

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ**

**ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих**

**технологій виробництва приладів**

«На правах рукопису»

УДК 57.087.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Михайло БЕЗУГЛИЙ

«25» 12 2023 р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми»**

**Виконав:**

**Студент VI курсу, групи ПБ-21мп**

**Бурковський Євгеній Олександрович**



**Науковий керівник:**

**к.т.н., доцент**

**Безугла Наталя Василівна**



**Консультант з розробки стартапу:**

**д.е.н., професор**

**Бояринова Катерина Олександрівна**



**Рецензент:**

**Д.т.н., проф.**

**Микитенко В. І**



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

**Студент** 

**Київ – 2023 року**

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих  
технологій виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

 **Михайло БЕЗУГЛИЙ**

«15» вересня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Бурковський Євгеній Олександрович**

1. Тема дисертації «Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми», науковий керівник дисертації Безугла Наталя Василівна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «08» 11 2023 р. № 5188-с

2. Термін подання студентом завершеної дисертації 20 грудня 2023 року

3. Об’єкт дослідження – процеси реєстрації та обробки фотоплетизмографічних сигналів.

4. Вихідні дані: параметри сигналу фотоплетизмограми.

5. Перелік завдань:



- 1) Провести аналіз існуючих способів отримання сигналу фотоплетизмограми.
- 2) Провести аналіз обладнання для отримання сигналу фотоплетизмограми.
- 3) Експериментально дослідити особливості зміни параметрів сигналу фотоплетизмограми в залежності від стану пацієнта та середовища в якому він знаходиться.
- 4) Розробити блок-схему ПЗ для обробки сигналу фотоплетизмограми.
- 5) Розробити ПЗ для обробки сигналу фотоплетизмограми та інтерфейс до нього.  
Описати методику роботи з ПЗ.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схема методики проведення експериментального дослідження; графіки сигналу фотоплетизмограми; алгоритм роботи програмного забезпечення; інтерфейс програмного забезпечення; графіки результатів дослідження.

7. Орієнтовний перелік обов’язкових публікацій.

Публікація 2 наукових статей в журналі категорії Б, участь у 3 наукових конференціях з публікацією матеріалів (тез) доповідей.

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проекти	Завідувач кафедрою економічної кібернетики, д.е.н., проф. Бояринова К.О.		

9. Дата видачі завдання 15 вересня 2023 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Провести аналіз існуючих способів отримання сигналу фотоплетизмограми.	01.10.2023	
2	Провести аналіз обладнання для отримання сигналу фотоплетизмограми.	15.10.2023	
3	Експериментально дослідити особливості зміни параметрів сигналу фотоплетизмограми в залежності від стану пацієнта та середовища в якому він знаходиться.	25.10.2023	
4	Розробити блок-схему ПЗ для обробки сигналу фотоплетизмограми.	01.11.2023	
5	Розробити ПЗ для обробки сигналу фотоплетизмограми та інтерфейс до нього. Описати методику роботи з ПЗ.	28.11.2023	
6	Тестування ПЗ	01.12.2023	
7	Оформлення МД	15.12.2023	

Студент



Євгеній БУРКОВСЬКИЙ

Жанна Безуша

## РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 73 ст;

Кількість ілюстрацій: 29;

Кількість таблиць: 25;

Кількість джерел: 31;

В першому розділі проведено аналіз літератури яка описує природу виникнення сигналу фотоплетизмограми та його особливості. Розроблено класифікацію методів виділення сигналу.

В другому розділі розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми, описано технічні чинники які впливають на сигнал та проведено експеримент, який показав залежність параметрів сигналу фотоплетизмограми від фізіологічного стану пацієнта та стану оточуючого його середовища. В даному розділі поставлено задачі, які будуть виконані в ході роботи.

В третьому розділі описано алгоритм валідації та розрахунку сигналу фотоплетизмограми. Розроблено блок схему алгоритму програмного забезпечення. Описано технології які було застосовано для розробки програмного забезпечення. Створено інтерфейс програмного забезпечення для розрахунку параметрів сигналу фотоплетизмограми.

В четвертому розділі розроблено стартап-проект «Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми» Описано основні цільові групи споживачів, розроблено ринкову та конкурентну стратегію.

**Ключові слова:** фотоплетизмограма, частота серцевих скорочень, автоматизація, програмне забезпечення, фізіологічний стан.

## ABSTRACT

Scope of work: 73 articles;

Number of illustrations: 29;

Number of tables: 25;

Number of sources: 31;

In the first chapter, an analysis of the literature describing the nature of the photoplethysmogram signal and its features is carried out. A classification of signal isolation methods has been developed.

In the second section, a structural diagram of the automated system for controlling photoplethysmogram parameters was developed, technical factors affecting the signal were described, and an experiment was conducted that showed the dependence of the photoplethysmogram signal parameters on the patient's physiological state and the state of the surrounding environment. In this section, the tasks that will be performed during the work are set.

The third section describes the algorithm of validation and calculation of the photoplethysmogram signal. A block diagram of the software algorithm has been developed. Technologies used for software development are described. A software interface for calculating the parameters of the photoplethysmogram signal has been created.

In the fourth chapter, the startup project "Automated control system of photoplethysmogram parameters" is developed, the main target groups of consumers are described, and a market and competitive strategy is developed.

**Key words:** photoplethysmogram, heart rate, automation, software, physiological state.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	12
1.1    Фотоплетизмограма та її особливості.....	12
1.2.    Залежність фотоплетизмограми від фізіологічного стану людини .....	15
1.3.    Методи отримання фотоплетизмограми .....	18
1.4.    Основні способи виділення сигналу фотоплетизмограми.....	19
Висновки до розділу.....	23
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ПАЦІЄНТА ТА СЕРЕДОВИЩА В ЯКОМУ ВІН ЗНАХОДИТЬСЯ.....	24
2.1.    Узагальнена структурна схема автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми .....	24
2.2.    Розробка алгоритму проведення експериментальних досліджень .....	27
2.3.    Технічні чинники, що впливають на ФПГ сигнал.....	33
2.4.    Фізіологічні чинники, що впливають на ФПГ сигнал .....	33
2.5.    Постановка задачі .....	34
Висновки до розділу.....	38
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ .....	39
3.1.    Алгоритм розрахунку параметрів ФПГ .....	39
3.2.    Алгоритм роботи інтерфейсу програмного забезпечення.....	40
3.3.    Вибір технологій.....	43
3.4.    Тестування ПЗ.....	44

Висновки до розділу .....	48
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАПУ ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ» .....	49
4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту .....	49
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	52
4.3. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	61
4.4. Розроблення маркетингової програми проекту .....	64
4.5. Організація реалізації стартап проекту .....	68
Висновки до розділу .....	71
ВИСНОВОК .....	72
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	73
ДОДАТКИ .....	78
Додаток 1. Код інтерфейсу першої вкладки програми .....	78
Додаток 2. Код інтерфейсу другої вкладки програми .....	88
Додаток 3. Допоміжні функції для роботи з файлами .....	93
Додаток 4. Допоміжні функції для роботи з графіком .....	95
Додаток 5. Допоміжні функції для роботи з сигналом .....	96



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Фізіологічні сигнали досліджують вже багато років і ці процеси стали невід’ємною частиною людського прогресу. Ці сигнали дозволяють неінвазивним та безболісним для пацієнта шляхом отримати велику кількість інформації. Такі процеси задіяні в медицині, біометрії тощо.

Дослідження серцево-судинної системи є дуже важливим явищем у сучасному світі, оскільки багато хвороб пов’язані саме з цими характеристиками. Показники пульсу використовуються як в медицині так і в біометрії.

Проблема стала доволі гострою в період пандемії COVID-19. Тоді найбільш важливим було обмежити фізичний контакт між лікарем та пацієнтом. Саме тоді було розпочато дане дослідження в області біометрії. Ідея полягала в тому щоб спростити процес автентифікації лікаря в системі та підвищити рівень безпеки.

Пізніше, через російську агресію на території нашої держави фокус досліджень змістився в сторону жилетів моніторингу фізіологічного стану. Люди, чиї професії пов’язані з небезпечними умовами праці стали основною цільовою групою споживачів даного обладнання. Це явище є доволі новим і досліджень в цій сфері дуже мало. Дані жилети містять дуже велику кількість пов’язаних між собою датчиків, в тому числі і датчики сигналу фотоплетизмограми. Саме в таких доволі складних девайсах одним з найскладніших для вимірювання та важливим є сигнал фотоплетизмограми. Фотоплетизмограма є найбільш інформативним та зручним представленням пульсової хвилі.

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності контролю параметрів сигналу фотоплетизмограми шляхом розроблення автоматизованої системи, що передбачає одночасне визначення тривалості та часових інтервалів при різних фізіологічних станах людини.

Виходячи з поставленої мети, було визначено ряд завдань дослідження:

1. Провести аналіз літератури та виявити основні методи отримання сигналу фотоплетизмограми. Обрати найбільш вдалий метод. Визначити чинники які найбільше впливають на сигнал.
2. Провести експеримент з вимірюванням сигналу ФПГ за різних фізіологічних станів пацієнта та умов оточуючого середовища.
3. Розробити програмне забезпечення для автоматизованого розрахунку та контролю параметрів сигналу фотоплетизмограми
4. Розробити стартап-проект “Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми”

**Об’єкт дослідження** – процеси реєстрації та контролю параметрів фотоплетизмограми.

**Предмет дослідження** – параметри сигналу фотоплетизмограми.

**Методи дослідження** – статистичні методи обробки, методи об’єктно орієнтованого програмування.

### **Практична цінність результатів роботи**

У результаті роботи було розроблено алгоритм та програмне забезпечення автоматизованої валідації, розрахунку та візуалізації сигналу фотоплетизмограми, що дозволяє визначати усереднені часові параметри при одному фізіологічному стані та їх відхилення при різних станах.

### **Наукові публікації за темою дисертації:**

Nikolov N.A., Soloviov O.I., Burkovskyi Y.A. Modern capabilities of telebiometric monitoring studies of the functional state of the organism of the human. Review. Part II - sensory systems. ISSN 2223-6775 Ukrainian journal of occupational health Vol.18, No 4, 2022

Nikolov N.A., Soloviov O.I., Burkovskyi Y.A. Modern capabilities of telebiometric monitoring studies of the functional state of human body. Review. Part I. Wearable technology. ISSN 2223-6775 Ukrainian journal of occupational health Vol.18, No 2, 2022

Бурковський Є.О., ПРОБЛЕМАТИКА ВИДІЛЕННЯ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ. Є.О. Бурковський-2021 //XVIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022

Бурковський Є.О., РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕСТУВАННЯ ПЛАТ ARDUINO ДЛЯ МОДУЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ. Є.О. Бурковський-2021 //XV Міжнародна наукова-технічна конференція «XV Всеукраїнська науково- практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022

Бурковський Є.О., DEVELOPMENT OF A MODULE FOR OBTAINING BIOMETRIC PARAMETERS FOR AUTHENTICATION IN MEDICAL SYSTEMS Є.О. Бурковський-2022

Бурковський Є.О., аналітичний метод розрахунку сигналу фотоплетизмограми для біометричної системи ідентифікації. Є.О. Бурковський-2021 //XIV Міжнародна наукова-технічна конференція «XIV Всеукраїнська науково- практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021

Бурковський Є.О., ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ ДЛЯ БІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ. Є.О. Бурковський-2021 //XVI Міжнародна наукова-технічна конференція «XV Всеукраїнська науково- практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021.-С.287-290.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1 Фотоплетизмограма та її особливості

ФПГ сигнал є відносно новим явищем, значимість якого перевірена на практиці, проте способи її отримання та забезпечення точності результатів вимірювання бажають кращого. Саме тому є необхідність у детальному вивченні та визначенні способів виділення ознак та аналізу параметрів для подальшої діагностики з метою використання їх в терапевтичних або біометричних цілях. ФПГ відображає особливості гемодинаміки та серцево-судинної системи для кожної людини та дозволяє вимірювати об'ємний пульс крові, який викликаний періодичною зміною кров'яного обсягу при кожному ударі серця, частоту серцебиття, варіабельність серцевого ритму [1].

