

Всі пропозиції (71)

ПОРІВНЯТИ ЦІНИ

Рисунок 1.6 – Основні характеристики
Apple Watch Series 5 GPS 44mm [19]

Має значно більше функцій для забезпечення комунікацій (включаючи дзвінки через пристрій), відсутні деякі функції з відстеження фізичної активності, що зазвичай включені до переліку схожих пристроїв, наприклад, відстеження сну. Варто зазначити, що використовує всі необхідні бездротові комунікації (Bluetooth, Wi-Fi, NFC та GPS). Має одну з

найбільших вартостей, але в той же час відрізняється малим часом автономного використання, велику кількість зайвих функцій для реалізації мети даної роботи.

Результати порівняння розглянутих моделей розумних годинників наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика розглянутих розумних годинників

Характеристика	Samsung Galaxy Watch 46mm	Amazfit GTS Black	Apple Watch Series 5 GPS 44mm
1	2	3	4
Типи фізичної активності	біг, ходьба, велосипед	біг, ходьба, плавання, велосипед	ходьба, біг, велоспорт, йога, плавання, високоінтенсивні інтервальні тренування
Пульсометр	+(оптичний)	+	+
Підрахунок кроків	+	+	+
Підрахунок сходинок	+	-	-
Відстеження сну	+	+	-
Дисплей, тип	Super AMOLED	AMOLED	OLED
Діагональ	1,3	1,69	немає даних
Роздільна здатність	360x360	348x442	368x448
Розміри, мм	46x49x13	43.25x36.25x9.4	44x38x10.74
Пило / вологозахист	+(5 ATM)	+(5 ATM)	+(50 метрів)
Вага, г (з ремінцем)	63	40	36.5
Тип акумулятора	вбудований	вбудований	Li-Ion
Ємність, мАгод	472	220	немає даних

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
Час автономної роботи	До 7 днів	до 14 днів в режимі розумного годинника	18 годин
Процесор	Exynos 9110	немає даних	Apple S5
Обсяг оперативної пам'яті, ГБ	0.7	немає даних	немає даних
Об'єм вбудованої пам'яті, ГБ	4	немає даних	32
Динамік	+	-	+
Мікрофон	+	-	+
Вібромотор	+	+	-
Bluetooth	+	+	+
Wi-Fi	+	-	+
GPS	+	+	+

1.2.2 Фітнес-трекери

Фітнес-трекери, навпаки, мають обмежену кількість функцій, що зазвичай спрямовані лише на відстеження активності користувача, що дозволяє забезпечити більшу автономність, на підтримання якої достатньо більш ніж на два тижні. Ці переваги, а також значно менша вартість та складність виробництва, ніж у розумних годинників, що робить їх більш поширеними для використання.

Відомі виробники: Jawbone, Polar, Fitbit, Garmin, Samsung, Xiaomi.

Найбільш популярними фітнес-трекерами в Україні за даними сайту HotLine [20] є наступні.

Xiaomi Mi Smart Band 4 Black, основні характеристики та вартість якого зображені на рисунку 1.7.

☐ Порівняти



Xiaomi Mi Smart Band 4 Black

Фітнес-браслет • сумісність • iOS • Android • повідомлення: + • пульсометр: + (Оптичний) • час роботи: до 20 днів • дисплей: AMOLED • 0,95 • ремінець: гума • колір корпусу: чорний • колір ремінця: чорний • 06.2019 • Модель з лінійки [Mi Smart Band 4](#)

Відгуки та питання (70)  Купити на hotline (5 пропозицій) Уцінені 450 грн

 4  17 Акції (10)  Додати до списку

822 грн
679 – 1 294 грн
Всі пропозиції (107)

ПОРІВНЯТИ ЦІНИ

Рисунок 1.7 – Основні характеристики Xiaomi Mi Smart Band 4 Black [20]

Даний пристрій має всі необхідні функції для відстеження фізичної активності користувача, включаючи відстеження сну та пульсометр. Має великий запас часу автономної роботи, відносно невелику ціну та набір додаткових функцій для комунікацій. Має вбудований вібромотор для сповіщень. Використовує лише один вид бездротових комунікацій – Bluetooth.

Honor Band 5 Black, основні характеристики та вартість якого зображені на рисунку 1.8.

☐ Порівняти



Honor Band 5 Black

Фітнес-браслет • сумісність • iOS • Android • повідомлення: + • пульсометр: + • час роботи: до 14 днів • дисплей: AMOLED • 0,95 • ремінець: гума • колір корпусу: чорний • колір ремінця: чорний • 08.2019 • Модель з лінійки [Band 5](#)

Відгуки та питання (2)  Купити на hotline (2 пропозиції) Акції (3)

 Додати до списку

 4  2

872 грн
680 – 1 247 грн
Всі пропозиції (23)

ПОРІВНЯТИ ЦІНИ

Рисунок 1.8 – Основні характеристики Honor Band 5 Black [20]

Відрізняється від попереднього пристрою часом автономної роботи та додатковими функціями, серед яких є функція вимірювання кисню в крові, що може мати значення для використання його у якості пристрою для відстеження фізичної активності людини в умовах знаходження у лікувальному закладі. Як і попередній пристрій має вбудований вібромотор для сповіщень та використовує лише один вид бездротових комунікацій – Bluetooth.

Xiaomi Mi Band 3 Black основні характеристики та вартість якого зображені на рисунку 1.9.

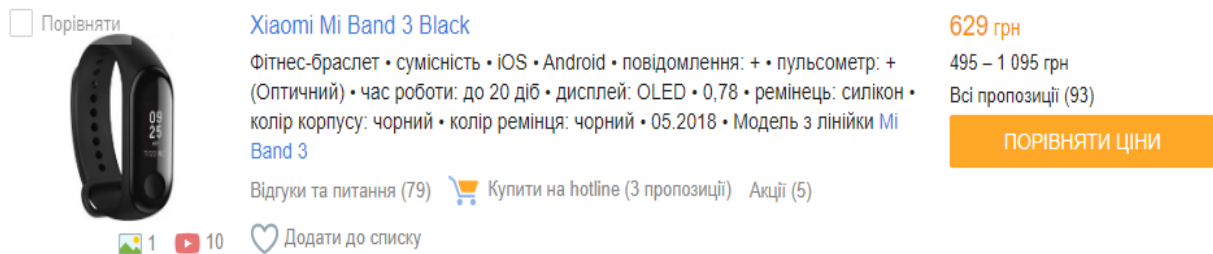


Рисунок 1.9 – Основні характеристики Xiaomi Mi Band 3 Black [20]

Є молодшою моделлю першого пристрою та відрізняється лише дизайном, типом та розміром екрану. Xiaomi Mi Band 4 є скоріше еволюційною зміною одного з найпопулярніших фітнес-трекерів у світі, ніж кардинальною. Одним з головних нововведень варто відзначити кольоровий дисплей, який вперше з'явився в цій лінійці.

Порівняльну характеристику фітнес-трекерів наведено в таблиці 1.4.

1.3 Огляд існуючих прототипів носимих пристроїв

Актуальність застосування носимих пристроїв для моніторингу фізичного стану пацієнтів призводить до постійного пошуку варіантів їх реалізації та спроб розробки нових конструкцій з меншою вартістю та можливістю гнучкого налаштування під власні потреби користувача.

У роботі [21] розглядається можливість створення прототипу на популярній платформі Arduino з використанням технологій 3D друкування.

Основою саморобного фітнес-трекера (рис. 1.10) є плата Arduino Pro Mini. Для зв'язку зі смартфоном і передачі даних використовується Bluetooth-модуль HC-06. Як датчик для відстеження фізичної активності застосовується акселерометр MPU-6050.

Таблиця 1.4 – Зведені характеристики розглянутих фітнес-трекерів

Характеристика	Xiaomi Mi Smart Band 4	Honor Band 5	Xiaomi Mi Band 3
Типи фізичної активності	ходьба, біг, плавання, велосипед	біг, ходьба, плавання, велосипед	ходьба, біг
Пульсометр	+(оптичний)	+	+(оптичний)
Підрахунок кроків	+	+	+
Відстеження сну	+	+	+
Дисплей, тип	AMOLED	AMOLED	OLED
Діагональ	0,95	0,95	0,78
Роздільна здатність	120x240	120x240	128x80
Розміри, мм	немає даних	43x17,2x11,5	17,9x46,9x12
Пило / вологозахист	+(5 ATM)	+	+(50 метрів)
Вага, г (з ремінцем)	30	22,7	24
Тип акумулятора	вбудований	вбудований	вбудований
Ємність, мАгод	135	100	110
Час автономної роботи	До 20 днів	До 14 днів	До 20 днів
Вібромотор	+	+	+
Bluetooth	+	+	+
Wi-Fi	-	-	-
GPS	-	-	-

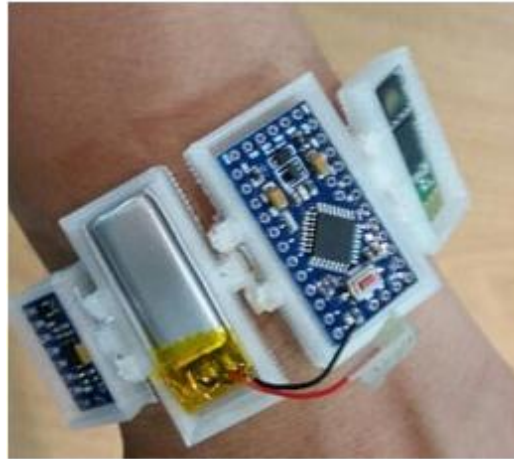


Рисунок 1.10 – Прототип носимого пристрою [21]

Живиться весь пристрій від літій-полімерного акумулятора 3.7 В 110 мАг. При програмуванні Arduino використовується перехідник FTDI. Для фіксації всіх цих компонентів на руці друкується на 3D принтері спеціальний секційний корпус.

Для прийому даних і аналізу фізичної активності пропонується застосунок для Android. Ця програма складається з чотирьох модулів: графічного інтерфейсу користувача (рис. 1.11), менеджера зв'язку з Bluetooth, розрахункових алгоритмів і допоміжних сервісів.

Після подачі живлення на Arduino і установки зв'язку згідно з застосунком на смартфоні, Arduino перевіряє наявність даних з акселерометра 20 раз в секунду. Відправка даних на мобільний пристрій здійснюється один раз в секунду. Акселерометр вимірює прискорення по всіх трьох осях X, Y і Z, тому трекер відсилає 60 значень (20 разів по трьох осях). Застосунок приймає дані на протязі двох секунд і вираховує інтервал, який подолав користувач. Також додаток обраховує кількість спалених калорій на підставі ваги користувача, кількість пройдених кроків і формує дані по годинах, днях і місяцях.

Але, через використання Bluetooth зона покриття є недостатньою, крім того, функції вимірювання температури та насиченості крові киснем в прототипі не реалізовано.



Рисунок 1.11 – Інтерфейс додатку для прототипу [21]

Відомий носимий пристрій UWatch Micro K Dark Blue [22] позиціонується як фітнес-трекер на основі Wi-Fi модулю. Проте, в ньому відсутня функція відстежування пульсу, що є важливою для досягнення мети цієї роботи.

Таким чином, існуючі прототипи мають певні конструктивні та функціональні особливості, переваги, але виявлено й недоліки: надлишковий або навпаки недостатній функціонал, недостатня зона покриття, акумулятор малої ємності, відсутність екрану та звукового сповіщення персоналу та пацієнта та ін.

1.4 Постановка задач магістерської роботи

Як показали проведені дослідження, задача моніторингу показників фізичного стану пацієнтів відділень екстреної допомоги передбачає вимірювання різноманітних параметрів та може бути вирішена на основі використання сучасних носимих пристроїв.

Аналіз показав, що більшість існуючих носимих пристроїв націлені на мультифункціональне використання, в тому числі для комунікації. Багато з них мають певні недоліки, що пов'язані з високою вартістю, надлишковою або недостатньою функціональністю, а також з особливостями використання, що унеможлиблює їх застосування в якості парамедичних браслетів. Однією з проблем є також те, що зазвичай моніторингові дані відображаються та зберігаються локально, тому не можуть бути використані для передачі в інформаційну мережу для швидкого реагування та вироблення стратегії надання допомоги у відділенні екстреної допомоги. Варто зазначити, що існуючі пристрої використовують застосунки, створені розробником відповідного пристрою, отже немає можливості їх налаштування.

Тому, тема магістерської роботи є актуальною.

Мета роботи – дослідження та розробка прототипу носимого пристрою віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі відділень екстреної допомоги.

Задачі роботи:

- дослідження бездротових технологій, систем та мереж передачі даних та вибір варіанту реалізації системи моніторингу;
- розробка архітектури системи моніторингу та структурної схеми носимого пристрою;
- аналіз та вибір апаратної частини для забезпечення необхідного функціоналу носимого пристрою;

- проєктування конструкції носимого пристрою в середовищі сучасної САПР;
- виготовлення конструкції прототипу носимого пристрою з використанням технології 3D друкування;
- розробка програмного забезпечення для носимого пристрою.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ БЕЗДРотовИХ ТЕХНОЛОГІЙ, СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

2.1 Огляд та порівняльна характеристика бездротових мереж

Бездротова мережа – це тип комп'ютерної мережі, що використовує бездротове з'єднання для передачі даних й підключення до мережевих вузлів. Цей термін використовується для позначення класу технологій зв'язку та технологій передачі даних без використання «дротів» або електричних провідників. При цьому відстань може складати як декілька метрів (наприклад, у телевізійному дистанційному керуванні), так і тисячі або навіть мільйони кілометрів (зокрема, для телекомунікацій) [23].

Бездротові технології різного типу (інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, GSM/GPRS/CDMA, оптичне або лазерне випромінювання, Bluetooth, Wi-Fi) забезпечують роботу GPS-систем навігації, супутникового телебачення, мобільних телефонів, бездротової комп'ютерної периферії (комп'ютерні миші, клавіатури, тощо), а також бездротових мереж різного рівня [23].

Існують різні підходи до класифікації бездротових технологій.

За дальністю дії (рис. 2.1) бездротові технології поділяються на:

- бездротові персональні мережі (WPAN – Wireless Personal Area Networks), наприклад – Bluetooth;
- бездротові локальні мережі (WLAN – Wireless Local Area Networks), наприклад – Wi-Fi;
- бездротові мережі масштабу міста (WMAN – Wireless Metropolitan Area Networks), наприклад – WiMAX;
- бездротові глобальні мережі (WWAN – Wireless Wide Area Network), наприклад – LTE Advanced [24-25].

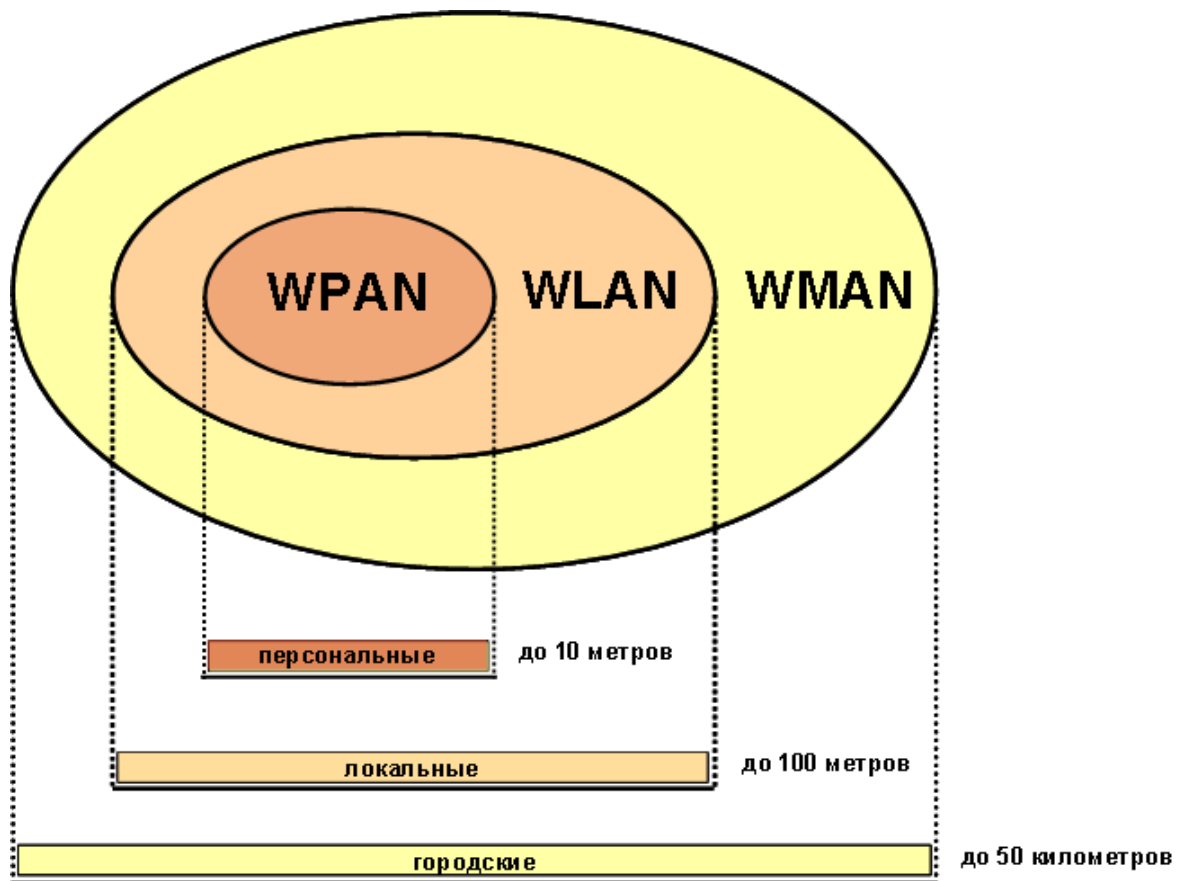


Рисунок 2.1 - Класифікація бездротових мереж за дальністю дії [25]

За топологією бездротові технології ділять на:

- «точка-точка»;
- «точка-багатоточка».

За областю застосування бездротові технології бувають:

- корпоративні (відомчі) бездротові мережі – створювані компаніями для власних потреб;
- операторські бездротові мережі – створювані операторами зв'язку для надання послуг [25].

Залежно від використовуваної технології бездротові мережі можна розділити на три типи:

- локальні обчислювальні мережі;
- розширені локальні обчислювальні мережі;

– мобільні мережі (переносні комп'ютери) [24].

Ці типи мереж відрізняються параметрами передачі. Локальні і розширені локальні обчислювальні мережі використовують передавачі і приймачі, що належать тій організації, в якій функціонує мережа. Для переносних комп'ютерів середовищем передачі служать загальнодоступні мережі, наприклад телефонна мережа або Інтернет [24]. У таблиці 2.1 наведено порівняння характеристик стандартних протоколів бездротових мереж [24].

Таблиця 2.1 – Порівняння популярних протоколів [24]

Характеристика	Wi-Fi IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Автономний час	Години	Дні	Роки
Складність	Дуже складна	Складна	Проста
Кількість підключень	32	7	64000
Затримка	До 3 секунд	До 10 секунд	До 30 мілісекунд
Зона покриття	100м-1000м	10м	70м-300м (ETSI), 1600м (FCC)
Можливість розширення	Можливий роумінг	Ні	Так
Швидкість передачі даних	11 Мб/с	1 Мб/с	250 Кб/с
Безпека	Сервіс авторизації ID (SSID)	64-bit, 128-bit	128-bit AES і визначення користувача на рівні застосунку

2.2 Особливості реалізації Wi-Fi технології

Як показали проведені дослідження, Wi-Fi технологія відноситься до WLAN мереж (рис.2.2). Бездротові локальні мережі (WLAN, IEEE 802.11) використовуються для бездротового з'єднання персональних комп'ютерів та пристроїв. Основними перевагами WLAN є поширеність технологій, значна область покриття та висока швидкість передачі даних [26-27]. Пристрої WLAN від різних виробників відрізняються за ціною і технічними характеристиками.

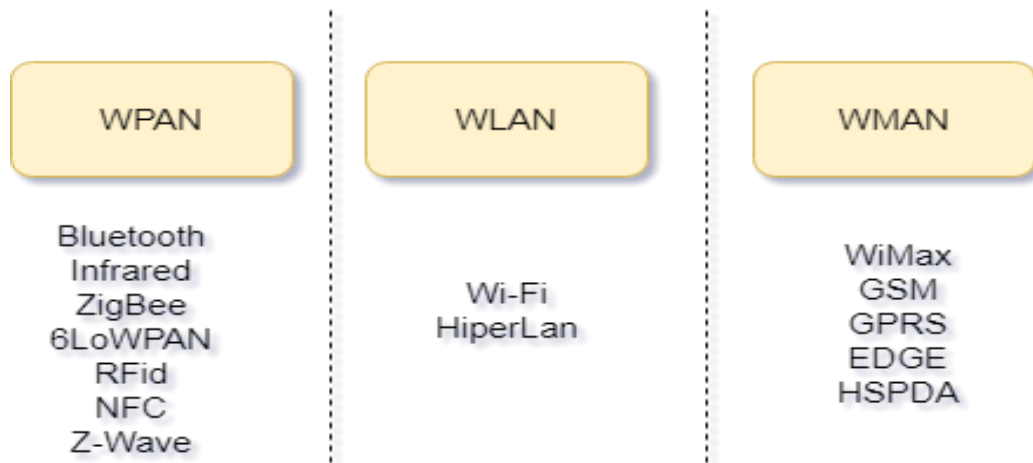


Рисунок 2.2 – Типи та види бездротових технологій

Список переваг може бути представлений таким чином:

- зручність для адміністраторів і користувачів., оскільки просте і недороге налаштування бездротової мережі дозволяє користувачам обмінюватися інформацією, перебуваючи в зоні покриття;
- територію, на якій діє сигнал, можна розширювати за рахунок установки додаткових роутерів (маршрутизаторів, точок доступу) і антен;
- іізичні перешкоди не заважають поширенню радіохвиль, тому користувачі отримують доступ в Інтернет, перебуваючи в русі, на різних поверхах або в інших будівлях;

- технологія WLAN дозволяє позбутися від великої кількості дротів в приміщенні;
- швидкість передачі даних може перевищувати 100 Мбіт/с (залежить від моделі роутера), а радіус області покриття може складати 150 м без урахування додаткових точок доступу;
- швидкість з'єднання для всіх користувачів однакова;

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – загальноживана назва для стандарту IEEE 802.11 передачі цифрових потоків даних по радіоканалах. Обладнання, що відповідає стандарту IEEE 802.11, може бути протестовано Wi-Fi Alliance та отримати відповідний сертифікат і право нанесення логотипу Wi-Fi. Поширеним на сьогодні є протокол IEEE 802.11n [28].

Зазвичай схема мережі Wi-Fi містить не менше однієї точки доступу та може легко масштабуватись. Можливим є підключення двох клієнтів в режимі точка-точка (Ad-hoc), коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються напряму за участю мережевих адаптерів. Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) з допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт/с — найменша швидкість передачі даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливо підключення до даної точки доступу. При потраплянні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на основі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнту повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання [28-29].

Однак стандарт [29] не описує всі аспекти побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Тому кожен виробник устаткування вирішує цю задачу по-своєму, застосовуючи ті підходи, які він вважає за якнайкращі з тієї або іншої точки зору. Через це виникає необхідність класифікації способів побудови безпроводних локальних мереж [28].

