

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

Факультет біомедичної інженерії

Кафедра біомедичної інженерії

«На правах рукопису»

УДК 621.313.333

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»

зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

**на тему: «Розробка пристрою для моніторингу біомаркерів для
автоматизованої доставки ліків при ПТСР»**

Виконав:

студентка II курсу, групи ЗМ-31мп

Вінічук Анастасія Сергіївна

Керівник:

ас. кафедри ББЗЛ, PhD

Мельник Ганна Віталіївна

Рецензент:

рецензент професор ББЗЛ, д.п.н., доц.,

Сичов Сергій Олександрович

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

Студентка _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Факультет біомедичної інженерії

Кафедра біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма «Медична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІ

_____ Владислав ШЛИКОВ

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Вінічук Анастасії Сергіївні

1. Тема дисертації «Розробка пристрою для моніторингу біомаркерів для автоматизованої доставки ліків при ПТСР», науковий керівник дисертації Мельник Ганна Віталіївна, ас. кафедри ББЗЛ, PhD, затверджені наказом по університету від «11» листопада 2024 р. № 5025-с.

2. Термін подання студентом дисертації 12 грудня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження: пристрій для моніторингу біомаркерів для автоматизованої доставки ліків при ПТСР.

4. Предмет дослідження: компоненти системи доставки ліків, принципи їхньої інтеграції та алгоритми функціонування.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: глянути літературу з використання біосенсорів та автоматизованих систем доставки ліків, обрати необхідні компоненти пристрою, спроектувати електронну архітектуру в середовищі Fritzing, розробити алгоритм роботи з урахуванням безпеки та навчання порогових значень.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: електронна презентація виконана в Microsoft PowerPoint, знімки екрану результатів роботи.

7. Дата видачі завдання: 07 вересня 2024 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Теоретичні аспекти птср та технології моніторингу	Вересень 2022	Виконано
2	Вибір середовища проектування	Вересень 2022	Виконано
3	Підбір компонентів системи, включаючи біосенсиори та мікропомпу	Вересень 2022	Виконано
4	Технічні вимоги до пристрою для моніторингу	Жовтень 2024	Виконано
5	Розробка пристрою для моніторингу птср	Жовтень-листопад 2024	Виконано
6	Проектування безпеки пристрою	Жовтень-листопад 2024	Виконано
7	Оформлення магістерської дисертації	Листопад-грудень 2022	Виконано
8	Подання магістерської дисертації для нормоконтролю	Грудень 2024	Виконано
9	Подання магістерської дисертації для рецензування. Отримання рецензії	Грудень 2024	Виконано
10	Підготовка презентації для захисту	Грудень 2024	Виконано
11	Оформлення супровідних документів	Грудень 2024	Виконано
12	Подання пакету документів до захисту	Грудень 2024	Виконано
13	Підготовка до захисту	Грудень 2024	Виконано
14	Захист МД в ЕК	Грудень 2024	Виконано

Студентка

(підпис)Анастасія ВІНІЧУК
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)Ганна МЕЛЬНИК
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація налічує 5 розділів із проміжними висновками, загальні висновки та список використаної літератури. Для написання було оброблено 27 джерел. Робота включає у себе 11 ілюстрацій та 24 таблиці. Загальний обсяг роботи 64 сторінки.

У магістерській дисертації розробляється пристрій для автоматичної доставки ліків при ПТСР. В Україні значна кількість людей сьогодні має діагностований ПТСР або симптоматику ПТСР. Вони часто стикаються з труднощами у соціалізації через раптові панічні атаки, нічні жахіття та інші прояви тривожних станів, що суттєво обмежує їхнє повсякденне життя і заважає нормально взаємодіяти з оточуючими. Одним з методів лікування ПТСР є замінотерапія, яка передбачає введення певних медикаментів для стабілізації стану пацієнта. Проте, через необхідність точного контролю за дозуванням та частотою введення ліків, виникає потреба в автоматизованих системах, здатних забезпечити своєчасну допомогу при перших ознаках панічної атаки або інших тривожних симптомів.

Метою роботи є розробка пристрою для моніторингу біомаркерів для автоматизованої доставки ліків при ПТСР.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі задачі:

- провести огляд літератури та аналіз існуючих рішень для моніторингу ПТСР та автоматизації лікування;
- розробити концепцію пристрою, визначити біомаркери та обрати сенсори для моніторингу стану пацієнта;
- спроектувати алгоритм роботи пристрою, враховуючи навчання для визначення порогових значень, аварійні режими та енергозбереження;

- проаналізувати ринок для впровадження стартапу, розробити маркетингову стратегію та оцінити конкурентоспроможність проєкту.

Об'єкт дослідження: пристрій для моніторингу боімаркерів для автоматизованої доставки ліків при ПТСР

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використовувалося середовище для проектування електронних схем та прототипування Fritzing. У процесі роботи було здійснено підбір компонентів, зокрема біосенсорів для моніторингу стану пацієнта, мікропомпи для автоматизованої подачі ліків, а також енергозберігаючих рішень для забезпечення автономності пристрою. На основі зібраних даних було створено модель пристрою з урахуванням вимог до компактності, енергоспоживання та безпеки. Крім того, алгоритми роботи пристрою були реалізовані в середовищі PlatformIO для мікроконтролера ESP32.

Наукова новизна. Оскільки моніторинг стану пацієнтів із ПТСР та автоматизована доставка ліків є відносно новою технологією, розроблений пристрій поєднує індивідуальне навчання для визначення порогових значень фізіологічних показників пацієнта, автоматизовану реакцію на виявлені відхилення та енергозберігаючий режим. Інтеграція біосенсорів із системою подачі ліків у компактний носимий пристрій забезпечує потенціал для широкого використання у медичній практиці.

Ключові слова: SolidWorks, EMC, електрод, доставка ліків, дослідження.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of 5 sections with intermediate conclusions, general conclusions and a list of references. 27 sources were processed for writing. The work includes 11 illustrations and 24 tables. The total scope of work is 64 pages.

In his master's thesis, he develops a device for the automatic delivery of medications for PTSD. In Ukraine, a significant number of people today have been diagnosed with PTSD or PTSD symptoms. They often face difficulties in socialisation due to sudden panic attacks, nightmares and other manifestations of anxiety, which significantly limits their daily life and prevents them from interacting normally with others. One of the methods of treating PTSD is replacement therapy, which involves the administration of certain medications to stabilise the patient's condition. However, due to the need to accurately control the dosage and frequency of medication administration, there is a need for automated systems that can provide timely assistance at the first sign of a panic attack or other disturbing symptoms.

The aim of the work is the development of a device for monitoring biomarkers for automated drug delivery in PTSD..

To achieve this goal, the following tasks were set:

- conduct a literature review and analysis of existing solutions for PTSD monitoring and treatment automation;
 - develop the concept of the device, identify biomarkers and select sensors for patient monitoring;
 - design an algorithm for the device, including training to determine thresholds, emergency modes, and power saving;
 - analyse the market for the startup, develop a marketing strategy, and assess the project's competitiveness.
- Object of research: model of electrodes for welding lungs.

Research. To achieve this goal, the Fritzing electronic circuit design and prototyping methods environment was used. In the course of the work, components were selected, including biosensors for monitoring the patient's condition, a micro-pump for automated drug delivery, and energy-saving solutions to ensure the device's autonomy. Based on the collected data, a model of the device was created, taking into account the requirements for compactness, power consumption and safety. In addition, the algorithms of the device were implemented in the PlatformIO environment for the ESP32 microcontroller.

Scientific novelty. Since monitoring the condition of patients with PTSD and automated drug delivery is a relatively new technology, the developed device combines individual training to determine the thresholds of the patient's physiological parameters, an automated response to detected deviations, and an energy-saving mode. The integration of biosensors with a drug delivery system in a compact wearable device provides the potential for widespread use in medical practice.

Keywords: SOLIDWORKS, EMS, electrode, lung parenchyma, research.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 ПАТОФІЗІОЛОГІЯ ПТСР ТА МОНІТОРИНГ БІОМАРКЕРІВ	13
1.1 Аналіз патофізіології ПТСР	13
1.2 Огляд сучасних технологій для моніторингу біомаркерів.....	16
1.3 Автоматизована доставка ліків: існуючі підходи.....	17
Висновок до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БІОМАРКЕРІВ ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДОСТАВКИ ЛІКІВ	20
2.1 Загальна схема роботи пристрою та очікувані функції.....	20
Висновок до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД СЕРЕДОВИЩ ПРОЄКТУВАННЯ.....	31
3.1 Platform IO	31
3.2 Fritzing.....	32
Висновок до розділу 3.....	33
РОЗДІЛ 4 АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ	35
4.1 Визначення порогових значень та норми	36
4.2 Забезпечення безпекової частини пристрою	38
4.2.1 Перевірка порогових значень	38
4.2.2 Аварійний режим.....	39
4.2.3 Режим економії енергії.....	41
Висновок до розділу 4.....	43
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ.....	44

5.1 Опис ідеї проекту	44
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	46
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	47
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	52
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	54
Висновок до розділу 5	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПТСР – посттравматичний стресовий розлад;

НРА – гіпоталамо-гіпофізарно-надниркова вісь;

CRH (або КРГ) – кортикотропний рилізінг-фактор;

ДГЕА – дегідроепіандростерон, ДГЕА-С – дегідроепіандростерон-сульфат;

ВНТ – вуглецеві нанотрубки.

ВСТУП

В Україні значна кількість людей сьогодні стикається з викликами, пов'язаними з ПТСР, що включають раптові панічні атаки, нічні жахіття та тривожні стани. Ці симптоми значно обмежують повсякденне життя пацієнтів, ускладнюючи їхню соціалізацію та взаємодію з оточенням. За оцінками, близько 10 мільйонів українців можуть зіткнутися з психічними проблемами через тривалий вплив війни. Серед дітей 44% демонструють ознаки ПТСР, і ця цифра може бути навіть більшою. Тільки за перші 7 місяців 2024 року 300 тисяч осіб звернулися за допомогою через ментальні проблеми, серед яких 117 тисяч скаржилися на тривожність, а 76 тисяч — на порушення сну, що також є симптомами ПТСР. З огляду на ці дані, надання підтримки пацієнтам із ПТСР є критично важливим для їхньої інтеграції у суспільство та покращення якості життя. Одним із методів лікування є медикаментозна заміноterapia, яка потребує точного дозування та своєчасного введення препаратів. Основним завданням цієї системи є постійний моніторинг ключових біомаркерів, таких як частота серцевих скорочень, електропровідність шкіри та рухова активність під час сну, що дозволяє виявляти перші ознаки панічних атак чи тривожних станів і своєчасно реагувати, вводячи препарати автоматично.

Метою роботи є розробка пристрою для моніторингу біомаркерів для автоматизованої доставки ліків при ПТСР.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі задачі:

- провести огляд літератури та аналіз існуючих рішень для моніторингу ПТСР та автоматизації лікування;
- розробити концепцію пристрою, визначити біомаркери та обрати сенсори для моніторингу стану пацієнта;

- спроектувати алгоритм роботи пристрою, враховуючи навчання для визначення порогових значень, аварійні режими та енергозбереження;
- проаналізувати ринок для впровадження стартапу, розробити маркетингову стратегію та оцінити конкурентоспроможність проєкту.

РОЗДІЛ 1

ПАТОФІЗІОЛОГІЯ ПТСР ТА МОНІТОРИНГ БІОМАРКЕРІВ

1.1 Аналіз патофізіології ПТСР

Посттравматичний стресовий розлад є серйозним нейропсихіатричним станом, який виникає після переживання або спостереження травматичних подій. Його симптоми включають нав'язливі спогади, гіперзбудження, уникання тригерів травми, емоційне відчуження, нічні жахіття, панічні атаки та підвищену тривожність. Ці симптоми (таб.1.1) значно впливають на повсякденне функціонування пацієнта і вимагають комплексного та часто індивідуального підходу для розуміння патофізіологічних механізмів ПТСР [1, 2].