Основними показниками фотоплетизмограми є пульс, амплітуда та хвиля фотоплетизмограми. Пульс відображає кількість ударів серця на одну хвилину і є найголовнішим показником функціонування серцево-судинної системи. Висока амплітуда сигналу ФПГ означає що серцево-судинна система працює ефективно та має відмінну периферичну циркуляцію.

Сама пульсова хвиля ФПГ сигналу представлена у вигляді анакротичної та дикротичної частини. Анакротична фаза описана систолою і відповідає ударному об'єму, що в свою чергу описує силу скорочення серця. Дикротична фаза характеризує тонус судин та переважно формується в діастолу за рахунок відбиття крові від аорти та інших судин. Частота хвилі та її тривалість залежить від роботи серця, а величина і форма пікових значень графіку характеризують стан стінок судин.

ФПГ сигнал зазвичай представляється у вигляді графічного зображення змін амплітуди протягом певного часу та відображає фазу кардіоциклу. Даний сигнал має чіткі математичні алгоритми розрахунку, які опираються на основні точки, які

знаходяться на систолічних та діастолічних зубцях. Всі вони характеризують певний параметр і пов'язані між собою.

Точки однієї ітерації ФПГ сигналу B1, B2, B3, B4, B5 (рис.1) називаються основними кодуючими точками об'ємного пульсу, за допомогою яких визначаються параметри пульсової хвилі (період скорочення серця, амплітуда і тривалість анакротичної й дикротичної складових та інші важливі показники, які дозволяють краще оцінити стан і роботу серцево-судинної системи пацієнта).

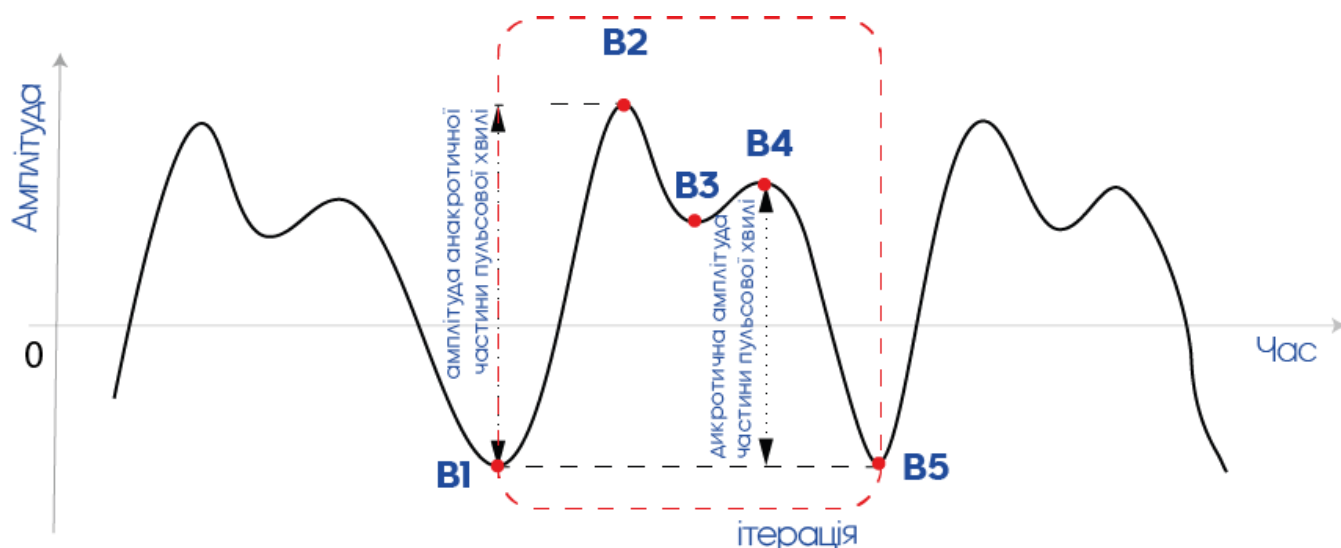


Рис 1.1 Основні кодуючі точки сигналу ФПГ: B1 – початок систолічної фази, B2 – анакротична фаза, B3 - інцизура, B4 – дикротична фаза, B5 – завершення діастолічної фази.

Слід зазначити, що розрахунки даних параметрів потребують високої точності та зазвичай займають багато часу, оскільки навіть коротке за часом вимірювання дає велику кількість зубців для дослідження. Відповідно потрібно робити велику кількість ітерацій з однотипними обчисленнями.

Зазвичай фотоплетизмограма використовується у сукупності з іншими показниками фізіологічних параметрів людини, таких як тиск крові та ЕКГ. Саме у сукупності ці показники дають доволі точну характеристику стану здоров'я пацієнта. На 1.2 зображено приблизну індикацію таких показників в сукупності.

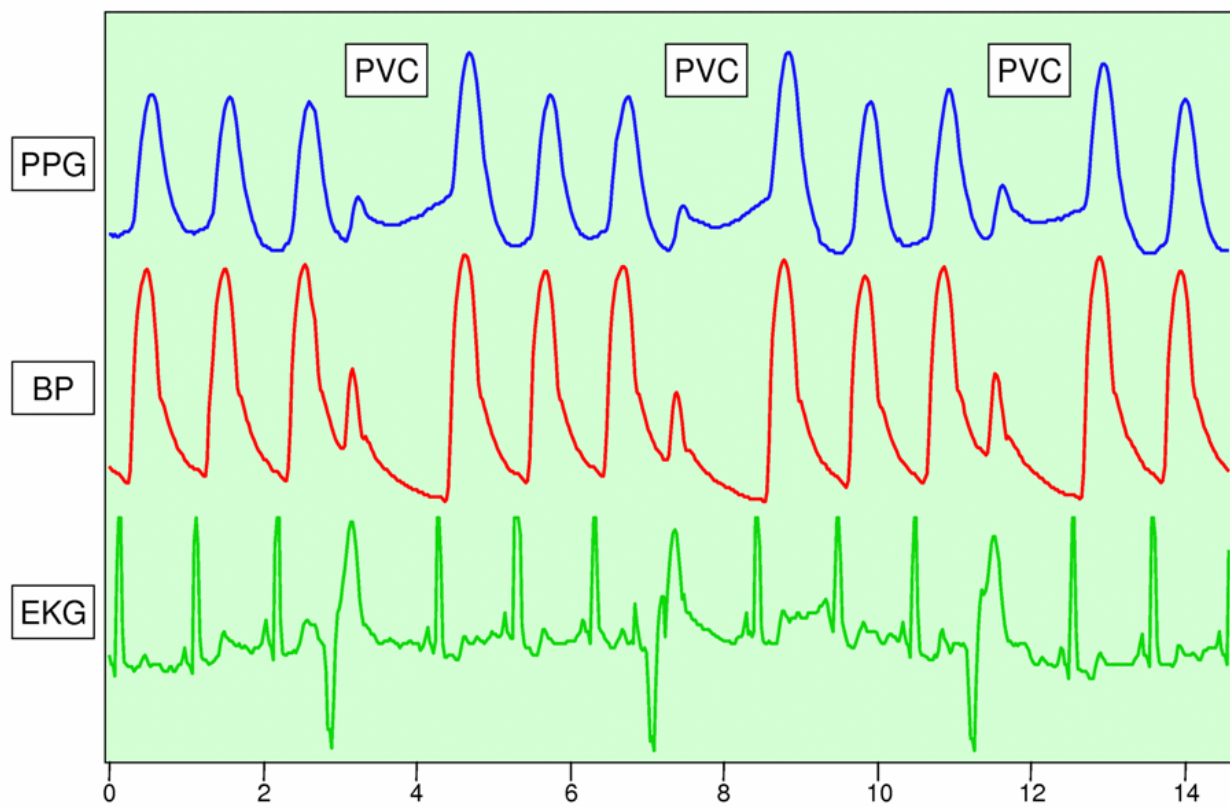


Рис. 1.2 Сукупність сигналів ФПГ, ЕКГ, тиск крові [2]

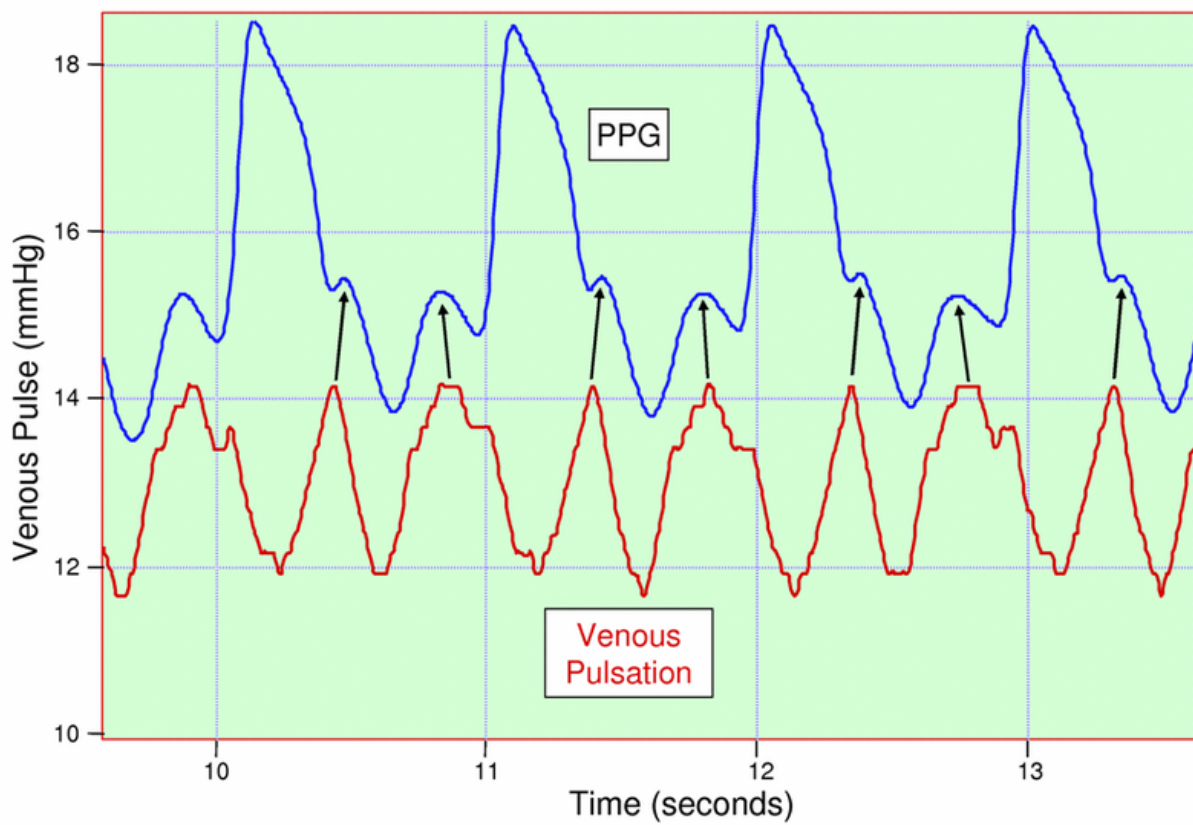


Рис.1.3 Приклад сигналу ФПГ [2]

У випадку який описано в даній дисертація буде проводитись вимірювання виключно ФПГ сигналу, оскільки з всіх перерахованих вище він є найменш досконало дослідженим.