За способом об'єднання точок доступу в єдину систему Wi-Fi існують декілька типів реалізації. Це можуть бути автономні точки доступу

(називаються також самостійні, децентралізовані, розумні), а також точки доступу, що працюють під управлінням контролера (називаються також «легковагі», централізовані), і останній тип - безконтролерні, але не автономні (керовані без контролера) [28].

За способом організації і управління радіоканалами можна виділити безпроводні локальні мережі із статичними налаштуваннями радіоканалів, з динамічними (адаптивними) налаштуваннями радіоканалів і з «шаруватою» або багатошаровою структурою радіоканалів [28].

Наявність Wi-Fi-зон (точок) дозволяє користувачу підключитися до точки доступу (наприклад, до офісної, домашньої або публічної мережі), а також підтримувати з'єднання декількох комп'ютерів між собою. При цьому, дальність передавання інформації залежить від потужності передавача (яка в окремих моделях обладнання регулюється програмно), наявності та характеристики перешкод, типу антени [28].

Окрім 802.11b, ще є бездротовий стандарт 802.11a, який використовує частоту 5 ГГц та забезпечує максимальну швидкість 54 Мбіт/с, а також 802.11g, що працює на частоті 2,4 ГГц і також забезпечує 54 Мбіт/с. На сьогоднішній день широко застосовується стандарт 802.11n, який забезпечує до 320 Мбіт/с [28].

Ядром бездротової мережі Wi-Fi є так звана точка доступу (AP - Access Point), яка підключається до якоїсь наземної мережевої інфраструктури (каналів Інтернет-провайдера) та забезпечує передачу радіосигналу. Зазвичай точка доступу складається із приймача, передавача, інтерфейсу для підключення до дротової мережі та програмного забезпечення для налаштування. Навколо точки доступу формується просторова область радіусом 50-100 метрів (її називають хот-спотом або зоною Wi-Fi), у межах якої можна користуватися бездротовою мережею.

Для того, щоб під'єднатися до точки доступу й відчути всі переваги бездротової мережі, власнику ноутбуку або мобільного пристрою з

адаптером Wi-Fi необхідно просто потрапити в радіус її дії. Усі дії з визначення пристрою та налаштування мережі більшість операційних систем комп'ютерів і мобільних пристроїв виконують автоматично. Якщо користувач одночасно потрапляє у декілька зон Wi-Fi, то підключення здійснюється до точки доступу, що забезпечує найсильніший сигнал [28].

Таким чином, переваги використання Wi-Fi технології серед інших можливостей реалізацій мереж можуть бути вирішальними факторами. Наприклад, вона дозволяє розвернути мережу без прокладки кабеля, що може зменшити вартість розгортання і/або розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися безпроводними мережами. Дозволяє мати доступ до мережі мобільним пристроям. Wi-Fi-пристрої широко поширені на ринку. Гарантується сумісність устаткування завдяки обов'язковій сертифікації устаткування з логотипом Wi-Fi. Випромінювання від Wi-Fi-пристроїв у момент передачі даних на два порядки (у 100 разів) менше, ніж біля стільникового телефону. Wi-Fi – це набір глобальних стандартів. На відміну від стільникових телефонів, Wi-Fi-устаткування може працювати в різних країнах по всьому світу [28].

Але варто зазначити і деякі недоліки використання Wi-Fi технології. Невелика ширина використовуваного спектра частот, відсутність можливостей роумінгу й авторизації не дозволяють Wi-Fi-пристроєм потіснити на ринку мобільний зв'язок. Проте компанії ZyXEL, SocketIP і Symbol Technologies пропонують рішення з організації Wi-Fi-телефонії. Частотний діапазон і експлуатаційні обмеження в різних країнах неоднакові [28].

У багатьох європейських країнах дозволено два додаткові канали, які заборонені в США; у Японії є ще один канал у верхній частці діапазону, а інші країни, наприклад Іспанія, забороняють використання низькочастотних каналів. Найпопулярніший стандарт шифрування WEP може бути відносно

легко зламаний навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Не зважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точок доступу не підтримують його і вимагають заміни. Ухвалення стандарту IEEE 802.11i (WPA2) в червні 2004 року зробило доступною безпечнішу схему, яка доступна в новому устаткуванні. Обидві схеми вимагають стійкіший пароль, ніж ті, які зазвичай призначаються користувачами. Багато організацій використовують додаткове шифрування (наприклад VPN) для захисту від вторгнення [28].

2.3 Особливості використання RTLS систем у медицині

В даний час технології RFID (Radio Frequency IDentification) і RTLS (Real Time Location System) широко використовуються в установах надання первинної медичної допомоги, науково-дослідних лабораторіях та інших закладах.

RTLS - система визначення поточного місця розташування об'єктів в заданому просторі в реальному часі. За допомогою RTLS можна не тільки оперативно визначити місце розташування, а й побачити траєкторію руху об'єкта на карті, контролювати його стан (знаходження в певній зоні), а також зберігати історію його переміщень [30].

Координати місця знаходження визначаються за допомогою мітки, яка кріпиться до кожного спостережуваного об'єкту. Залежно від того, який тип сигналу посилають ці мітки можна реалізувати різні типи RTLS систем:

- акустична (ультразвук);
- електромагнітна (інфрачервоневипромінювання);
- UWB - Ultra-Wide Band (радіочастотна, широкосмугова);
- Narrowband (радіочастотна, вузькосмуговий сигнал);
- Wi-Fi (RSSI - Received Signal Strength Indicator);

- Wi-Fi (ToA - Time-of-Arrival) [30].

Система локалізації об'єктів в режимі реального часу RTLS найбільш широке застосування має в сфері охорони здоров'я (лікарня, клініка, лабораторія, медичний центр), оскільки здатна ефективно вирішувати такі завдання:

- контроль за пересуванням пацієнта, можливість використання "тривожної кнопки",
- температурний контроль в приміщеннях, закритих боксах, холодильниках, де зберігаються вакцини, мед. аналізи, які швидко псуються матеріали,
- швидкий пошук мед.персонала;
- моніторинг місцезнаходження обладнання;
- управління запасами і контроль видаткових матеріалів і (мед.інструменти і препарати);
- контроль доступу до мед.препаратів;
- автоматизація відстеження аналізів в мед.лабораторіях;
- обмеження доступу в спеціальні зони (наприклад, процедурна, операційна);
- підвищення рівня безпеки для пацієнтів і персоналу;
- підвищення якості догляду та обслуговування пацієнтів (контроль за гігієною рук персоналу) [30].

Система RTLS характеризується великою гнучкістю і широкими можливостями, її можна адаптувати практично під будь-які завдання в найкоротші терміни і з мінімальними вкладеннями. Вибір конкретної RTLS технології безпосередньо залежить від цілей і умов.

У роботі [31] було розглянуто можливі шляхи використання технології RTLS для медичного застосування.

Автори вказують, що багато років лікарні і госпіталі шукали рішення для точного визначення місця розташування (трекінгу) пацієнтів, персоналу

та обладнання всередині приміщень. Унікальність операційної діяльності госпіталів полягає в тому, що тут люди, пристрої, медичне обладнання постійно пересуваються. Лікарні можуть витратити великі кошти для пошуку місцезнаходження обладнання, заміщення такого, а також на непродуктивні завдання персоналу типу «пошуку і збору» того, що втрачено. Все це є витратами і проблемами, яких лікарням не уникнути. Для вирішення цих завдань медицина звернулася до технології RTLS (Real Time Location System) – визначення місця розташування об'єктів в реальному часі [30].

Можливість управління медичними пристроями. Більша кількість цінного обладнання в госпіталі є мобільною (може бути легко переміщено або взагалі на колесах). Простий підхід до вирішення описаної проблеми пошуку обладнання полягає в тому, щоб мати систему, яка знає місцезнаходження всього обладнання в будь-який момент часу незалежно від його розташування. Використовуючи мережу стандарту Wi-Fi з RTLS можливо мати рішення для трекінгу обладнання та візуалізації його положення через веб-браузер, навіть коли обладнання знаходиться за зачиненими дверима. Це дозволяє істотно знизити витрати, а також зменшити час персоналу на пошук, оскільки всі пристрої завжди «видимі» [31].

Контроль потоку пацієнтів. Інформація про знаходження та статус клінічного персоналу, пацієнтів, кімнат і клінічного обладнання є дуже важливою для обслуговування пацієнтів, а також для підтримки операційної діяльності установи. Рішення RTLS на базі технологій стандарту Wi-Fi 802.11 допомагають покращувати ефективність і якість обслуговування пацієнтів. Тут можна навести такі приклади реалізації:

- автоматизована індикація статусу прибирання приміщень;
- аналіз часу очікування пацієнтів;
- оповіщення / інформація про втрачене обладнання в конкретному місці [31].

Безпека пацієнтів і персоналу може бути забезпечена за допомогою цієї технології. Застосування Wi-Fi RTLS може легко знизити кількість інцидентів і підняти рівень спокою персоналу клініки. Багато пацієнтів, включаючи пацієнтів психіатрії, пацієнтів з травмами та літніх пацієнтів можуть завдати собі шкоди, якщо будуть вставати з лікарняного ліжка і ходити. Постійний трекінг будь-яких «блукаючих» пацієнтів нерідко може ставати системним механізмом створення відмінності між життям і смертю таких хворих.

Дане рішення формується шляхом більш широкого використання існуючої мережі стандарту Wi-Fi для реалізації Wi-Fi RTLS, щоб визначити місцезнаходження всіх пацієнтів, які мають активні мітки RFID в будь-який час, будь-де всередині зони покриття мережі. Якщо пацієнт знаходиться в його кімнаті, на поверсі і т.п., RTLS виявить його місце розташування. Якщо пацієнт пішов до пожежного виходу, Wi-Fi RTLS сповістить персонал і службу безпеки про таку подію [31].

Підтримка працездатності обладнання може бути також реалізована у медицині. Технічний/інженерний персонал лікарень щодня стикається з різними завданнями, такими як, наприклад, превентивне техобслуговування, налагодження обладнання і т.п. «Ручний» режим пошуку обладнання по всьому госпіталю або лікарні є вельми трудомісткою операцією. Тим більше, що часто превентивне технічне обслуговування регулюється спеціальними державними органами, які виконують періодичний аудит лікарняних записів обслуговування обладнання і медичних систем [31].

Технологія стандарту Wi-Fi RTLS допомагає поліпшити відповідність нормам регуляторики шляхом значного прискорення і спрощення обов'язкового процесу техобслуговування медичного обладнання. Це також збільшує ефективність і продуктивність роботи медичного інженерного персоналу. Також технологія в цілому дозволяє підняти рівень безпеки (перш за все в частині підтримки здоров'я) і якість обслуговування пацієнтів

шляхом нормалізації і збільшення ефективності процесу технічних робіт на медичному обладнанні.

Температурний моніторинг можна впровадити для використання у контролі за станом ряду показників. Обов'язковою вимогою в лікарнях є постійна підтримка необхідних температурних умов для зберігання препаратів, вакцин, крові, органів, продуктів харчування і т.п. Це вкрай важливо для забезпечення безпеки пацієнтів і підтримки необхідного рівня якості обслуговування. Моніторинг холодильників і морозильників в госпіталях сьогодні зазвичай підтримується шляхом вкрай неефективного процесу щоденного ручного знімання показників з датчиків температури [31].

Wi-Fi RTLS може простим і зрозумілим способом знімати температурні показники, використовуючи спеціалізовані активні мітки RFID, які можуть збирати і передавати дані в мережі пристроєм. Повідомлення можуть надсилатися на різні пристрої, включаючи детальні звіти про температуру, порушення умов і т.п. Ця інформація може зберігатися для збору і аналізу статистики про довгострокові тенденції і т.п., а також надання документації для внутрішнього або регуляторного аудиту.

Шляхом використання технології RTLS стандарту Wi-Fi лікарні і госпіталі можуть вирішити багато проблем, з якими вони стикаються щодня. RTLS не є унікальною, але це вкрай корисна технологія, яка використовує Wi-Fi мережі, що істотно підвищує ефективність роботи медичних установ [31].

Недоліком є ті, що для високої точності визначення місця розташування необхідно, щоб мережа Wi-Fi мала хорошу щільність покриття території, де планується розгорнути систему, а також достатній рівень потужності сигналу.

2.4 Особливості використання RFID систем у медицині

RFID, або радіочастотна ідентифікація – це засіб зберігання і отримання даних на основі електромагнітної передачі за допомогою пристрою, сумісного з радіочастотами в діапазоні від 100 КГц до 960 МГц. Ця технологія здатна ідентифікувати сотні помічених предметів в секунду за допомогою бездротової передачі інформації [32].

В даний час RFID використовується для: забезпечення простежуваності, зв'язку; ідентифікації та визначення місця розташування людей; обладнання та пристроїв в режимі реального часу. Крім того, лікарні шукають альтернативні шляхи для управління медичними пристроями, лікарняними активами і ліками; підвищення ефективності диспетчерської служби; зниження кількості помилок при адмініструванні; перевірки автентичності витратних матеріалів і контролю рівня запасів [32]. Це дозволяє:

- зменшити кількість підробок;
- заощадити час на визначення місцезнаходження пристроїв;
- визначити недостатнє або надмірне використання пристроїв;
- зменшити кількість медичних помилок при лабораторних випробуваннях;
- забезпечити дотримання належних методів стерилізації;
- керувати продуктами банку крові з більшою точністю [32].

RFID у медицині використовується для підвищення комфорту і безпеки лікування пацієнтів. В самі мітки або в базу даних, ключем до якої є ідентифікаційний номер мітки, може заноситися вся інформація про необхідні для лікування дані: група крові, відомості про алергію, прописані ліки, діагноз та ін. Використання подібної бази даних запобігає помилкам, пов'язаним з поганим почерком, втратою виписок, довгим пошуком потрібної інформації [33].

Наприклад, RFID-браслети використовують для ототожнення немовляти з матір'ю. Крім того, їх можна використовувати для швидкого пошуку пацієнта, який пішов зі своєї палати але вимагає постійного нагляду за станом здоров'я (наприклад, страждає хворобою Альцгеймера), або терміново розшукуваного лікаря [33].

Німецький концерн Siemens AG, спільно з компанією Schweizer electronic розробили чіп RFID з вбудованим датчиком температури, що витримує операції стерилізації та пастеризації, а також прискорення до 5000 g, що розвивається на центрифугі. Даний чіп призначений, наприклад, для використання в банках крові. Зараз Siemens AG і Schweizer electronic, за участю виробника пакетів для зберігання крові MascoPharma, проводять впровадження системи на базі цього чіпа в банку крові Університетського госпіталю Граца [33].

2.5 Організація Mesh-мережі

Системи Mesh Wi-Fi складаються з основного маршрутизатора, який підключається безпосередньо до модему, а також серії модулів або вузлів, розміщених навколо будівлі для повного покриття Wi-Fi. Всі вони є частиною єдиної бездротової мережі та мають однаковий SSID та пароль, на відміну від традиційних маршрутизаторів Wi-Fi [34].

Це мережа спеціалізованого обладнання, яке також утворює мережу з декількох пристроїв, створюючи суцільне покриття Wi-Fi сигналу. Великим плюсом є те, що для підключення кожного нового пристрою немає необхідності тягти кабель — вони зв'язуються за окремим передавачем, створюючи свою мережу, через яку передаються дані. В подальшому ці дані передаються на звичайний Wi-Fi адаптер, досягаючи користувача. Але є і недоліки, наприклад, ціна. Вартість головного маршрутизатора в рази

перевищує вартість звичайного роутера, а вартість додаткового адаптера також істотна. На рисунку 2.3 зображено схему системи Mesh [35].

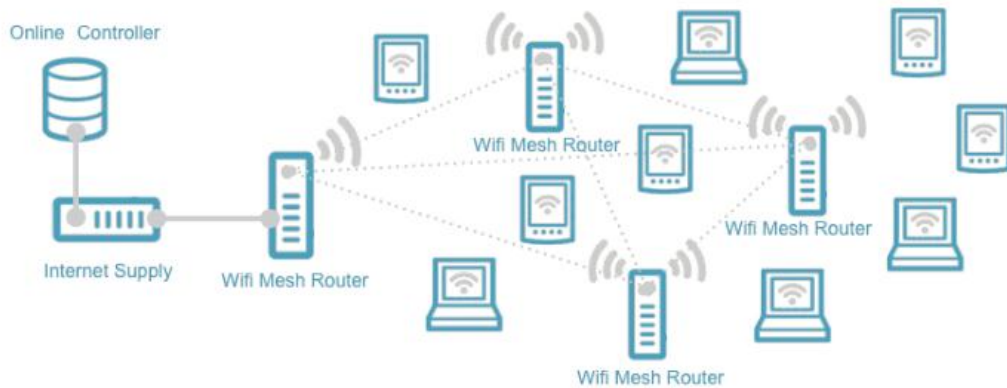


Рисунок 2.3 – Схема системи Mesh [35]

На відміну від звичайної Wi-Fi системи, яка складається з роутера та декількох репітерів, Mesh система забезпечує повну швидкість передачі даних через модульне з'єднання без втрати швидкості. Також Mesh система забезпечує більшу стабільність роботи через створення «безшовної» системи через те, що при використанні роутера і репітера все одно необхідно розривати зв'язок та встановлювати новий з новим пристроєм. На рисунку 2.4 зображено схеми з'єднання різних типів систем. Рисунок 2.5 ілюструє різницю в зоні покриття з використанням звичайного Wi-Fi та використанням Wi-Fi Mesh [36].

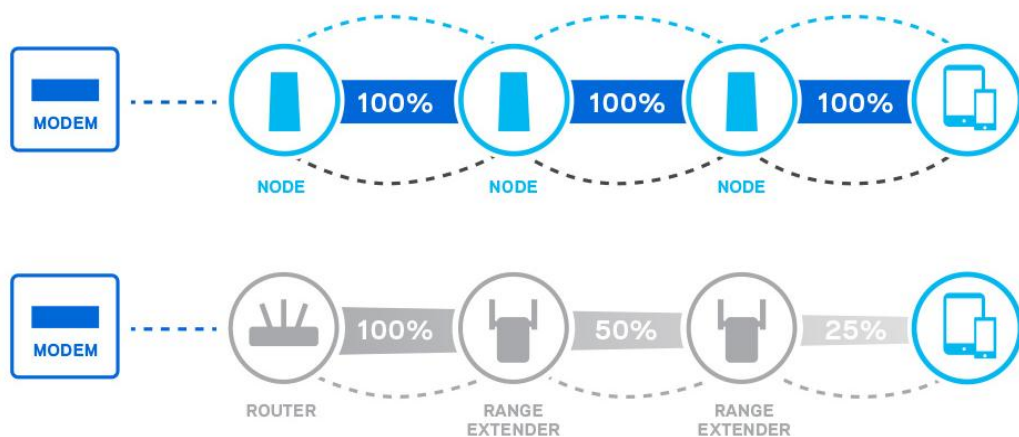


Рисунок 2.4 – З'єднання Mesh системи та звичайної Wi-Fi мережі [36]



Рисунок 2.5 – Зони покриття Mesh мережі та звичайної Wi-Fi мережі [36]

Таким чином, основні переваги Mesh мережі у порівнянні з роутерами:

- великий радіус покриття та безшовна бездротова мережа;
- простота розширення Wi-Fi мережі за рахунок установки додаткових модулів;
- просте налаштування.

Основним недоліком у порівнянні з роутерами є ціна. Вартість встановлення такої системи може в декілька разів перевищувати вартість встановлення стандартної Wi-Fi системи для тієї ж площі.

2.6 Висновки до розділу

Як показали проведені дослідження, технологія Wi-Fi за радіусом покриття, швидкістю передачі даних, а також існуючими можливостями реалізації може з успіхом використовуватися в медичних закладах для створення інфраструктури інформаційної системи. Переваги Mesh-системи, зокрема великий радіус покриття та безшовний роумінг мережі, обумовлюють актуальність її застосування. Впровадження RTLS або RFID є менш доцільним, оскільки можливості цих технологій частково відповідають меті роботи.

3 РОЗРОБКА ПАРАМЕДИЧНОГО БРАСЛЕТУ НА ОСНОВІ WI-FI МОДУЛЯ

3.1 Архітектура системи

Для організації роботи моніторингової системи всі пристрої повинні завжди бути в мережі, щоб забезпечити надійну передачу даних на сервер. З цієї причини були проаналізовані різні рішення для автоматичного підключення точок доступу до мережі Інтернет, які можна просто реалізувати на основі наявних ресурсів.

Перший варіант - заснований на використанні множини точок доступу на всій території лікарні. У цьому випадку дані про точки доступу за замовчуванням зберігатимуться у всіх пристроях контролю. Топологічна схема такого варіанту показана на рис. 3.1, а. Територія лікарні в кутах обладнана точками доступу Wi-Fi, наприклад Ubiquiti UniFi AP (частота 2,4 ГГц, пропускна здатність 300 Мбіт/с, функція енергозбереження, вартість 67 \$). Виробник заявив, що ця точка доступу охоплює зону радіусом 150 метрів, а при використанні декількох точок доступу можна налаштувати безшовне покриття Wi-Fi на великій території. Точка доступу оснащена вбудованими антенами Wi-Fi. Можна досягти розширення зони покриття та посилення сигналу за допомогою додаткових антен-ретрансляторів. Основним недоліком такого варіанту є досить висока вартість у випадку великої кількості вживаного обладнання.

Для передачі даних від пацієнтів на сервер чергового лікаря може бути використано протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [37]. Для забезпечення надійного рівня безпеки цей протокол реалізує такі методи захисту даних: аутентифікація клієнтів (пакет Connect має поля Ім'я користувача та Пароль); контроль доступу клієнтів через ідентифікатор клієнта; підключення до брокера через SSL/TLS (Secure Sockets

Layer/Transport Level Security). Останнє - це рукостискання, яке складається з послідовних кроків, коли клієнт і сервер ідентифікують один одного і починають спілкуватися через захищений тунель SSL/TLS.

Другий варіант - заснований на реалізації Mesh-мережі. Це означає, що у випадку віддалення контрольного пристрою від радіуса основної точки доступу він буде підключений до сусіднього аналогічного пристрою. Основними недоліками такого варіанту є: мінімальний радіус дії точки доступу; залежність системи від працездатності точки доступу; відсутність централізованого контролю; можливість виходу із зони точки доступу групи клієнтів, що унеможлиблює передачу даних від віддаленого клієнта через посередників.

В результаті, запропоновано гібридну організацію інформаційної системи збору та передачі медичних даних, засновану на двох досліджених варіантах (рис. 3.1, б).