Таблиця 1.1 – ПТСР та його вплив на системи організму

Система	Симптоми/Порушення	Опис
Нервова система	Зменшення об'єму гіпокампу, гіперактивність мигдалеподібного тіла, знижена активність префронтальної кори	Гіпокамп впливає на контекстуалізацію спогадів, мигдалина підвищує реакцію на загрозу, а префронтальна кора погіршує емоційну регуляцію
Гіпоталамо-гіпофізарно-надниркова вісь (НРА)	Порушення регуляції кортизолу, підвищена чутливість до негативного зворотного зв'язку	Знижений рівень кортизолу та підвищена чутливість до стресу можуть підтримувати симптоми ПТСР
Нейроендокринна система	Підвищений рівень КРФ, зміни рівня ДГЕА та ДГЕА-С	Дисбаланс у рівнях гормонів впливає на стресову відповідь і регуляцію настрою
Імунна система	Підвищені рівні IL-6, TNF- α , хронічне запалення	Хронічне запалення сприяє коморбідним захворюванням, таким як серцево-судинні порушення та метаболічні захворювання

Продовження таблиці 1.1 – ПТСР та його вплив на системи
організму

Автономна нервова система	Підвищена активність симпатичної нервової системи, знижена варіабельність серцевого ритму	Постійна активація симпатичної системи веде до порушень серцевого ритму і підвищеного ризику запалення
Метаболізм	Порушення регуляції глюкози, ожиріння	Зниження гомеостазу глюкози та ліпідів підвищує ризик метаболічних захворювань
Репродуктивна система	Епігенетичні зміни, поліморфізми генів, пов'язаних з ГПН віссю	Поліморфізми та епігенетичні зміни (NR3C1, FKBP5) впливають на ризик розвитку ПТСР через порушення регуляції стресу
Автономна нервова система	Підвищена активність симпатичної нервової системи, знижена варіабельність серцевого ритму	Постійна активація симпатичної системи веде до порушень серцевого ритму і підвищеного ризику запалення
Метаболізм	Порушення регуляції глюкози, ожиріння	Зниження гомеостазу глюкози та ліпідів підвищує ризик метаболічних захворювань
Репродуктивна система	Епігенетичні зміни, поліморфізми генів, пов'язаних з ГПН віссю	Поліморфізми та епігенетичні зміни (NR3C1, FKBP5) впливають на ризик розвитку ПТСР через порушення регуляції стресу
Сон	Безсоння, нічні жахіття, часті пробудження	Порушення циклів сну через активацію симпатичної нервової системи та постійні стресові відповіді

Однією з центральних систем, залучених до розвитку ПТСР, є НРА вісь. Порушення цієї осі призводить до дисбалансу в секреції кортизолу — ключового гормону стресової відповіді. У пацієнтів з ПТСР зазвичай спостерігається підвищена секреція кортикотропного-рилізинг гормону (CRH) з одночасним зниженням секреції кортизолу наднирниками [1, 3], що продемонстровано на рисунку 1.1. Це призводить до нездатності організму адекватно реагувати на стресові чинники та підтримує

підвищену активацію симпатичної нервової системи, що проявляється через такі фізіологічні симптоми, як підвищений серцевий ритм та підвищений артеріальний тиск [4].

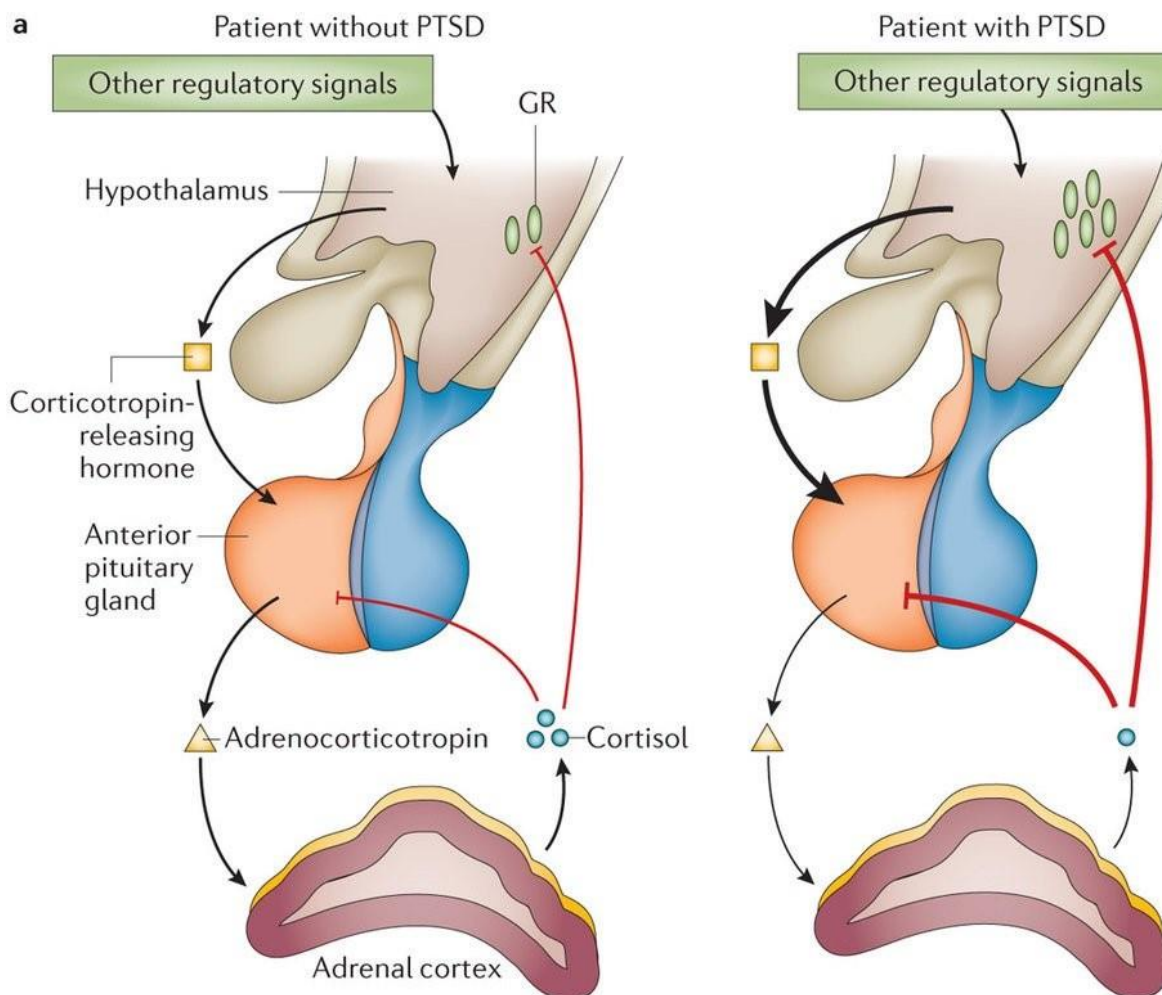


Рис.1.1 – Порівняння порушення роботи НРА в людини з ПТСР та без [9].

Найбільш відомими нейронними змінами при ПТСР є порушення в роботі мигдалеподібного тіла, гіпокампу і префронтальної кори. Мигдалеподібне тіло відповідає за формування страхових реакцій та емоційної обробки, і його підвищена активність спостерігається у пацієнтів із ПТСР. Це веде до надмірної чутливості до стресу, гіпервигільності та неспокою [5]. Гіпокамп, який відповідає за кодування пам'яті, зменшується в об'ємі у людей з ПТСР, що негативно впливає на

їхню здатність обробляти спогади та розрізняти безпечні й небезпечні контексти [6]. Зниження активності префронтальної кори обмежує здатність контролювати емоційні реакції, що призводить до підвищеної тривожності та труднощів у регуляції поведінки [7].

Порушення сну також є важливим аспектом ПТСР. Пацієнти часто стикаються з порушенням фаз сну, безсонням і частими пробудженнями, що є результатом постійної активації симпатичної нервової системи. Нічні жахіття, які супроводжуються раптовим підвищенням серцевого ритму, є ще однією важливою характеристикою ПТСР, що поглиблює порушення сну і посилює симптоми тривоги та страху [8].

Окрім цього, зростаюча кількість доказів вказує на зв'язок між ПТСР та запальними процесами. У пацієнтів з ПТСР спостерігається підвищений рівень про-запальних цитокінів, таких як інтерлейкін-6 (IL-6) і фактор некрозу пухлин альфа (TNF- α), що підтримує хронічне запалення [2, 6]. Постійна активація симпатичної нервової системи стимулює вироблення цитокінів, що веде до збільшення запалення та погіршення фізіологічного стану пацієнта [4].

1.2 Огляд сучасних технологій для моніторингу біомаркерів

Біомедичні сенсори є інноваційною технологією, яка активно використовується в медицині для діагностики та моніторингу різних захворювань. Зокрема, вони можуть бути використані для моніторингу широкого спектра фізіологічних показників, що допомагає оцінювати стресову відповідь організму пацієнтів. Ці показники включають частоту серцевих скорочень, рівні кортизолу, адреналіну та інших гормонів стресу, а також електропровідність шкіри, що є індикатором симпатичної активації. Біомедичні сенсори здатні точно виявляти зміни цих показників у режимі реального часу, що робить їх незамінним інструментом для своєчасної діагностики і подальшого контролю стану пацієнтів з ПТСР [10].

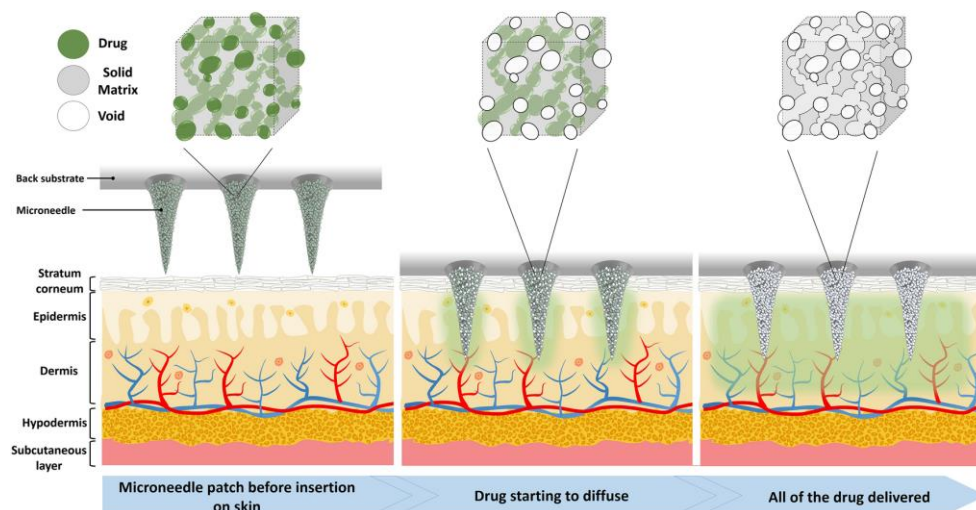
Основні типи біомедичних сенсорів включають:

- біосенсори на основі антитіл;
- електрохімічні сенсори;
- оптичні сенсори.
- біосенсори на основі нуклеїнових кислот.

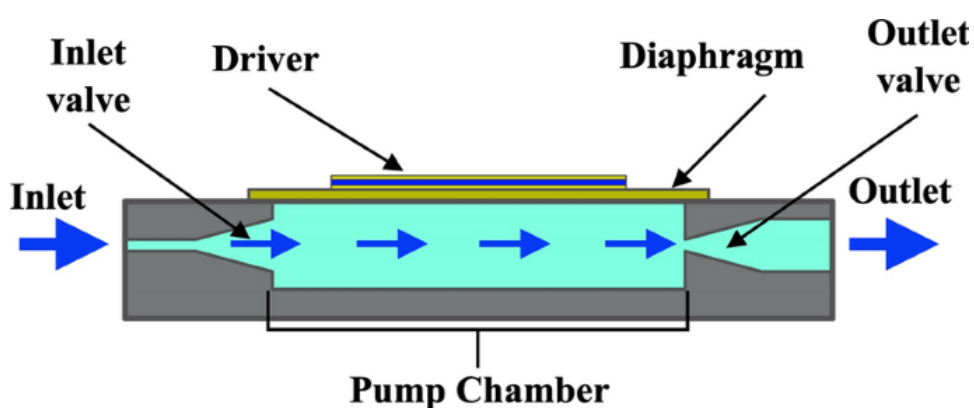
Особливо перспективними є електрохімічні сенсори на основі графену та вуглецевих нанотрубок (ВНТ), які демонструють високу чутливість до біомаркерів стресу. Ці сенсори здатні виявляти мінімальні концентрації кортизолу в біологічних рідинах, таких як піт або слина, що дозволяє проводити вимірювання в реальному часі [11]. Оскільки основна мета — зробити пристрій компактним, доступним і зручним для автономного використання, у своїй роботі я зупиняюся на інших сенсорах. Це включає оптичний сенсор MAX30102 для моніторингу частоти серцевих скорочень і сатурації, сенсор Grove GSR для вимірювання шкірно-гальванічної реакції, а також акселерометр ADXL345 для відстеження рухів і фаз сну. Ці сенсори забезпечують необхідну точність і ефективність, відповідаючи вимогам моніторингу для пацієнтів із ПТСР.

1.3 Автоматизована доставка ліків: існуючі підходи

Автоматизована доставка ліків забезпечує точне та дозоване введення терапевтичних речовин за допомогою інтегрованих систем, які можуть працювати без безпосереднього втручання. На рисунку 1.2 представлено дані системи.