## **1.2. Залежність фотоплетизмограми від фізіологічного стану людини**

Фотоплетизмограма як і більшість фізіологічних показників тісно пов'язана з фізіологічним станом людини. І саме розуміння впливу фізіологічного стану допоможе краще оцінити отриманий сигнал, знайти закономірності та врахувати всі можливі похибки які виникають через ті чи інші фактори. Спочатку буде розглянуто фізіологічні параметри які впливають на ФПГ, а вже потім дії, які спричиняють їх зміни.

Першим і найочевиднішим показником є пульс та частота серцевих скорочень. Власне це і є найвпливовішим аспектом. Зміна цього показника найбільше впливає на амплітуду та частоту ФПГ. Таким чином підвищення пульсу сприяє зменшенню амплітуди, так як пульсації кровотоку відбуваються з меншою ефективністю в периферійних судинах. Пульс змінюється при стресі, відпочинку, сну і т.д. ФПГ сигнал є дуже чутливим до зміни пульсу, тому навіть маленьке його коливання дуже чітко відображається на хвилі.

Не останнє місце займає і артеріальний тиск. Його зміни відображаються на амплітуді та хвилі ФПГ сигналу. При зниженні артеріального тиску зменшується об'єм крові яка видавлюється пульсуючими артеріями, це спричиняє зменшення амплітуди. В той час я при збільшенні відбувається зворотній процес і амплітуда зростає. Також підвищення артеріального тиску сприяє скороченню часу наповнення судин, що впливає на форму хвилі ФПГ сигналу.

Ці два фактори виникають зазвичай через низку обставин та дій, які людський організм вимушений робити в процесі життєдіяльності. Навіть в спокійному сучасному світі дуже часто виникають ситуації які виводять організм зі стану спокою, що в свою чергу відображається на його внутрішніх параметрах.

Фізична активність та навантаження з якими іноді доводиться зіткнутись також досить серйозно впливають на ФПГ сигнал. Таким чином при збільшенні навантаження збільшується пульс, відповідно збільшується кровоток та пульсації. Як вже було сказано вище, це впливає на амплітуду та стан ФПГ хвилі.

Емоційний стан та стрес це ті явища з якими стикається кожна жива особа все своє життя. Адже стрес, страх та інші негативні емоції сприяють звуженню судин і відповідно підвищують пульс, що спричиняє зниження амплітуди сигналу фотоплетизмограми. В той час як позитивні емоції сприяють розширенню судин та збільшенню об'ємів крові, що відображається на амплітуді ФПГ.

Аналізуючи стан організму не потрібно забувати також про те що його оточує. Таким чином температура є одним з найбільш впливових факторів на стан ФПГ хвилі. Це пояснюється звуженням та розширенням судин у при різних температурних середовищах. Зниження температури амплітуда ФПГ сигналу зменшується, оскільки холод спричиняє вазоконстрикцію. Підвищення температури в свою чергу сприяє розширенню судин і відповідно збільшенню амплітуди хвилі. Саме тому цей критерій є обов'язковим для врахування при вимірюванні сигналу ФПГ.

Вік також дуже сильно впливає на ФПГ сигнал. Так наприклад у більш літніх людей артеріальні судини втрачають еластичність і це досить сильно впливає на показники.

Останнім фактором є індивідуальні особливості кожної людини. В сукупності це стосується всіх вище перерахованих факторів. Таким чином кожна людина веде свою життєдіяльність в індивідуальному ритмі та має свій власний відмінний від інших фізичний та емоційний стан.

На рисунку 3 зображено зміну сигналу ФПГ при вимірюванні сигналу після того як пацієнт розмовляв а потім надовго затримав дихання.



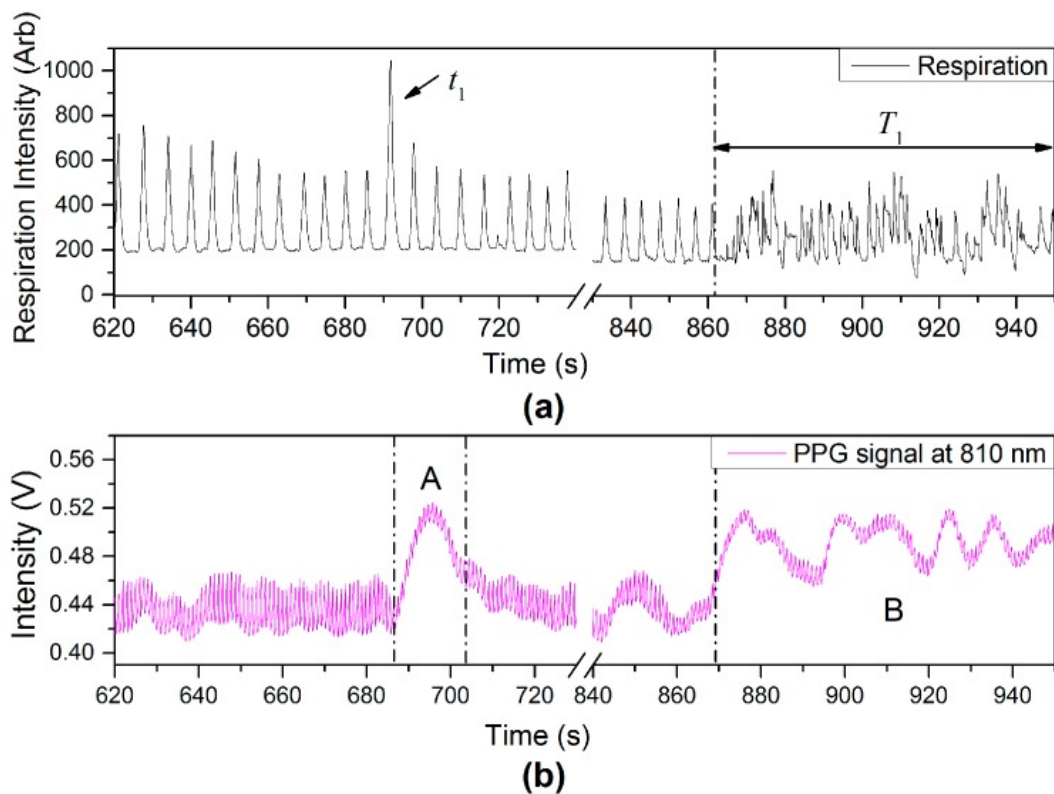


Рис. 1.4 (а) Глибоке дихання та розмова та (b) сигнал ФПГ [3].

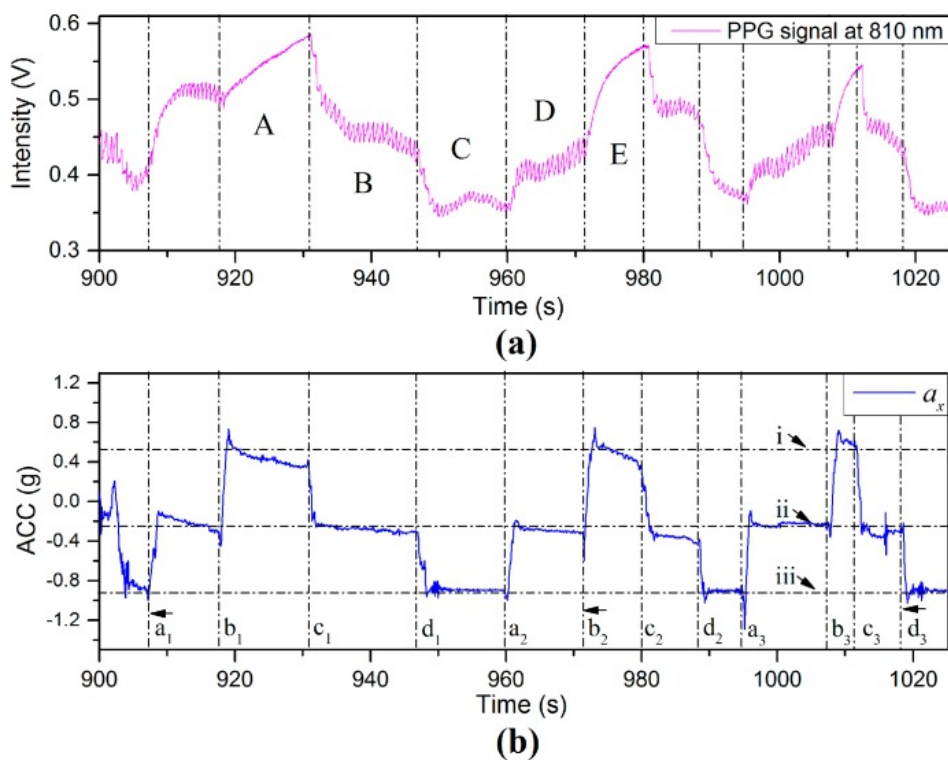


Рис. 1.5 (а) ФПГ і (b) сигнали АСС по осі X, зафіксовані в процесі розмаху руки вгору та вниз з тривалими інтервалами часу відпочинку [3].

### 1.3. Методи отримання фотоплетизмограми

Точність та правильність виміряного сигналу має високу залежність від методу отримання сигналу. Підбір правильного методу вимірювання відповідно до поставлених задач збільшує вірогідність того що отриманий сигнал буде відповідати очікуванням. На рисунку 5 приведено класифікацію методів вимірювання ФПГ сигналу.

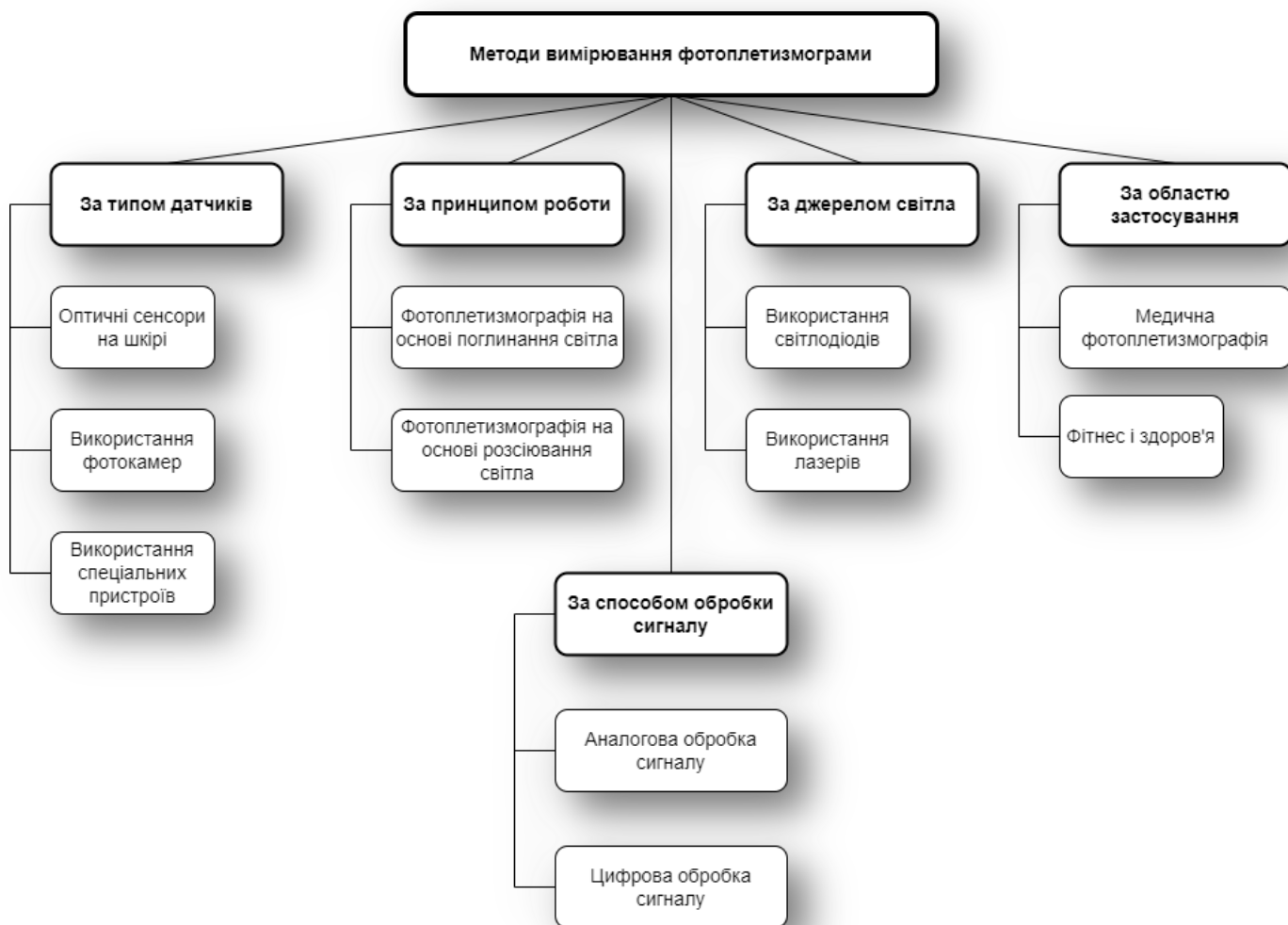


Рис.1.6 Класифікація методів вимірювання фотоплетизмограми

За типом датчиків методи вимірювання діляться на 3 групи. Найбільш розповсюдженим є використання оптичних сенсорів. Суть полягає в тому що

використовується світлодіод та фоторезистор для отримання сигналу шляхом просвічування потоку крові [4].