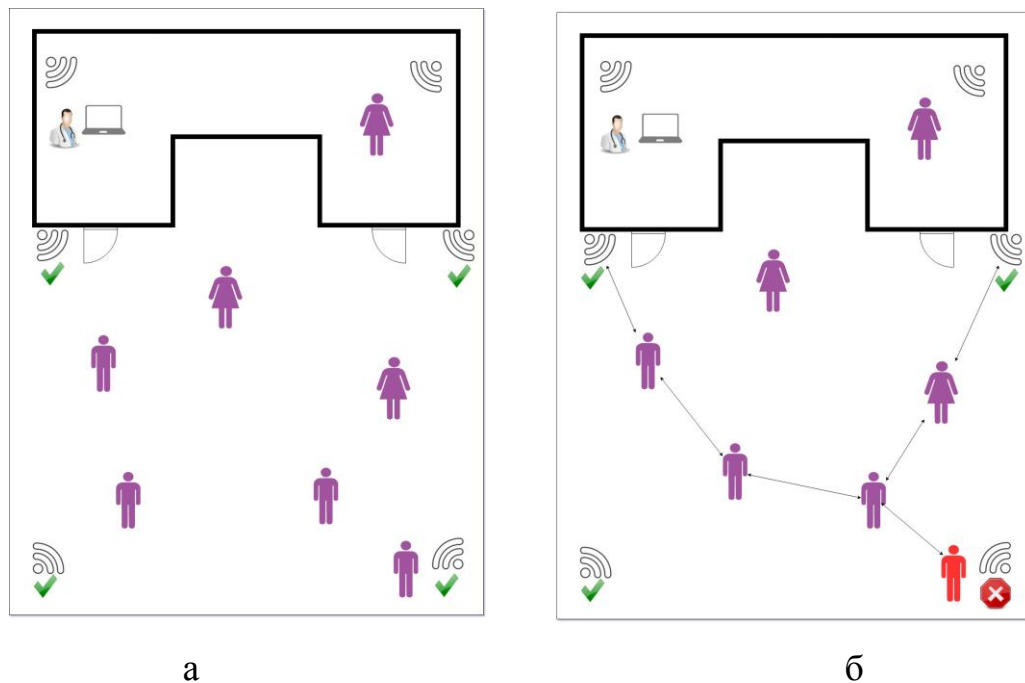


Рисунок 3.1 – Варіанти організації інформаційної системи на основі множини точок доступу (а) та Mesh-мережі (б)

Ця організація передачі даних є більш надійною завдяки використанню додаткової опції підключення на випадок, якщо пацієнт виходить за межі доступності точки доступу Wi-Fi або не працює точка доступу. Як тільки пацієнт від'єднується від точки доступу Wi-Fi, пристрій контролю надсилає запит сусіднім пристроям про перехід у режим мережі Mesh для передачі даних через найближчого сусіда, підключеного до точки доступу Wi-Fi. (Рис. 3.1, б).

Для організації передачі даних у мережі Mesh рекомендується застосовувати бібліотеку PainlessMesh [38]. Ця бібліотека реалізує спеціальну мережу без необхідності використання центрального контролера або маршрутизатора. Будь-яка система з одним або кількома вузлами самоорганізовується у повністю функціональну мережу Mesh без використання TCP / IP. В якості повідомлень використовуються об'єкти JSON. Ідентифікація пристрою в мережі створюється завдяки мікросхемі ідентифікатора пристрою. Бібліотека має можливість надсилати та отримувати повідомлення [39].

Запропонований гібридний варіант дає ряд переваг: використання перспективних алгоритмів для самоорганізації мережі та пошук найкращих способів передачі даних; охоплюючи всю сферу діяльності клієнтів; стабільний сигнал для передачі даних, щоб запобігти вимкненню клієнтів при переході з однієї зони в іншу через безшовну мережу.

Функціональну схему системи віддаленого моніторингу показано на рисунку 3.2. Вона об'єднує серверну частину та носимий пристрій. На стороні сервера відбувається реєстрація пацієнта, а також зберігаються та візуалізуються моніторингові дані. В якості серверу можуть використовуватися як сервер лікарні, так і хмарний сервіс. На стороні носимого пристрою відбувається підключення до мережі, зчитування та обробка даних, візуалізація та відправка даних на сервер.

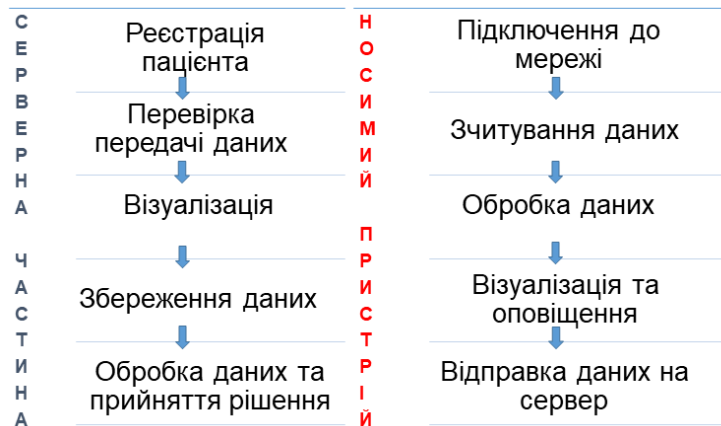


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи віддаленого моніторингу

3.2 Структурна схема проєктованого носимого пристрою

Проектований носимий пристрій для моніторингу показників фізичного стану пацієнта буде мати форму браслету (рис. 3.3).

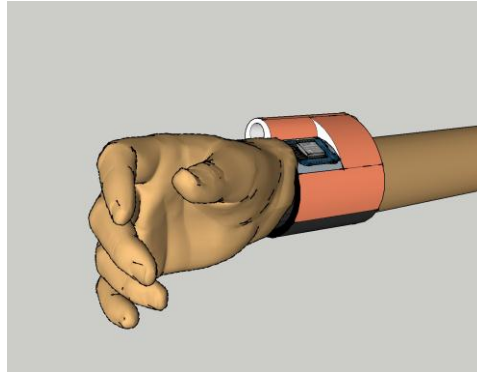


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд проєктованого парамедичного браслету

Структурну схему проєктованого виробу зображено на рисунку 3.4. Оскільки створюваний пристрій є прототипом, а робота спрямована в першу чергу на дослідження варіантів та технологій реалізації, то в подальшому можлива модернізація або заміна концепту механічної частини з урахуванням відгуків користувачів та досвіду використання.

Складається носимий пристрій з апаратного та програмного забезпечення, що має буде розроблено для функціонування системи.

Апаратна частина складається з механічної та електронної частин. Механічна частина складається з корпусу, кришки, кріплення та ремінця. Вона забезпечує розміщення та захист компонентів електронної частини, а також закріплення на руці користувача. Електронна частина в свою чергу складається з наступних компонентів:

- головний мікроконтроллер - необхідний для забезпечення обчислень, зберігання та виконання програми, реалізації Wi-Fi з'єднання та отримання оновлень програми через бездротове підключення;
- акумулятор та зарядний пристрій - для забезпечення автономного живлення та підзарядки;
- інтегральний датчик серцевого ритму та пульсоксиметрії - для отримання значень пульсу та вмісту кисню в крові користувача;
- інтегральний датчик акселерометру та гіроскопу - для визначення положення пристрою у просторі з можливістю використання цих даних для фіксації характеру переміщень користувача;
- дисплей - для відображення даних;
- пасивний зумер - для можливості звукових сповіщень.

Таким чином, під конструкцією проєктованого приладу слід розуміти всі прийняті рішення та обрані компоненти для апаратної частини.

Окрім апаратного забезпечення складовою частиною носимого пристрою є програмне забезпечення, що містить шість модулів та розглянуте у підрозділ 3.4. Програмне забезпечення розроблено для ефективного використання можливостей апаратної частини з метою досягнення поставленої мети. Програмна частина забезпечує працездатність носимого пристрою з можливістю вимірювання, відображення та передачі біомедичних показників, тобто віддаленого моніторингу показників фізичного стану людини для роботи у складі інформаційної мережі відділень екстреної допомоги.

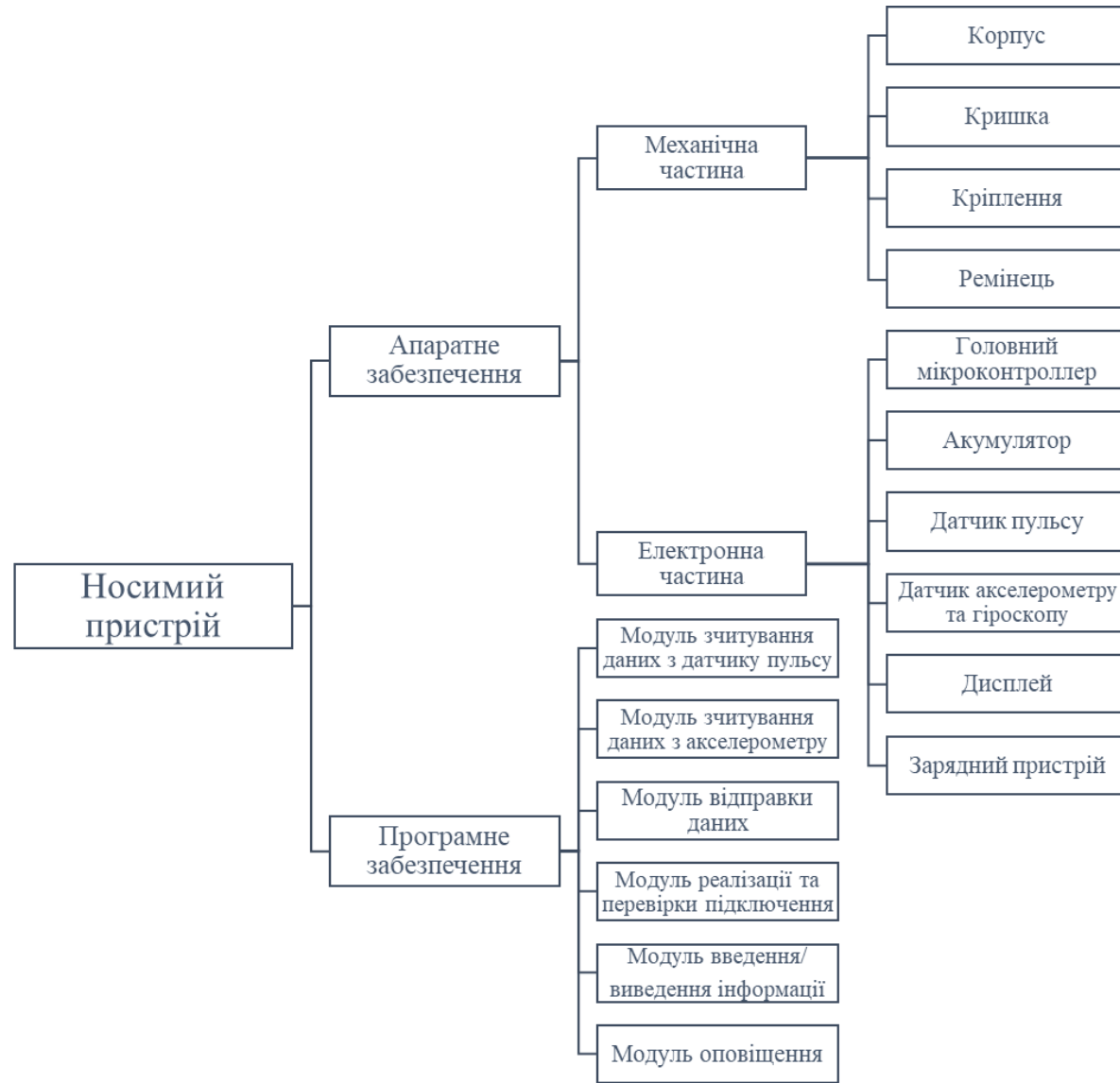


Рисунок 3.4 – Структурна схема проєктованого носимого пристрою

3.3 Розробка апаратного забезпечення

3.3.1 Аналіз та вибір електронних компонентів

Для забезпечення необхідного функціоналу та реалізації необхідних технологій у проєктованому носимому пристрої моніторингу фізичного стану людини, необхідно проаналізувати варіанти вибору компонентів електронної частини та обрати оптимальний варіант кожного: головний контролер, датчик пульсу, датчик акселерометру та гіроскоп, акумулятор, екран та зарядний пристрій.

До кожного з компонентів є ряд з вимог, включаючи вартість та мінімальні габарити для створення конкурентно-спроможного виробу, що буде відповідати критеріям зручного використання та забезпечення потрібного функціоналу. Аналіз та вибір компонентів для апаратної частини пристрою наведений у цьому підрозділі.

Головний мікроконтролер. Вибір головного контролеру зумовлений наступними вимогами: необхідно забезпечити носимий пристрій наявністю Wi-Fi модулю для організації мережі пристроїв або для взаємодії з модулем через Інтернет; необхідність досягнення оптимального співвідношення між розмірами та вартістю з одного боку, а також гнучкістю і продуктивністю з іншого.

З огляду на ці вимоги, розглядалися наявні завдяки проєкту BIOART контролери сімейства ESP8266 (рис. 3.5) та ESP32 (рис. 3.6), що мають Wi-Fi інтерфейс, відносно низьку вартість та зарекомендували себе як популярні рішення.

ESP8266 - мікроконтролер китайського виробника Espressif Systems з інтерфейсом Wi-Fi. Мікроконтролер відрізняється відсутністю флеш-пам'яті в SoC, програми користувача виконуються із зовнішньої флеш-пам'яті з інтерфейсом SPI [40].

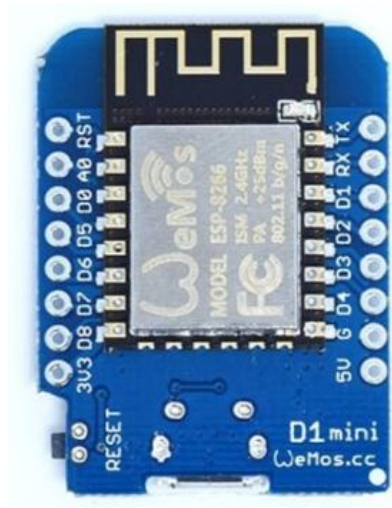


Рисунок 3.5 – Wi-Fi модуль WeMos D1 mini на чіпі ESP8266 [41]

Серія недорогих мікроконтролерів з низьким енергоспоживанням ESP32 є наступником мікроконтролерів ESP8266. Вони представляють собою систему на кристалі з інтегрованим Wi-Fi та Bluetooth контролерами і антенами. У серії ESP32 використовується мікроконтролерне ядро Tensilica Xtensa LX6 у варіантах з двома і одним ядром. В систему інтегрований радіочастотний тракт: балун (симетруючий трансформатор), вбудовані антенні комутатори, радіочастотні компоненти, малошумний підсилювач, підсилювач потужності, фільтри та модулі управління живленням [42].

Порівняльна характеристика мікроконтролерів ESP8266 і ESP32 відображена у таблиці 3.1.

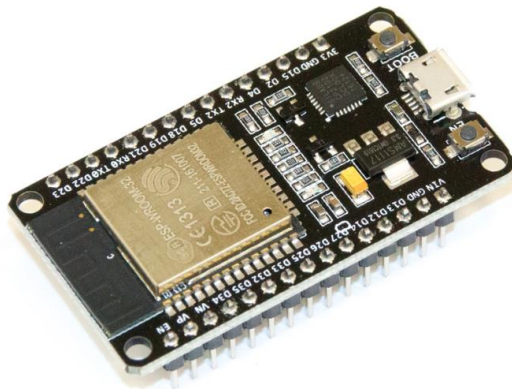


Рисунок 3.6 – Wi-Fi модуль NodeMCU на чіпі ESP32 [43]

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика мікроконтролерів ESP8266 і ESP32

Характеристика	ESP8266	ESP32
Процесор	80 MHz 32-bit процесор Tensilica Xtensa L106	Xtensa двоядерний (або одноядерної) 32-розрядний LX6 мікропроцесор, що працює на 160 або 240 МГц Має співпроцесор з ультра низькою потужністю (ОТП)
Бездротові технології	IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi. Підтримується WEP та WPA/WPA2.	Wi-Fi: 802.11 b/g/N та Bluetooth: B4.2 BR/EDR і BLE
Пам'ять	Виробник у документах не вказує точну кількість ОЗП на кристалі, а надає лише приблизну оцінку тої кількості пам'яті, що залишається після лінкування бібліотек — близько 50 кБ.	520 Кб пам'яті SRAM
Споживання, мА	До 300	До 260
Вартість, \$	5,19	11,02

Зважаючи на різницю у вартості й невеликій кількості відмінностей, що можуть впливати на виконання даної задачі зі моніторингу даних та їх подальшої передачі, був обраний модуль ESP8266, що повністю задовільняє всім вимогам. Однак, для подальшого покращення проєкту з використанням технологій Bluetooth і BLE, зокрема, та меншим споживанням слід розглядати

мікроконтролер ESP32 як можливий та актуальний шлях для модернізації носимого пристрою з можливістю реалізації більшої кількості додаткових функцій.

Інтегровані модулі датчиків серцевого ритму та пульсоксиметрії використовуються безпосередньо для вимірювання пульсацій крові та насиченості киснем. Найбільш поширені два типи датчиків: оптичні та контактні. Оптичні можуть забезпечувати достатню точність вимірювань навіть при відсутності чіткого контакту, а тому можуть працювати більш стабільно та є менш вимогливі до конструкції механічної частини пристрою.

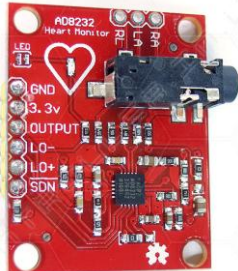
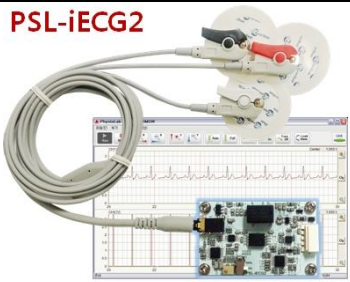
У таблиці 3.2 наведено найбільш популярні бюджетні варіанти, що можуть бути використані для реалізації функцій носимого пристрою.

Модуль KY-039 складається з інфрачервоного діоду та фотоприймача. За їх допомогою можна оцінювати зміни ІЧ-щільності предмету, що знаходиться між ними. Для більш точної роботи потребує відсутності можливих джерел похибок – від штучного світла низької частоти та сонячного світла. Ці особливості роблять даний тип датчику складним у використанні для досягнення заданої мети [44].

Модуль CJMCU використовує відносно простий оптичний датчик серцевого ритму з посиленням та схемою шумозаглушення. Але через відносно великі розміри та круглу форму накладає деякі складності для створення відповідної механічної частини для його розміщення [45].

Модуль MAX 30100 має ряд переваг відносно інших розглянутих модулів у цій категорії: має велику точність вимірів завдяки наявності двох світлодіодів, фотоприймача, оптимізованої оптики та малошумної аналогової обробки сигналів для визначення пульсової оксиметрії та сигналів серцевого ритму; має найменші габаритні розміри та інтегровану систему пульсоксиметрії, що дозволяє отримувати значення насичення киснем крові користувача – ця функція може бути використана для своєчасного діагностування гіпоксії [46].

Таблиця 3.2 – Популярні датчики серцевого ритму та пульсоксиметрії

Назва датчику пульсу	Зовнішній вигляд	Тип вимі- рювання	Розміри, мм
KY-039 [44]	 KY-039	Оптич- ний	26x24x10
CJMCU [45]			15,875x3,175 - діаметр/товщина
MAX 30100 [46]			5,6x2,8x1,2
PulseSensor Arduino [47]			16x3 - діаметр/товщина
AD8232 [48]		Контакт- ний	35x28 + 3 контакти зі з'ємними електродами
PSL-iECG2 [49]	 PSL-iECG2		56x35 + 3 контакти зі з'ємними електродами

Для визначення частоти серцевих скорочень за допомогою оптичного датчика MAX30100 використовують фотоплетізмограму – метод реєстрації кров'яного потоку за допомогою використання інфрачервоного або світлового випромінювання та фоторезистора. Оптичний датчик пульсу за допомогою інфрачервоного світлодіода просвічує шкірний покрив та вимірює кількість відбитого світла на фоторезисторі. Чим більший кров'яний потік, тим менше світла поглинається в тканинах організму. Після вимірів виділяють окремі періоди і рахують число піків на отриманому сигналі або знаходять час між двома скороченнями та в результаті розраховують значення пульсу. Для визначення вмісту кисню в крові використовують пульсоксиметрію – простий неінвазивний метод моніторингу насичення гемоглобіну артеріальної крові киснем. Цей метод заснований на тому, що поглинання гемоглобіном світла двох різних по довжині хвиль змінюється в залежності від насичення його киснем, а світловий сигнал, проходячи тканини, набуває пульсуючий характер внаслідок зміни обсягу кровотоку при кожному серцевому скороченні.

Модуль PulseSensor Arduino аналогічний модулю CJMCU за принципом роботи та дуже схожий за формою і розмірами [47].

Контактні модулі AD8232 і PSL-iECG2 мають найбільші розміри плати та мають необхідність у використанні додаткових електродів, разом з необхідністю забезпечення прямого постійного контакту з певними точками тіла користувача – це робить їх найгіршим вибором для проєктування носимого пристрою для контролю фізичного стану людини [48-49].

Остаточний вибір залишається за модулем MAX 30100 завдяки його перевагам та зручності використання для малогабаритних пристроїв. Вартість модулю – 3,20\$.

Інтегральний модуль датчиків акселерометру та гіроскопу обирається з огляду на вартість і наявність основних функцій. Використовується він для вимірювання прискорення об'єкту, яке він набуває при зміщенні відносно свого нульового положення, а також для визначення положення у просторі та

температури навколишнього середовища. Таблиця 3.3 містить порівняльну характеристику декількох модулів [50].

Як видно з таблиці, модуль GY-521 при значно меншій вартості надає всі необхідні датчики для контролю фізичного стану людини, а також має найменші габаритні розміри, що робить його найкращим вибором для проєктування носимого пристрою. Відсутні магнітометр та барометр не планувалося використовувати.

Вибір акумулятору є важливим для забезпечення живлення всіх компонентів та достатнього часу автономної роботи пристрою. З розрахунку загального максимального можливого споживання необхідно досягти часу автономної роботи впродовж цілого робочого дня без підзарядок. Це необхідно для постійного спостереження за станом пацієнтів.

Вимогами для вибору акумулятору є достатня напруга, значна ємність, можливість повторного заряджання пристрою та безпека експлуатації. З огляду на ці умови підходить лише Li-Po тип акумулятору, що має всі необхідні властивості, але варто зазначити його погану роботу в умовах низьких температур, що в першу чергу значно впливає на автономний час та здатність підтримувати необхідну напругу через значне підвищення внутрішнього опору. З огляду на необхідність створення пристрою зі зручністю використання з точки зору форми, було вибрано акумулятор «плоского» типорозміру з контролером заряду – 103450 (рис. 3.7) [51]. Його вартість складає 6,67\$. У таблиці 3.4 наведені основні характеристики обраного акумулятора

Таблиця 3.3 – Датчики акселерометру та гіроскопу

Характеристи- ка/назва модулю	GY-86	GY-521	GY-801
Зовнішній вигляд			
Розміри, мм	22x17x3	20x15x3	26x17x3
Гіроскоп	+	+	+
Акселерометр	+	+	+
Магнітометр	+	-	+
Термометр	-	+	+
Барометр	+	-	+
Вартість, \$	17,65	2,28	15,77



Рисунок 3.7 – Акумулятор Li-Po 3,7В 2000мАг 103450 [51]

Таблиця 3.4 – Характеристики акумулятору Li-Po

Параметр	Значення
Номінальна ємність	2000 мАг
Контролер заряду	+ (захист від разряду/перезаряду)
Номінальна напруга	3,7 В
Розміри	50x34x10 мм
Напруга відсічки	2,5 В
Максимальний струм заряджання / розрядження	1 С(0,5-0,6 А)
Рекомендуємий струм заряджання/розрядження	0,5 С(300 мА)
Вага	33 г

Екран для виводу інформації. Використання екрану зумовлене необхідністю виводу декількох найважливіших параметрів для самостійного оцінювання користувачем показників свого фізичного стану. Для збереження автономності та швидкодії немає сенсу використовувати екран з великою роздільною здатністю або діагоналлю, що приведе до збільшення споживання у режимі активного використання. З огляду на існуючі носимі пристрої можна зазначити, що більшість бюджетних пристроїв використовують екран з діагоналлю до 1”.