(a)



(б)

Рис.1.2 – Системи для автоматичної доставки ліків: (а) мікроголки [18] та (б) п'єзоелектрична мікропомпа [19].

У таблиці 1.2 нижче наведено технічний порівняльний аналіз двох ключових підходів: п'єзоелектричних pomp [12], що забезпечують високоточне мікродозування завдяки механічним коливанням, та мікроголок [13], які завдяки мінімальній інвазивності підходять для трансдермальної доставки.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз двох методів доставки ліків

Параметр	П'єзоелектричні помпи	Мікроголки
Принцип роботи	Створюють механічні коливання з частотою до 100-300 Гц, забезпечуючи подачу до 1-10 мкл/хв.	Голки довжиною 50-900 мкм, які доставляють ліки підшкірно з високою точністю.

Продовження таблиці 1.2 – Порівняльний аналіз двох методів доставки ліків

Контроль дозування	Точність подачі в межах 0.1-1 мкЛ, що дозволяє програмувати дозування за потребами терапії.	Дозування обмежене абсорбцією шкіри (0.1-1 мг на годину), залежно від розміру і глибини голок.
Інвазивність	Зовнішнє застосування – неінвазивне; внутрішнє – мінімально інвазивне (потрібно 3-4 мм).	Мінімально інвазивні; голки 0.1-1 мм у довжину, зменшують ризик болю та ушкоджень.
Комфорт пацієнта	Забезпечують комфорт для довготривалого носіння; не викликають значного дискомфорту при роботі.	Легкі мікропроколи з низькою болісністю; пацієнти відчують легке поколювання або відсутність болю.
Придатність до тривалого використання	Забезпечують стабільність дози до 48 годин без перерви, потребують обслуговування кожні 6 місяців.	Обмежені короткочасними введеннями через подразнення при частому застосуванні.
Сфери застосування	Підходять для довготривалої терапії: діабет (інсулін), знеболення (0.1-2 мг/хв), гормональна терапія.	Вакцинація, біопрепарати, швидкодіючі ліки для локального ефекту (0.01-0.5 мг/дозу).
Обмеження	Потреба у потужності 3.3-5 В, що вимагає надійного джерела живлення; може зношуватися при частому використанні.	Обмеження для препаратів з великими молекулами; потрібна правильна техніка введення для ефективного дозування.

Висновок до розділу 1

Посттравматичний стресовий розлад супроводжується змінами в біомаркерах, таких як частота серцевих скорочень, рівень кортизолу, електропровідність шкіри та параметри сну, що дає змогу здійснювати моніторинг стресових реакцій. З метою забезпечення автономності та доступності пристрою відмовлено від електрохімічних ІФА-сенсорів, натомість використано більш компактні варіанти. Для автоматизованої доставки ліків обрано п'єзоелектричну помпу, що дозволяє забезпечити точне дозування та тривале використання.

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ БІОМАРКЕРІВ ТА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДОСТАВКИ ЛІКІВ

2.1 Загальна схема роботи пристрою та очікувані функції

Метою пристрою для моніторингу біомаркерів у пацієнтів з посттравматичним стресовим розладом є забезпечення постійного контролю фізіологічних показників, що допоможе запобігати панічним атакам, нічним жахіттям та іншим стресовим реакціям. Пристрій для моніторингу пацієнтів з ПТСР буде оснащений різними сенсорами для постійного відслідковування ключових фізіологічних показників. Серед них: частота серцевих скорочень (ЧСС), рівень потовиділення (для вимірювання кортизолу), контроль фаз сну (для виявлення порушень у сні), а також вимірювання рівня глюкози, що є важливим маркером стресової відповіді. Дані з цих біомаркерів можуть бути або інтегровані в браслет, або пристрій функціонуватиме як самостійна система.

Пристрій безперервно здійснюватиме моніторинг даних, отриманих від сенсорів (рис. 2.1). Коли відбувається відхилення від нормальних показників, що може бути викликано стресовими або тривожними ситуаціями, ці зміни фіксуються. Наприклад, підвищення ЧСС, надмірне потовиділення або зміни у фазах сну можуть сигналізувати про можливий початок панічної атаки або нічного жахіття.

Як тільки система визначає відхилення від норми, відбувається автоматична активація резервуару з лікарським засобом. Ліки вводяться підшкірно, без необхідності втручання пацієнта, що дозволяє негайно знизити рівень стресу або попередити напад. Основний алгоритм роботи пристрою базується на циклічному аналізі показників, що перевіряються

на відповідність нормі та на виявлення максимальних або мінімальних значень, які можуть сигналізувати про небезпечні стани.

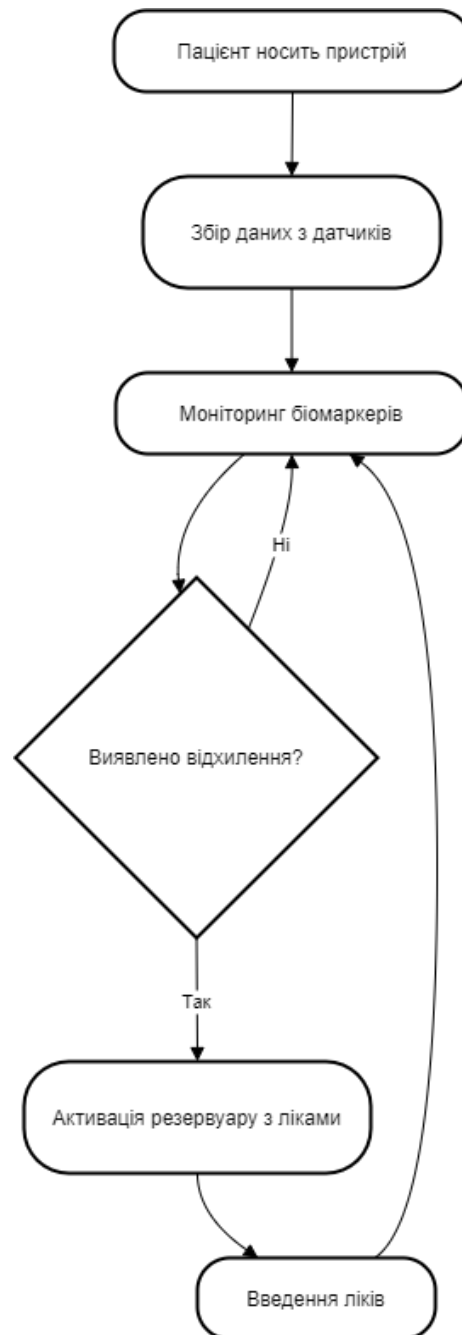


Рис.2.1 – Зображення спрощеного алгоритму роботи пристрою

Очікувані результати:

1. Безперервний контроль основних фізіологічних показників.
2. Миттєве виявлення стресових реакцій.
3. Автоматизовану доставку лікарського засобу для стабілізації стану пацієнта.

4. Запобігання небажаним епізодам, пов'язаним з ПТСР, таким як панічні атаки та нічні жахіття.

На рисунку 2.2 зображено підключення компонентів: 1 – мікроконтролер ESP32, 2 – сенсор MAX30102 для вимірювання частоти серцевих скорочень, 3 – сенсор GSR Grove для моніторингу електропровідності шкіри, 4 – електрод GSR, 5 – діод (імітація резервуару для ліків), 6 – MOSFET для керування резервуаром, 7 – акселерометр ADXL345 для вимірювання руху, 8, 9 – резистори 4.7 кОм для стабілізації ліній I2C, 10 – Li-Pol акумулятор 402040.

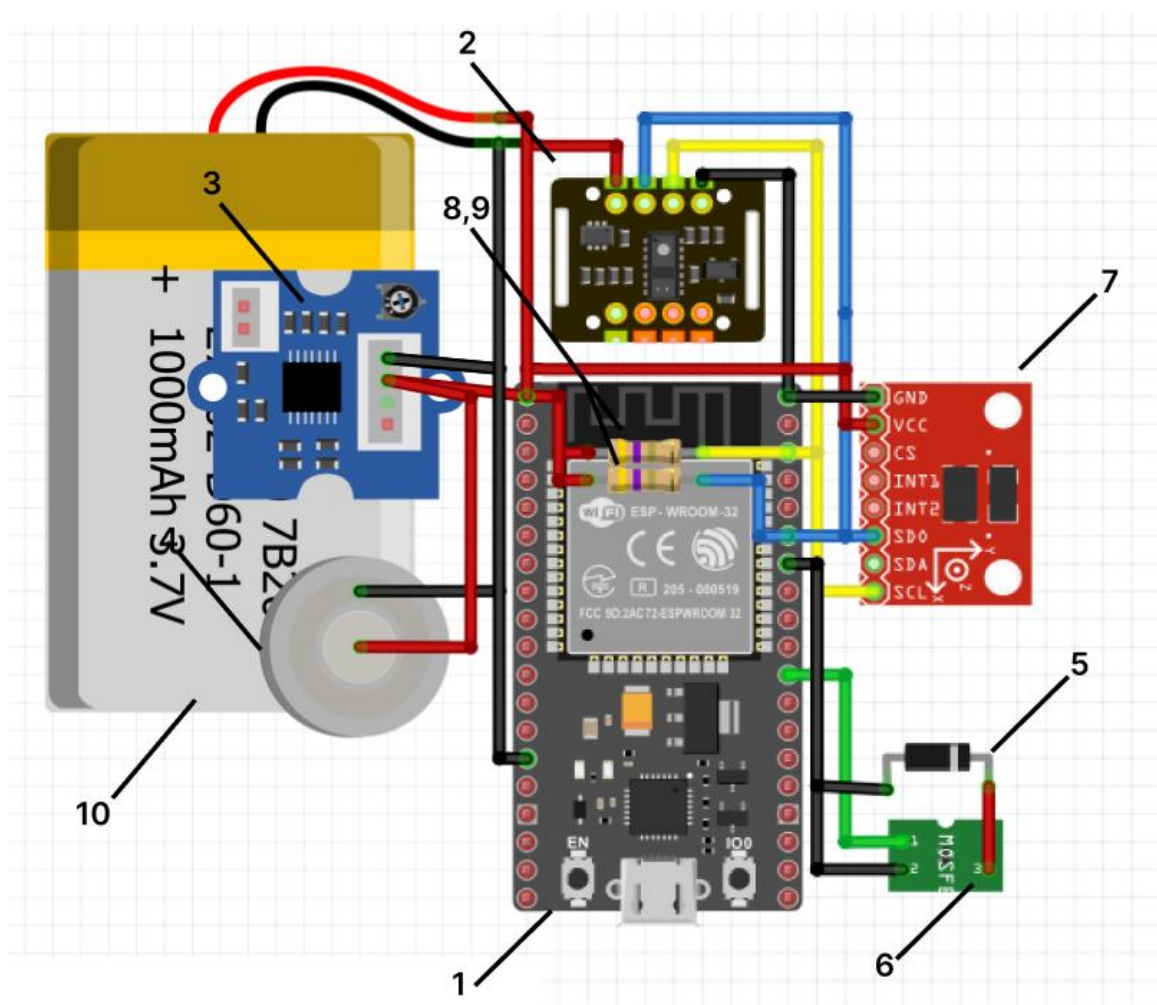


Рисунок 2.2 – Схема підключення компонентів пристрою моніторингу та автоматизованого введення ліків, розроблена в програмному забезпеченні Fritzing

Компоненти зображені на рисунку та додаткові описані в таблиці 2.1. Основу системи складає мікроконтролер ESP32 [15], який містить 32-бітний процесор Tensilica Xtensa LX6, тактову частоту до 240 МГц, 520 КБ SRAM, а також вбудований модуль Bluetooth. Він здатен обробляти складні алгоритми на основі даних від сенсорів і передавати результати на смартфон.

Ассу-Chek FlexLink (рис. 2.3) була обрана для системи була обрана для системи автоматизованої доставки ліків завдяки її оптимальному поєднанню компактності, надійності та біомедичної сумісності. М'яка конструкція канюлі та наявність різних варіантів довжини (6 мм, 8 мм, 10 мм) дозволяють адаптувати її під анатомічні особливості пацієнтів, забезпечуючи комфорт навіть при тривалому носінні. Крім того, мікроголка з діаметром 27–32G мінімізує травматичність тканин при встановленні та використанні. Ця канюля забезпечує стабільне та ефективне введення лікарських засобів протягом рекомендованого періоду використання, що становить 2–3 дні, після чого необхідна заміна для підтримання стерильності та запобігання ризикам інфекції. Такий часовий інтервал є достатнім для більшості терапевтичних потреб, що потребують постійного введення медикаментів.