За принципом роботи методи діляться на 2 групи: фотоплетизмографія на основі поглинання світла, де вимірюється кількість поглинутого світла тканинами. Інший спосіб це вимірювання розсіювання світла, де вимірюється зміни в розсіюванні світла в тканинах [5].

За джерелом світла використовуються світлодіоди з різними хвильовими довжинами для освітлення тканин. Цей спосіб є найбільш бюджетним та розповсюдженим. Для досягнення більшої точності використовуються лазери, проте такий спосіб є більш дорогим [6].

За областю застосування методи поділяються на медичні та умовно побутові. Медичні використовуються в терапевтичних цілях і аналізуються висококваліфікованими спеціалістами з метою моніторингу фізіологічних параметрів в терапевтичних цілях [7]. Інша сфера застосування це більш побутові потреби для звичайних споживачів у сфері спорту або в буденному житті. Найпростіший приклад це смарт-годинники, які дозволяють робити подібні виміри. Сигнали отримані таким шляхом дають мінімальну загальну інформацію некваліфікованому споживачу [8].

За способом обробки сигналу методи поділяються на цифрові та аналогові. Відповідно аналогова та цифрова обробка сигналу [9].

#### **1.4. Основні способи виділення сигналу фотоплетизмограми**

Існує безліч методів, заснованих на опорних точках сигналу ФПГ, де функції витягуються з систолічних та діастолічних піків, дикротичних виїмок, міжімпульсних інтервалів, амплітуд піків, що мають основний недолік, а саме високу чутливість до шуму й низьку надійність [10].

Наведено деякі існуючі алгоритми розпізнавання ФПГ сигналу. Алгоритм процедури розпізнавання ФПГ сигналу за допомогою пульсометру показано на рис.6.



Рис.1.7 Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу за допомогою пульсометру [11]

Необроблені дані ФПГ повторно представляються шляхом сканування зсувного вікна. Остаточні дискримінаційні ознаки генеруються з повторно представлених даних ФПГ. Процедура класифікації виконується за кінцевими ознаками. Схема потоку біометричного розпізнавання ФПГ із використанням запропонованої системи представлена на рис.1.7.



Рис.1.8 Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу [12]

Ще один метод, де попередня обробка спрямована на адаптацію сигналу для зменшення проблем якості, як правило пов'язаних із отриманням та вилученням функцій, шукаючи найбільш репрезентативні характеристики сигналу для створення шаблону предмета. Для реєстрації створюється база даних, де зберігаються шаблони авторизованих користувачів. Для тестування потрібне узгодження, чи має користувач дозвіл, залежно від схожості його шаблону із шаблоном у базі даних [12].

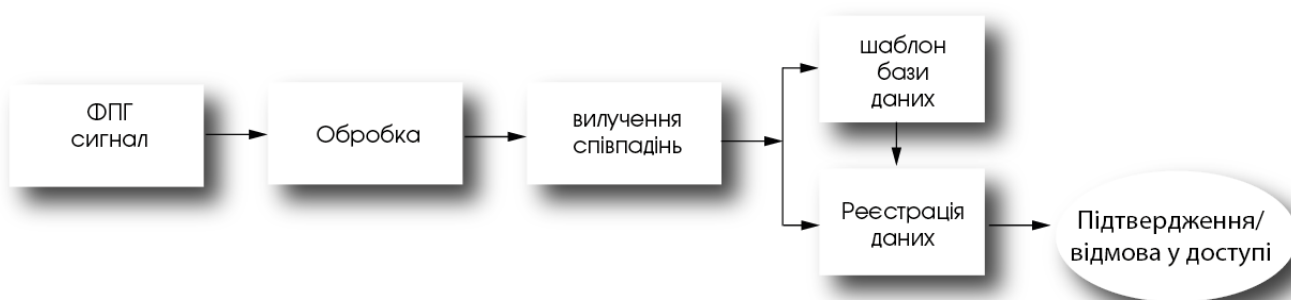


Рис.1.9 Алгоритм розпізнавання ФПГ сигналу [13]

Спочатку з датчику отримуємо первинний сигнал ФПГ. Після цього фільтруємо отриманий сигнал для подальшого його застосування в системах виявлення медичних показників. Потім отримані результати заносимо до біометричної, бази даних [13]. Описані методи є недосконалими та потребують більш детального вивчення та адаптації для використання в медичних системах.

Аналізуючи всі вище приведені алгоритми помітно етап притаманний абсолютно всім варіантам. Це обробка сирого сигналу. Саме цей етап є основним оскільки тут проводиться нормалізація отриманих сирих даних для подальшого аналізу. Тому тут зазвичай проводиться фільтрація шумів для того щоб позбутися всіх зайвих артефактів і очистити сигнал від небажаних впливів. Далі необхідно також синхронізувати та вирівняти сигнал ФПГ. Це необхідно щоб мінімізувати похибки які можуть виникнути в процесі вимірювання сигналу. Наприклад коли пацієнт рухається.

Після очищення сигналу та мінімізації похибок можна приступити до визначення пульсового ритму. Обтікання судин кров'ю відображене піками амплітуди сигналу ФПГ. Тому аналізуючи інтервали між цими піками можна визначити серцевий ритм та пульс пацієнта.

Після цього можна застосувати один з декількох найбільш популярних алгоритмів аналізу – «Детектування артеріальних хвиль». Необхідно виділити основні компоненти сигналу та позначити максимумами. Далі відбувається аналіз

форми хвиль. Сюди входить аналіз амплітуди, ширини та висоти хвилі. Після цього визначається пульсовий індекс (PI). Пульсовий індекс – це відношення амплітуди артеріальних хвиль до загальної амплітуди сигналу. На основі цих значень можна визначити артеріальний тиск та артеріальну жорсткість.

Ще одним популярним методом є спектральний аналіз. За допомогою нього можна розкласти сигнал на різні складові [14].

Першим кроком є перетворення Фур'є. Суть полягає в перетворенні часового представлення сирого сигналу у частотне за допомогою математичних перетворень Фур'є. Таким чином отримується спектр сигналу. Далі проводиться аналіз цього спектру, де виділяються домінуючі частоти. Потім визначаються основні ритмічні складові: серцеві скорочення, ритми дихання та інші ритмічні коливання. Після чого вже визначається пульсовий індекс і проводиться відповідна класифікація алгоритмів [15].

Останнім методом є використання різноманітних математичних моделей для аналізу ФПГ сигналу. Сюди входять: моделі реакції на подразники, моделі аналізу гармонік, моделі штучних нейронних мереж та феноменологічні моделі.

Моделі аналогії використовують для опису процесів математичні рівняння. Тут проводиться аналіз фізіологічних процесів які лежать в основі сигналу ФПГ.

Моделі реакції на подразники описують реакцію організму на зовнішні подразники, такі як температура середовища, фізичне навантаження тощо.

Моделі аналізу гармонік використовують алгоритми розкладання сигналу на гармонічні складові, що в свою чергу дозволяє виділити основні параметри ФПГ хвилі.

Нейронні мережі вже давно стали частиною сучасного математичного аналізу і дозволяють автоматизувати безліч процесів з використанням математичних моделей та рівнянь. Основною перевагою такого підходу є їхня здатність до навчання.

### **Висновки до розділу**

Проаналізувавши велику кількість літератури можна з впевненістю сказати що тема сигналу ФПГ є відносно маловивченою та має безліч нюансів з якими стикається сучасна медицина та наука. Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми дозволить вдосконалити, збільшити точність вимірювання та аналізу сигналу. Мінімізація втручання людини в процес обробки такого чутливого явища дозволить уникнути безліч помилок.

## РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ПАЦІЄНТА ТА СЕРЕДОВИЩА В ЯКОМУ ВІН ЗНАХОДИТЬСЯ

### 2.1. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми

Для зняття ФПГ сигналу в лабораторних умовах було розроблено наступну схему процедури.

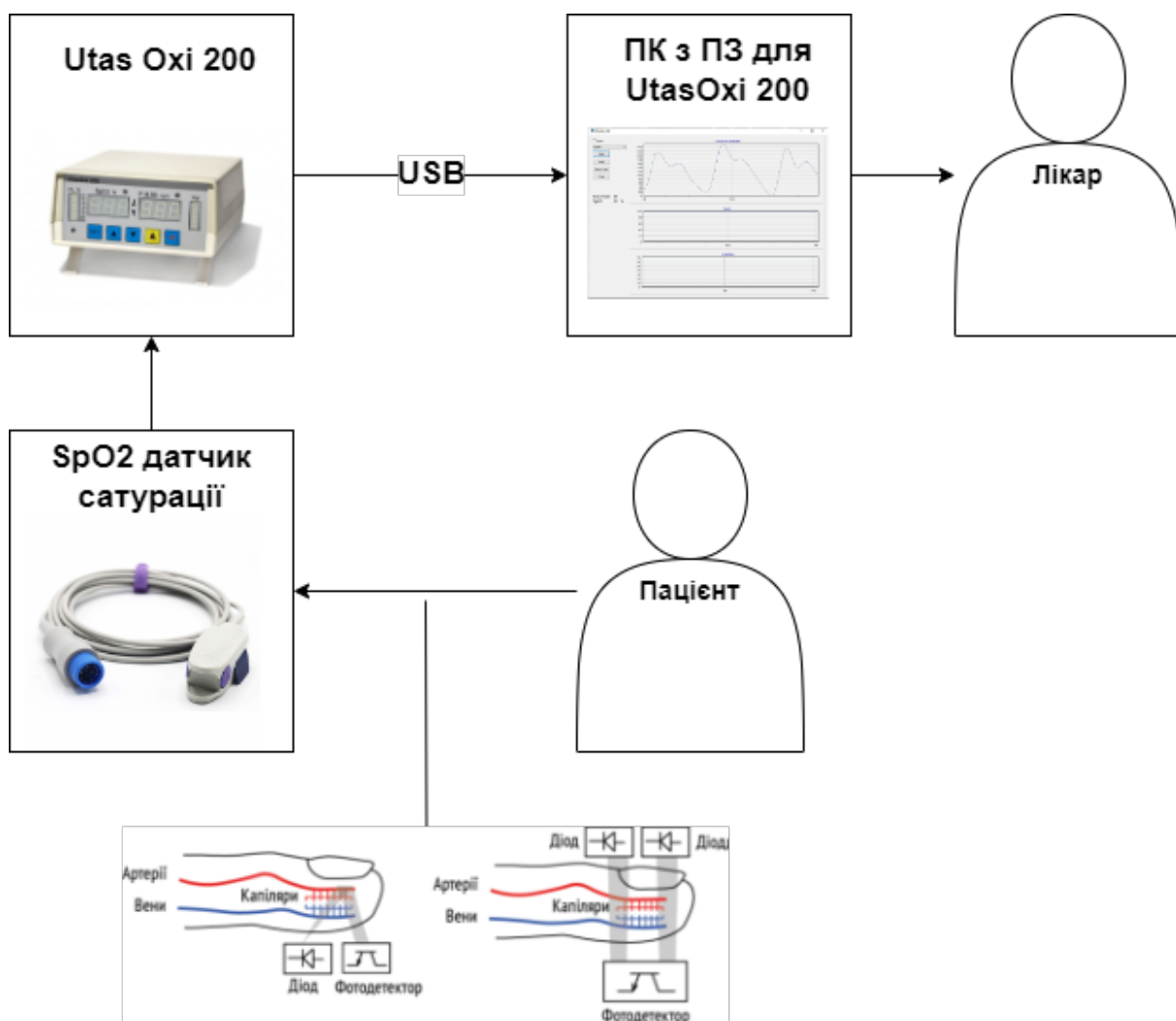




Рис. 2.1 Узагальнена структурна схема автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми

Даний метод отримання сигналу ФПГ є неінвазивним та здійснюється за допомогою спеціального приладу UtasOxi 200 до якого під'єднано датчик SpO<sub>2</sub>. Прилад під'єднано до ПК з відповідним ПЗ Utas Oxi 200.