Обраний OLED дисплей [52] с діагоналлю 0.91”, інтерфейс I2C і роздільна здатність 128x32. Це яскравий, ергономічний дисплей з високим показником контрасту для зручного застосування в сонячну погоду (рис.3.8). I2C інтерфейс дозволяє підключати декілька екранів до будь-якого мікроконтролеру. Габаритні розміри відносно малі, що є важливим фактором для проєктованого носимого пристрою. Вага лише 3 г. Вартість екрану – 4,27\$.

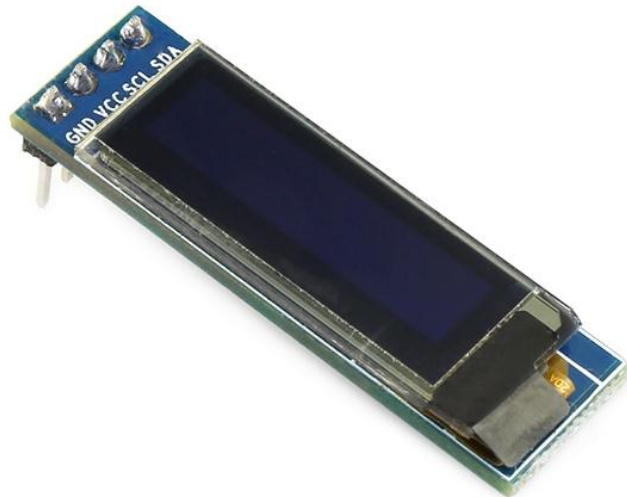


Рисунок 3.8 – OLED екран 0.91” I2C 128x32 [52]

Останній основний компонент - зарядний пристрій. Необхідні умови – здатність забезпечення певного рівня струму для швидкого заряджання акумулятору пристрою з відповідністю до максимального допустимого значення струму. Зарядний пристрій має підходити для використання з Li-Po акумуляторів на 3,7В. Був обраний варіант [53] з підтримкою популярного стандарту microUSB на базі контролеру TP4056 (рис.3.9). Мікросхема має індикацію процесу зарядки і сама відключає акумулятор при досягненні напруги на ньому у 4,2В. У таблиці 3.5 наведено основні характеристики модулю. Вартість модулю – 0,6\$.

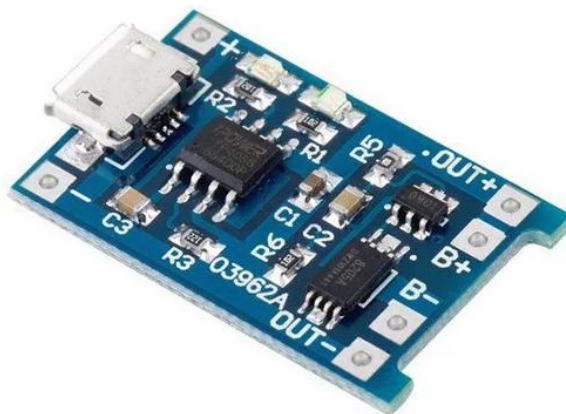


Рисунок 3.9 – Зарядний пристрій стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В [53]

Таблиця 3.5 – Основні характеристики зарядного пристрою

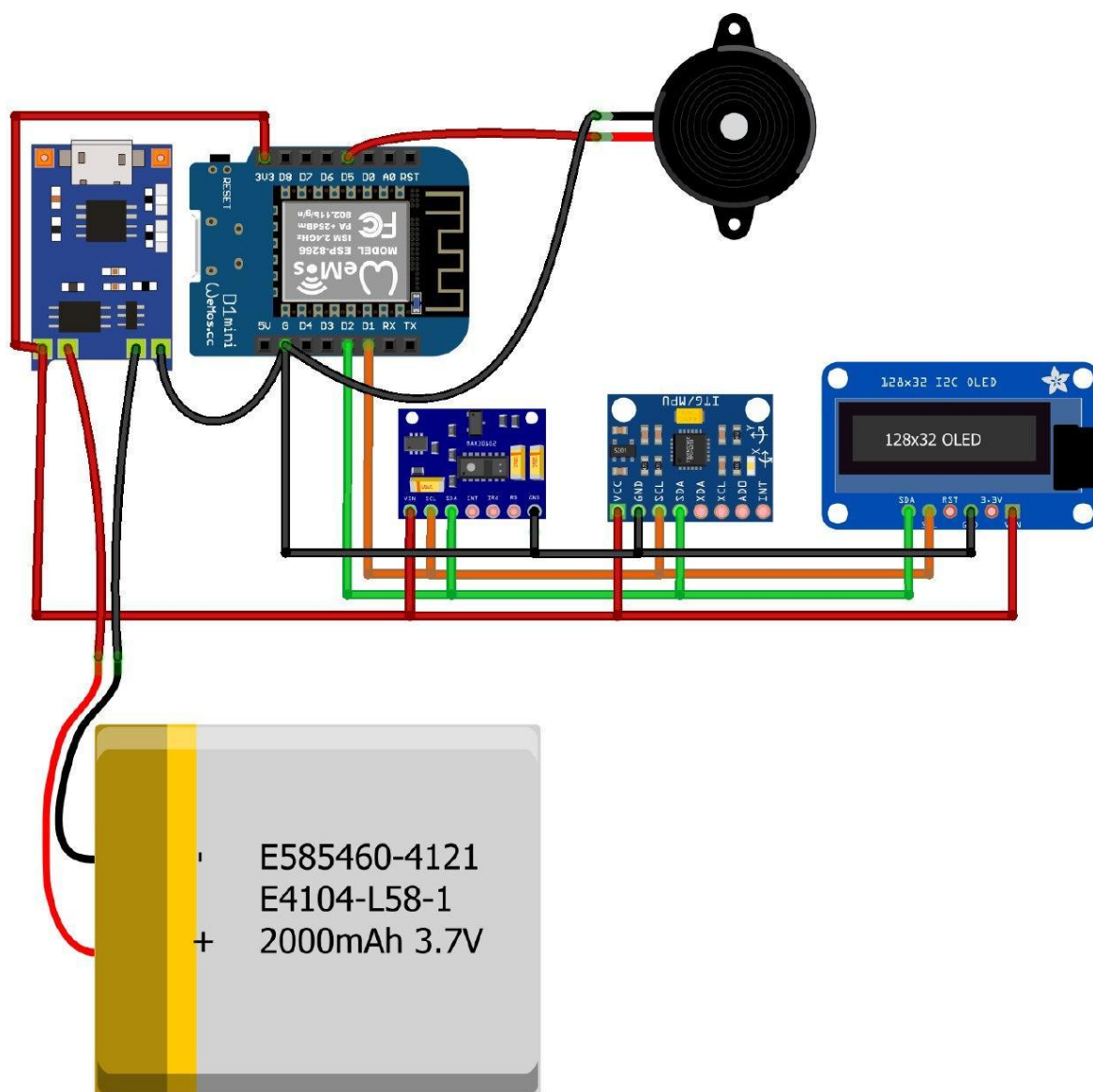
Характеристика	Значення
Вхідна напруга	4,5В-5,5В
Напруга повного заряду	4,2В
Струм заряду	1А
Робоча температура	-10...+85
Розміри	5x19x25 мм

Було також додано пасивний зумер KY-006 (модуль с динаміком) для можливості оповіщення користувача та персоналу про критичний стан [54].

Таким чином, загальна вартість апаратної частини дорівнює:

$$5,19\$ + 3,19\$ + 2,28\$ + 6,67\$ + 4,27\$ + 0,60\$ + 0,40\$ = 22,60\$$$

На основі обраних компонентів за допомогою середовища fritzing [55] було створено схему з'єднання основних компонентів. Особливістю схеми є підключення датчиків по протоколу I2C - послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами. Використовує дві двонаправлені лінії зв'язку (SDA і SCL), що використовуються для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з процесорами і мікроконтролерами, що дозволяє зменшити кількість дротів. Також особливістю є використання різних датчиків з різними адресами, що дозволяє не використовувати додатковий дріт установки адреси модулю (датчику).



fritzing

Рисунок 3.10 – Схема з'єднання компонентів електронної частини прототипу носимого пристрою

3.3.2 Обґрунтування вибору середовища проєктування

Системи автоматизованого проєктування (САПР або CAD – Computer Aided Design) призначені для автоматизації процесу створення виробу, результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкту проєктування.

Найбільш поширеними CAD-системами, що задовольняють потреби проєктування є AutoCAD, SolidWorks, КОМПАС-3D, Creo Parametrics, Siemens NX та ін. Аналіз показав, що AutoCAD дуже зручний для створення 2D креслеників та технічної документації. SolidWorks має дуже потужні інструменти для роботи з 3D графікою та твердотільними моделями, зокрема можливості аналізу фізичних показників на основі аналізу, але досить складний у використанні та має надлишковий функціонал, що не буде використовуватися.

Для того щоб спроектувати та виготовити механічну частину браслету, треба урахувати особливості виробництва деталей за допомогою технології друку на 3D принтері.

Було вирішено використовувати систему автоматизованого проєктування та підготовки виробництва компанії Аскон КОМПАС-3D V18.1.15 [56] для створення кожної окремих 3D моделей компонентів та загальної компоновки.

Система КОМПАС-3D - інтерактивний графічний редактор з сучасним інтерфейсом, оснащений інструментальними засобами, які дозволяють створювати твердотільні об'єкти з використанням набору елементарних параметричних тіл (паралелепіпед, циліндр та ін.), а саме просторові твердотільні та каркасні моделі об'єктів (деталей, вузлів, виробів, тощо) при виконанні проєктно-конструкторських, технологічних та дизайнерських робіт в машинобудуванні, приладобудуванні, будівництві, архітектурі.

Були виділені такі переваги обраної CAD-системи: наявність російськомовної підтримки та документації, наявність всіх необхідних функцій для створення моделей та остаточного складання носимого пристрою, а також їх досить просте використання у порівнянні з іншими CAD-системами. Також система підтримує можливість редагування моделі у режимі реального часу, а також зберігання моделей у форматі для подальшого виготовлення шляхом друкування на 3D принтері.

3.3.3 Проєктування механічної частини носимого пристрою

3D моделі кожного з модулів виконувались зі спрощенням без моделювання кожного елементу форми, але з урахуванням усіх максимальних габаритних розмірів, основних стандартів виконання компонентів для з'єднання та складання тощо.

Спершу були проведені додаткові заміри реальних модулів для уточнення розмірів і форми деяких компонентів. Для моделювання використовувались прості операції витягування ескізів з площини, булеві операції до тіл, операції витягування по траєкторії тощо.

Перша твердотільна 3D модель була створена для мікроконтролеру як основного компоненту. Основні елементи, такі як чіп мікроконтролеру або технічна кнопка «Reset», виконані як окремі тіла та виділені окремими кольорами для більшої відповідності реальному аналогу. Габаритні розміри модулю також були дещо збільшені для урахування можливих похибок у виробництві модулю, оскільки друкована плата виконується відповідно до стандартів з допустимими максимальними і мінімальними значеннями кожного з розмірів, що в купі з розмірними ланцюгами може призводити до незначного збільшення розміру. Для повної відповідності моделі для дрібносерійного/серійного виробництва необхідно враховувати подібні похибки, але для одиничного виробництва можна навпаки зменшувати

розміри для подальших тонких операцій відносно корпусу або кришки перед складанням. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель Wi-Fi модулю WeMos D1 mini на чіпі ESP8266, зображено на рисунку 3.11.

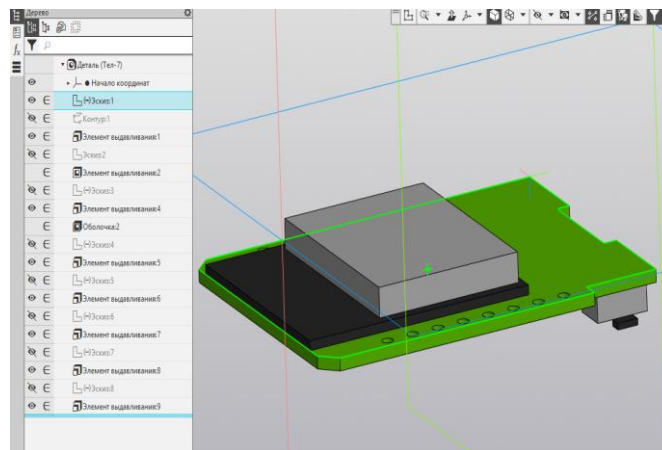


Рисунок 3.11 – Твердотільна модель та дерево побудови Wi-Fi модулю

Другою моделлю став датчик пульсу, що був спрощений до друкованої плати та оптичного датчику оскільки він має найбільший розмір (висоту), виконані отвори для фіксації по двом осям за допомогою посадочних циліндрів. Порядок виконання побудови можна побачити у дереві побудови і готову модель модулю датчику пульсу MAX30100, що зображені на рисунку 3.12.

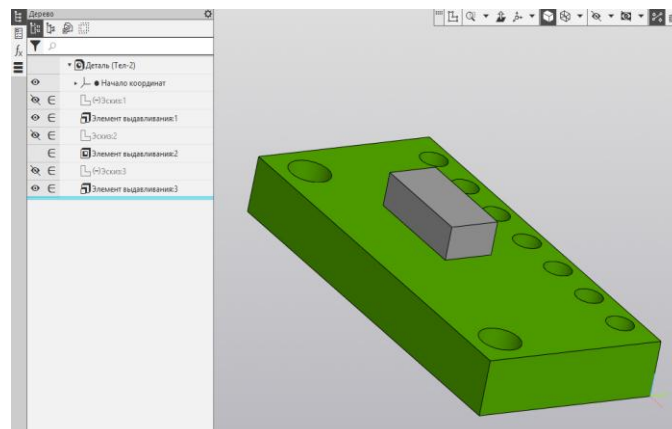


Рисунок 3.12 – Твердотільна модель та дерево побудови модулю датчику пульсу MAX30100

Аналогічно була створена 3D модель модулю датчиків акселерометру та гіроскопу GY-521, оскільки вони мають схожу друковану плату, однакову форму та однаковий тип отворів для складання.

Відмінність лише у тому, що у цьому модулі основним (найбільшим елементом) відносно висоти є датчик акселерометру, який був також виконаний окремим тілом. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель модулю GY-521 зображено на рисунку 3.13.

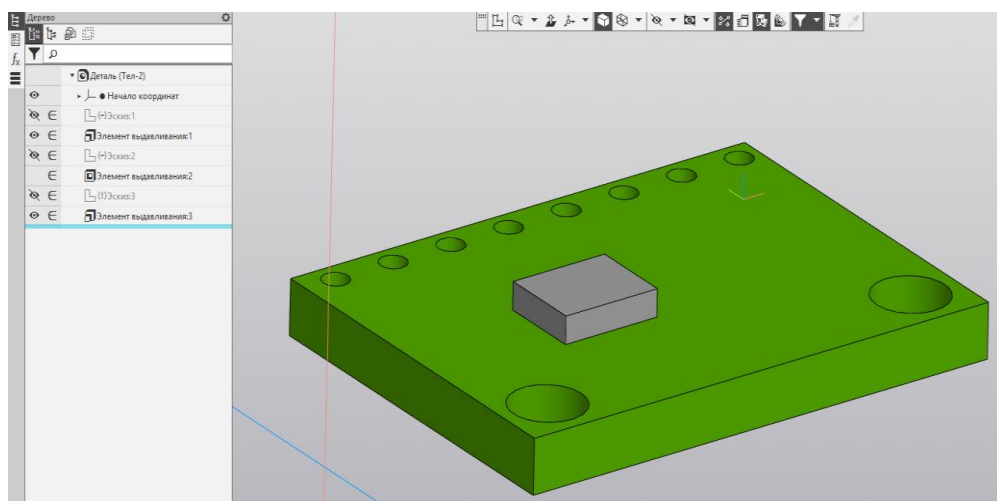


Рисунок 3.13 – Твердотільна модель та дерево побудови модулю датчиків акселерометру та гіроскопу

3D модель акумулятору була створена з урахуванням максимальних габаритів ізоляційного шару для електронної частини, що може бути зменшена на деяке значення, але це може призвести до порушень техніки безпеки щодо експлуатації компоненту живлення. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель акумулятору Li-Po 3,7V 2000мАг 103450 зображені на рис. 3.14.

Реальний акумулятор має скруглення від середини висоти до нижньої та верхньої площини, але оскільки габаритні розміри не змінюються від цього – було прийняте рішення про спрощення моделі для відповідності максимальному ефективному простору, що він займає.

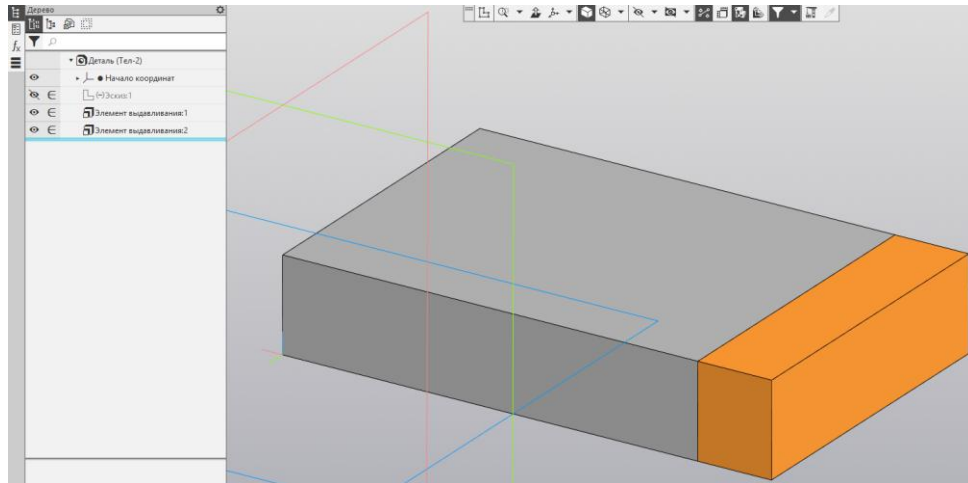


Рисунок 3.14 – Модель та дерево побудови акумулятору

3D модель екрану створена з урахуванням розмірів компонентів для електронної бази, що виконані за стандартом. Реальний аналог має гнучке з'єднання екрану з контролером, але оскільки шлейфи краще не піддавати навантаженням на згин/злам, то його розмір був декілька збільшений для того, щоб мати запас при складанні у корпус. Порядок виконання побудови у вигляді дереві побудови і готову модель екрану OLED діагоналі 0.91" з інтерфейсом I2C та роздільною здатністю 128x32 зображено на рис. 3.15.

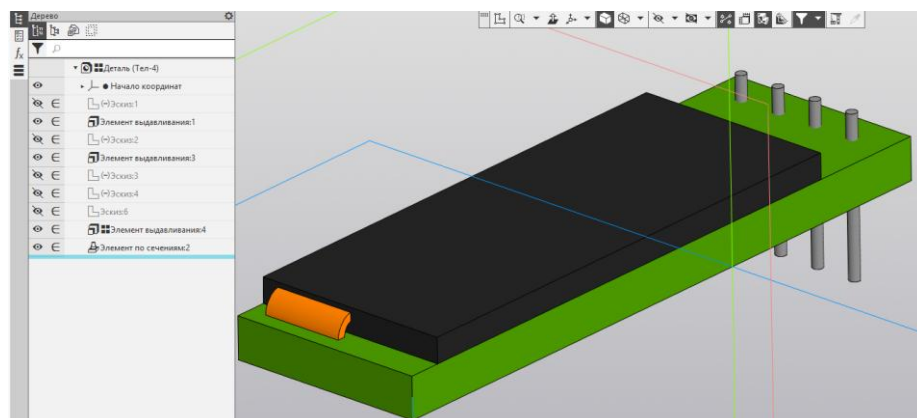


Рисунок 3.15 – Модель та дерево побудови екрану OLED
діагоналі 0.91"

Елементи електронної частини були виконані за допомогою масиву твердих тіл, а шлейф для з'єднання з друкованою платою виконано за допомогою витягування по траєкторії ескізу прямокутної форми.

Останнім компонентом апаратної частини був зарядний пристрій, який на відміну від більшості моделей, не зазнав значних спрощень, оскільки є важливою формою друкованої плати для можливості закріплення у корпусі, а також елемент стандарту microUSB має відповідати максимально реальному аналогу, оскільки він буде мати власне місце для поглиблення у корпусі. Це поглиблення необхідно виконати для забезпечення мінімальних похибок, щоб забезпечити закриту структуру. Це призведе до того, що буде збиратися менше пилу для дрібних частин всередині корпусу, а також менший вплив вологого середовища на внутрішні компоненти. Також має значення розміщення компонентів для з'єднання електронної частини з джерелом живлення. Порядок виконання побудови у вигляді дерева побудови і готову модель зарядного пристрою стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В зображено на рисунку 3.16.

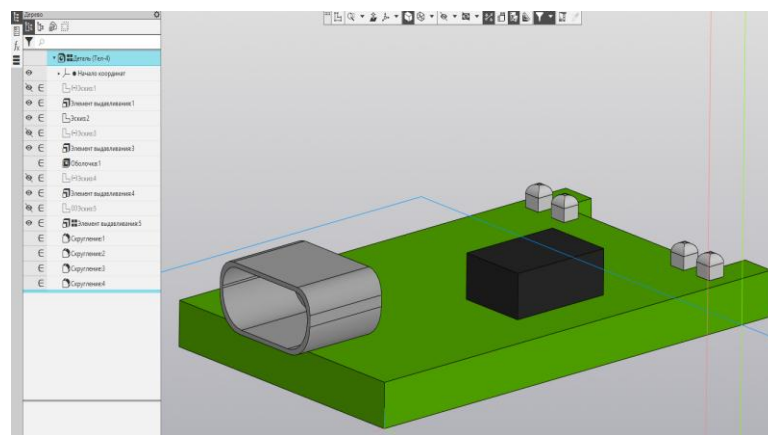


Рисунок 3.16 – Модель та дерево побудови зарядного пристрою стандарту microUSB для Li-Po акумуляторів 3,7В

Модель спікера складається лише з циліндричної частини та елементів для з'єднання. На рисунку 3.17 зображено модель та дерево побудови моделі спікера.