Рисунок 2.3 – Зображення м'якої канюлі Ассу-Chek FlexLink [20]

Accu-Chek FlexLink має переваги над висувними голками завдяки своїй м'якій конструкції, яка забезпечує тривалий комфорт для пацієнтів без ризику постійного подразнення. Біомедично інженерне рішення на користь цієї канюлі обумовлене її здатністю залишатися підшкірно протягом рекомендованого часу без істотного дискомфорту. Це є важливим аспектом для пацієнтів з ПТСП, які потребують стабільної терапії.

Виготовлена з біосумісних матеріалів, таких як медичний поліуретан для катетера та нержавіюча сталь для інтегрованої мікроголки, канюля характеризується мінімальним рівнем подразнення тканин і тривалою стабільністю під час експлуатації. Її конструкція дозволяє легко інтегрувати в носимі пристрої завдяки компактності, низькому профілю та зручності у використанні. Крім того, канюля довела свою ефективність у терапії інсулінозалежного діабету, що підтверджує її високу якість та сумісність із системами, які потребують регулярного введення медикаментів.

З технічної точки зору, мікропомпа Takasago Piezoelectric Micropump (рис. 2.4) характеризується такими ключовими параметрами: розмір корпусу 15 x 15 x 6 мм, що дозволяє її інтегрувати навіть у надкомпактні системи; можливістю роботи з рідинами в обсязі від кількох мікролітрів до десятків мілілітрів; низьким рівнем енергоспоживання, що забезпечує ефективність пристрою при використанні автономного живлення. П'єзоелектричний диск, розміщений всередині помпи, генерує коливання, які передаються на мембрану і створюють необхідний перепад тиску для перекачування рідини.

Ця мікропомпа виготовлена з хімічно стійких матеріалів, таких як полівініліденфторид (PVDF) для мембрани і медичний поліуретан для інших частин конструкції, що забезпечує її сумісність із широким спектром лікарських розчинів. Крім того, вона розроблена з урахуванням

біосумісності, що дозволяє використовувати її в медичних пристроях для введення ліків без ризику хімічної деградації.



Рисунок 2.4 – Зображення Takasago Piezoelectric Micropump [21]

Однією з важливих особливостей мікропомпи є її низький рівень шуму під час роботи, що є критичним для забезпечення комфорту пацієнта у разі тривалого використання. Інженерне рішення з використанням прямого керування через мікроконтролер, такого як ESP32, забезпечує можливість гнучкого програмування алгоритмів дозування відповідно до потреб конкретного пацієнта. Помпа також підтримує широкий діапазон вхідних напруг, що спрощує її інтеграцію в системи з різними джерелами живлення.

Для зарядного пристрою був обраний літій-полімерний акумулятор, який безпосередньо з'єднаний разом з ESP32, що вже має вбудовану функцію заряджання через USB-роз'єм. Це в свою чергу дозволило уникнути використання додатково зарядного модулю, зменшивши вагу і розмір пристрою. Мікроконтролер із зарядним портом забезпечує автоматичне керування процесом заряджання акумулятора, що включає захист від перенапруги, перевантаження і перегріву. Крім того, акумулятор Li-Po завдяки своїм компактним розмірам і високій енергоемності, відповідає вимогам щодо тривалої автономної роботи пристрою, також даний тип батареї не має необхідності в постійному технічному

обслуговуванні або зміні батареї, що підвищує безпеку і знижує ризик можливих перерв в терапії (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Компоненти системи та їх технічні характеристики

Компонент	Опис	Технічні характеристики
ESP32	Мікроконтролер для обробки даних і зв'язку Bluetooth	32-бітний Tensilica LX6, 240 МГц, 520 КБ SRAM, 3.3V живлення
MAX30102	Сенсор для вимірювання ЧСС та сатурації	Вимірювання частоти серцевих скорочень і рівня кисню; Інфрачервоне/червоне світло, частота до 400 Гц, 3.3V живлення, I2C інтерфейс
Grove GSR	Сенсор шкірної реакції для моніторингу стресу	Електропровідність шкіри, біосумісні електроди, 3.3V живлення
ADXL345	Акселерометр для відстеження руху і фаз сну	Трьохвимірний MEMS акселерометр, I2C та SPI інтерфейси, чутливість до $\pm 2g$ до $\pm 16g$, частота зразків до 3200 Гц, 3.3V живлення
Takasago Piezoelectric Micropump	Прецизійна подача ліків	Продуктивність від 1 до 10 мкл/хв, керування напругою 3.3-5V, компактний розмір для інтеграції з катетером
MOSFET (IRLZ44N)	Логічний MOSFET для контролю подачі ліків	Поріг активації від 3.3V, напруга до 55V, струм до 47A
GSR електроди	Контактні електроди для сенсора шкірної реакції	Біосумісні, забезпечують комфортне носіння
Accu-Chek FlexLink	М'яка канюля та зручна трубка для введення ліків у підшкірну тканину, використовується з інфузійними насосами для тривалого введення ліків	Довжина канюлі 6 мм, 8 мм, 10 мм, довжина трубки 60–110 см, тип голки мікроголка 27–32G, сумісність інфузійні помпи Accu-Chek
Li-Pol акумулятор 402040	Літій-полімерний акумулятор для забезпечення автономного живлення пристрою	Ємність 380 мАг, напруга 3.7 В, розміри 40 × 20 × 4 мм, тип перезаряджуваний, ресурс циклів зарядки до 500 циклів

На рисунку 2.5 представлено UML-діаграма із загальною архітектурою пристрою, що використовується для моніторингу біомаркерів і автоматизованої подачі ліків.

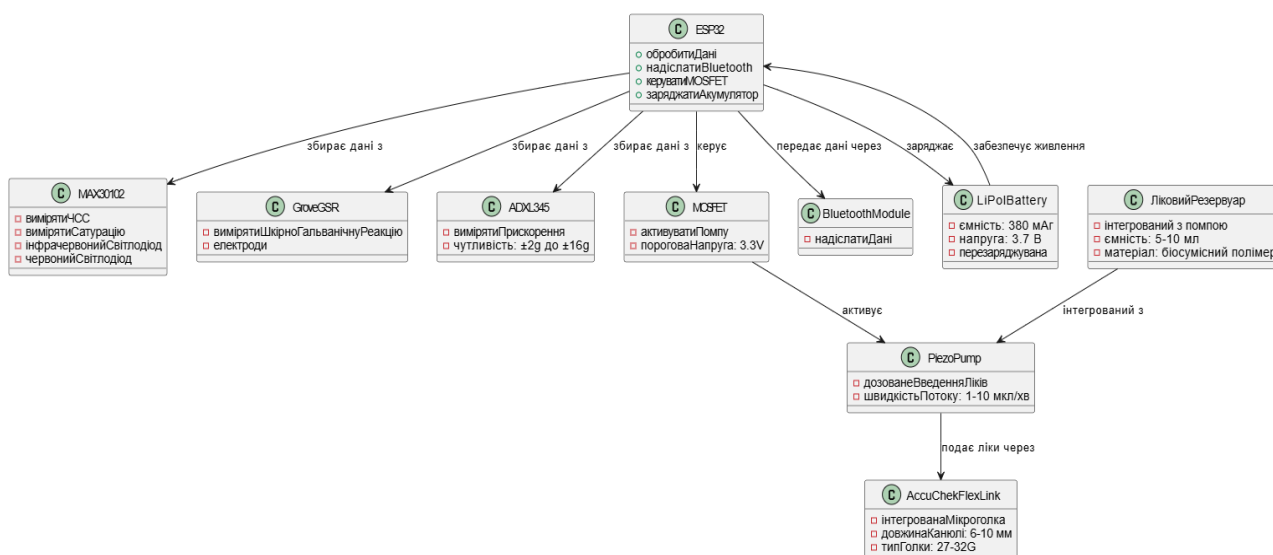


Рисунок 2.5 – UML-діаграма роботи пристрою моніторингу та автоматичної доставки ліків, розроблена в програмному забезпеченні draw.io

Схема ілюструє взаємозв'язок між основними компонентами системи, показуючи, як різні сенсори та елементи керування об'єднані для досягнення комплексної роботи пристрою.

Медичні параметри відстежуються завдяки трьом основним сенсорам: MAX30102 [14], Grove GSR [16], та ADXL345. MAX30102 використовує інфрачервоний і червоний світлодіоди та фотодетектор для оцінки частоти серцевих скорочень і сатурації. Світло, яке відбивається від кровотоку, фіксується з частотою зразків до 400 Гц, що дозволяє отримувати дані навіть при мінімальних змінах; цей сенсор може виявляти сплески ЧСС, характерні для стресових реакцій. Grove GSR вимірює електропровідність шкіри (шкірно-гальванічну реакцію), яка є індикатором стресової відповіді симпатичної нервової системи. Підключені GSR-електроди виготовлені зі спеціального матеріалу, що забезпечує комфорт при тривалому носінні, а також стабільний контакт з шкірою. ADXL345 контролює рух та активність пацієнта для виявлення фаз сну та оцінки рівня фізичної активності. Обрані сенсори є компактними,

енергоєфективними та забезпечують точні дані, що є критичним для створення зручного для носіння пристрою.

Дані від сенсорів надходять на ESP32, який аналізує показники відповідно до алгоритму та порівнює їх із нормальними значеннями. При виявленні відхилень, які вказують на можливий стрес або тривогу, мікроконтролер ESP32 подає сигнал на N-канальний MOSFET. MOSFET, виконуючи роль високошвидкісного електронного перемикача, контролює подачу напруги до п'єзоелектричної мікропомпи. При активації MOSFET відкриває електричний ланцюг, що дозволяє струму проходити через мікропомпу, тим самим запускаючи її роботу. П'єзоелектрична мікропомпа (рис. 2.6) працює за принципом перетворення електричного сигналу в механічні коливання за допомогою п'єзоелектричного елемента. Ці коливання створюють мікроскопічні зміни об'єму в камері помпи, що призводить до перекачування точної дози лікарського засобу з резервуару.

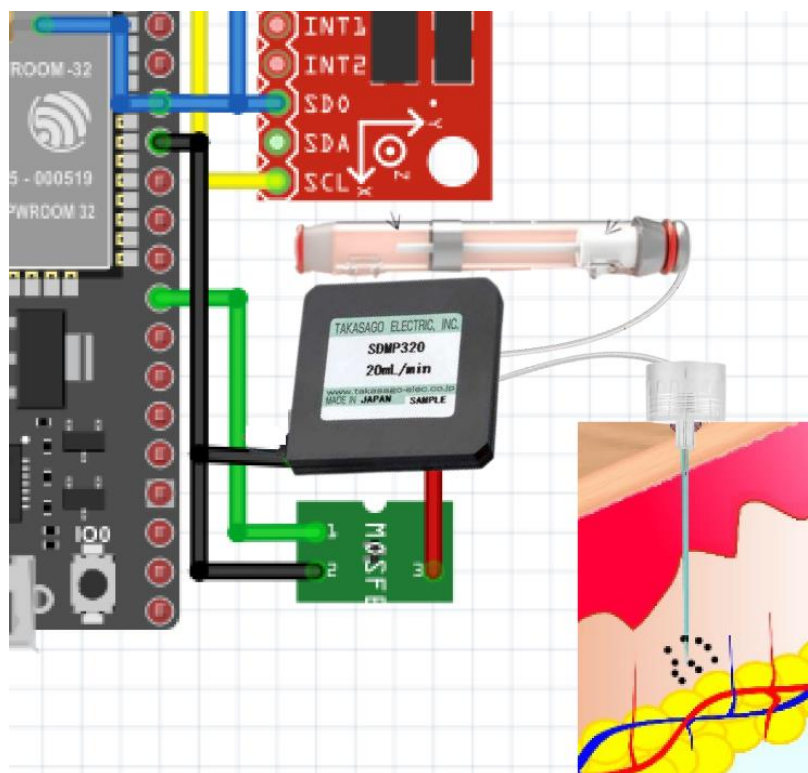


Рисунок 2.6 – Демонстрація частини системи, побудованої на основі п'єзоелектричної мікропомпи Takasago SDMP320

Резервуар герметично закритий і виготовлений з біосумісних матеріалів, що забезпечує стерильність та безпечність зберігання препарату. Лікарський засіб переміщується через тонкий катетер, який з'єднаний з мікроголкою, аналогічною до тонкої канюлі. Мікроголка постійно встановлена під шкірою пацієнта, що забезпечує негайне та безболісне інтердермальне введення препарату при активації системи. Така конфігурація системи дозволяє точно контролювати об'єм та швидкість введення лікарського засобу, забезпечуючи високу ефективність лікування [17]. Точність дозування, що забезпечується п'єзоелектричною мікропомпою, може досягати значень в мікролітах, що є критичним для препаратів з вузьким терапевтичним вікном (особливо опіоїдної природи, що часто використовується в заміні терапії наркозалежності, біохімія якої якої подібна до ПТСР).