Неінвазивна реєстрації сигналу ФПГ відбувається шляхом використання датчиків фотоплетизмограми у яких фотодетектор (рис.2.2 а,б) змінює опір в залежності від кількості поглиненого світла. Чим більше кров'яний потік, тим більше світла поглинається еритроцитами в тканинах організму, отже менше світла приходить на фотодетектор [10].

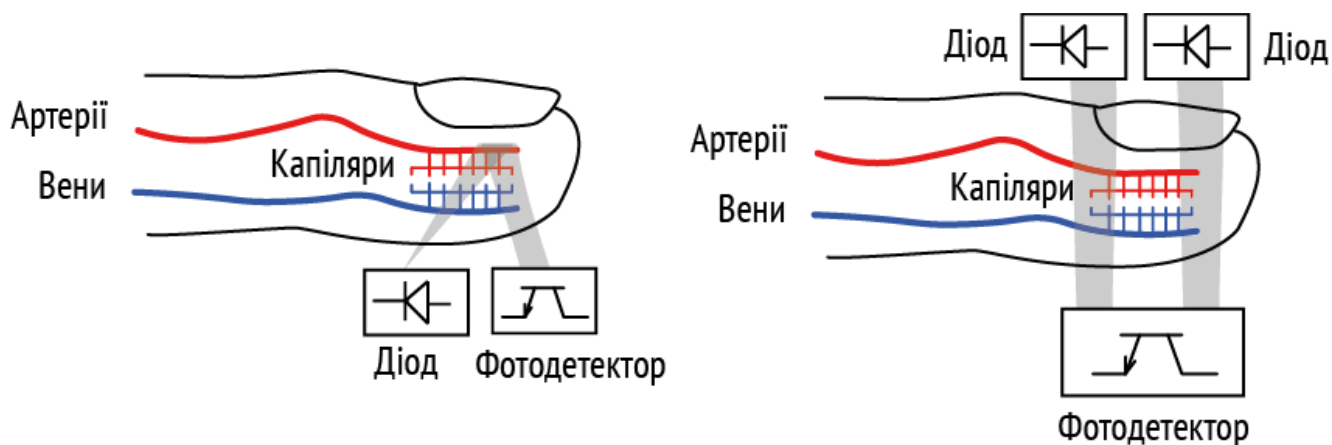


Рис. 2.2 Принципова схема реєстрація ФПГ сигналу: а) у відбитому світлі, б) у світло, що пройшло

Для зняття ФПГ сигналу в лабораторних умовах було обрано прилад Utas Oxi 200.



Рис. 2.3 Прилад Utas Oxi 200 [16]

В таблиці 2.1 наведено технічні характеристики приладу.

Таблиця 2.1 Технічні характеристики Utas Oxi 200 [16]

Виробник	Україна
SPO2	0-100%
Пульс, ударів/хв	20-280
Вікова категорія	Дорослі, діти, новонародженні
Живлення	220V
Вихід	USB
Точність вимірювань	$\pm 2\%$ (70-100%)

	$\pm 2\%$ (40-70%)
Габарити	148 x 68 x 190 мм
Вага	1.2 кг

Зчитування відбувається за допомогою датчику SpO<sub>2</sub>.



Рис. 2.4 SpO<sub>2</sub> датчик [17]

## 2.2. Розробка алгоритму проведення експериментальних досліджень

В процесі розробки та тестування модулю зчитування та автоматизованої обробки сигналу ФПГ було виявлено декілька негативних чинників, які впливають на результати отримання сигналу. Дані чинники є чисто технічними [18]. В таких випадках проблема отримання сигналу пов'язана з електронікою та пристроями вимірювання. Вирішення цієї проблеми є досить простим. Негативний вплив можна

усунути шляхом внесення відповідних коефіцієнтів, які нівелюють похибки в алгоритмі програми.

Проте більш впливовими та складними з точки зору вирішення є проблеми пов'язані з фізіологічним станом піддослідного, що показали результати досліджень, описані в цій роботі.

Дослідження проводились на приладі Utas Oxi200 серійного виробництва компанії Utas Co. Для отримання сигналу з приладу та побудови графіків було використано однойменну програму UtasOxi200. Для більш зручної візуалізації графіки побудовані в Microsoft Excel.

Алгоритм експерименту зображений на рис.2.5

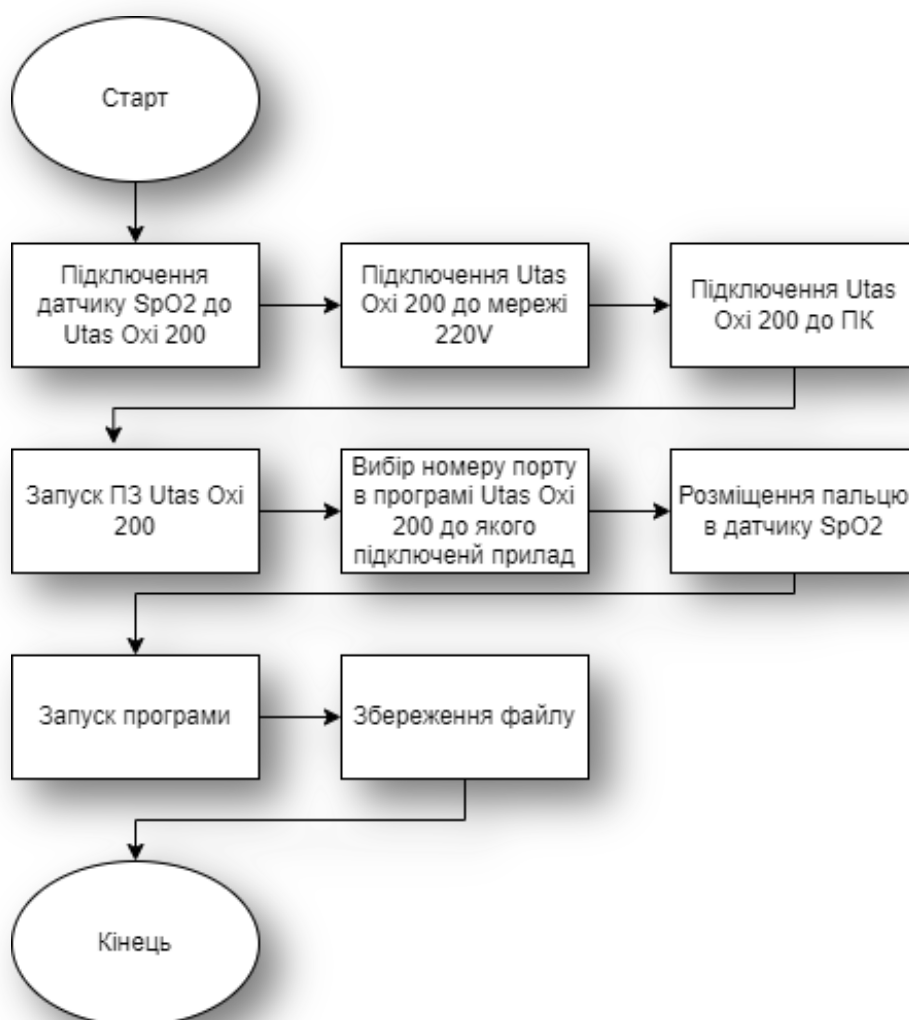


Рис. 2.5 Алгоритм експерименту

Процес отримання сигналу та інтерфейс програмного забезпечення наведено на рис. 2.6 та 2.7 відповідно.



Рис. 2.6 Процес зняття сигналу ФПГ

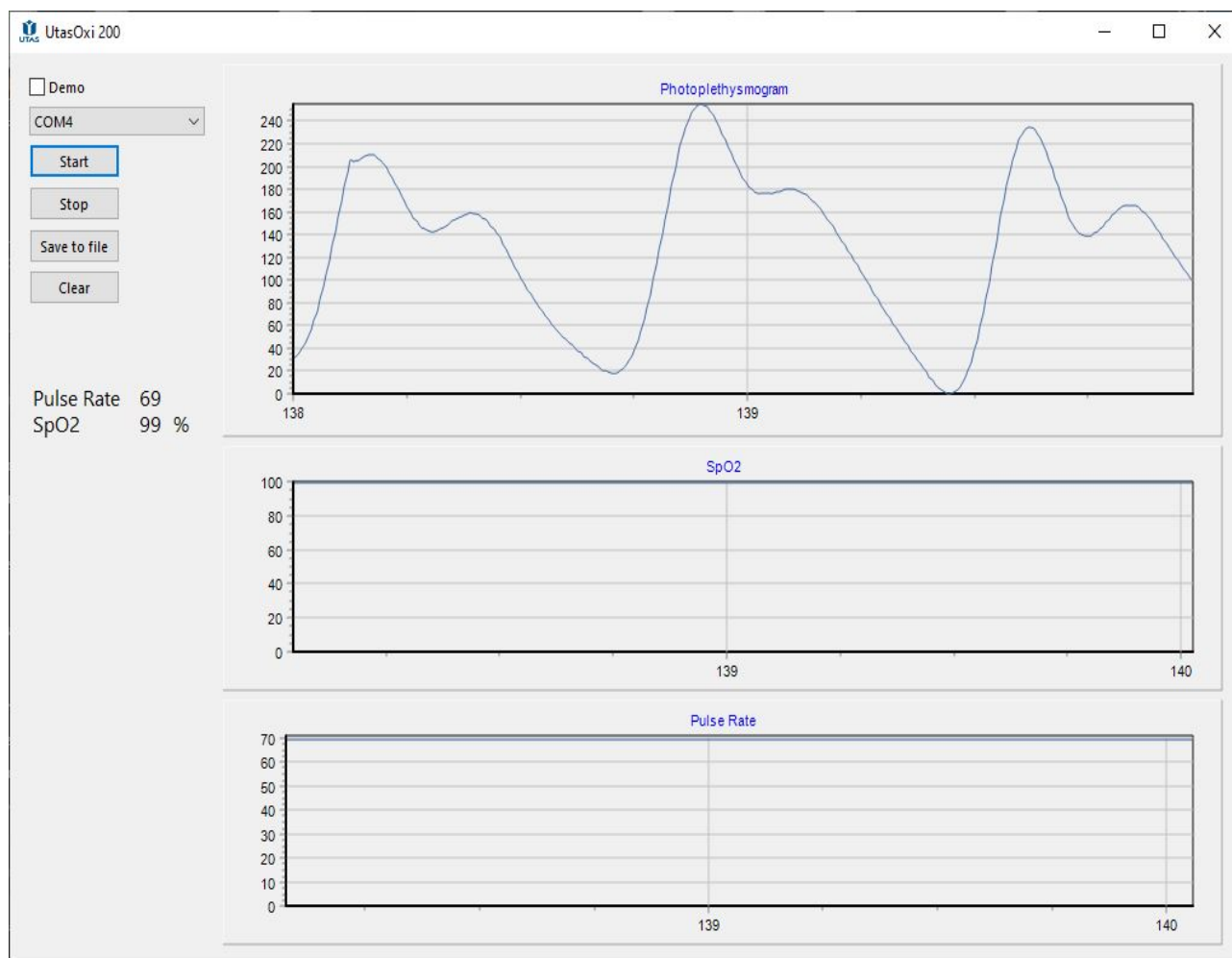


Рис. 2.7 інтерфейс програмного забезпечення UtasOxi200

Було обрано найбільш різноманітні та наближені до реальних умови життєдіяльності організму. Це зроблено для того щоб отримати вибірку найбільш можливих особливостей змін сигналу та врахувати ці похибки при розробці модулю.