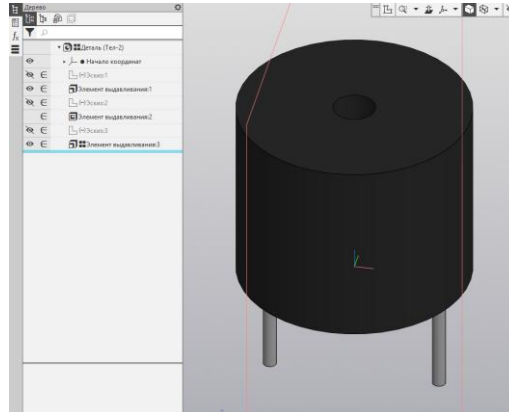


Рисунок 3.17 – Твердотільна модель спікера з деревом побудови

Всі створені моделі були використані для первинної компоновки кожного з компонентів з урахуванням усіх необхідних умов розміщення апаратної бази. А саме:

- деякі компоненти повинні мати спеціальне розміщення відповідно до виконуваних функцій, наприклад, екран має займати найвище положення для можливості виводу інформації для користувача;
- кожен компонент має мати визначене місце з можливістю його легкого закріплення та з'єднання з шиною апаратної частини компонентів;
- між компонентами необхідно забезпечити достатньо місця для запобігання нагріву шляхом теплопередачі, а також для прокладання дротових з'єднань;
- інтегровані модулі датчиків мають знаходитися в одній площині для найбільшої інформативності даних, що будуть надходити від модулів;
- необхідність створення кріплення, що зможе забезпечити комфортну експлуатацію носимого пристрою для закріплення на руці з реалізацією

мінімального зазору для достатньої точності вимірювань пульсу за допомогою оптичного датчику.

З огляду на всі умови для компонування апаратної частини було створено наступне попереднє розміщення усіх компонентів відносно один одного. Зверху вниз: екран та спікер, модуль мікроконтролеру, акумулятор, модуль акселерометру і гіроскопу, зарядний пристрій, оптичний датчик пульсу. Компоновку зображено на рисунку 3.18 (вид збоку).

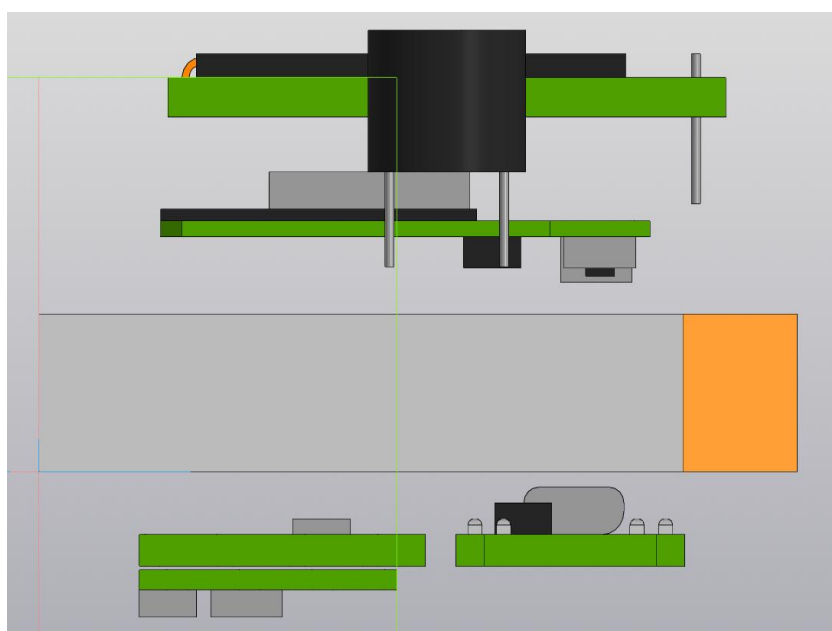


Рисунок 3.18 – Попередня компоновка компонентів апаратної частини

Опираючись на отримане розміщення була проведена робота зі створення механічної частини носимого пристрою – корпусу та кришки.

Корпус виконувався з товщиною стінки 2,5 мм для забезпечення необхідної міцності при експлуатації. Головною метою було створення ергономічної конструкції з мінімальними розмірами, що призводить до зменшення сировини для виготовлення цієї деталі, а отже зменшує вагу пристрою. Дизайн відступив на другий план, оскільки йде розробка прототипу пристрою, а не готовий виріб для масового використання. Після задовільного

забезпечення функціональної частини, був створений суб'єктивний зовнішній вигляд приладу. Корпус з технічними прямокутними поверхнями для розміщення горизонтальних компонентів та поглибленням для датчику пульсу зображено на рисунку 3.19.

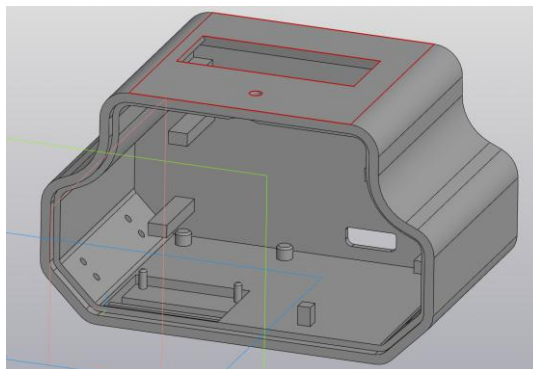


Рисунок 3.19 – Корпус носимого пристрою

Дерево побудови для корпусу зображено на рисунку 3.20.

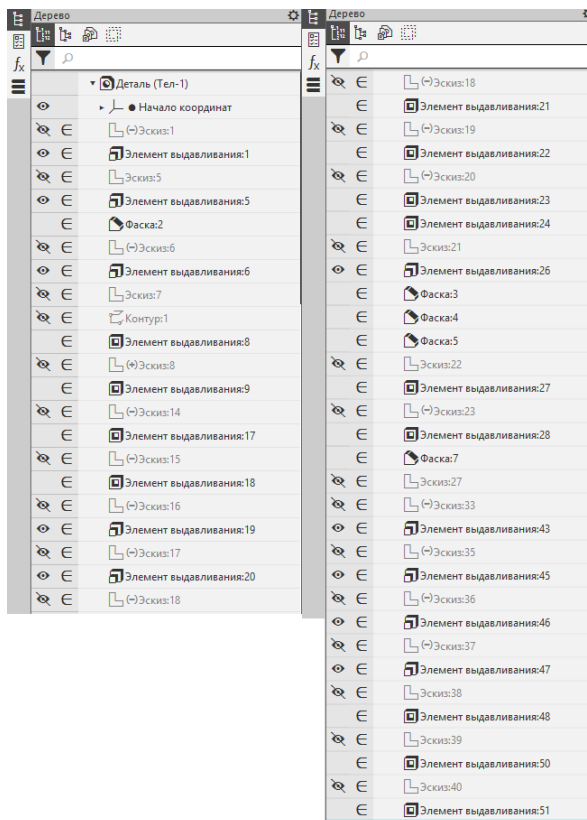


Рисунок 3.20 – Дерево побудови корпусу

При розміщенні всіх компонентів апаратної частини, включно з зарядним пристроєм у відповідній частині корпусу, було отримане відповідне 3D складання, яку зображено на рисунку 3.21.

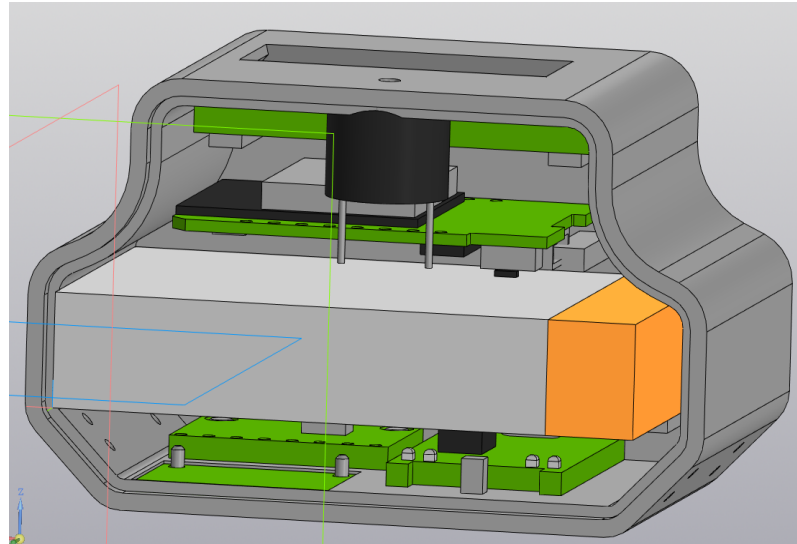


Рисунок 3.21 – 3D складання корпусу з електронною частиною

Для двосторонньої фіксації всіх компонентів була створена 3D модель кришки з відповідними технічними поверхнями для розміщення модулів. Деталь має поверхню стику, що була виконана за допомогою зміщення контуру та наступного вирізання подібної поверхні до поверхні на корпусі. Це було виконано для того щоб відмовитися від різьбового типу з'єднання, оскільки для приладу з тонкостінним корпусом, різьбовий тип з'єднання буде виступати у ролі концентраторів напруги в критичних точках, що призведе до розтріскування матеріалу або виламування частин на етапі складання. Модель кришки з деревом побудови зображено на рисунку 3.22.

Останнім компонентом для завершення механічної частини є кріплення для браслету. Воно виконано у вигляді паралельних поверхонь до технологічних уклонів корпусу з метою полегшення виготовлення корпусу та можливістю незалежної системи закріплення. Кріпиться до корпусу за

допомогою різьбового з'єднання та має скруглені поверхні, що слугують опорою для закріплення ремінця. Твердотільна модель кріплення зображена на рисунку 3.23 та його дерево побудови на рисунку 3.24.

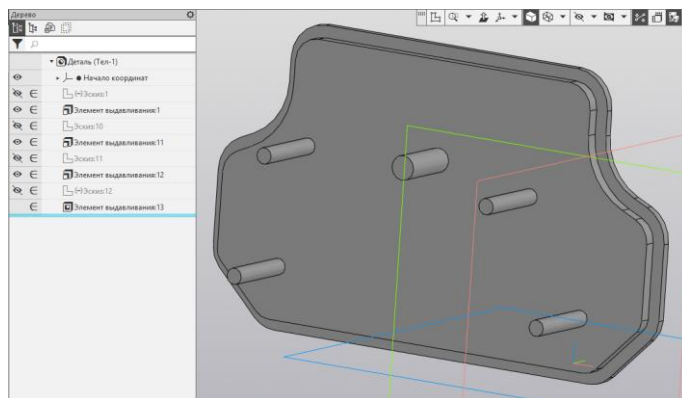


Рисунок 3.22 – Модель кришки з деревом побудови

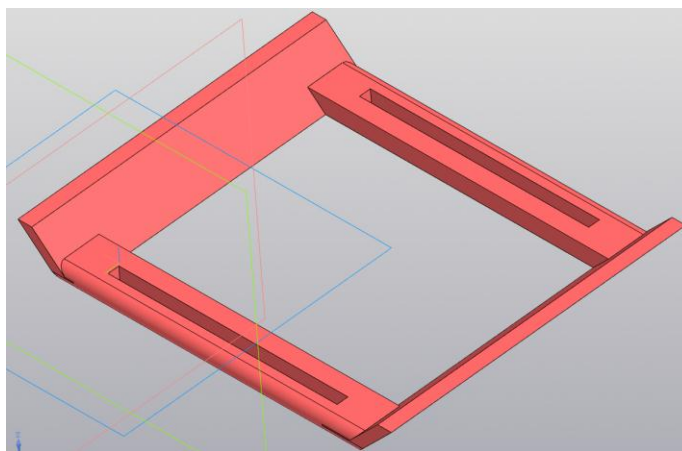


Рисунок 3.23 – Твердотільна модель кріплення для ремінця

Для більш зручного використання слід використовувати текстильний гнучкий ремінець, що не буде надто тиснути на руку, перешкоджаючи нормальному кровообігу, але який буде забезпечувати надійне закріплення з вільним доступом до регулювання та можливістю заміни у подальшому на інше, т.к. ця частина пристрою буде найбільш підлягати зносу через тертя та постійний контакт зі шкірою.

На рисунку 3.25 зображений приклад ремінця для використання [57].

Остаточна компоновка носимого пристрою (без ремінця, оскільки його модель не створювалась) зображена на рисунку 3.26. Модель показана з боку отвору для зарядки, а також зверху видно встановлений екран у відповідній для нього площині. На рисунку 3.27 зображено дерево структурної побудови для 3D складання.

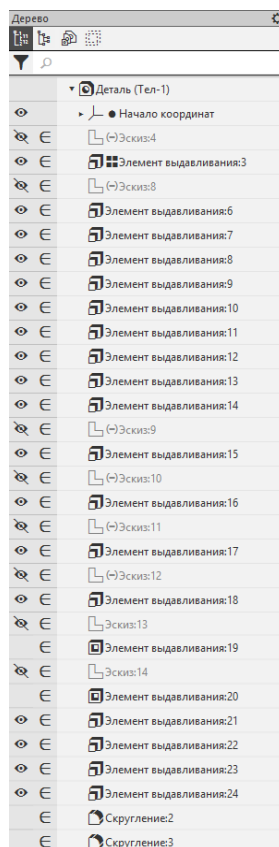


Рисунок 3.24 – Дерево побудови кріплення



Рисунок 3.25 – Приклад ремінця для закріплення носимого пристрою на руці [57]

За результатами проведеної роботи було створено всі необхідні моделі для проєктування остаточної компоновки моделі та проєктування механічної частини зокрема. Файли моделі корпусу, кріплення та кришки в подальшому використовуються як вхідні дані для виготовлення прототипу за допомогою 3D друку.

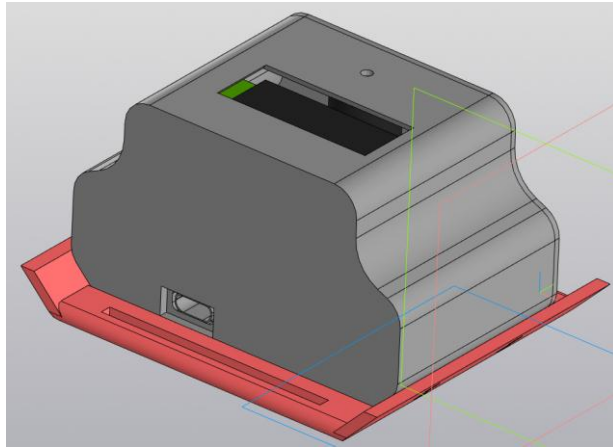


Рисунок 3.26 – Остаточна компоновка механічної частини носимого пристрою

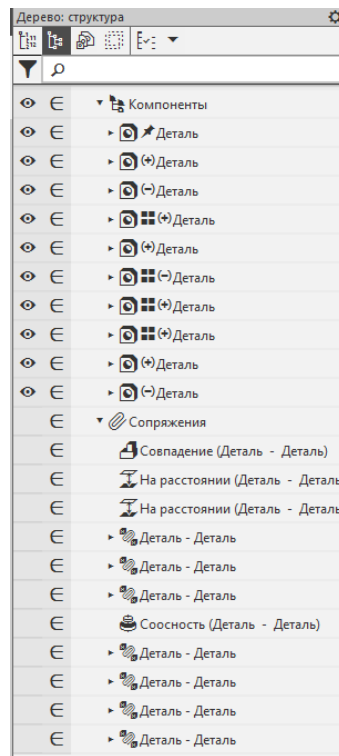


Рисунок 3.27 – Дерево структурної побудови механічної частини носимого пристрою

3.3.4 Виготовлення фізичного прототипу

На основі отриманих на попередньому етапі 3D моделей за допомогою CAD системи КОМПАС-3D V18.1.15 були отримані файли формату STL (.stl), що використовуються для друку на 3D принтері.

3D принтер - пристрій, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D моделлю. В якості 3D принтеру для друкування механічної частини приладу використовувався 3D принтер Leapfrog Creatr HS (High speed) [58] виробництва Нідерландів, що зображений на рисунку 3.28. До переваг слід віднести високий рівень підтримки та велику базу користувачів з наявністю великої кількості матеріалів для тонкого налаштування, а також стійку конструкцію з алюмінієвої рами, надійну апаратну частину, що забезпечує дуже високу точність виготовлених деталей.

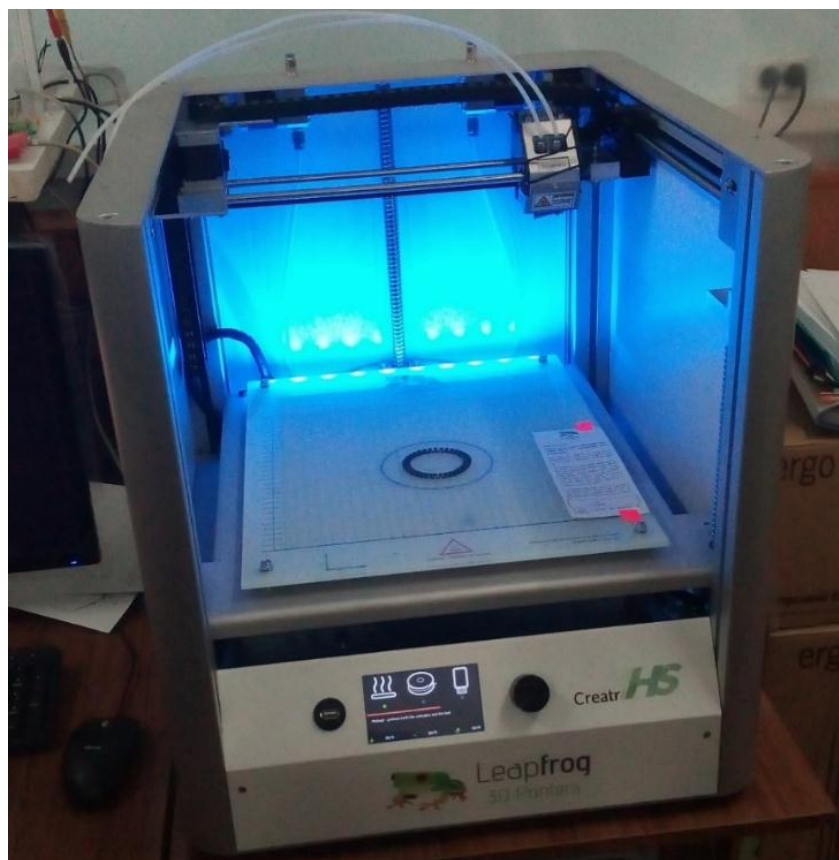


Рисунок 3.28 – 3D-принтер Leapfrog Creatr HS

У таблиці 3.5 наведено основні характеристики використаного обладнання для друку механічної частини проєктованого пристрою.

В якості програмного забезпечення для друку в комплект поставки до принтеру включена програма Simplify 3D.

Таблиця 3.5 – Основні характеристики Leapfrog Creatr HS

Характеристика	Значення	Характеристика	Значення
Друк одним екструдером, см	29x27x18	Діаметр використовуваної нитки, мм	1.75
Друк двома екструдерами, см	29x24x18	Діаметр сопла, мм	0.35
Максимальний об'єм друку, л	14.1	Товщина слою, мм	0.02-0.35
Точність позиціонування	XY: 16.9 мікрон Z: 20 мікрон	Споживана потужність, Вт	221
Друк в автономному режимі	За допомогою LCD дисплею і USB флешки	Температура екструдера, °C	180 – 275
Швидкість друку	30-300 мм/с	Температура підігріву столу, °C	50 – 95
Швидкість переміщення	30-400 мм/с	Габарити принтеру, см	60x50x50

Після отримання STL файлів їх необхідно завантажити до програми та провести налаштування, що буде забезпечувати достатню якість друку, а саме – точність та шорсткості поверхні. В якості матеріалу використовувався ABS пластик, що стійкий до багатьох несприятливих умов експлуатації як волого-, масло- та кислотостійкість. Також він не є токсичним і має низьку вартість.

З огляду на специфіку форми та матеріалу проводився підбір оптимальних параметрів для друку. У результаті чого було визначено технологічні параметри, що зображені на рисунках 3.29-3.36.