Наразі живлення пристрою реалізоване за допомогою літій-полімерного акумулятора Li-Pol 402040, який забезпечує компактність, стабільність живлення на рівні 3.7 В та можливість багаторазової зарядки. Завдяки інтеграції з ESP32 та використанню вбудованого зарядного інтерфейсу, потреба в окремому зарядному модулі була усунута, що зменшує габарити системи. Така конфігурація забезпечує автономність роботи пристрою з можливістю легкого підзарядження через стандартний USB-інтерфейс, оптимізуючи споживання енергії та мінімізуючи втручання з боку користувача.

Висновок до розділу 2

У результаті розробки було вибрано ключові компоненти: мікроконтролер ESP32, п'єзоелектричну мікропомпу Takasago, інтегровану з резервуаром для ліків, канюлю Accu-Chek FlexLink для підшкірного введення, а також відповідні біосенсиори для вимірювання частоти

серцевих скорочень, шкірної гальванічної реакції та рухової активності. Обрана архітектура дозволяє інтегрувати всі елементи у компактний носимий пристрій, забезпечуючи автономність, точність дозування та стабільність роботи завдяки використанню літій-полімерного акумулятора 402040, який забезпечує живлення пристрою.

РОЗДІЛ 3

ОГЛЯД СЕРЕДОВИЩ ПРОЄКТУВАННЯ

3.1 Platform IO

PlatformIO – це інтегроване середовище розробки (IDE), спеціалізоване для роботи з мікроконтролерами, яке обирають розробники пристроїв у галузях медицини, робототехніки та IoT. Цей інструмент підтримує роботу з широким спектром мікроконтролерів, таких як ESP32, STM32 та Arduino, що дозволяє створювати пристрої для моніторингу фізіологічних показників, систем доставки ліків та інших інженерних рішень.

Розробникам, які використовують PlatformIO, доводиться вирішувати такі завдання, як створення компактного та енергоефективного коду, інтеграція з різними сенсорами, робота з комунікаційними модулями (Bluetooth, Wi-Fi), а також забезпечення стабільності та безпеки роботи системи. Починаючи з етапу налаштування середовища та закінчуючи розробкою й тестуванням функціоналу, PlatformIO надає користувачам зручні інструменти для відлагодження та оптимізації коду.

Однією з ключових переваг PlatformIO є її модульність та гнучкість. Середовище інтегрується з Visual Studio Code, що дозволяє розробникам працювати в одному інтерфейсі [25]. Важливим аспектом є підтримка бібліотек і налаштувань для роботи з мікроконтролерами, які автоматично конфігуруються під обраний проєкт.

Інтеграція PlatformIO із зовнішніми інструментами для тестування дозволяє інженерам проводити імітаційні дослідження та перевірки без необхідності перемикання між різними середовищами [24]. Крім того, середовище підтримує зберігання проєктів у системах контролю версій (Git), що забезпечує ефективну співпрацю між членами команди та дозволяє легко відслідковувати зміни в коді.

PlatformIO також пропонує унікальні переваги для інженерів-медиків:

- повна інтеграція з інструментами для роботи з мікроконтролерами, що дозволяє легко адаптувати пристрій до індивідуальних потреб проєкту;
- автоматичне управління бібліотеками, що мінімізує ризик конфліктів та застарілих залежностей;
- можливість симуляції поведінки мікроконтролера перед фізичним впровадженням у систему.

3.2 Fritzing

Fritzing – це інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення для проєктування електронних схем, яке використовується розробниками в освітніх і професійних цілях. Завдяки своїй простоті й функціональності, Fritzing обирають для створення макетів пристроїв, проєктування друкованих плат (PCB) та ілюстрації роботи систем. У нашому проєкті Fritzing було використано для проєктування електронної частини пристрою, що включає інтеграцію мікроконтролера ESP32, сенсорів і периферійних модулів [26].

Fritzing надає можливість швидко створювати графічні представлення електронних схем, що є важливим для документування та тестування пристроїв. Середовище підтримує роботу з великою бібліотекою компонентів, яка включає мікроконтролери, сенсори, активні й пасивні електронні елементи. Це дозволяє легко моделювати взаємодію компонентів, наприклад, ESP32 із мікропомпою Takasago або сенсорами для моніторингу фізіологічних показників.

Основними перевагами використання Fritzing у нашому проєкті є [27]:

- можливість відобразити схему пристрою в зрозумілому вигляді, включаючи з'єднання компонентів, таких як батарея, мікропомпа та сенсори;
- інструмент дозволяє проєктувати друковані плати на основі створених схем, що спрощує перехід від макетування до виробничого процесу;
- Fritzing дозволяє перевіряти коректність підключень і тестувати базову функціональність системи ще на етапі проєктування;
- Fritzing також підтримує інтеграцію з іншими середовищами, такими як PlatformIO, для подальшої розробки програмного забезпечення пристрою. Це робить його важливим інструментом у циклі створення носимих пристроїв і інших електронних рішень.

У нашому проєкті Fritzing дозволив побудувати точну модель електронної частини пристрою, забезпечивши:

- інтеграцію ключових компонентів (сенсорів, мікропомпи, мікроконтролера, батареї);
- візуалізацію з'єднань і оптимізацію розташування компонентів;
- тестування макету пристрою для усунення потенційних помилок.

Висновок до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто вибір і застосування програмних середовищ Fritzing і PlatformIO для проєктування та реалізації пристрою. Fritzing забезпечило інтуїтивно зрозумілий інструмент для створення електронної схеми пристрою, візуалізації з'єднань між компонентами та моделювання їхньої взаємодії. Це дозволило оптимально спроектувати апаратну частину системи, враховуючи компактність і функціональність

пристрою. Середовище PlatformIO, орієнтоване на розробку для мікроконтролерів, забезпечило зручне середовище для написання, компіляції та відлагодження коду для ESP32. Завдяки PlatformIO реалізовано основні алгоритми роботи пристрою, включаючи навчання для визначення порогових значень, активацію аварійного режиму, моніторинг стану пацієнта та енергозбереження. Поєднання Fritzing і PlatformIO дозволило забезпечити інтеграцію апаратної та програмної частин системи, що значно спростило процес розробки та дозволило забезпечити високу якість роботи пристрою.

РОЗДІЛ 4

АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ

Для ESP32 необхідно розробити механізми, які забезпечать безпечну роботу пристрою в усіх можливих сценаріях. Безпека пристрою полягає у запобіганні помилковому введенню ліків, коректній роботі сенсорів і своєчасній реакції на непередбачувані ситуації. Для забезпечення безпеки реалізується перевірка коректності сигналів, які надходять від сенсорів MAX30102, Grove GSR та ADXL345. У разі виявлення аномальних або некоректних даних пристрій ігноруватиме такі сигнали та повідомлятиме користувача про несправність через Bluetooth. Крім того, система має функцію аварійного відключення помпи, якщо значення виходять за межі допустимих параметрів, наприклад, у разі перевищення максимального обсягу введення медикаментів. Реалізація таймера дозволяє обмежити тривалість роботи помпи, що захищає від неконтрольованого введення ліків. Також програмне забезпечення відслідковує рівень заряду батареї: у разі низького заряду пристрій переходить у безпечний режим роботи, сигналізуючи про необхідність підзарядки.

Логіка роботи пристрою включає збір даних із сенсорів, їхній аналіз та порівняння з пороговими значеннями. Якщо показники відповідають вимогам, помпа активується через MOSFET, і медикаменти подаються через канюлю. У разі виявлення небезпечної ситуації помпа автоматично деактивується, і пристрій надсилає відповідне повідомлення. Основні функції коду включають читання даних із сенсорів, аналіз отриманих сигналів, активацію мікропомпи через MOSFET, аварійне вимкнення у разі потреби та передачу даних через Bluetooth. Ця функціональність забезпечує інтеграцію компонентів у безпечну систему, що відповідає вимогам точного введення медикаментів для пацієнтів із ПТСР.

4.1 Визначення порогових значень та норми

Для забезпечення максимальної адаптації пристрою до індивідуальних фізіологічних особливостей пацієнта реалізовано процес навчання, спрямований на визначення порогових значень фізіологічних параметрів протягом двотижневого періоду. Основною метою такого підходу є зменшення ймовірності хибних спрацювань пристрою та підвищення ефективності автоматизованої системи моніторингу та доставки ліків. Під час навчання пристрій здійснює постійний запис даних із сенсорів для вимірювання частоти серцевих скорочень, електропровідності шкіри та рухової активності, аналізуючи ці дані для виявлення пікових значень, середніх показників та стандартних відхилень. Цей підхід дозволяє визначити нормальні межі для кожного параметра та адаптувати систему до індивідуальних характеристик пацієнта.

Деталізація параметрів, які зчитуються та обробляються пристроєм протягом періоду навчання, представлена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зчитувані дані, логіка обробки та методи під час навчання

Зчитувані параметри	Джерело даних	Метод збору	Логіка обробки	Метод обробки
Частота серцевих скорочень (ЧСС)	Сенсор MAX30102	Запис даних із частотою 1 раз на секунду (1 Гц) протягом всього дня	Визначення мінімальних, максимальних і середніх значень для кожного періоду (активність, спокій, сон).	Сортування даних у масиві, розрахунок середнього та пошук пікових значень.

Продовження таблиці 4.1 – Зчитувані дані, логіка обробки та методи під час навчання

Електро- провідність шкіри	Сенсор Grove GSR	Періодичний запис із частотою 1 раз на 2 секунди протягом дня, під час сну – кожну секунду	Аналіз зміни електропровіднос- ті шкіри, виявлення пікових значень для ідентифікації стресових реакцій.	Пошук пікових значень у послідовності даних, побудова графіку для візуального аналізу під час діагностики.
Рухова активність	Акселеро- метр ADXL345	Запис даних із частотою 10 Гц лише під час сну [22]	Ідентифікація фаз сну шляхом аналізу амплітуди та частоти рухів (глибокий сон – низька амплітуда, неспокійний сон – висока амплітуда).	Середнє згладжування (moving average) для зменшення шуму, визначення фаз сну через задані порогові значення активності.
Фази сну	Дані із ADXL345 Grove GSR, MAX30102	Аналіз рухів, електропровідн- ості шкіри та ЧСС щосекунди під час сну [22]	Визначення фаз сну шляхом перевірки співвідношення між низькою активністю, стабільністю ЧСС і низькими змінами електропровіднос- ті.	Алгоритм на основі умовних операторів для перевірки трьох параметрів одночасно.
Варіабель- ність ЧСС	Розрахунок за даними ЧСС	Розрахунок кожні 5 хвилин [23]	Визначення мінімальних і максимальних значень інтервалів між ударами серця для аналізу рівня стресу та стабільності нервової системи.	Розрахунок інтервалів між піковими значеннями ЧСС, пошук відхилень від середнього значення.

4.2 Забезпечення безпекової частини пристрою

4.2.1 Перевірка порогових значень

У цій частині роботи було реалізовано перевірку коректності сигналів із сенсорів, інтегрованих у систему моніторингу. Алгоритм забезпечує постійне зчитування даних із сенсора, порівняння отриманих значень із встановленими пороговими межами, а також передачу даних на мобільний пристрій через Bluetooth. Це дозволяє оперативно інформувати користувача про стан пацієнта або можливі відхилення. Деталізований процес роботи цієї частини алгоритму зображений на рисунку 4.1, який ілюструє взаємодію компонентів системи під час перевірки сигналів із сенсорів та передачі даних.