Таким чином загалом було зроблено 20 вимірів протягом 4 днів. По 5 вимірювань в день. Сигнал фотоплетизмограми вимірювався протягом 30 секунд та зберігався у вигляді файлу Microsoft Excel з відповідним коментарем щодо температури оточуючого середовища та фізіологічних параметрів стану пацієнта для подальшого аналізу. Оточуюче середовище було кімнатної температури, оскільки передбачається що сам модуль буде знаходитись в одному приміщенні постійно. Стани в яких проводились вимірювання:

- ☐ До прийому їжі
- ☐ Після прийому їжі

- ☐ Вранці після сну
- ☐ Ввечері перед сном
- ☐ Після зміни температури в  $\sim 7^{\circ}\text{C}$
- ☐ Після інтенсивного тренування тривалістю 15 хв
- ☐ Після прогулянки

Було отримано наступні графіки сигналу



Рис. 2.8 Сигнал ФПГ до прийому їжі



Рис. 2.9 Сигнал ФПГ після прийому їжі



Рис. 2.10 Сигнал ФПГ після зміни температури



Рис. 2.11 Сигнал ФПГ після тренування

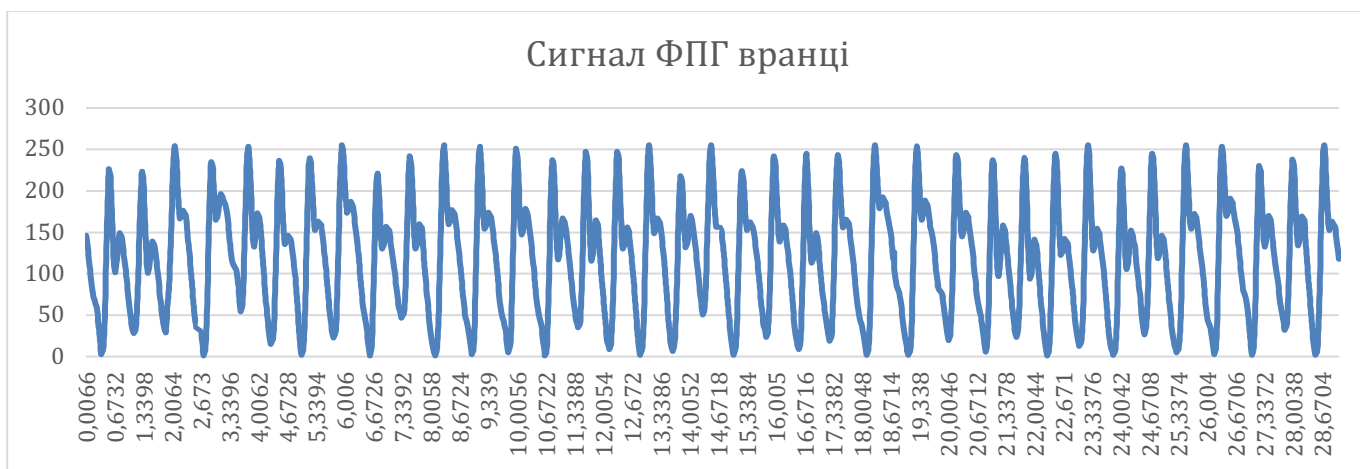


Рис. 2.12 Сигнал ФПГ вранці





Рис. 2.13 Сигнал ФПГ ввечері

В ході проведених в роботі досліджень було виявлено дві основні проблеми, з якими зазвичай стикаються при роботі системи біометричної автентифікації [11].

Нажаль, ФПГ-система не стала винятком. До таких проблем можна віднести фізіологічний стан пацієнта та характер розташування датчику вимірювання, що буде розглянуто далі.

### 2.3. Технічні чинники, що впливають на ФПГ сигнал

В процесі розробки та тестування автоматизованої системи моніторингу сигналу ФПГ було виявлено декілька негативних чинників, які впливають на результати отримання сигналу. Дані чинники є чисто технічними та проаналізовані в попередніх роботах [19]. В даному випадку проблема отримання сигналу пов'язана з електронікою та пристроями вимірювання. Вирішення цієї проблеми є досить простим. Негативний вплив можна усунути шляхом внесення відповідних коефіцієнтів, які нівелюють похибки в алгоритмі програми [19].

### 2.4. Фізіологічні чинники, що впливають на ФПГ сигнал

Можна виділити наступні категорії умов проведення вимірювань. Перша – температура оточуючого середовища відповідає кімнатній (близько 20 °C), спокійний стан пацієнта, після прийому їжі. Друга – температура оточуючого середовища є прохолодною (близько 15 °C), пацієнт знаходиться у спокої, але натщесерце.

При першій умові проведення експерименту зняті показники ФПГ були стабільними без коливань. При другій умові – при проведенні досліду з інтервалом декілька хвилин значення сигналу відрізнялось на три одиниці. Результат порівняння усереднених значень сигналу, отриманих при двох умовах, показав різницю в 10 одиниць.

На перший погляд може здатися, що такі результати показують недоцільність використання ФПГ сигналу для біометричної системи автентифікації, проте така різниця значень, яка з'явилась за такий короткий час дає змогу застосувати одне з запропонованих нами вирішень такої проблеми, а саме – збільшення допустимої похибки вимірювання.

Збільшення похибки дозволить системі та її алгоритму не зупинятись одразу після виявлення такої розбіжності, а продовжувати аналіз далі. Така перевірка є попередньою і повідомляє приладу про те, що вимірювання загалом відбувається правильно і сигнал є реалістичним, проте це тільки початок застосування програмою алгоритму розпізнавання особистості.

Такі показники є досить умовними і дають лише загальне уявлення про зміну сигналу завдяки вимірюванню його середнього значення за 4000 ітерацій.

## **2.5. Постановка задачі**

В попередньому розділі було проведено експеримент, зафіксовано первинний сигнал фотоплетизмограми та виконано розрахунки основних параметрів ФПГ. Отримані результати вказують на те що при різних фізіологічних станах пацієнта та оточуючого його середовища параметри ФПГ відрізняються. Власне це підтверджує ті дослідження які було описано в різноманітних літературних джерелах.

Пояснення такому явищу вже було описано вище, проте наразі існує необхідність контролю цієї зміни для того щоб врахувати ці відмінності при роботі з сигналом. Розрахунок параметрів навіть одного зубця сигналу згідно з математичними формулами представленими різними джерелами займає дуже багато часу та є досить неточним, оскільки тут важливу роль відіграє людський фактор.

Тому було прийняте рішення автоматизації процесу розрахунку параметрів сигналу шляхом розробки оптимізованого алгоритму який в свою чергу підкріплюється зручним інтерфейсом. Ця комбінація дозволить значно полегшити роботу спеціалістів задіяних у вивченні явища фотоплетизмограми, медикам та інженерам які працюють у сфері біометрії.

Далі описано основні параметри які необхідно розрахувати.

Оскільки явище фотоплетизмограми викликається серцем, існує необхідність вивчення його особливостей. Таким чином аналіз сигналу серця поділяють на 2 складові: показники частоти серцевих скорочень (ЧСС) та показники варіабельності частоти серцевих скорочень (ВЧСС).

Частота серцевих скорочень - це показник періоду серцевої активності, який визначається як кількість ударів за хвилину та інтервалі між цими ударами.

Показники варіабельності частоти серцевих скорочень – це значення зміни частоти серцевих скорочень. Дані показники поділяються на показники часової та частотної областей [20][21].

Для визначення серцевих скорочень найчастіше обирається певна точка, яку легко і точно можна виявити у будь-якому зубці сигналу, навіть при сильних перешкодах. У сигналі фотоплетизмограми цією точкою є пік систолічної хвилі, його досить легко виявити навіть у великій кількості значень сирого сигналу.

Основними показниками, за якими можна визначити ЧСС є:

- кількість ударів за хвилину (BPM);

$$BPM = \frac{60}{RR_{сер}} \quad (1.1)$$

Де  $RR_{сер}$  – середній міжударний інтервал

- середній інтервал між серцевими скороченнями (IBI);

$$IBI = \frac{1}{BPM} \quad (1.2)$$

В свою чергу показники ВЧСС виражаються у наступних параметрах:

- медіанному абсолютному відхиленні інтервалів між серцевими скороченнями (MAD);

$$MAD = median(|RR_i - median(RR)|) \quad (1.3)$$

Де  $RR_i$  – кожен індивідуальний інтервал,

- стандартному відхиленні інтервалів між серцевими скороченнями (SDNN);

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (RR_i - \overline{RR})^2} \quad (1.4)$$

Де  $N$  – кількість  $RR$  інтервалів,

$RR_i$  – кожен індивідуальний інтервал,

$\overline{RR}$  – середнє значення інтервалів

- квадратному корені середньоквадратичної відстані між послідовними інтервалами серцевих скорочень (RMSSD);

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2} \quad (1.5)$$

- стандартному відхиленні послідовних різниць між інтервалами серцевих скорочень (SDSD);

$$SDSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2} \quad (1.6)$$

- відсотку різниць між послідовними інтервалами серцевих скорочень більших за 50 мс і 20 мс (pNN50, pNN20);

$$pNN50 = \frac{\text{кількість } RR > 20ms}{\text{загальну кількість } RR \text{ інтервалів}} \times 100 \quad (1.7)$$

$$pNN50 = \frac{\text{кількість } RR > 50ms}{\text{загальну кількість } RR \text{ інтервалів}} \times 100 \quad (1.8)$$

ВЧСС також може бути виражена у частотній області, де зазвичай включають дві частотні смуги: низька частота (LF, 0,04-0,15 Гц), яка пов'язана з короткостроковими змінами кров'яного тиску і висока частота (HF, 0,16-0,5 Гц), яка відображає частоту дихання [22].

### **Висновки до розділу**

В даному розділі проведено експеримент, який довів що параметри ФПГ отримані при різних фізіологічних станах пацієнта значно відрізняються один від одного. Розроблену математичну модель яку буде використано при подальшій розробці програмного забезпечення. Поставлено задачі для розробки автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

### 3.1. Алгоритм розрахунку параметрів ФПГ

Оскільки головним маркером для розрахунку параметрів є систолічні піки сигналу, то необхідно виконати їхній пошук. Таким чином для кожного значення сигналу амплітуди аналізуються його сусідні значення до тих пір поки наступне значення не стане менше за попереднє. Після отримання перших пікових значень формується діапазон значень в яких може лежати значення систолічного піку. Це робиться для того щоб виключити можливість врахування діастолічних піків де принцип диференціації значень такий самий.