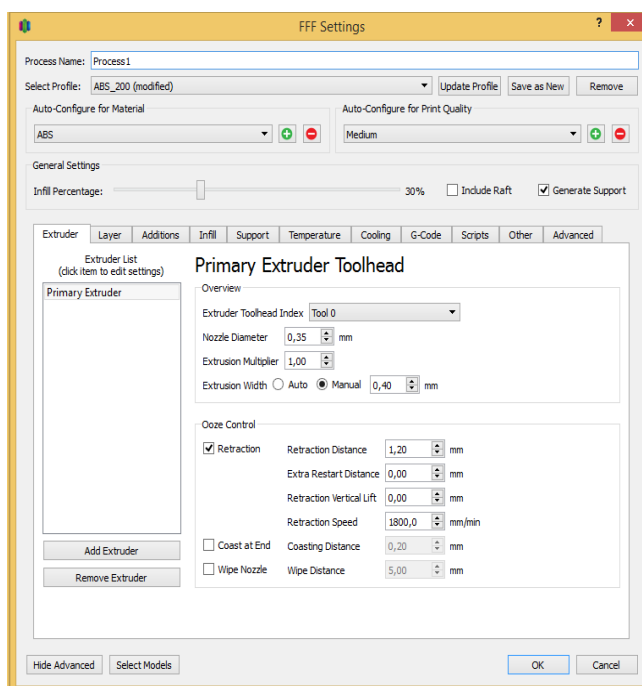


Рисунок 3.29 – Параметри налаштування для екструдеру

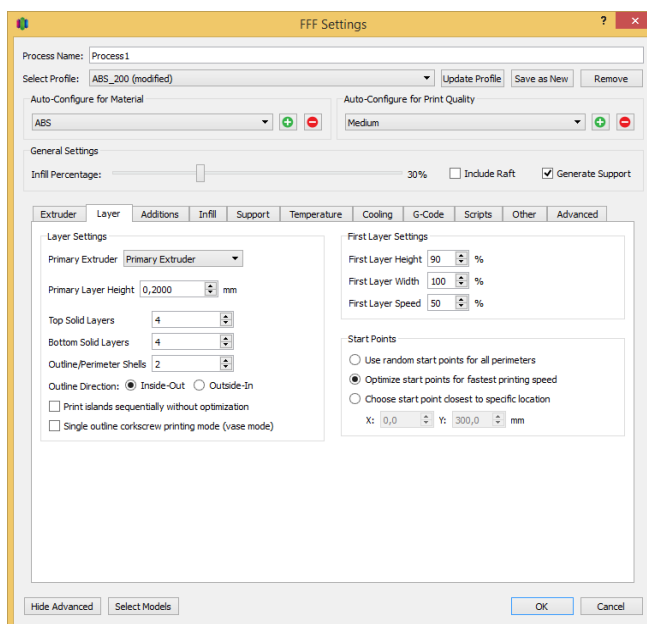


Рисунок 3.30 – Параметри налаштування для шару

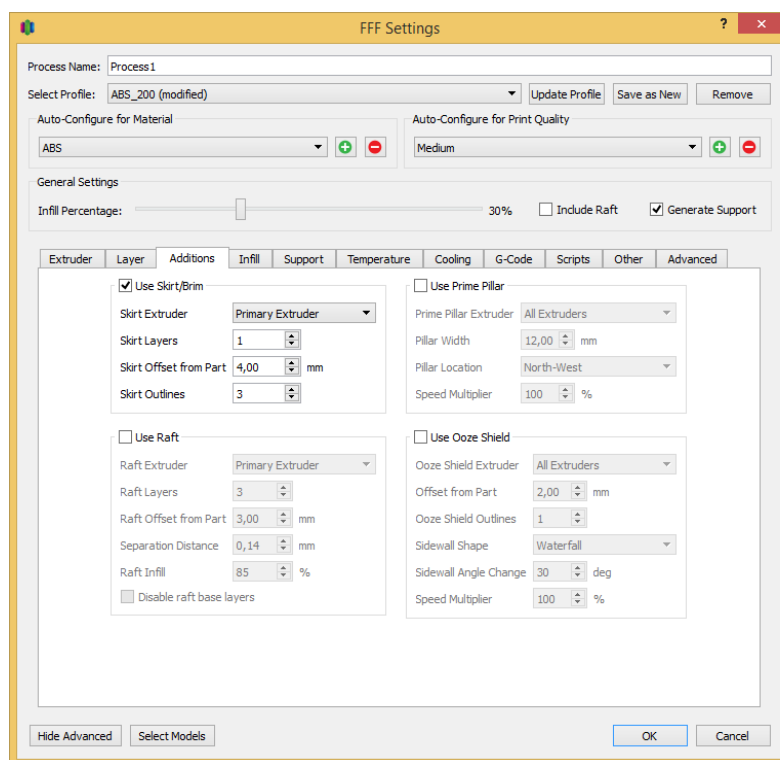


Рисунок 3.31 – Параметри налаштування для домішок

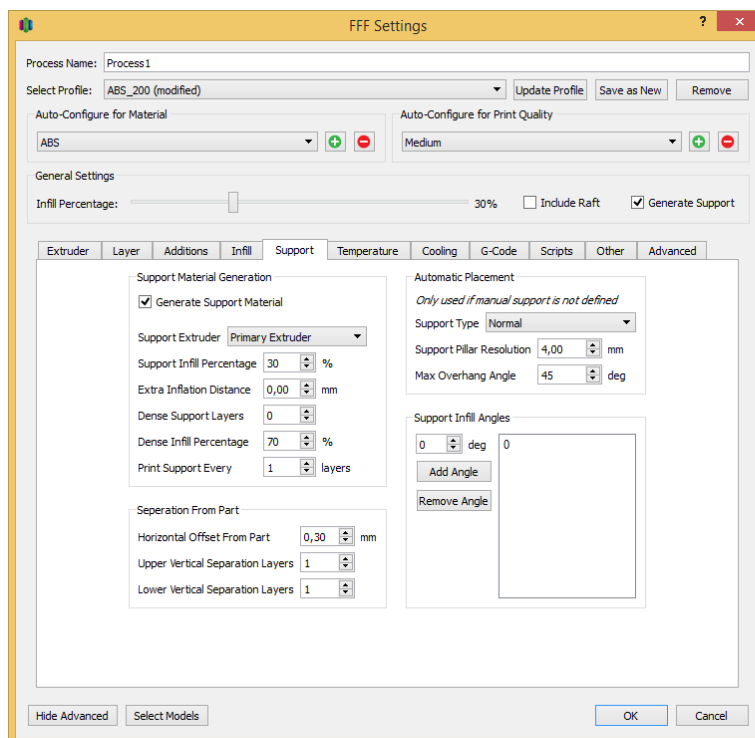


Рисунок 3.32 – Параметри налаштування для підтримок

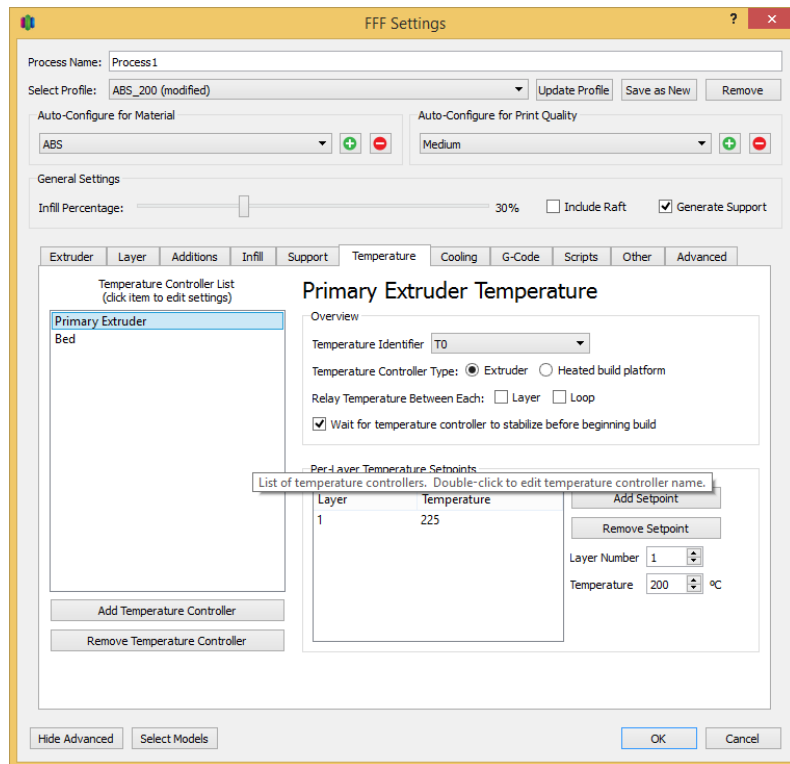


Рисунок 3.33 – Параметри налаштування температури екструдеру

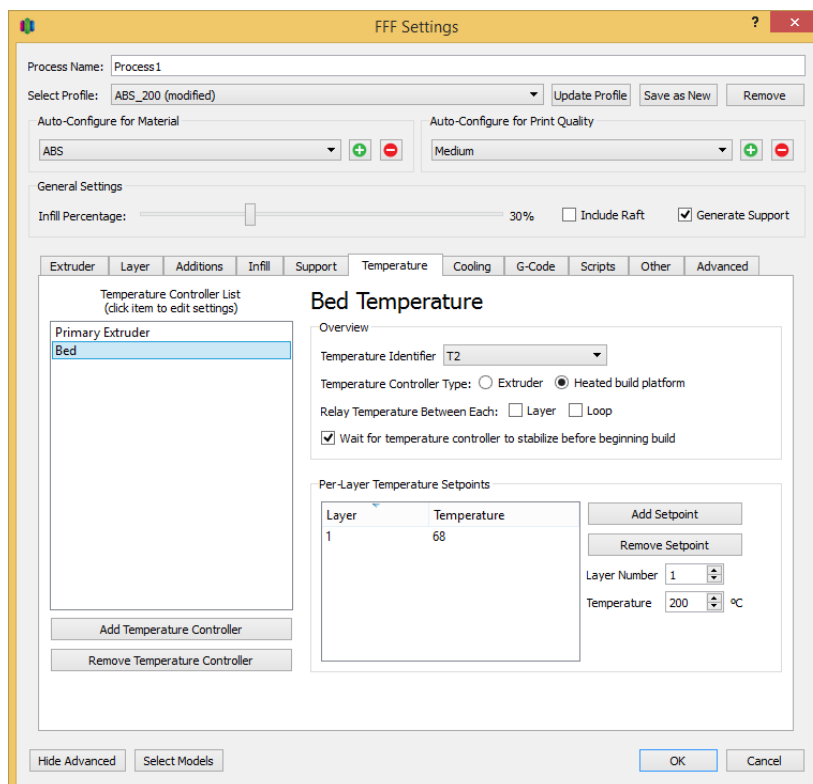


Рисунок 3.34 – Параметри налаштування температури столу

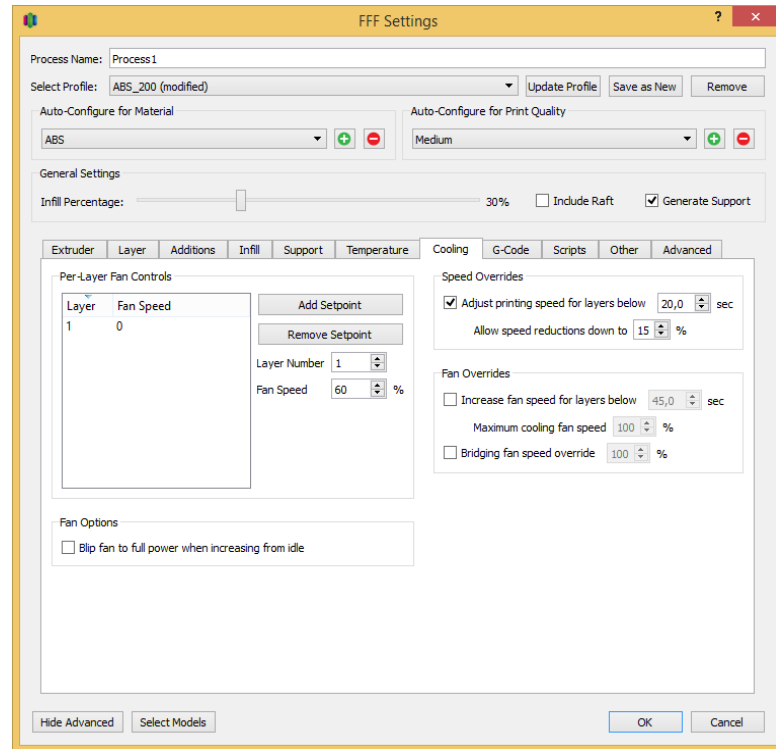


Рисунок 3.35 – Параметри налаштування охолодження

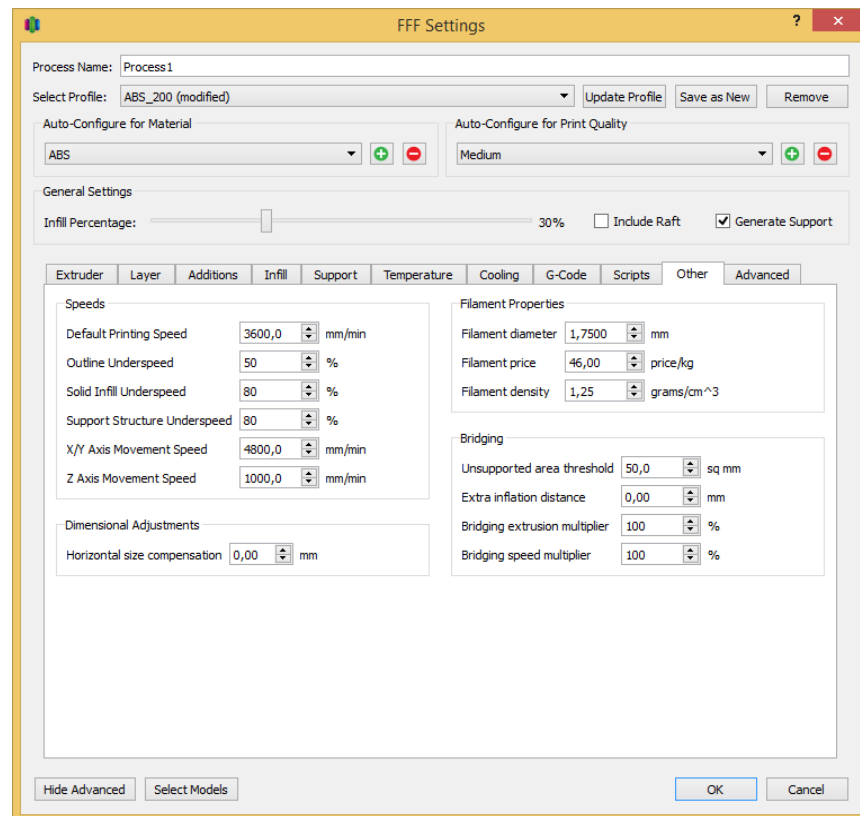


Рисунок 3.36 – Параметри налаштування швидкості друку

В результаті проведеного підбору параметрів було створено фізичні прототипи деталей механічної частини проєктованого носимого пристрою, а саме – корпус, кришку та кріплення. Корпус і кришка зображені на рисунку 3.37 з попередньою компоновкою неповної апаратної частини всередині.



Рисунок 3.37 – Роздруковані частини фізичного прототипу проєктованого браслету

3.4 Розробка програмного забезпечення

Створення проєкту на Arduino виконується у 3 етапи: написання коду, відлагодження та прошивка. У результаті було створено програмний код для апаратної частини пристрою, який було завантажено в якості прошивки. У подальшому для оновлення коду та завантаження додаткового функціоналу може бути реалізовано можливість віддаленого оновлення за допомогою завантажень нових версій програмного коду через Wi-Fi мережу.

Для написання, відлагодження та завантаження прошивок необхідно було завантажити й встановити Arduino Integrated Development Environment (IDE) – крос-платформений додаток, написаний за допомогою мов

програмування С та С++, що використовується для написання та завантаження програмного коду на Arduino-сумісні плати [59]. Являє собою сучасне повнофункціональне середовище розробки з сучасним інтерфейсом, мульти-панеллю IDE з інтегрованим представленням файлової системи, та призначене для розробки великих багатофайлових проєктів на основі репозиторію (інтеграція з Git) [60]. Інтерфейс середовища розробки зображено на рис. 3.38.

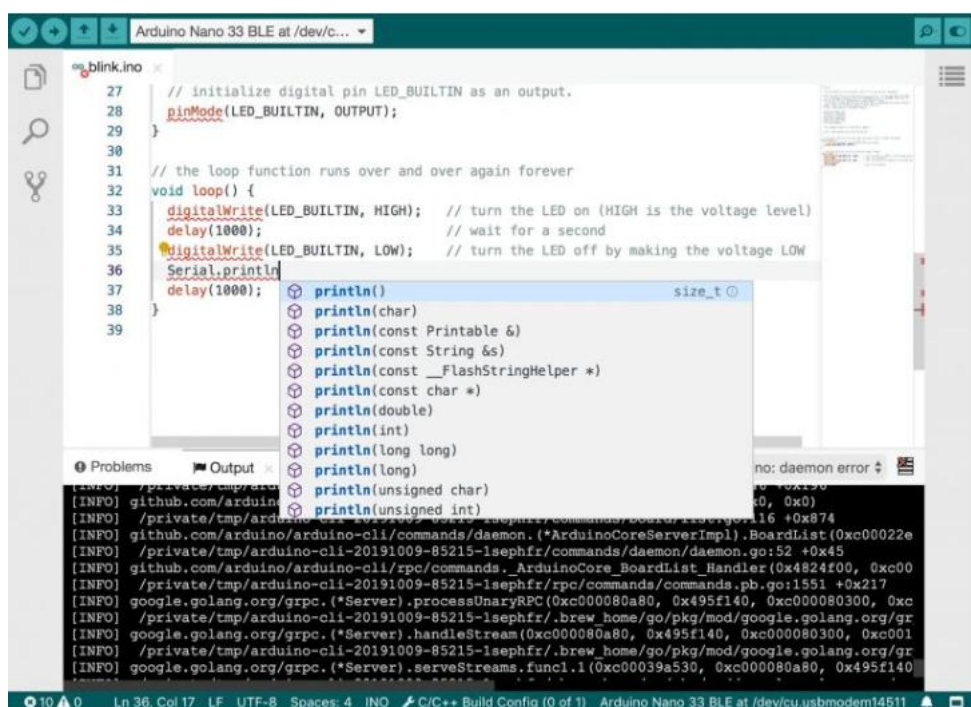


Рисунок 3.38 – Інтерфейс Arduino IDE

Коли вже є плата і на комп'ютері встановлене середовище для розробки можна створювати скетчі (прошивки). В якості мови програмування Arduino використовується спрощена версія мови С++ з предвизначеними функціями. Як і в інших С-подібних мовах програмування, є ряд правил для написання коду. Наприклад: після кожної інструкції необхідно ставити знак крапки з комою; перед оголошенням функції необхідно вказати тип даних, що повертається функцією або void якщо функція не повертає значення; так само

необхідно вказувати тип даних перед оголошенням змінної; коментарі позначаються: `«//»` рядковий і `«/ *»` блоковий `«* /»`.

Всі прошивки Arduino повинні мати мінімум дві функції: `setup ( )` і `loop ( )`. Функція `setup ( )` виконується лише в самому початку і лише один раз відразу після включення або перезавантаження пристрою. Зазвичай, в цій функції декларують режими пінів, відкривають необхідні протоколи зв'язку і налаштовують під'єднанні бібліотеки. Функція `loop ( )` виконується після функції `setup ( )`. Ця функція є замкнутою, а тому буде виконуватись циклічно.

Алгоритм функціонування системи моніторингу об'єднує ряд етапів:

- ініціалізація змінних з адресами датчиків, що під'єднані до шини даних I2C;
- ініціалізація OLED дисплею для виводу інформації;
- оголошення змінних для виводу параметрів на екран;
- ініціалізація та старт використання шини I2C на швидкості 400kHz;
- старт використання дисплею,
- зчитування даних з датчиків та передача даних від датчиків на сервер.

На початку необхідно визначити змінні для розміру масиву обчислюваних даних датчику пульсу - `RATE_SIZE`; для кількості зафіксованих ударів пульсу - `rateSpot`; час з останнього удару - `lastBeat`; кількість ударів у хвилину - `beatsPerMinute`; середнє значення пульсу - `beatAvg`, JSON запит для серверу - `jsonResult`, а також задати параметри за замовчуванням для необхідних змінних. У кожному циклі відбувається безперервне зчитування даних з датчиків. Всі дані зберігаються у окремих змінних. Одночасно при визначенні всіх даних формується JSON запит до серверу для збереження та подальшої обробки даних.

Схему алгоритму роботи підпрограми визначення пульсу представлено на рисунку 3.39. Фрагменти тексту програми наведено у додатку А. Використовуються коментарі для більшості рядків коду щодо пояснення виконання тієї чи іншої команди або змінної.

Створений код для апаратної платформи ESP8266 займає 18% пам'яті.
Змінні займають 27% пам'яті пристрою.

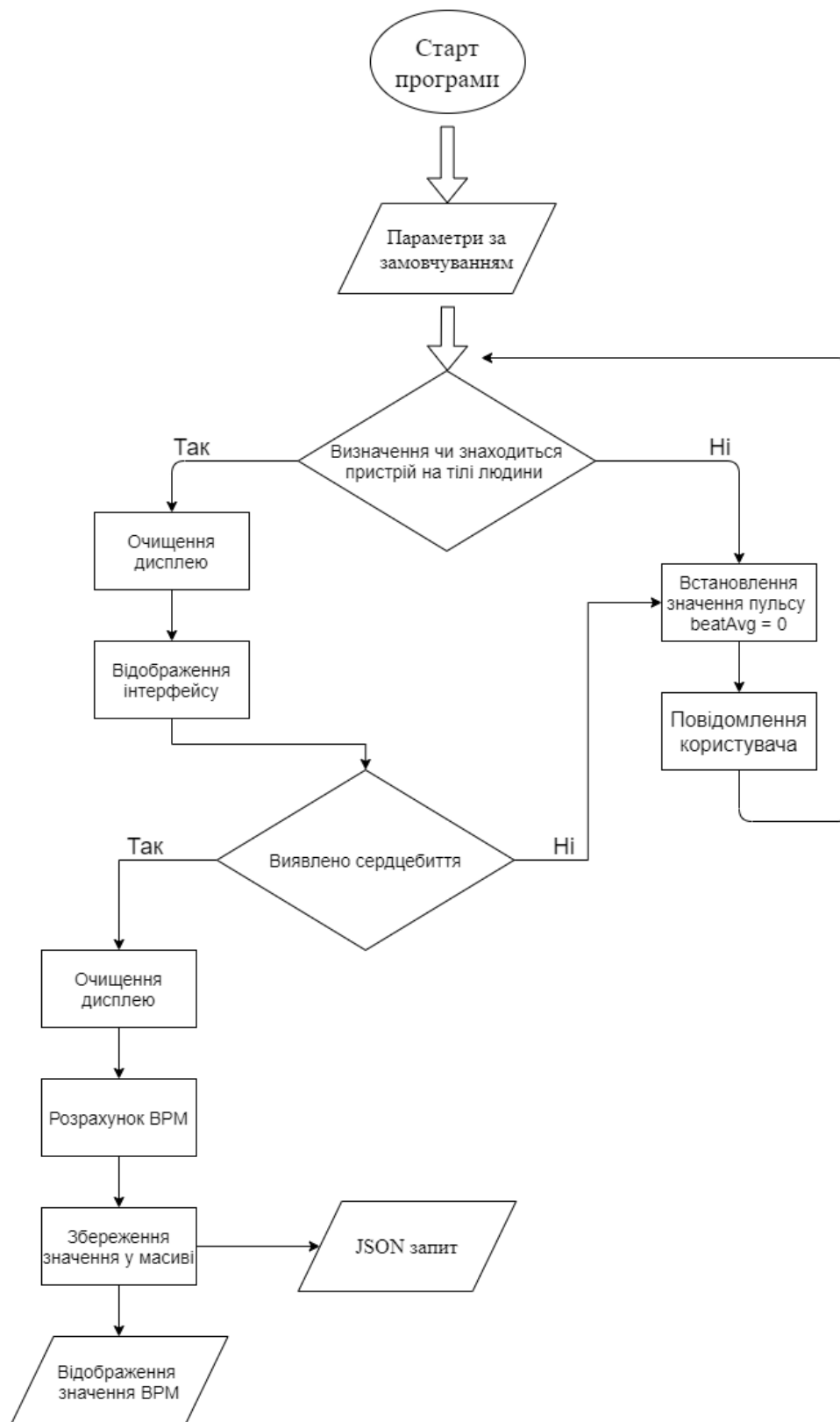
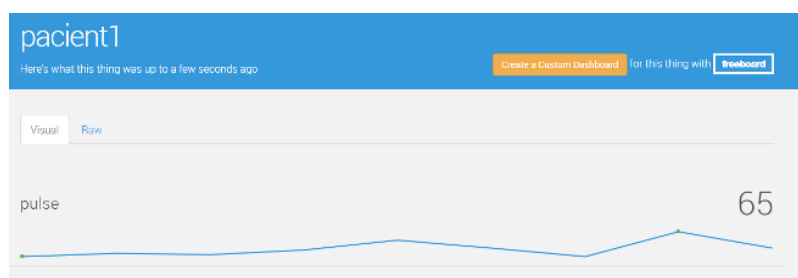


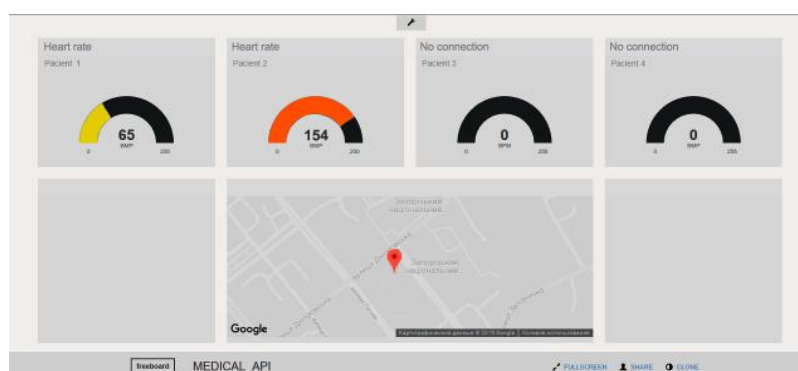
Рисунок 3.39 – Схема алгоритму підпрограми вимірювання пульсу

Для вирішення задачі візуалізації та збереження інформації можуть бути використані сучасні хмарні сервіси [61]. В якості такого сервісу можна рекомендувати безкоштовний сервіс Freeboard.io, що побудований на безпечній, високопродуктивній хмарній системі корпоративного класу. Він дозволяє зручно та просто створювати інтерактивні інформаційні панелі та візуалізації в реальному часі за допомогою інтуїтивного інтерфейсу [62].