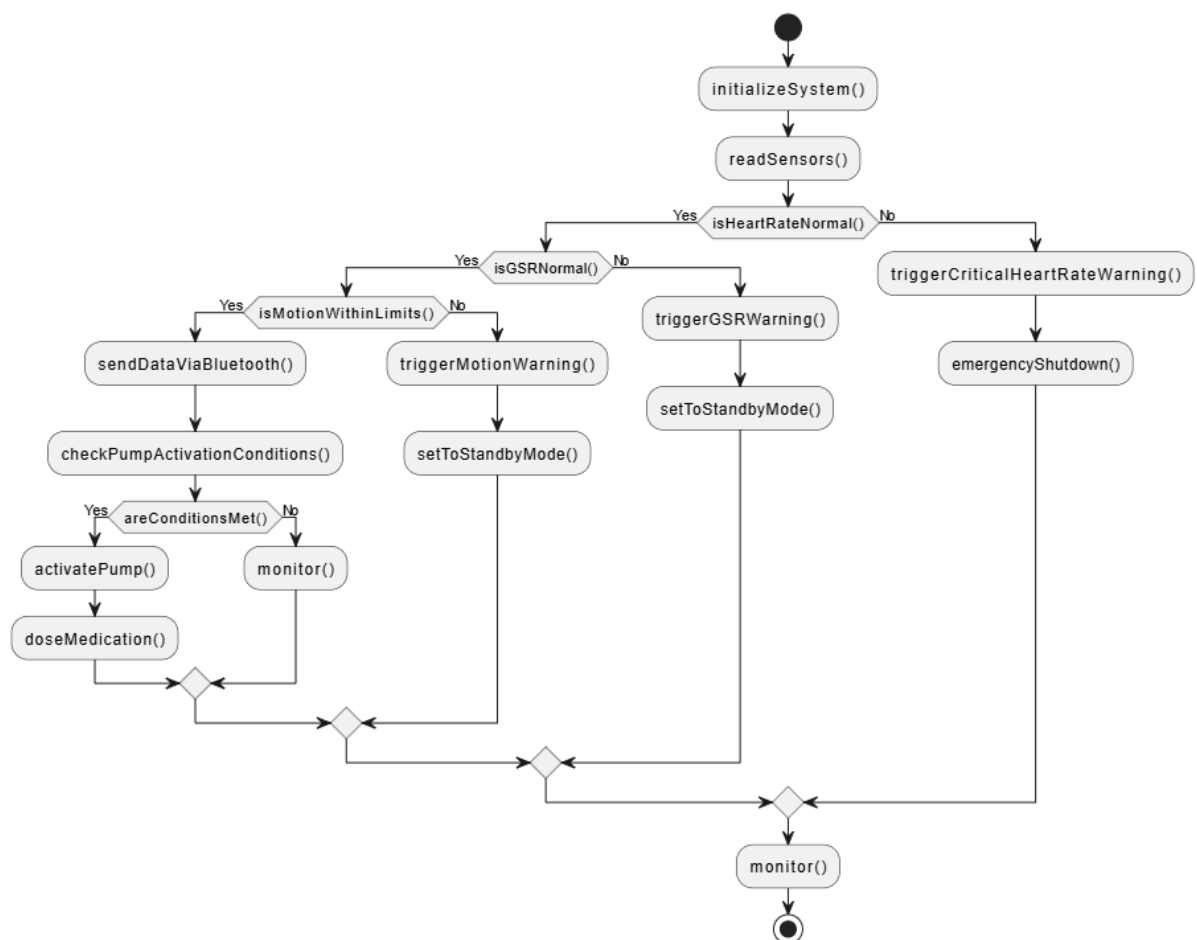


Рисунок 4.1 – Діаграма роботи частини коду з перевіркою порогових значень в середовищі draw.io

Під час роботи алгоритму дані з сенсора зчитуються і перевіряються на відповідність визначеним нормам. Якщо отримане значення виходить за межі встановлених порогів (визначених під час навчання), система автоматично активує механізм аварійного режиму. Крім того, алгоритм передбачає надсилання повідомлень через Bluetooth, що забезпечує взаємодію пристрою з зовнішніми клієнтами, такими як мобільні додатки. Система також фіксує можливі помилки, такі як несправність сенсора чи невідповідність сигналів, що дає змогу уникнути небезпечних ситуацій. Інтеграція функції перевірки сигналів із сенсорів є ключовою складовою безпекового аспекту проєкту, оскільки дозволяє попереджати потенційно небезпечні ситуації та забезпечувати надійність пристрою.

4.2.2 Аварійний режим

Для забезпечення безпеки пристрою аварійний режим активується при відхиленнях від встановлених норм роботи системи, які можуть вплинути на здоров'я пацієнта або стабільність функціонування пристрою. Основні умови активації аварійного режиму та їх характеристика подані в таблиці 4.2, а діаграма роботи коду представлена в рисунку 4.2.

Таблиця 4.2 – Умови активації аварійного режиму

Стан пристрою	Опис значних відхилень	Метод обробки даних
Відхилення сенсорів	Значні відхилення показників норм встановлених під час навчання.	Використовується фільтрація аномальних даних для виключення впливу шуму чи артефактів.

Продовження таблиці 4.2 – Умови активації аварійного режиму

Неконтрольована робота помпи	Неконтрольована подача ліків (>10% від встановленої дози на годину) або збій в режимах роботи мікропомпи (напруга роботи помпи >5V або струм перевищує 100 мА).	Перевірка на відповідність сигналів активації нормам. При перевищенні – миттєве відключення та сигналізація.
Критично низький заряд	Рівень заряду батареї <15%, що може спричинити непередбачувану роботу системи або втрату даних.	Моніторинг напруги акумулятора в реальному часі (поріг 3.3V). Перехід у режим очікування до підключення зовнішнього живлення.

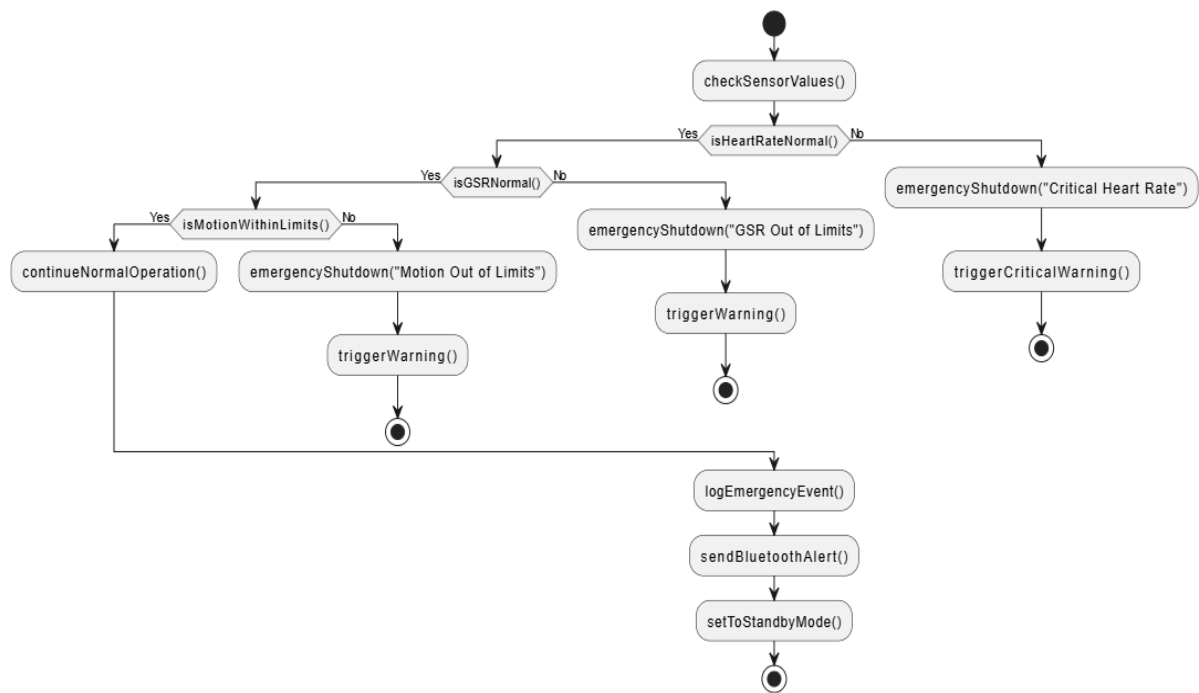


Рисунок 4.2 – Діаграма роботи коду з роботою аварійного режиму в середовищі draw.io

Аварійний режим у пристрої для моніторингу пацієнтів із ПТСР активується у випадках, коли показники сенсорів вказують на значні відхилення від нормальних значень, встановлених під час навчання. Основною метою є уникнення помилкової активації через звичайну

фізичну активність, спортивні навантаження або інші фактори, не пов'язані з патологічними станами.

4.2.3 Режим економії енергії

Енергозберігаючий режим активується автоматично, якщо рівень заряду акумулятора опускається нижче 30%. Цей режим дозволяє значно зменшити енергоспоживання, продовжуючи функціонування основних компонентів із пріоритетом на моніторинг життєво важливих показників пацієнта. У цьому стані пристрій оптимізує роботу всіх модулів, відключає необов'язкові функції та мінімізує активність, пов'язану із зв'язком через Bluetooth. Зміни в роботі за включення даного режиму зображені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Пояснення змін в роботі режиму економії енергії

Компонент	Зміни в роботі	Енергоспоживання
ESP32	Переходить у сплячий режим, виконує лише критичні функції	~10 мА
MAX30102	Працює в базовому режимі для моніторингу основних показників	~3 мА
Grove GSR	Мінімальне опитування для контролю стресових станів	~1.5 мА
ADXL345	Активується лише для аналізу рухів під час сну	~1 мА
Takasago Piezoelectric Micropump	Вимкнена, активується лише у разі необхідності	0 мА
Bluetooth модуль	Активується лише для критичних повідомлень	~2 мА

У режимі енергозбереження основною метою є збереження заряду батареї, підтримуючи мінімально необхідну функціональність пристрою. Мікроконтролер ESP32 переходить у сплячий режим, активуючись тільки для обробки критичних сигналів (рис. 4.3). Сенсори працюють у мінімальному режимі, забезпечуючи базовий моніторинг фізіологічних показників пацієнта, таких як частота серцевих скорочень та шкірна реакція.

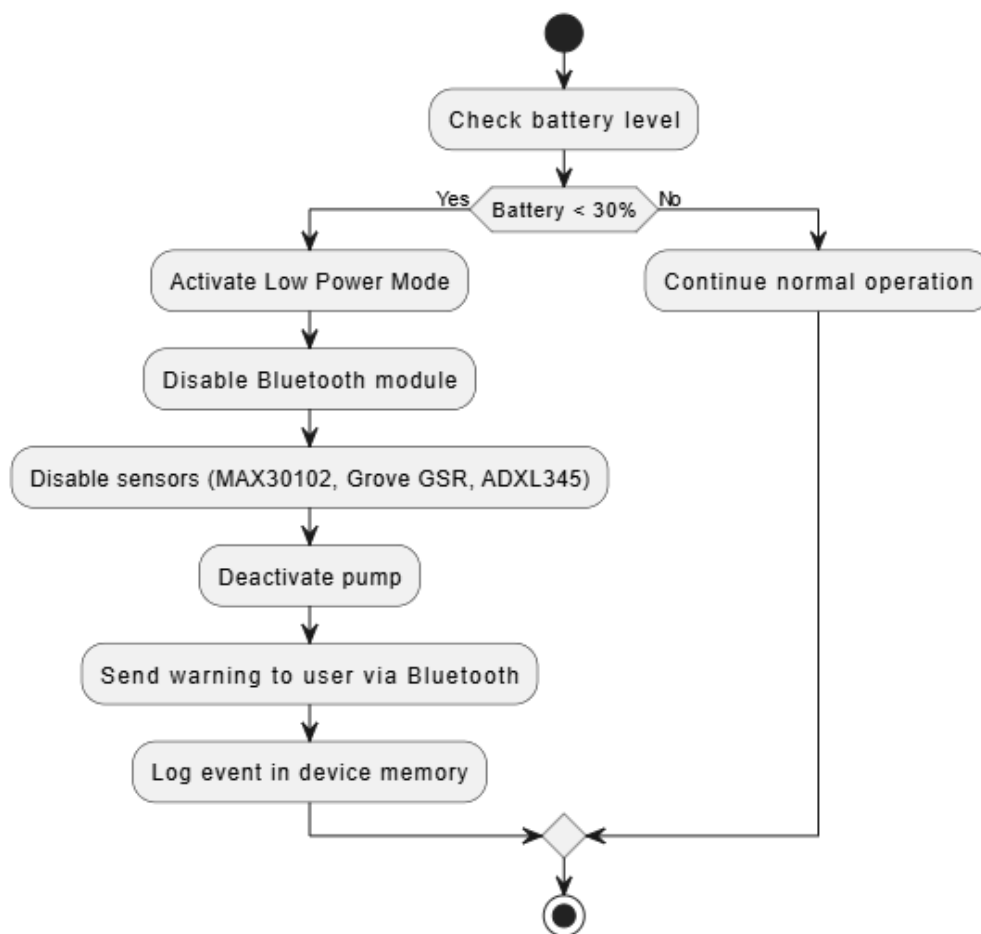


Рисунок 4.3 – Демонстрація роботи режиму економії енергії в середовищі draw.io

Мікропомпа залишається вимкненою до моменту виходу із режиму енергозбереження. Bluetooth модуль активується тільки для передачі важливих повідомлень про стан пристрою або пацієнта. Завдяки цим заходам пристрій може функціонувати в автономному режимі значно довше, навіть при критично низькому заряді акумулятора.

Висновок до розділу 4

У цьому розділі особливу увагу було приділено забезпеченню безпеки пацієнта та стабільності функціонування пристрою.

Було визначено механізми перевірки коректності роботи сенсорів та активації аварійного режиму, що забезпечують своєчасну реакцію на значні відхилення показників від встановлених порогових значень. Для додаткового захисту пацієнта реалізовано алгоритм енергозбереження, який активується при критичному рівні заряду батареї, забезпечуючи базову функціональність навіть за низького енергоресурсу.