Паралельно з цим процесом відбувається розрахунок BPM і одразу його перевірка на входження до діапазону ( $40 \leq \text{BPM} \leq 180$ ) [23].

Після розрахунку піків відбувається відхилення тих значень які не задовольняють порогове. Порогові значення обчислюються на основі середнього значення RR-інтервалів у сегментах. Порогові значення визначаються як середнє значення RR інтервалу  $\pm$  (30% від середнє значення RR інтервалу, з мінімальним значенням  $\pm 300$ ). Якщо RR-інтервал перевищує один із порогів, він ігнорується.

Для того об відхилені пікові значення не впливали на значення результуючих параметрів, для розрахунку використовуються тільки прийняті пікові значення в кожному сегменті. Таким чином, використовуються лише інтервали, створені двома сусідніми прийнятими піками. Наприклад для розрахунку RMSSD, використовуються лише інтервали між двома суміжними RR-інтервалами, які, у свою чергу, створюються трьома суміжними прийнятими піками [23].

### **3.2. Алгоритм роботи інтерфейсу програмного забезпечення**

В даному розділі представлено блок схеми, які описують алгоритм роботи інтерфейсу програмного забезпечення. Інтерфейс створено згідно вимогам UX (User Experience) / UI (User Interface) [24].

Увесь порядок дій користувача є послідовним та враховує можливі помилки які можуть виникнути при роботі програми. Таким чином покрита максимальна кількість випадків які можуть привести до помилки, для того щоб запобігти вимушеному закритті програми.

На рисунку 3.1 представлена блок схема алгоритму для першого вікна програми.



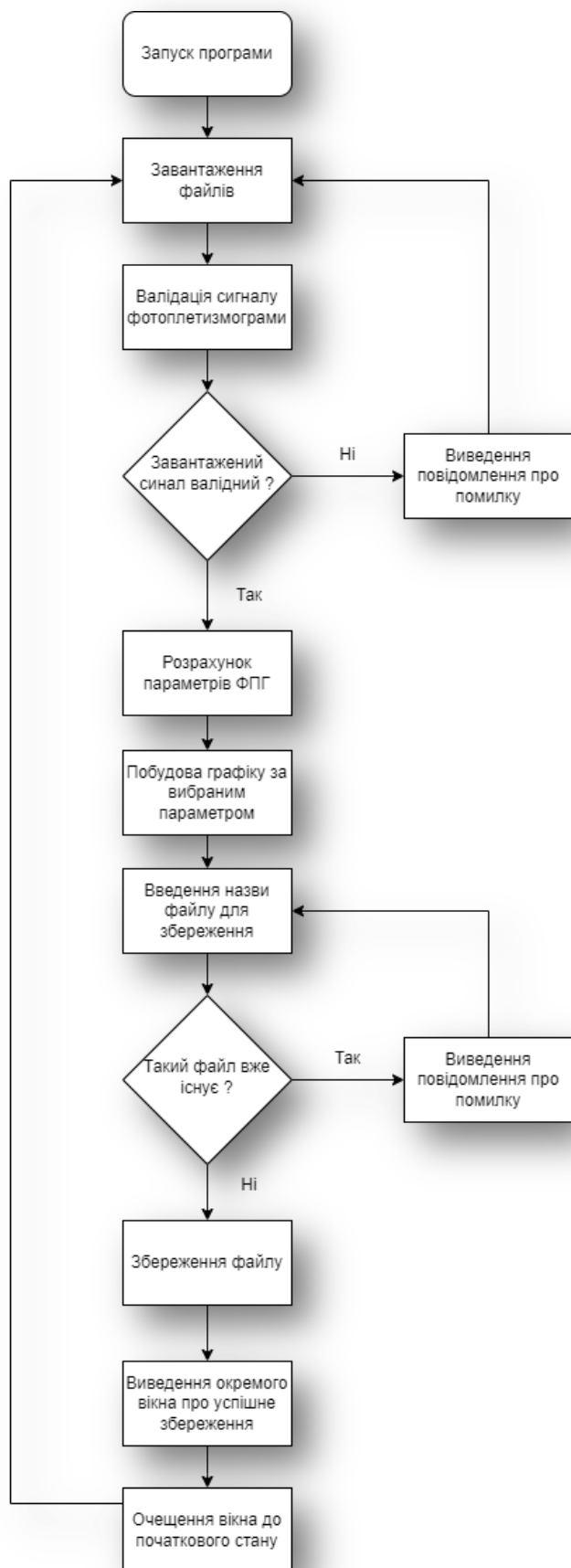


Рис. 3.1 Алгоритм першого вікна програми

На рисунку 3.2 представлена блок схема алгоритму для другого вікна програми.

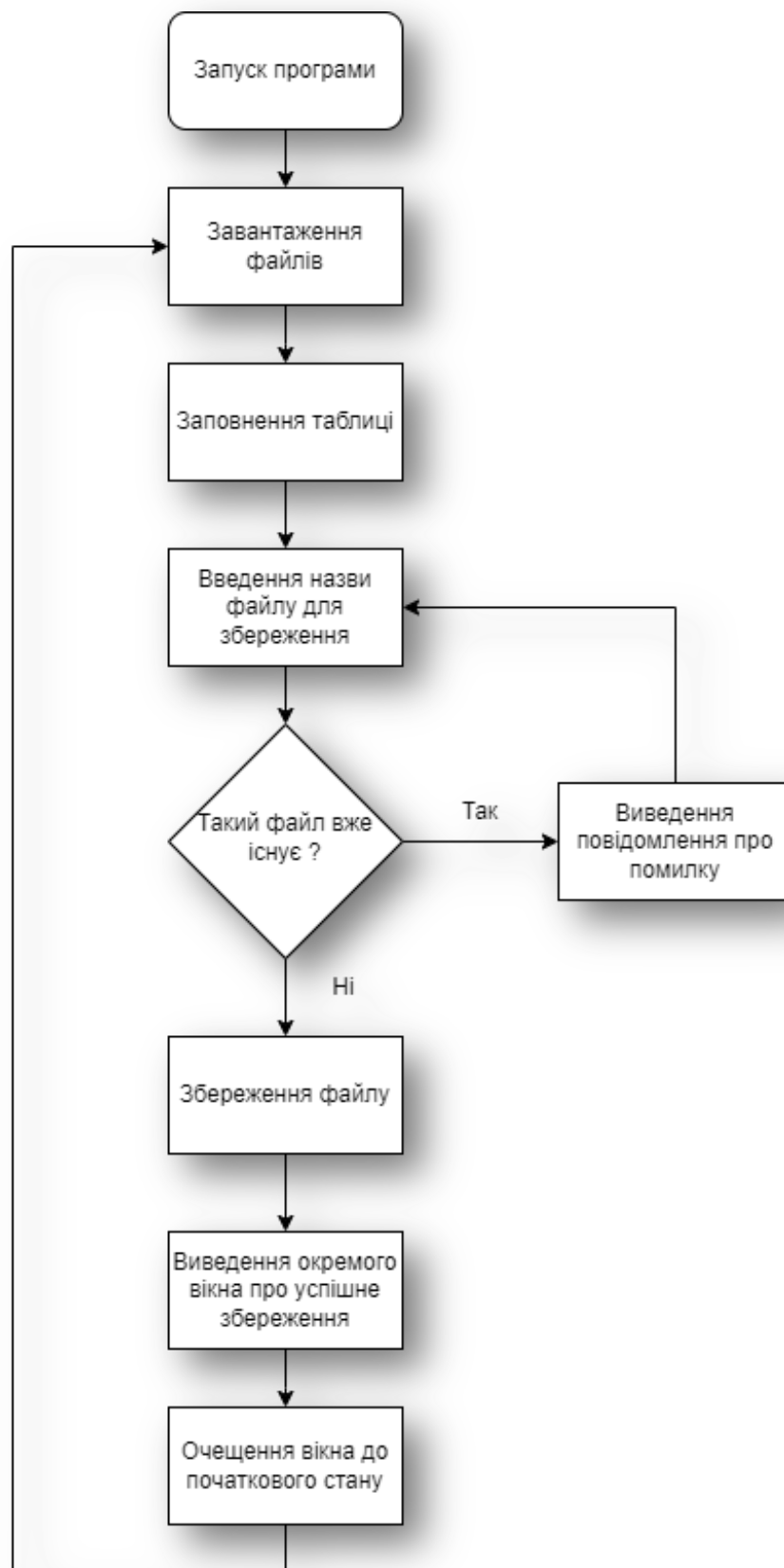


Рис. 3.2 Алгоритм другого вікна програми

### 3.3. Вибір технологій

Для досягнення бажаного широкого функціоналу програмного забезпечення необхідно відповідально підійти до питання вибору бібліотек які будуть використовуватись.

Основними вимогами до таких бібліотек є:

- ☐ Доступність
- ☐ Наявність документації
- ☐ Оптимізованість
- ☐ Технічна підтримка
- ☐ Зворотня сумісність
- ☐ Високий рейтинг серед розробників

Опираючись на перелічені вище критерії було обрано бібліотеки для розробки даного програмного забезпечення.

Для завантаження, парсингу та збереження даних у форматі .xlsx було обрано наступні бібліотеки: xlrd, openpyxl. Ці бібліотеки надають зручне API (Application Programming Interface) для роботи з файловою системою [25].

Для зручної взаємодії з великим об'ємом даних обрано бібліотеку pandas. Ця бібліотека є доволі популярною та дозволяє створювати датафрейми, які в свою чергу є оптимізованими структурами даних та їх легко використовувати для подальших розрахунків [26].

Для візуалізації отриманих результатів використовується бібліотека matplotlib. Завдяки цій технології дуже легко побудувати графіки та налаштувати їхній зовнішній вигляд під свої потреби.

Математичні розрахунки та робота з великою кількістю даних без використання складних та неоптимізованих циклів виконується з допомогою numpy [27].

Для створення зручного та адаптивного інтерфейсу обрано бібліотеку PyQt5. Ця технологія надає зручне API та дозволяє створити інтерфейс який відповідає UI/UX парадигмам [28].

Бібліотекою для розрахунку основних параметрів фотоплетизмограми обрано HeartPy. Це найбільш відома та зручна бібліотека для взаємодії з сигналами серцевого ритму. Вона містить в собі оптимізовані алгоритми валідації та розрахунку основних параметрів ФПГ сигналу [29].

### 3.4. Тестування ПЗ

В даному розділі представлено готове програмне забезпечення з описом всіх функцій які задіяні в ньому.

Перша сторінка ПЗ надає основний функціонал з парсингу файлів з сирим сигналом для кожного дослідження та розрахунок середнього значення кожного параметру. В кінці всіх розрахунків користувач має змогу зберегти результати у файл.

Інтерфейс першої сторінки зображено на рисунку 3.3.