а



б



в

Рисунок 3.40 - Форма реєстрації пацієнта (а), форма графіка пульса (б) та форма-монітор лікаря (в)

3.5 Висновки до розділу

В даному розділі, відповідно до мети роботи, виконано розробку архітектури системи моніторингу; структурної схеми носимого пристрою; аналіз та вибір апаратної частини для забезпечення необхідного функціоналу носимого пристрою (отримана вартість комплекту компонентів 22,6\$); проєктування конструкції носимого пристрою на основі сучасної САПР; дослідження особливостей технології 3D друкування для виготовлення конструкції прототипу; розробку програмного забезпечення для носимого пристрою.

В результаті, на основі Wi-Fi модулю WeMos D1 mini на чіпі ESP8266 було створено прототип носимого пристрою, що може використовуватись для контролю фізичного стану людини у відділеннях екстреної допомоги.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Планування розробки програмного продукту

Програмне забезпечення парамедичного браслету дозволяє більш ефективно ніж існуючі аналоги зчитувати показники фізичного стану людини (пульс, насиченість крові киснем, положення тіла) та передавати їх в інформаційну систему відділення екстреної допомоги.

Очікувана кількість покупців 300 на рік. Планується продавати даний продукт за 900 гривень.

Весь комплекс розробки програмного продукту можна розділити на етапи. Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт. У розробці беруть участь програміст протягом 3 місяців і аналітик протягом 1 місяця.

Тривалість робіт визначають за формулою (4.1):

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;
 Q – трудомісткість, людино-днів;
 R – кількість виконавців, чол.

Отримана інформація зведена в таблицю 4.1.

За даними таблиці 4.1 складається зведений стрічковий графік планування розробки програмного продукту, який представляє собою таблицю, в першому стовпці якої розміщені в порядку збільшення термінів початку виконання всі види роботи, а навпроти – календарний період їх виконання. Даний графік наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Характеристика робіт при розробці програми.

Найменування роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	люд. – дні	% до підсумку		
1. Аналіз предметної області	10	11	Аналітик, програміст	5
2. Визначення вимог до програмного продукту	10	11	Аналітик, програміст	5
3. Проектування структури програми	5	11	Програміст	5
4. Розробка схеми функціонування програми	5	11	Програміст	5
5. Створення програмного коду	35	34	Програміст	35
6. Тестування та відлагодження програмного продукту	10	11	Аналітик, програміст	5
7. Складання документації	10	11	Аналітик, програміст	5
Всього	85	100		65

Таблиця 4.2 – Зведений стрічковий графік планування розробки програмного продукту

Найменування робіт	Календарний період, дні												
	07.09-	14.09	21.09	28.09	05.10	12.10	19.10	26.10	02.11	09.11	16.11	23.11	30.11
1. Аналіз ПЗ													
2. Визначення вимог до програмного продукту													
3. Проєктування структури програми													
4. Розробка схеми функціонування програми													
5. Створення програмного коду													
6. Тестування та налагодження програмного продукту													
7. Складання програмної документації													



- аналітик



- програміст

4.2 Визначення витрат на розробку програми

Для визначення витрат на розробку програми складається калькуляція кошторисної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;

- єдиний соціальний внесок;
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали та комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.

Розрахунок основної заробітної плати. Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих в розробці програми. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, люд.	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн.
Програміст	1	10000	3	30000
Аналітик	1	12000	1	12000
Всього	2			42000

Розрахунок додаткової заробітної плати. Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати працівників і розраховують за формулою (4.2):

$$ЗП_{\text{дод}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,1. \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в дану формулу, отримуємо:

$$ЗП_{\text{дод}} = 42000 \cdot 0,1 = 4200 \text{ грн.}$$

Відрахування на єдиний соціальний внесок. Єдиний соціальний внесок становить 22% формула (4.3).

$$OT = (3\Pi_{\text{осн}} + 3\Pi_{\text{дод}}) \cdot 0,22 \quad (4.3)$$

$$OT = (42000 + 4200) \cdot 0,22 = 10164 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на матеріали. Використовується три найменування матеріалів:

- USB-накопичувач – 200 грн.;
- картридж - 150 грн.;
- папір 100 грн. (1 упаковка).

Витрати на матеріали розраховують за формулою (4.4):

$$M = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{\text{ТЗ}}) - C_{i0} \cdot N_{i0}) \quad (4.4)$$

де M – витрати на матеріали, покупні напівфабрикати і комплектуючі вироби, грн.;

$K_{\text{ТЗ}}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати;

C_i – ціна i -го найменування матеріалу, напівфабрикату і комплектуючого, грн.;

N_i – потреба в i -му матеріалі, напівфабрикаті і комплектуючому;

C_{i0} – вартість зворотних відходів i -го найменування матеріалу;

N_{i0} – кількість зворотних відходів i -го найменування;

N – кількість найменувань матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих.

$$Ц_{i0} = 0; N_{i0} = 0; K_{т.з} = 0,05;$$

$$M = (1 + 0,05) \cdot (200 + 150 + 100) = 472,5 \text{ грн.}$$

Всього, витрати на матеріали складають 472,5 грн.

Витрати на спеціальне обладнання. У цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження нестандартного обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ для написання і налагодження програмних засобів. Таким чином необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість однієї машино-години роботи ПК, після множення якої на машинний час пішло на написання і налагодження програми отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні матеріали формула (4.5).

$$C_e = N_H \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зп} \cdot C_e \quad (4.5)$$

де N_H – номінальна потужність ЕОМ, кВт;

Φ_{ef} – річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ, машино-год.;

$K_{зч}$ – середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зп}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e – ціна одного кВт/год. електроенергії, грн.(кВт/год.).

Номінальна потужність ЕОМ - 0,4 кВт. Ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 520 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,11 грн.

Отримуємо:

$$C_e = 0,4 \cdot 520 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 2,11 = 236,99 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою (4.6):

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_p \cdot (1 + K_{отч}) \cdot \frac{t_{обсл}}{\Phi_{эф.обсл}} \quad (4.6)$$

де $\Phi ЗП_p$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{отч}$ коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;

$t_{обсл}$ час протягом року, необхідний на технічне обслуговування ЕОМ, год/рік;

$\Phi_{эф.обсл}$ – річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, год/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 7446 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 89352 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 0,5 годині на місяць, що в рік становить 6 годин.

Отримуємо:

$$ЗП_{обсл} = 89352 \cdot (1 + 0,22) \cdot 6 / 1750 = 373,75 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання і становить 300 грн.

Стаття «Інші витрати» приймається рівною п'яти відсоткам від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання.

Сума всіх попередніх статей дорівнює 3994,12 грн., 5% від суми становлять 199,71 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію устаткування

Найменування статей витрат	Сумма, грн.
Амортизація обладнання	10000
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	236,99
Заробітна плата основна і додаткова обслуговуючих робітників з відрахуваннями на соціальні заходи	373,75
Поточний ремонт обладнання	300,00
Інші витрати	199,71
Всього	11110,45

Інші прямі витрати формула (4.7), (4.8). В інші прямі витрати включаються витрати які використовуються при розробці системи комерційне програмне забезпечення:

- дольове ПЗ, що використовується постійно при роботі ПК (Windows 10 Home) – 960 грн. без ПДВ;
- цільове ПЗ, що купується для даного конкретного завдання 4345 грн. без ПДВ.

$$S_{\text{доль.ПЗ}} = \frac{C_{\text{ПЗWindows}} \cdot T_{\text{КТС}}}{\Phi_{\text{еф.КТС}} \cdot T_{\text{с.ПЗ}}}, \quad (4.7)$$

$$S_{\text{ціл.ПЗ}} = C_{\text{ПЗVS}} \quad (4.8)$$

де $S_{\text{дол.ПЗ}}$ – витрати на дольове ПЗ при написанні розробляється в розрахунку ПЗ, грн.;

$S_{\text{ціль.ПЗ}}$ – витрати на цільове ПЗ, що купується виключно для написання розробляється в розрахунку ПЗ, грн.;

$C_{\text{ПЗ Windows}}$ – ціна ПЗ Windows (без ПДВ), грн;

$C_{\text{ПЗ}}$ – ціна цільового ПЗ (без ПДВ), грн;

$T_{\text{КТС}}$ – машинний час КТС, необхідний користувачеві для розробки системи, машино-год./рік;

$\Phi_{\text{еф.КТС}}$ – річний ефективний фонд часу роботи КТС, машино-год./рік;

$T_{\text{с.ПЗ}}$ – термін служби дольового ПЗ, років.

$$S_{\text{дол.ПЗ}} = \frac{960 \cdot 400}{1800 \cdot 5} = 42,67 \text{ грн.}$$

$$S_{\Sigma} = 42,67 + 4345 = 4387,67 \text{ грн.}$$

Розрахунок накладних витрат. До накладних витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості розробки програми непрямым шляхом – у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати становлять 40% до основної заробітної плати розробників, що складає 16800 грн.

Результати визначення витрат на розробку програми у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт та ціни програми наведені в таблиці 4.5.

4.3 Розрахунок економічної ефективності програмного продукту

Очікувана кількість покупців 300 на рік. Планується продавати даний продукт за 900 гривень. Отже, надходження від продажів складуть 270000 гривень. З урахуванням ризику 50% ця величина скоротиться до 135000 гривень, що все ж більше ціни розробки.

Таким чином, навіть з урахуванням ризику, розробка даного програмного забезпечення є економічно доцільною.

Таблиця 4.5 – Калькуляція кошторисної вартості робіт з розробки програми та ціна програми

№	Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1	Основна заробітна плата	42000, 00	47,11
2	Додаткова заробітна плата	4200,00	4,7
3	Відрахування на соцстрах та ін.	10164	11,4
4	Матеріали і комплектуючі	472,50	0,53
5	Витрати на спец. обладнання	11110,45	12,46
6	Інші прямі витрати	4387,67	4,9
7	Накладні витрати	16800,00	18,8
8	Всього (S_{rp})	89134,62	100,00
	Прибуток	180865,38	
9	Всього	359134,62	-

Термін окупності визначають за формулою (4.9):

$$T = \frac{K}{\Pi} \quad (4.7)$$

Для розрахунку терміну окупності, нам знадобляться такі показники, як сума інвестицій необхідна для реалізації проекту – K , та сума очікуваного прибутку – Π .

$$T = \frac{89134,62}{270000,00} = 0,33$$

З урахуванням ризику 50%:

$$T_2 = \frac{89134,62}{135000} = 0,66$$

Отже при сприятливих умовах строк окупності буде дорівнювати 4м місяцям. За несприятливих умов -8місяців.

4.4 Висновок

В результаті виконання економіко - організаційної частини дипломного проекту, було визначено вартість виробництва програмного забезпечення парамедичного браслету, яка становить - 89134,62 грн, при вартості програмного продукту у 900 грн та кількості копій -300шт, можна з впевненістю заявляти про доцільність виробництва даного програмного продукту, адже витрати на виробництво значно менше, ніж можливий прибуток від реалізації, навіть з урахуванням ризику у 50% можна розраховувати на окупність програмного засобу за 8 календарних місяці.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

5.1 Аналіз потенційних небезпек

У ході виконання дипломного проекту проводиться дослідження та практична реалізація прототипу парамедичного браслету.

При роботі в конструкторському бюро розробника постійно або періодично діють наступні небезпечні і шкідливі чинники.

Підвищені статичні навантаження користувачів ПК, які пов'язані з тривалим перебуванням в однотипній позі та повторних однотипних рухів кистями рук. Порушення правил ергономіки може призвести до ураження рухового апарату та тунельного синдрому.

Незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нерационального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату.

Небезпеки, пов'язані електростатичним випромінюванням, що може призвести до загальних захворювань.

Можливість враження електричним струмом внаслідок порушень правил електробезпеки або несправності електроприладів, що може призвести до електричних травм або летального випадку.

Незадовільні параметри мікроклімату в приміщенні внаслідок не ефективної роботи апаратури для опалювання та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань

Перевищення рівнів вібрації застарілого обладнання, що може призвести до сильної втоми, незначних змін функцій організму (порушення серцевої діяльності, нервової системи).

Недостатнє освітлення робочої зони внаслідок несправності освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору.

Можливість загорянь внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що може призвести до пожеж.

Неправильні дії персоналу під час НС внаслідок відсутності управління та паніки, що може призвести до травм та летальних. наслідків.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, відповідно до ПУЕ «Правила улаштування електроустановок» [1], приміщення конструкторського бюро відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Заходи по забезпеченню електробезпеки розроблено у відповідності до ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» [2]. За способом захисту людини від ураження електричним струмом – відеотермінали, ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ відповідають першому класу захисту та заземлені відповідно до ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила устро́йства електроустановок. электрооборудование специальных установок [3].

Для забезпечення електробезпеки у конструкторському бюро використано наступні технічні заходи та засоби електробезпеки:

- недоступність до струмопровідних частин;
- захисне відключення;
- ізоляція струмопровідних частин;
- захисне заземлення;
- блокування, занулення за ПУЕ-2017;
- захисне розділення електричних мереж

ДСТУ ІЕС 61140:2005 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (ІЕС 61140:2001, IDT)» [4];

- компенсація ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів тощо.

Електромережа у приміщенні конструкторського бюро вмикається / вимикається за допомогою пускової апаратури.

У приміщенні передбачено використання тільки трьохполюсних розеток, один з полюсів яких підключено до шини захисного заземлення. З цим полюсом електрично з'єднані металеві частини обчислювальних машин, які можуть виявитися під напругою.

Кожний блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має сітьовий фільтр. Конденсатори цього фільтру призначені для шунтування високочастотних поміх живильної мережі на землю через дріт «земля» трьохполюсної вилки та розетки. Цей дріт може бути з'єднаний з заземлюючим контуром і з «нулем» силової мережі. При відсутності гальванічного зв'язку заземлюючого дроту з шиною захисного заземлення, на корпусі електронного пристрою може з'явитися напруга порядку 110В, внаслідок поділення напруги мережі 220В конденсаторами сітьового фільтру, що працює у даному випадку як ємнісний роздільник напруги [5].

Відповідно до ПУЕ опір захисного заземлення у приміщенні конструкторському бюро не перевищує 4 Ом [1].

Електрична ізоляція забезпечується конструкціями пристроїв і способами їхнього підключення. Відповідно до ПУЕ в електроустановках до 1000В мінімальне значення опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проведенням і землею становить не менш 0,5МОм [1].

Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. Причому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, особливо якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

В якості заходів захисту запропоновано:

- кілька разів на протязі робочого дня мити руки і обличчя водою, а після закінчення роботи вимити руки й лице з милом;
- щоденно протирати екран монітора, клавіатуру, пристрій «миша» та, якщо є, приєднаний фільтр антистатичною серветкою;
- щоденно в приміщенні з ПК проводити вологе прибирання;
- установити нейтралізатори статичної електрики;
- підтримувати у приміщенні вологість повітря зазначену в нормативних документах;
- користувачу ПК бажано носити одяг з природних (льняних) волокон, в т.ч. і шкарпетки.

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

У приміщенні конструкторського бюро, згідно ДБН В.2.5-28:2018 Природне та штучне освітлення[6] передбачене природне та штучне освітлення. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримано наступних умов:

- температура навколишнього повітря не нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах не менше, ніж 90% від номінальної.

Розрахуємо систему загального рівномірного штучного освітлення в конструкторському бюро.

Приймаємо розміри приміщення довжина $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, висота $H = 3,2$ м. Висота робочої поверхні складає $h = 0,7$ м. Коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення: $\rho_c=50\%$; $\rho_{ст}=30\%$; $\rho_{п}=10\%$.

Розряд зорової роботи –ІІІ в.

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» рівень нормованого загального освітлення в приміщенні становить $E_n = 200$ лк.

Обираємо світильник типу ЛВП, призначений для приміщень висотою до 4,5 м. IP=54 – ступінь захисту світильника від пилу та бризок води, $[L/h] = 1,3$ – числове значення коефіцієнта світильника.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Приймаємо $k_z = 1,4$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює $z = 1,1$.

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L/h]} = \frac{6}{(3,2 - 0,7) * 1,3} \approx 2 \text{ряди}$$

Визначимо максимальноприпустиму відстань між рядами світильників

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p},$$

де B – ширина приміщення, N_p – кількість рядів.

$$L_{\max} = \quad = 3 \text{м}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}$$

$$h = \quad = 2,3 \text{ м}$$

Знайдемо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h$$

де H – висота приміщення;

h_p – висота робочої поверхні;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

$$h_3 = 3,2 - 0,7 - 2,3 = 0,2 \text{ м.}$$

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

$$i = \quad = 1,4$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення ($\rho_c, \rho_{ст}, \rho_{п}$) та індексу приміщення. В нашому випадку $\eta = 46\%$.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta},$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, *лм*;

E_n – нормоване значення освітленості, *лк*;

S – площа освітлюваної поверхні, m^2 ;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 7 \cdot 1}{0.9} = 28122 \text{ лм}$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = AB/L_{\max}^2$$

$$N^* = \frac{10 \cdot 10}{1.5^2} = 4,6 \approx 6 \text{ шт.}$$

Кратне число рядів $N_p = 2$.

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{д}}, \text{ лм}$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, *лм*;

$N_{\text{д}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, *шт*;

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n$$

n – кількість ламп у світильнику (в ЛВП світильнику знаходиться 2 лампи).

$$N_{\text{л}} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ шт.}$$

Тоді, $\Phi_{\text{л}} = \quad = 2344 \text{ лм.}$

Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і знайдемо коефіцієнт m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи $\Phi_{\text{л}}^*$ та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи $\Phi_{\text{л}}$):

Обираємо лампу ЛД із $P_{\text{л}} = 40 \text{ Вт}$, $\Phi_{\text{л}} = 2500 \text{ лм.}$

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}}$$

$$m = \quad = 0,94$$

Визначаємо оптимальну (фактичну) кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \cdot m$$

$$N = 6 \cdot 0,94 \approx 6 \text{ шт.}$$

Фактична кількість ламп у приміщенні:

$$N_{\text{фл}} = N_{\text{л}} \cdot n$$

$$N_{\text{фл}} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ шт.}$$

Для загального рівномірного освітлення офісного приміщення використовуємо 6 світильників типу ЛВП, розташованих по 3 у кожному ряді.

Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} N_{\text{фл}} \eta}{S k_z z} = \frac{2500}{42} = 213 \text{лк}$$

Тобто виконується умова $E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_{\text{н}}$ лк.

Метеорологічні умови в конструкторському бюро- температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [7].

Роботи в конструкторському бюро, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с
- у теплий період року: температура 23-25°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Рівні вібрації під час виконання робіт з ЕОМ у конструкторському бюро не перевищують допустимих значень, визначених у ДСН 3.3.6-039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»[8].

Нормування технологічної вібрації (загальної і локальної) відбувається:

- в залежності від її спрямування у кожній октавній смузі (1,6-1000 Гц);
- з середньоквадратичними віброшвидкостями $(1,4-0,28) \cdot 10^{-2}$ м/с; логарифмічними рівнями віброшвидкості (115-109 дБ);
- віброприскоренням $(85-0,1)$ м/с².

Забезпечення ергономічності робочого місця виконано згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [9], де зазначена заборона зашарашеності робочого місця та дотримання нормативів щодо площини робочого місця на одного працівника. Також вимоги до організації робочого місця зазначені в ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги»[10].

Оснащення конструкторського бюро виконано раціонально з точки зору ергономіки. Зручне та раціональне розташування робочих місць визначається відстань між ними. Згідно з вимогами, щодо виробничих приміщень площа одного робочого місця $\geq 6 \text{ м}^2$, а об'єм $\geq 20 \text{ м}^3$.

Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплеїв, клавіатури, принтерів) і документів.

Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ регулюється в межах 680...800 мм, а ширина і глибина - забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина - 800...1000 мм).

Робочий стіл має простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

Робочий стілець працівника відповідно до п. 4.8 ДСанПіН 3.3.2.007-98 є підйомно-поворотним, з можливістю регулювання висоти та куту нахилу сидіння та спинки. Регулювання за кожним із параметрів здійснюється незалежно, легко і надійно фіксуватися. Шаг регулювання елементів стільця становить: для лінійних розмірів - 15...20 мм, для кутових - $2...5^\circ$.

Висота спинки стільця становить (300 ± 20) мм, ширина - не менше ніж 380 мм, радіус кривизни горизонтальної площини - 400 мм. Кут нахилу

спинки регулюється в межах $1...30^{\circ}$ від вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння регулюється в межах 260...400 мм [1].

Для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години. Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, який може бути наслідком хронічної травми, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерву прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк.

Для запобігання тунельного синдрому потрібно в першу чергу правильно підібрати робоче місце та встановити комп'ютер. Потрібно мати спеціальний стіл та стілець, рекомендується мати можливість регулювати висоту робочої поверхні від 655 до 740 мм. Важливим є простір для ніг користувача: висота – не менше 600мм, ширина – не менше 600 мм, глибина на рівні коліна – не менше 400 мм, на рівні підлоги – не менше 600 мм. Також рекомендується мати на комп'ютерному робочому місці спеціальний стілець, який: зможе змінювати свою висоту, має можливість регулювати уклін опори для спини (від 0 до 200) , може повертатися, має опір для ліктів. Не погано також мати підставку для ніг. Висоту стільця треба підбирати таким чином, щоб забезпечити перпендикулярність лінії зору користувача екрану монітора.

Щоб тунельний синдром не турбував, потрібно дотримуватися кількох правил організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);
- наявність у клавіатури підставки для рук;
- наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому

(спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);

– наявність стільця або крісла з підлокітниками.

При роботі з мишкою і клавіатурою також слід дотримуватися певних правил. Коли ви набираєте текст, рука повинна бути зігнута в лікті під прямим кутом (90 град), а при роботі з мишкою стежте, щоб кисть була прямою і лежала на столі якнайдалі від краю. До речі, час роботи з комп'ютером слід обмежити до дійсно необхідного.

Щоб попередити тунельний синдром потрібно робити спеціальні вправи для кистей. Комплекс вправ потрібно повторювати приблизно кожні 45 хвилин, тривалість однієї вправи – 1-2 хв[5].

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Клас пожежі для офісних приміщень встановлюється згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [11]– пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) – і визначається як клас А.

Категорія офісного приміщення за вибухопожежною небезпекою визначається згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [12] – і визначається як пожежонебезпечність адміністративних приміщень.

Офісне приміщення обладнано автоматичними пожежними сповіщувачами, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я, наприклад, сповіщувачі моделей ДТЛ, ІТМ.

Для відводу надлишкового тепла від ЕОМ задіяні кондиціонування повітря і система вентиляції, що обладнана пристроєм, який забезпечує

автоматичне відключення вентиляції, в разі виникнення пожежі.

Напруга до електроустановок подається по кабельним мережам, що прокладені під технологічною з'ємною підлогою з рівнем вогнестійкості не менше 0,5 год.

До первинних засобів тушіння пожеж, призначених для ліквідації невеликих загорянь використовуються пожежні стволи, внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники. Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»[11] при захисті від пожежі приміщення з ПЕОМ використовуються вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4, ВВК-2 або аерозольні водопінні вогнегасники ВВПА-400.

Згідно з НАПББ.03.001-2004 приміщення з ПЕОМ необхідно оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку один вогнегасник ВВК-1.4 або ВВК-3.5 або ВВПА-400 на три ПЕОМ, але не менше ніж один вогнегасник, перелічених типів на приміщення.

У випадку пожежі передбачено шляхи евакуації робітників проходи, проїзди, евакуаційні виходи. Евакуаційні виходи розташовано розосереджено у кількості не менше двох на споруду.