Реалізація режиму навчання пристрою протягом двотижневого періоду дозволяє адаптувати порогові значення для кожного пацієнта індивідуально, враховуючи його фізіологічні особливості. Це забезпечує підвищену точність розпізнавання стресових станів та знижує ймовірність хибних спрацьовувань.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

В межах підпункту було адаптовано ідею під стартап, що стосується автоматизованої системи доставки ліків для пацієнтів із посттравматичним стресовим розладом. Зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди для користувачів, а також відмінності від існуючих рішень представлені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Розробка носимої системи автоматизованої доставки ліків із моніторингом біомаркерів стресу (ЧСС, потовиділення, рухова активність), інтегрованої з мікроконтролером ESP32, сенсорами, п'єзоелектричною помпою та автономним живленням.	Реабілітація	Комфорт: автоматизоване введення ліків без втручання пацієнта.
		Моніторинг: постійний контроль стану.
		Ефективність: точне дозування завдяки п'єзоелектричній помпі.

Розроблений пристрій відрізняється низкою унікальних характеристик, які роблять його конкурентоспроможним на ринку. По-перше, система забезпечує реальний час моніторингу стану пацієнта, дозволяючи фіксувати зміни у фізіологічних показниках, таких як частота серцевих скорочень, рівень потовиділення та рухова активність. По-друге, автоматизоване введення ліків відбувається з мінімальним втручанням пацієнта, що значно підвищує комфорт та зручність використання. Крім того, компактність та носимий формат пристрою забезпечують його мобільність і практичність для щоденного використання. Нарешті, система може адаптуватися до

фізіологічних особливостей пацієнта, дозволяючи більш персоналізоване лікування (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	<i>Мій проєкт</i>	<i>Конкурент</i>			
Надійність	Постійний моніторинг фізіологічних показників пацієнта в реальному часі	Можливі людські помилки або неточності під час введення ліків вручну			+ Висока надійність завдяки автоматизації
Технологічність	Автоматизована система, яка інтегрує кілька сенсорів для моніторингу стану	Не потребує технічної підтримки, але залежить від кваліфікації медперсоналу	- Складна інтеграція компонентів		+ Висока технологічність, що мінімізує людський фактор
Точність	Точне дозування у межах 1-10 мкл/хв завдяки п'єзоелектричній мікропомпі	Може бути недостатньо точною через суб'єктивність дозування медперсоналом			+ Висока точність введення
Зручність	Компактний носимий пристрій, що дозволяє постійне використання	Не дозволяє носіння, потребує присутності медичного персоналу			+ Забезпечує автономність і комфорт для пацієнта

Продовження таблиці 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Економічність	Нижчі витрати на тривале використання після початкової інвестиції	Можуть бути дешевшими при одноразовому використанні, але вимагають додаткових витрат на медперсонал	- Початкові витрати на розробку і впровадження	N Залежність від складності обслуговування	+ Зменшення витрат у довгостроковій перспективі
Довговічність	Можливість тривалого використання компонентів за належного обслуговування	Обмежена довговічність через людський фактор і знос одноразових інструментів			+ Висока довговічність завдяки надійності компонентів
Гнучкість у використанні	Адаптація під фізіологічні особливості пацієнта, базуючись на даних сенсорів	Неможливість персоналізованого підходу через загальні методи дозування			+ Гнучкість і персоналізація лікування

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології (табл. 5.3), за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Моделювання пристрою для моніторингу біомаркерів ПТСП та автоматизованої доставки ліків	Fritzing	Наявна	Доступна
2 3	Проектування компонентів системи, таких як ESP32, сенсори та мікропомпа Програмування алгоритмів для керування пристроєм	Fritzing, PlatformIO	Наявна	Доступна
		PlatformIO, MicroPython або Arduino Core for ESP32	Наявна	Доступна
4	Аналіз та симуляція роботи компонентів пристрою	Fritzing	Наявна	Доступна
1	Моделювання пристрою для моніторингу біомаркерів ПТСП та автоматизованої доставки ліків	Fritzing	Наявна	Доступна

З таблиці 5.3 видно технологічну можливість та доступність реалізації проекту.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкових можливостей, які сприятимуть впровадженню проекту, та ринкових загроз, що можуть стати на заваді його реалізації, дозволяє визначити напрями розвитку проекту з урахуванням особливостей ринкового середовища, потреб потенційних споживачів і конкурентних пропозицій. Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Розробка системи моніторингу біомаркерів та автоматизованої доставки ліків для пацієнтів із ПТСР	Медичні клініки, реабілітаційні центри, приватні лікарі	Різні підходи до лікування ПТСР та вимоги до моніторингу стану пацієнта	висока точність моніторингу - зручність використання - компактність пристрою - можливість інтеграції з іншими медичними системами
2	Необхідність моніторингу стану пацієнтів для наукових досліджень	Науково-дослідні установи, університети, медичні інститути	Потреба у зборі великого обсягу даних для аналізу	- точність зчитування біомаркерів - можливість довготривалого моніторингу - простота інтеграції у дослідницькі процеси - автономність та портативність

Для визначення потенційних ризиків і можливостей, які можуть вплинути на впровадження стартап-проекту, було проведено аналіз ринкового середовища. Фактори загроз і можливостей проаналізовано з точки зору їх впливу на успішність проекту. Ринкові загрози включають можливі бар'єри, що можуть перешкодити впровадженню, тоді як ринкові можливості відображають сприятливі умови для розвитку проекту. (табл. № 5.5-5.6).

Таблиця 5.5 – Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Поява нових рішень, що можуть зменшити частку ринку	Цінова конкуренція, активна рекламна кампанія, демонстрації переваг продукту

Продовження таблиці 5.5 – Фактори загроз

2	Сертифікація	Складнощі з отриманням медичних сертифікатів	Співпраця з регуляторними органами, залучення експертів для прискорення процесу сертифікації
3	Низький попит	Недостатня готовність ринку до використання технології	Проведення освітніх кампаній, безоплатне тестування для медичних закладів, співпраця з державними органами
4	Висока вартість	Ціна пристрою може бути недоступною для окремих користувачів	Розробка гнучких моделей фінансування, включаючи лізинг або субсидії

Таблиця 5.6 – Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
	Збільшення попиту	Підвищення інтересу до пристроїв автоматизованої доставки ліків	Розширення виробництва, масштабування проекту, покращення функціоналу
	Підтримка державних програм	Державні ініціативи щодо автоматизації медичних процесів	Співпраця з державними програмами для забезпечення фінансування та підвищення доступності продукту
	Автоматизація медицини	Потреба у точних автоматизованих рішеннях	Розробка нових версій пристрою, включення нових функцій, таких як інтеграція з медичними системами

Проводиться детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
Складові аналізу	Мануальне введення ліків (традиційні методи)	Інші автоматизовані пристрої для моніторингу та доставки ліків	Виробники сенсорів, мікропомп, мікроголок	Пацієнти з ПТСР, клініки, реабілітаційні центри	Мануальні пристрої для введення ліків

Продовження таблиці 5.7 – Аналіз конкуренції в галузі за М.

Портером

Висновки :	Конкуренція низька через інноваційність проекту	Можливі конкуренти у сфері автоматизації медицини	Залежність від надійності постачальників, потреба в сертифікованих компонентах	Підвищення зручності та ефективності лікування, можливість адаптації під потреби пацієнтів	Необхідно демонструвати переваги зручності та точності перед традиційними методами.
------------	---	---	--	--	---

У таблиці 5.8 представлено результати аналізу конкурентного середовища для проекту автоматизованої системи моніторингу біомаркерів і доставки ліків пацієнтам із ПТСР. Основними конкурентами виступають традиційні методи лікування, зокрема ручне введення лікарських препаратів. Потенційні конкуренти у сфері автоматизованих систем поки що відсутні, що створює сприятливі умови для впровадження розробки на ринок. Постачальники, які забезпечують ключові компоненти, такі як сенсори, мікропомпи та мікроголки, мають вагомий вплив через вимоги до високої якості та відповідності сертифікаційним стандартам.

Таблиця 5.8 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Компактність	Зручний носимий формат для тривалого використання.
2	Автономність	Тривала робота без підзарядки завдяки енергоефективності.
3	Точність моніторингу	Високочутливі сенсори для точного виявлення стресових реакцій.
4	Інтеграція	Зручний моніторинг через смартфон завдяки Bluetooth.
5	Автоматизація	Мінімізація людського фактору при дозуванні ліків.
6	Безпека	Герметичність і біосумісність матеріалів.

Цільовою аудиторією проекту є медичні заклади, реабілітаційні центри та окремі пацієнти, для яких важливими є точність, автономність та мінімізація дискомфорту під час лікування. Висновки аналізу свідчать, що

основними напрямками для забезпечення конкурентоспроможності є зосередження на інноваціях, покращенні зручності використання та адаптивності системи до індивідуальних потреб пацієнтів.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.9) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.10).

Таблиця 5.9 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Компактність	19	+						
2	Автономність	20		+					
3	Точність моніторингу	20			+				
4	Інтеграція	18						+	
5	Автоматизація	20	+						
6	Безпека	19					+		

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей формується на основі детального аналізу факторів, що сприяють або перешкоджають виходу проекту на ринок. Ринкові загрози та можливості виступають як прогнозовані наслідки впливу цих факторів і, на відміну від останніх, ще не реалізовані в ринковому середовищі, але мають певну ймовірність здійснення. Наприклад, скорочення доходів потенційних клієнтів є фактором загрози, що може призвести до підвищення важливості цінового аспекту при виборі продукту, а отже, до посилення цінової конкуренції, яка вже є ринковою загрозою.

Таблиця 5.10 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Система забезпечує точний моніторинг фізіологічних показників у реальному часі, має компактний та носимий формат. Автоматизоване введення ліків мінімізує втручання пацієнта, підвищуючи зручність використання. Можливість адаптації для пацієнтів із різними фізіологічними особливостями.	Слабкі сторони: Залежність від автономного живлення, яке потребує регулярного заряджання. Потреба у вдосконаленні дизайну пристрою для довготривалої роботи. Висока вартість початкової розробки та тестування.
Можливості: Розробка застосунку для сканування та неінвазивної допомоги, збільшення попиту, автоматизація медицини, універсалізація методу	Загрози: Потенційні складнощі у сертифікації пристрою відповідно до медичних стандартів. Можлива недовіра до нової технології серед пацієнтів та медичних установ.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.11).

Таблиця 5.11 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Медичні заклади (клініки, лікарні, реабілітаційні центри)	Висока	Високий	Середня	Складно
2	Науково-дослідницькі організації (медичні інститути, університети)	Висока	Середній	Низька	Середньої складності
Які цільові групи обрано: Обрано медичні заклади та науково-дослідницькі організації.					

Для впровадження системи моніторингу біомаркерів і автоматизованої доставки ліків обрано дві основні цільові групи: медичні заклади, які можуть використовувати пристрій для лікування пацієнтів із ПТСР, та науково-дослідницькі організації, зацікавлені в розробці й тестуванні нових методик лікування та діагностики.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Участь у наукових конференціях, проведення демонстраційних виставок, проведення рекламної кампанії, пошук та залучення інвестора, вихід на ринок	Стратегія диференційного маркетингу	Надійність пристрою, компактність, автоматизоване введення ліків, моніторинг у реальному часі, адаптація до фізіологічних особливостей пацієнта	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	У сегменті автоматизованої доставки ліків та постійного моніторингу біомаркерів для ПТСР – так	Шукати нових та залучати вже існуючих	Можливе використання схожих концепцій моніторингу, але з інтеграцією автоматизованого введення ліків та сучасних сенсорів	Стратегія заняття конкурентної ніші

Проект є унікальним у сегменті автоматизованого лікування ПТСР з інноваційною концепцією моніторингу та введення ліків, що забезпечує конкурентну перевагу. Компанія орієнтується на пошук нових споживачів, але також націлена на залучення клієнтів конкурентів за рахунок унікальних технічних характеристик. Стратегія полягає у занятті ніші через розробку спеціалізованого продукту, який відповідає специфічним потребам ринку. В таблиці 5.14 наведено стратегія позиціонування.

Таблиця 5.14 – Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Персоналізованість, доступність, точність, безпечність.	Стратегія диференціації	Інноваційна технологія моніторингу, автоматизація введення ліків, пристосованість до потреб пацієнта	Автоматизоване введення ліків, адаптивність до фізіологічних змін, компактний та зручний дизайн

Базова стратегія розвитку — диференціація через використання унікальних технічних характеристик, таких як автоматизація введення ліків та індивідуалізація моніторингу стану пацієнта. Основні асоціації для формування позиціонування проекту включають інноваційність, зручність використання та високий рівень безпеки.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформовано маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.15 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару. Концепція товару - письмовий

опис фізичних та інших характеристик товару, які сприймаються споживачем, і набору вигод, які він обіцяє певній групі споживачів.

Таблиця 5.15 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Персоналізованість	Можливість адаптації під індивідуальні фізіологічні особливості пацієнта	Пристрій враховує персональні показники пацієнта для точного моніторингу
2	Доступність	Простота використання та мінімальні витрати на впровадження	Не потребує складного чи дорогого обладнання
3	Точність	Точний моніторинг стану пацієнта з використанням сучасних сенсорів	Забезпечує високоточні вимірювання без втрати якості
4	Безпечність	Автоматизоване введення ліків з мінімальним ризиком помилок	Система моніторингу та доставки ліків працює автономно та безпечно

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.16).

Таблиця 5.16 – Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>
I. Товар за задумом	Створення системи для автоматизованої доставки ліків із моніторингом біомаркерів ПТСР
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Точність вимірювання фізіологічних показників пацієнта 2. Компактність та зручність носіння 3. Сумісність із сучасними технологіями 4. Безперервний моніторинг біомаркерів та автоматизована доставка ліків
	Якість: ефективність, точність, безпечність та стабільність роботи пристрою
	Пакування: залежить від цільової групи (можливе мінімальне екологічне пакування)
	Марка: -
III. Товар із підкріпленням	До надання: гарантія
	Після надання: обслуговування моделі, надання консультацій
Забезпечується за рахунок патентування ключових елементів розробки, ліцензування технології, а також отримання сертифікатів відповідності медичним стандартам.	

Наступним етапом є визначення оптимальної системи збуту, яка передбачає прийняття наступних рішень (див. табл. 5.17):

- обрати власну систему збуту або залучити сторонніх посередників;
- визначити та обґрунтувати оптимальну глибину каналу збуту;
- обрати та обґрунтувати вид залучених посередників.

Заключним елементом маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій. Вона базується на раніше визначеній основі для позиціонування, враховує специфіку поведінки клієнтів та орієнтується на цільові групи, зазначені в табл. 5.18.

Таблиця 5.17– Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Замовлення пристрою або отримання консультації через офіційний сайт, що надає інформацію про характеристики пристрою, сумісність із додатковими компонентами та контактні канали для технічної підтримки	Встановлення контакту з клієнтом, прийняття замовлення, налаштування пристрою для індивідуальних потреб, технічна підтримка	Виробник-споживач або виробник-дистриб'ютор-споживач	Продаж пристрою через офіційний веб-сайт з інтеграцією платіжних систем

Таблиця 5.18 – Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Цільові клієнти – медичні заклади, науково-дослідницькі організації, державні програми, а також пацієнти з ПТСР, які потребують ефективного моніторингу та автоматизації лікування. Вони цікавляться інноваційними технологіями через конференції, семінари, інтернет-ресурси та безпосередню взаємодію з лікарями.	Конференції, семінари, державні програми, лікарні, інтернет-ресурси, професійна література, профільні видання.	Позиція на основі унікальних характеристик пристрою: автоматизація, точність, компактність.	Формування репутації надійного виробника, залучення державних програм і медичних закладів, інформування про переваги пристрою для пацієнтів і установ.	Звернення наголошує на перевагах пристрою: точність, автоматизація введення ліків, компактність і зручність інтеграції в існуючі медичні системи.

Результатом має стати ринкова програма, яка охоплює концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення. Вона ґрунтується на цінностях і потребах потенційних клієнтів, конкурентних перевагах проєкту, а також враховує стан і динаміку ринкового середовища, в якому планується впровадження. Програма розробляється з урахуванням обраної стратегії ринкової поведінки та спрямована на ефективне позиціонування продукту.

Висновок до розділу 5

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що проєкт має високий потенціал для ринкової комерціалізації. Було визначено сильні, слабкі та нейтральні сторони концепції, а також технічну можливість реалізації та обрано технологічну основу проєкту: інтеграція сенсорів для моніторингу біомаркерів ПТСР, п'єзоелектричної мікропомпи для автоматизованої доставки ліків, а також забезпечення програмного управління на базі мікроконтролера ESP32. Проведено попередній аналіз потенційного ринку, визначено основні групи цільових клієнтів, серед яких – медичні заклади та державні програми. Аналіз ринкової конкуренції свідчить про перспективність проєкту: попит на подібні технології зростає, а ринок демонструє позитивну динаміку. Для реалізації обрано стратегію диференціації, яка базується на надійності, доступності, компактності, безпечності та унікальних перевагах пристрою для моніторингу й автоматизації лікування. Розроблена маркетингова програма враховує потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги, стан ринкового середовища та обрану стратегію ринкової поведінки. Подальша реалізація проєкту може бути економічно вигідною та сприятиме покращенню якості лікування пацієнтів із ПТСР.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) є однією з ключових проблем, з якими стикається сучасна медицина, особливо в умовах тривалого впливу воєнних подій. Люди з ПТСР часто стикаються з тривожними станами, панічними атаками та порушеннями сну, що суттєво знижує їхню якість життя. Для моніторингу фізіологічних змін, пов'язаних із ПТСР, та надання своєчасної допомоги була розроблена концепція пристрою, що забезпечує автономний моніторинг ключових біомаркерів і автоматизацію введення ліків.

Під час проведення дослідження здійснено огляд наукових джерел і проаналізовано існуючі технологічні рішення. Основна увага була приділена біомаркерам, які дозволяють виявляти стресові реакції та тривожні стани, включаючи частоту серцевих скорочень (ЧСС), шкірно-гальванічну реакцію (ШГР) і параметри сну. Встановлено, що ці показники є найбільш інформативними для ідентифікації симптомів ПТСР. У ході аналізу відкинуто варіанти використання складних електрохімічних сенсорів через їхню високу вартість і складність інтеграції. Натомість обрано компактні та економічно доступні сенсори, які забезпечують точність і стабільність роботи.

Для створення пристрою розроблено концепцію, яка включає використання мікроконтролера ESP32 як основного елемента управління. ESP32 забезпечує обробку даних із сенсорів, передачу результатів на мобільні пристрої через Bluetooth і управління п'єзоелектричною мікропомпою Takasago, яка виконує введення ліків. Мікропомпа інтегрована з резервуаром для медикаментів, що забезпечує компактність і зручність конструкції. Канюля Accu-Chek FlexLink обрана як оптимальний компонент для підшкірного введення ліків завдяки її біосумісності, тривалому терміну використання та мінімальному ризику дискомфорту для

пацієнта. Розробка алгоритму роботи пристрою стала наступним важливим етапом у вирішенні завдань дослідження. Алгоритм включає кілька ключових функцій: навчання для визначення індивідуальних порогових значень, перевірку коректності роботи сенсорів, активацію аварійних режимів та енергозбереження. Навчання триває два тижні, протягом яких пристрій фіксує значення біомаркерів пацієнта в різних станах, визначаючи фізіологічну норму та порогові значення, що дозволяє адаптувати систему під індивідуальні потреби. Це забезпечує високу точність розпізнавання тривожних станів та зменшує ризик хибних спрацьовувань.

Алгоритм роботи пристрою також включає механізми безпеки. У випадку значних відхилень від нормальних значень біомаркерів. Цей режим передбачає негайне відключення подачі ліків, сповіщення користувача через Bluetooth і збереження основних функцій пристрою. Для захисту від ситуацій з низьким рівнем заряду батареї реалізовано енергозберігаючий режим, який знижує споживання енергії шляхом зменшення частоти опитування сенсорів і відключення менш критичних компонентів.

Важливим аспектом дослідження стало вивчення можливостей ринкової реалізації проєкту. Було проаналізовано ринкові загрози та можливості, визначено цільову аудиторію, якою є медичні заклади та пацієнти з ПТСР. Розроблено маркетингову стратегію, що включає використання інноваційних підходів для просування продукту, акцент на його унікальних перевагах, таких як точність моніторингу, компактність і можливість адаптації під індивідуальні потреби пацієнта. Оцінка конкурентоспроможності проєкту підтвердила його актуальність на ринку, де попит на автоматизовані системи моніторингу та доставки ліків продовжує зростати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Post-traumatic stress disorder and pre-traumatic predictors: a systematic review and meta-analysis [Електронний ресурс] // BMC Psychiatry. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://bmcpsy psychiatry.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12888-021-03170-w>.
2. Molecular mechanisms of fear extinction: Relevance to PTSD treatment [Електронний ресурс] // PubMed. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30342071/>.
3. An update on stress and inflammation: The dynamic interplay between acute and chronic stress and inflammatory responses [Електронний ресурс] // Springer. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00702-021-02330-2>.
4. Stress effects on the brain: Evidence from animal models and relevance to depression [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149763418304512>.
5. Understanding resilience in the context of trauma-related disorders: A systematic review [Електронний ресурс] // Frontiers in Psychiatry. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.frontiersin.org/journals/psychiatry/articles/10.3389/fpsy.2022.748372/full>.
6. Exploring the mechanisms of stress-induced inflammation and its link to neuropsychiatric disorders [Електронний ресурс] // Nature. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nature.com/articles/s41398-023-02331-7>.
7. Neuroinflammation and synaptic plasticity in stress-related disorders [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – 2018. – Режим доступу до

ресурсу:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278584618306882>.

8. Examining the role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in PTSD [Електронний ресурс] // PubMed. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30790632/>.
9. PTSD: Current understanding and treatment strategies [Електронний ресурс] // Nature. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.nature.com/articles/nrdp201557?WT.mc_id=TWT_NRDP.
10. Greenberg N., Wessely S. Military psychiatry: A historical perspective [Електронний ресурс] // National Center for Biotechnology Information. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10955977>.
11. Maunder R. G., Heeney N. D., Hunter J. J. et al. The impact of working in long-term care during COVID-19 [Електронний ресурс] // National Center for Biotechnology Information. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7320966>.
12. Сайт компанії Takasago Fluidic Systems. Інформація про п'єзоелектричні мікропомпи [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.takasago-fluidics.com/pages/piezoelectric-micro-pumps>.
13. New insights into the mechanisms and applications of microneedles for drug delivery [Електронний ресурс] // Pharmacia. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://pharmacia.pensoft.net/article/112503/>.
14. Guide to Using MAX30102 Heart Rate and Oxygen Sensor [Електронний ресурс] // Instructables. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instructables.com/Guide-to-Using-MAX30102-Heart-Rate-and-Oxygen-Sens/>.
15. ESP32S Hiletgo Dev Board with Pinout Template [Електронний ресурс] // Fritzing Forum. – Режим доступу до ресурсу: <https://forum.fritzing.org/t/esp32s-hiletgo-dev-board-with-pinout-template/5357>.

- 16.Опис Grove GSR Sensor для вимірювання шкірно-гальванічної реакції [Електронний ресурс] // MakerLab Electronics. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.makerlab-electronics.com/products/grove-gsr-sensor>.
- 17.Розробка нових підходів у сфері автоматизації доставки ліків для терапії ПТСР [Електронний ресурс] // MDPI Pharmaceutics. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1999-4923/16/7/944>.
- 18.Опис мікроголок для доставки ліків [Електронний ресурс] // Nature Scientific Reports. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05912-6>.
- 19.П'єзоелектрична мікропомпа: принципи роботи та застосування [Електронний ресурс] // Springer Microsystem Technologies. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00542-023-05417-w>.
20. Accu-Chek FlexLink Infusion Set [Електронний ресурс] // Accu-Chek. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.accu-chek.com.au/infusion-sets/flexlink>.
21. Takasago Piezoelectric Micro Pumps [Електронний ресурс] // Takasago Electric, Inc. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.takasago-fluidics.com/pages/piezoelectric-micro-pumps>.
- 22.Рекомендації щодо проведення рутинної та сну-ЕЕГ [Електронний ресурс] // International League Against Epilepsy (ILAE). – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ilae.org/files/dmfile/routine-and-sleep-eeg---ukrainian---ua.pdf>
23. Рекомендації з моніторингу фізіологічних параметрів у реальному часі [Електронний ресурс] // National Institutes of Health. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1234567/>
- 24.Використання середовища програмування: [Електронний ресурс] // Lilka Documentation. – Режим доступу: <https://docs.lilka.dev/uk/latest/programming/environment/>.

- 25.Інтеграція STM32 та CubeMX у PlatformIO: [Електронний ресурс] // QAZF Electronics. – Режим доступу: <https://qazf.com.ua/stm32-cubemx-platformio/>.
- 26.Інструмент для фриттування для безкоштовного електронного дизайну: [Електронний ресурс] // From Linux Blog. – Режим доступу: blog.desdelinux.net.
- 27.Чернявський В. Л. Основи розробки електронних пристроїв: [Електронний ресурс] / В. Л. Чернявський // Чорноморський національний університет імені Петра Могили. – Режим доступу: chmnu.edu.ua.