Коридори та проходи, що призначені для евакуації, мають як можна меншу довжину та мінімальну кількість поворотів. На усій протяжності проходу відсутні пороги або проміжні ступені.

Важливу роль у забезпеченні безпечного виходу людей грає протидимовий захист евакуаційних ходів. У будинках висотою до 9 поверхів незадимлюваність сходових кліток на час евакуації досягається їхньою ізоляцією від підвалів, горищ і поверхів. Для цього влаштовані відособлені входи в підвали, вхід на сходову клітку з поверхів здійснюють через тамбур - шлюз із підпором повітря, відокремлюють горища від сходових кліток перекриттями з негорючих матеріалів[10].

5.4.2 Заходи з цивільного захисту

Вплив електромагнітного імпульсу на елементи виробництва.

Ядерні вибухи в атмосфері й більш високих шарах призводять до виникнення потужних електромагнітних полів з довжиною хвиль від 1 до 1000 м і більше. Ці поля через короткочасне існування називають електромагнітним імпульсом (ЕМІ).

При наземному і низькому повітряному вибуху вражаюча дія ЕМІ спостерігається на відстані кількох кілометрів від центру вибуху. Під час ядерного вибуху на висотах від 3 до 25 км утворюється симетричне джерело генерації, але радіус поширення ЕМІ залишається обмеженим внаслідок сильного поглинання гамма-випромінювання в щільних шарах атмосфери.

Уражаюча дія ЕМІ обумовлена виникненням напруги і струмів у провідниках різної довжини, розміщених у повітрі, землі.

Уражаюча дія ЕМІ в приземній області й на землі пов'язана з акумулюванням його енергії довгими металевими предметами, рамними і каркасними конструкціями, антенами, лініями електропередачі та зв'язку, в них виникають сильні наведені струми, які руйнують підключене електронне та інше чутливе устаткування. У районі дії ЕМІ безпосередній контакт людини зі струмопровідними предметами небезпечний.

ЕМІ уражає радіоелектронну і радіотехнічну апаратуру. В провідниках індукуються високі напруги і струми, які можуть призвести до постійних або тимчасових пошкоджень ізоляції кабелів, відключення реле і переривників, пошкодження елементів зв'язку, магнітних запам'ятовуючих пристроїв у ЕОМ і системах передачі даних тощо. Найбільш уразливими елементами обладнання є напівпровідникові прилади — транзистори, діоди, кремневі випрямлячі, інтегруючі ланцюги, цифрові процесори, управляючі й контрольні прилади. Чутливі до пошкодження ЕМІ транзистори звукової частоти, перемикаючі транзистори, інтегруючі ланцюги та ін.

Найбільш стійкі до ЕМІ вакуумні електронні прилади, які виходять із ладу при енергії 1 Дж. Величина енергії ЕМІ залежить від ширини періоду частот антенних систем.

Більшість систем зв'язку працюють у діапазоні частот від середніх до ультрависоких і будуть пошкодженими залежно від робочого періоду частот. Радіолокаційні системи менше пошкоджуються від ЕМІ, тому що вони працюють у періоді частот, де щільність енергії ЕМІ невелика. Іскріння, яке виникає під впливом високого електричного поля ЕМІ, може спричинити спалахування парів бензину та інших налив у сховищах.

Якщо ядерний вибух стався поблизу лінії електропостачання, зв'язку великої довжини, то наведені в них напруги можуть поширюватися по проводах на багато кілометрів, пошкоджувати апаратуру й уражати людей, які знаходяться на безпечній відстані відносно інших уражаючих факторів ядерного вибуху.

Ідеальною захистом від ЕМВ стало б повне покриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном. Але використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязбірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків.

Захист від електромагнітного імпульсу досягається екрануванням ліній енергопостачання й управління, а також апаратури. Усі зовнішні лінії повинні бути двопровідними, добре ізольованими від землі, з малоінерційними розрядниками й плавкими вставками.

Більш складнішою технічно проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичним. В даний час в якості засобів захисту кабельних входів найбільш широко використовуються

фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металоокісні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри досить ефективні для захисту від ЕМП малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційність і в основному придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшивці літака, кожусі апаратури і обмотці кабелю.

Металоокісні варистори, являють собою напівпровідникові прилади, різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Однак, при застосуванні цих приладів в якості засобів захисту від ЕМВ слід враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при неодноразовому впливі навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодів, дія яких заснована на різкій зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги певної порогової величини. Крім того на відміну від варисторів характеристики зенеровських діодів після багаторазових впливів високих напруг і перемикаць режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМП кабельних введів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вбудованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності та індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масо-габаритних характеристик пристрою захисту.

Клітка Фарадея – пристрій для екранування апаратури від зовнішніх електромагнітних полів. Зазвичай являє собою заземлену клітку, виконану з

добре провідного матеріалу. Принцип роботи клітки Фарадея дуже простий - при попаданні замкнутої електропровідної оболонки в електричне поле вільні електрони оболонки починають рухатися під впливом цього поля. В результаті протилежні сторони клітини набувають заряди, поле яких компенсує зовнішнє поле. Здатність клітини Фарадея екранувати електромагнітне випромінювання визначається:

- товщиною матеріалу, з якого вона виготовлена;
- глибиною поверхневого ефекту;
- співвідношенням розмірів прорізів в ній з довжиною хвилі зовнішнього випромінювання.

Для екранування кабелю необхідно створити клітину Фарадея, з поверхнею, яка добре проводить по всій довжині екрануємих провідників. Для того щоб клітина Фарадея ефективно працювала, розмір осередку сітки повинен бути значно менше довжини хвилі випромінювання, захист від якого потрібно забезпечити. Принцип дії пристрою заснований на перерозподілі електронів в провіднику під впливом електромагнітного поля[13].

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було досліджено існуючі носимі пристрої для контролю показників фізичного стану людини. Доведено актуальність розробки бюджетного носимого пристрою для використання парамедиками у відділеннях екстреної допомоги для моніторингу пульсу, насиченості крові киснем та визначення положення пацієнта.

Для досягнення мети роботи було досліджено особливості реалізації сучасних бездротових технологій, систем та мереж. Показано переваги Wi-Fi технології та Mesh мережі при створенні інформаційної системи медичного закладу.

Розроблено архітектуру системи моніторингу, структуру прототипу носимого пристрою, яка включає в себе апаратну та програмну частини. Проведено аналіз та вибір компонентів апаратного забезпечення. В середовищі КОМПАС створено 3D моделі всіх компонентів та загальне складання носимого пристрою. З використанням технологій 3D друкування виготовлено фізичний прототип механічної частини парамедичного браслету. Виконано розробку програмного забезпечення для носимого пристрою, зібрано та протестовано функціонування прототипу.

Таким чином, в результаті виконаної роботи було створено прототип браслету для контролю за фізичним станом людини, що здатний відстежувати пульс та переміщення користувача та формувати JSON - запит для подальшої відправки на сервер даних моніторингу.

Слід зазначити, що залишається багато можливостей для модифікації пристрою. Наприклад, можливо замінити використані компоненти на наступні: акселерометр та гіроскоп MPU-6050 модуль 6DOF; інтегрований датчик MAX30102; модуль ESP32 з OLED-дисплеєм та відсіком 18650; акумулятор Liitokala NCR18650B Protected 3400мАч з захистом. Навіть при заміні компонентів, загальна вартість складе біля 30 \$.

Наукове значення роботи полягає в тому, що отримав подальший розвиток спосіб організації інформаційної системи збору та передачі медичних даних з використанням гібридного підходу основі множини точок доступу та Mesh-мережі, а також розробленого носимого пристрою.

Практичне значення роботи полягає в тому, що реалізація запропонованого гібридного підходу забезпечить більше охоплення, ніж існуючі аналоги, надійну передачу даних через запропоновану організацію мережі, з метою подальшого зберігання, візуалізації та обробки для прийняття рішень щодо надання екстреної допомоги або подальшого лікування.

В подальшому, можливо реалізувати інтелектуальний аналіз отриманих моніторингових даних для підтримки прийняття рішень медичного персоналу в екстрених ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Алейникова Т.В. Вербальность сердечного ритма [Текст] / Т.В. Алейникова // Проблемы здоровья и экологии. – 2012. - № 1 (31). - С. 17-23.
2. Класифікація кардіомоніторів [Електрон. ресурс]. Режим доступу: http://reff.net.ua/46041-Klassifikaciya_kardiomonitovorov.html .
3. MIT technology Review, February, 2019. How we'll invent the future, by Bill Gates. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.technologyreview.com/lists/technologies/2019/>.
4. The 6 best heart rate monitors of 2019 [Electronic resource]. Access mode: <https://www.verywellfit.com/best-heart-rate-monitor-4157709>.
5. 7 of the best fitness trackers for monitoring heart rate [Electronic resource]. Access mode: <https://mashable.com/roundup/best-fitness-trackers-smart-watch-heart-rate/>.
6. Apple Watch Series 6 delivers breakthrough wellness and fitness capabilities [Electronic resource]. Access mode: <https://www.apple.com/newsroom/2020/09/apple-watch-series-6-delivers-breakthrough-wellness-and-fitness-capabilities/>.
7. Норма пульсу людини по віковим групам таблиця у чоловіків і жінок [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://meduk.net.ua/archives/10472>.
8. Національний медичний дослідницький інститут ім. ак. Е. Н. Мешалкіна [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://meshalkin.ru/treadmill-test>.
9. Пульсоксиметрия [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F>.

10. Контроль температуры тела [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.microlife.ru/magazine/management>
11. Mardonova, M. Review of wearable device technology and its applications to the mining industry / M. Mardonova, Y. Choi // *Energies*. – 2018. - №11(3):547. - 14 p.
12. Выбираем фитнес-браслет: топ 15 лучших моделей [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ismartwatch.ru/3471-top-fitness-brasletov-2017-god#x1f947-xiaomi-mi-band-4>.
13. Пульсометры: особенности, преимущества и польза + как выбрать пульсометр и цены [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://goodlooker.ru/pulsometry.html>.
14. Что такое умные часы и зачем они нужны – 5 полезных функций [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.moyo.ua/news/chto-takoe-umnye-chasy-i-zachem-oni-nuzhny-5-poleznykh-funktsiy.html>.
15. Фитнес браслеты: их особенности, функции и сравнение со smart часами [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://bookz.ru/authors/vasilii-potapenko/nizkoe-d_754/1-nizkoe-d_754.html.
16. Фитнес трекер для бега adidas Running [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.runtastic.android&hl=ru>.
17. Каталог фітнес-трекерів [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://hotline.ua/mobile/umnye-chasy-smartwatch/559993/>.
18. Mike, Как сделать фитнес-трекер на Arduino? [Электрон. ресурс] / Mike. Режим доступа: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/346-kak-sdelat-fitness-treker-na-arduino.html.
19. Фітнес браслет UWatch Micro K Dark Blue [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://hotline.ua/mobile-umnye-chasy-smartwatch/uwatch-micro-k-dark-blue/>.
20. Dementyev, A. Power consumption analysis of Bluetooth Low Energy,

ZigBee and ANT sensor nodes in a cyclic sleep scenario / A. Dementyev, S. Hodges, S. Taylor, J. Smith // International Wireless Symposium, Beijing, 14–18 April 2013 : proceedings. – Los Alamitos: IEEE, 2013. – P. 1-4.

21. Макаренко, А.С. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee // А.С. Макаренко, А.А. Парфенова, С.Б. Могильний// Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування.- 2010.- №41.- С. 171-181.

22. Wi-Fi [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.

23. RTLS [Електрон. ресурс]. Режим доступу: <https://buywifi.com.ua/product/other-product/wifi-rtls/>.

24. IEEE Standarts Association [Electronic resource]. Access mode: <https://www.webcitation.org/6HcipkMwJ?url=http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf>.

25. Mareco, D. 5 Reasons your hospital needs Wi-Fi RTLS [Electronic resource] / D. Mareco. Access mode: https://www.securedgenetworks.com/blog/5-Reasons-Your-Hospital-Needs-Wi-Fi-RTLS?utm_source=feedburner&utm_medium=twitter&utm_campaign=Feed:+volweb/WRsA+%28News+from+openspectrum.info%29.

26. RFID для медицинских центров [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://scanberry.ru/news/rfid-dlya-meditsinskogo-oborudovaniya/>

27. Применения RFID [Электрон. ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_RFID#%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BD%D0%B0

28. Delaney J. R. The Best Wi-Fi Mesh Network Systems for 2020 [Electronic resource] / J. R. Delaney. – Access mode: <https://uk.pcmag.com/wireless-networking/87178/the-best-wi-fi-mesh-network-systems>

29. Mesh VS Wi-fi: что выбрать для беспроводной связи? [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/463733/>

30. Wi-Fi Mesh системы – что это и почему будущее за Mesh сетями? [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://help-wifi.com/poleznoe-i-interesnoe/wi-fi-mesh-sistemy-chto-eto-i-pochemu-budushhee-za-mesh-setyami/>

31. MQTT Brokers/Servers and Cloud Hosting Guide [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-hosting-brokers-and-servers>

32. PainlessMesh Technical Documentation. [Electronic resource]. Access mode: <https://gitlab.com/painlessMesh/painlessMesh/wikis/home>

33. The features of wireless technologies application for Smart House systems // [A. Tulenkov, A. Parkhomenko, A. Sokolyanskii et al.] // 4th IEEE International Symposium on Wireless Systems within the IEEE International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Lviv, Ukraine, 20-21 September 2018: proceedings.- Los Alamitos: IEEE, 2018. – P. 1–6.

34. ESP8266 [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP8266>.

35. Миниатюрный NodeMcu ESP8266 от WeMos D1 mini [Электрон. ресурс]. Режим доступа: http://geekmatic.in.ua/nodemcu_esp8266_wemos.

36. ESP32 [Электрон. ресурс] Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ESP32>.

37. Микроконтроллер ESP32 и проекты Arduino [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/esp32-arduino-raspinovka-arduino-ide/>.

38. KY-039 – ИК датчик измерения пульса [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://volti.ru/shop/finger-measuring-heartbeat-sensor/>.

39. CJMCU-pulse sensor pulse heart rate sensor pulse sensor module rate detecting monitoring [Electronic resource]. Access mode: <https://www.thanksbuyer.com/cjmcu-pulse-sensor-pulse-heart-rate-sensor-pulse-sensor-module-rate-detecting-monitoring-35055>.

40. 3D print. LeapFrog HS (High Speed), [Електрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.3dprint.com.ua/leapfrog-hs>

41. Arduino IDE [Електрон. ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE

42. Arduino Software (IDE) [Electronic resource]. Access mode: <https://www.arduino.cc/en/guide/environment>

43. IoT analytics [Electronic resource]. Access mode: <http://iot-analytics.com/wp/wp-content/uploads/2016/01/White-paper-IoT-platforms-The-central-backbone-for-the-Internet-of-Things-Nov-2015-vfi5.pdf>.

44. Visualize the Internet of Things. [Electronic resource]. Access mode: <http://freeboard.io/>.

45. Правила улаштування електроустановок [Текст]. Міненерговугілля України, 2017. – 617с.

46. ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». Київ: Держспоживстандарт України, 2011. – 10 с.

47. ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила устро́йства електроустановок. електрооборудование специальных установок. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 21.06.2001 г. №272.

48. ДСТУ 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. Київ: Держспоживстандарт України 2015. – 35 с.

Додаток А

ФРАГМЕНТИ ТЕКСТУ ПРОГРАМИ

```
#include <Adafruit_GFX.h>           //OLED бібліотека
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Wire.h>
#include "MAX30105.h"               //MAX3010x бібліотека
#include "heartRate.h"              //Алгоритм розрахунку пульсу
#include <ArduinoJson.h>            //Бібліотека Json

//Адреси пристроїв, що під'єднанні до шини
//I2C device found at address 0x3C ! 0x57 ! 0x68 !

MAX30105 particleSensor;
const int MPU = 0x68;
int16_t AcX, AcY, AcZ, Tmp, GyX, GyY, GyZ;

const byte RATE_SIZE = 4;
byte rates[RATE_SIZE]; //Масив для зберігання пульсу
byte rateSpot = 0;
long lastBeat = 0; //Час, в який відбувся останній удар серця
float beatsPerMinute;
int beatAvg;
String jsonResult;

StaticJsonBuffer<200> jsonBuffer;

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED ширина дисплея, в пікселях
#define SCREEN_HEIGHT 32 // OLED висота відображення, в пікселях
#define OLED_RESET      -1

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET); //Оголошення відображуваного імені (дисплея)

static const unsigned char PROGMEM logo2_bmp[] =
{ 0x03, 0xC0, 0xF0, 0x06, 0x71, 0x8C, 0x0C, 0x1B, 0x06, 0x18, 0x0E,
0x02, 0x10, 0x0C, 0x03, 0x10,           //Logo2 та Logo3 - це два bmp-
зображення, які відображаються на OLED, якщо вони викликаються
```

```

        0x04, 0x01, 0x10, 0x04, 0x01, 0x10, 0x40, 0x01, 0x10, 0x40, 0x01,
0x10, 0xC0, 0x03, 0x08, 0x88,
        0x02, 0x08, 0xB8, 0x04, 0xFF, 0x37, 0x08, 0x01, 0x30, 0x18, 0x01,
0x90, 0x30, 0x00, 0xC0, 0x60,
        0x00, 0x60, 0xC0, 0x00, 0x31, 0x80, 0x00, 0x1B, 0x00, 0x00, 0x0E,
0x00, 0x00, 0x04, 0x00,
    };

```

```

static const unsigned char PROGMEM logo3_bmp[] =
{ 0x01, 0xF0, 0x0F, 0x80, 0x06, 0x1C, 0x38, 0x60, 0x18, 0x06, 0x60,
0x18, 0x10, 0x01, 0x80, 0x08,
    0x20, 0x01, 0x80, 0x04, 0x40, 0x00, 0x00, 0x02, 0x40, 0x00, 0x00,
0x02, 0xC0, 0x00, 0x08, 0x03,
    0x80, 0x00, 0x08, 0x01, 0x80, 0x00, 0x18, 0x01, 0x80, 0x00, 0x1C,
0x01, 0x80, 0x00, 0x14, 0x00,
    0x80, 0x00, 0x14, 0x00, 0x80, 0x00, 0x14, 0x00, 0x40, 0x10, 0x12,
0x00, 0x40, 0x10, 0x12, 0x00,
    0x7E, 0x1F, 0x23, 0xFE, 0x03, 0x31, 0xA0, 0x04, 0x01, 0xA0, 0xA0,
0x0C, 0x00, 0xA0, 0xA0, 0x08,
    0x00, 0x60, 0xE0, 0x10, 0x00, 0x20, 0x60, 0x20, 0x06, 0x00, 0x40,
0x60, 0x03, 0x00, 0x40, 0xC0,
    0x01, 0x80, 0x01, 0x80, 0x00, 0xC0, 0x03, 0x00, 0x00, 0x60, 0x06,
0x00, 0x00, 0x30, 0x0C, 0x00,
    0x00, 0x08, 0x10, 0x00, 0x00, 0x06, 0x60, 0x00, 0x00, 0x03, 0xC0,
0x00, 0x00, 0x01, 0x80, 0x00
};

```

```

void setup() {
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //Запустіть OLED-дисплей
    display.display();
    delay(3000);
    // Ініціалізація сенсору
    particleSensor.begin(Wire, I2C_SPEED_FAST); //Використовувати I2C
порт за частотою 400kHz speed
    particleSensor.setup();
    particleSensor.setPulseAmplitudeRed(0x0A);
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x6B);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission(true);
}

```

```

    byte error, address;
    int nDevices;

}

void loop() {
    long irValue = particleSensor.getIR();           //Читання значення ІЧ
    //дозволить нам дізнатися, чи є контакт
    //Also detecting a heartbeat
    if (irValue > 7000) {                             //Якщо
        //виявлено контакт
        display.clearDisplay();
        //Очистить дисплей
        display.drawBitmap(5, 5, logo2_bmp, 24, 21, WHITE);           //Малює
        //першу картинку bmp (маленьке серце)
        display.setTextSize(2);                                     //Віля
        //нього відображається середній показник BPM, ви можете відображати BPM, якщо
        //хочете
        display.setTextColor(WHITE);
        display.setCursor(50, 0);
        display.println("BPM");
        display.setCursor(50, 18);
        display.println(beatAvg);
        display.display();

        if (checkForBeat(irValue) == true)               //Якщо
            //виявлено серцебиття
            {
                display.clearDisplay();                     //Очистить
                //дисплей
                display.drawBitmap(0, 0, logo3_bmp, 32, 32, WHITE);
                //Намалювати другу картинку (більшим серцем)
                display.setTextSize(2);
                //відображає середній показник BPM
                display.setTextColor(WHITE);
                display.setCursor(50, 0);
                display.println("BPM");
                display.setCursor(50, 18);
                display.println(beatAvg);
                display.display();
                tone(3, 1000);                               //Тональний
            }
        //зупинити на 100 мс
    }
}

```

```

        delay(100);
        noTone(3);
        //We sensed a beat!
        long delta = millis() - lastBeat;                                //Вимір
тривалості між двома ударами
        lastBeat = millis();

        beatsPerMinute = 60 / (delta / 1000.0);                          //Розрахунок
BPM

        if (beatsPerMinute < 255 && beatsPerMinute > 20)
//Для обчислення середнього значення ми накреслили деякі значення (4), а потім
зробимо деякі операції для обчислення середнього значення
        {
            rates[rateSpot++] = (byte)beatsPerMinute; //Збереження в масиві
            rateSpot %= RATE_SIZE;

            //Середнє кількість прочитаних значень
            beatAvg = 0;
            for (byte x = 0 ; x < RATE_SIZE ; x++)
                beatAvg += rates[x];
            beatAvg /= RATE_SIZE;
        }
    }

    if (irValue < 7000) {          //Якщо жодного контакту не виявлено,
повідомляємо про це користувачеві та встановлюємо середній показник BPM до 0,
або він буде збережений для наступного заходу
        beatAvg = 0;
        display.clearDisplay();
        display.setTextSize(1);
        display.setTextColor(WHITE);
        display.setCursor(30, 5);
        display.println("Please Place ");
        display.setCursor(30, 15);
        display.println("your finger ");
        display.display();
        noTone(3);
    }

    Wire.beginTransaction(MPU); //Початок роботи з гіроскопом

```

```

Wire.write(0x3B);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 12, true);
//Зчитування значень гіроскопу
AcX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
AcY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
AcZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();
//Зчитування значень акселерометру
GyX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
GyY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
GyZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();
//Формування Json Запиту
JsonObject & root = jsonBuffer.createObject ();
root ["AxX"] = AcX;
root ["AcY"] = AcY;
root ["AcZ"] = AcZ;
root ["GyX"] = GyX;
root ["GyY"] = GyY;
root ["GyZ"] = GyZ;
root ["beatAvg"] = beatAvg;
root.printTo(jsonResult);
//Виконня JSON запиту до серверу для зберігання даних
client.print("POST ");
client.print("/requestheart");
client.println(" HTTP/1.1");
client.print("Host: ");
client.println(192.168.1.112);
client.println("Connection:                                close\r\nContent-Type:
application/json");
client.print("Content-Length: ");
client.print(root.measureLength());
client.print("\r\n");
client.println();
root.printTo(client);
delay(100);
}

```