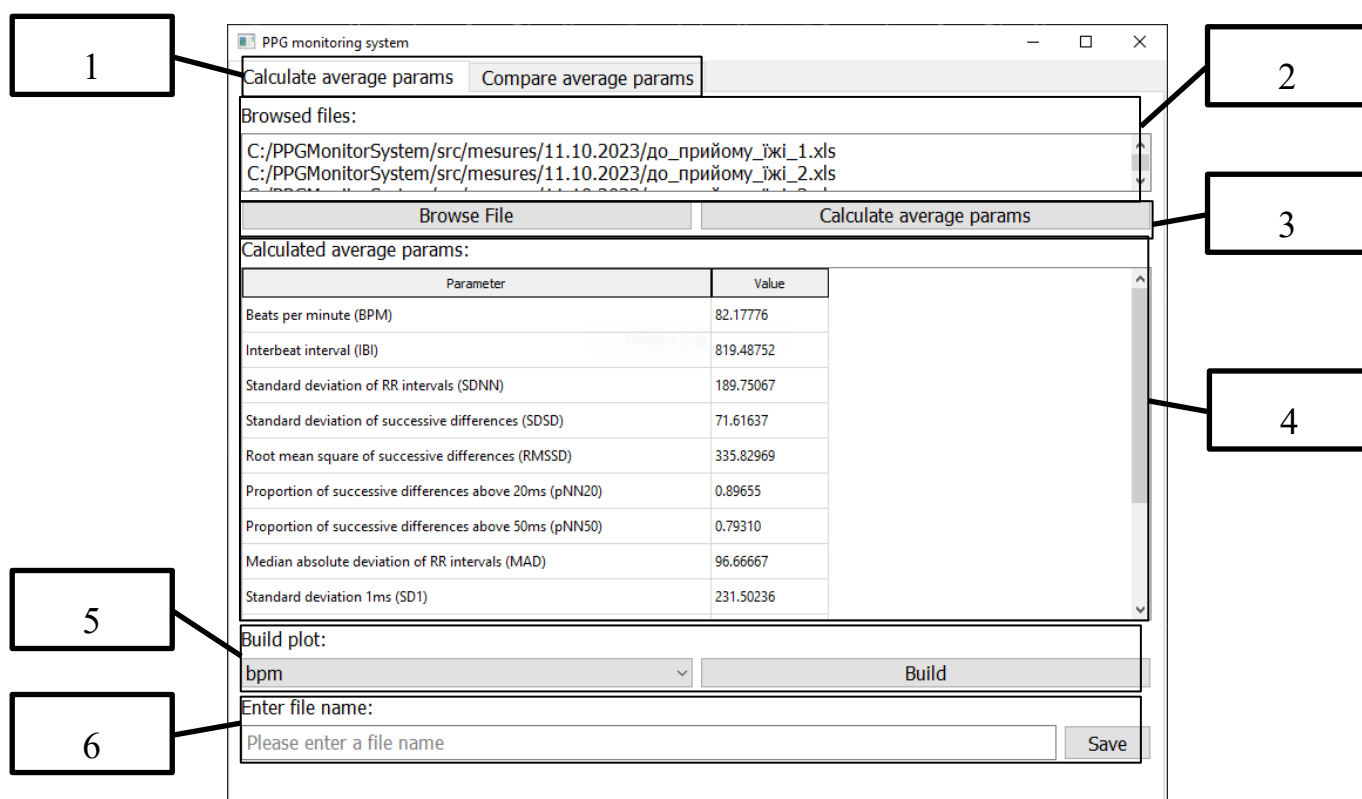


Рис. 3.3 Інтерфейс першої сторінки ПЗ.

Область 1 кнопки для переключення між сторінками інтерфейсу.

Область 2 вікно зі списком завантажених файлів.

Область 3 кнопка для старту завантаження файлів та кнопка для початку процесу розрахунку параметрів сигналу.

Область 4 таблиця з розрахованими середніми значеннями ФПГ сигналу.

Область 5 секція для побудови графіку. Лівий випадаючий список дозволяє користувачу обрати параметр для якого буде побудований графік сигналу. При натисканні на кнопку яка розташована праворуч відбувається побудова графіку.

Область 6 секція, яка надає функціонал збереження файлу. В полі вводу ліворуч користувач має змогу ввести назву файлу та зберегти його з допомогою кнопки праворуч. Якщо файл з такою назвою вже існує, то користувач побачить повідомлення про помилку.

Друга сторінка надає функціонал для виведення всіх сигналів в одну таблицю та порівняння їх між собою.

На рисунку 3. зображено інтерфейс другої сторінки інтерфейсу ПЗ.

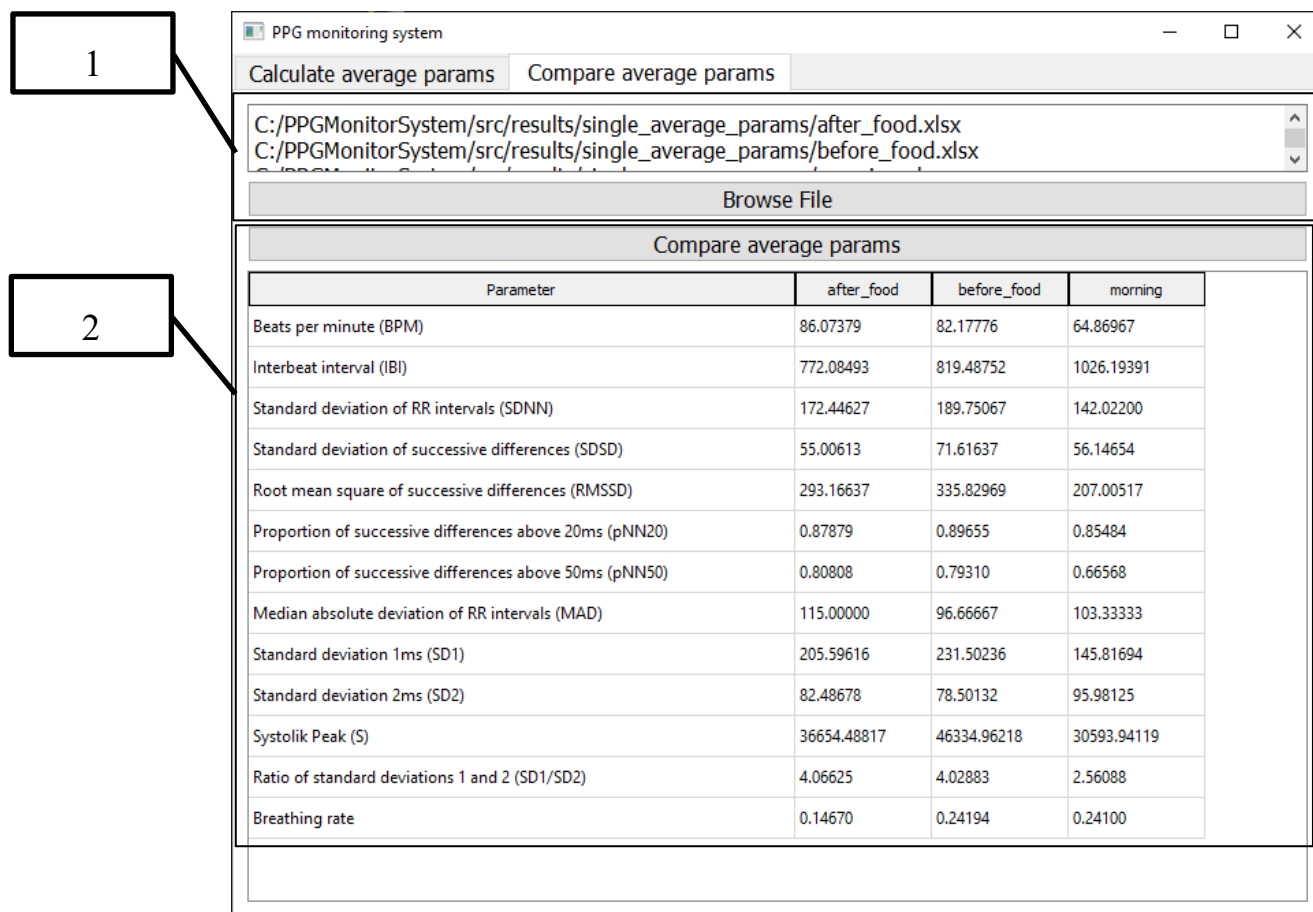


Рис.3.4 Інтерфейс другої сторінки ПЗ

Область 1 Область для завантаження файлу

Область 2 Таблиця з середніми значеннями сигналу ФПГ для різних фізіологічних станів.

Дані вікна мають обробку помилок. У випадку завантаження невалідного сигналу користувач отримає наступну помилку (рис. 3.5)

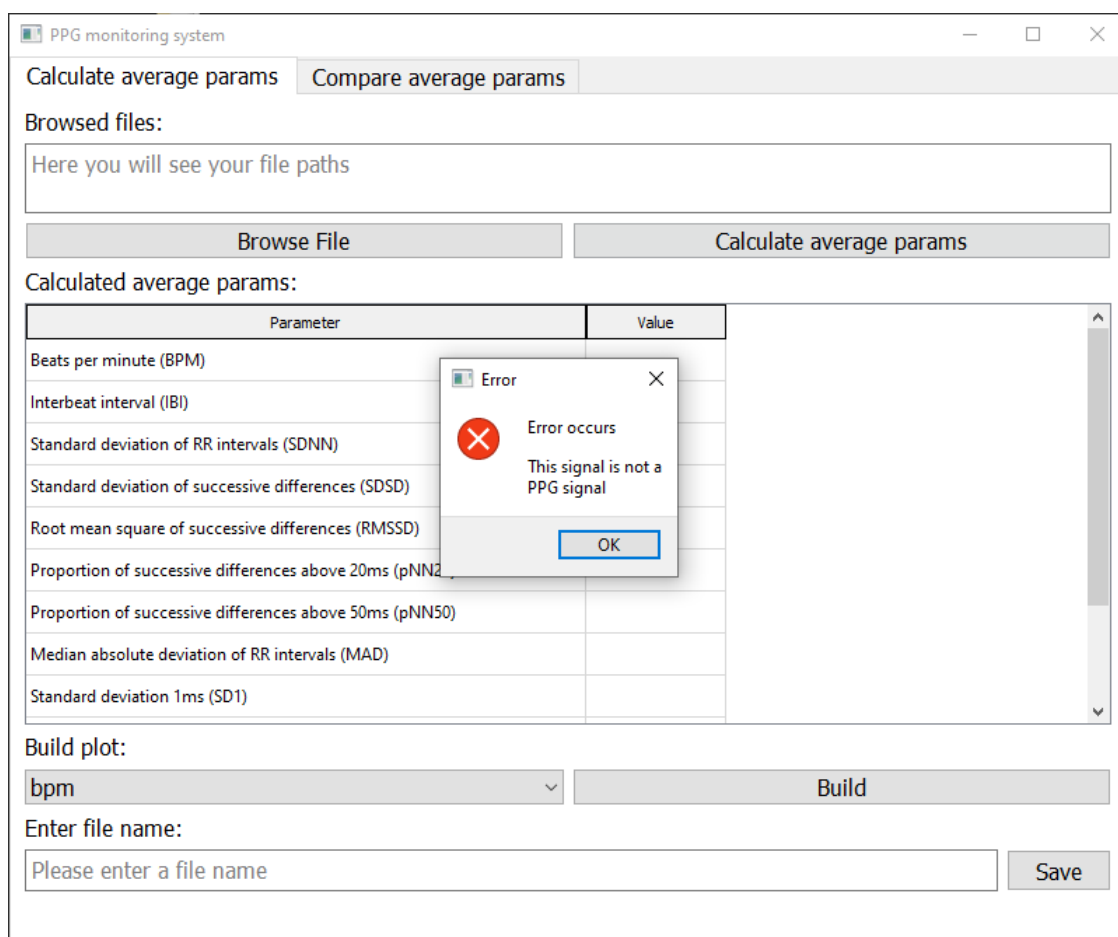


Рис.3.5 Помилка, які інформує про невалідний сигнал.

Також користувач може отримати повідомлення про помилку в разі введення назви файлу (Рис. 3.6).

Enter file name:

before\_food

Save

File already exists. Please enter a different name !

Рис. 3.6 Помилка з вимогою змінити назву файлу на іншу.

Отримавши таблицю зі значеннями параметрів фотоплетизмограми для різних станів пацієнта для візуалізації цієї зміни було побудовано коробковий графік (рис. 3.7) для кожного параметру, де описано відсоток який становить різниця між мінімальним і максимальним значенням від максимального значення.

Figure 1

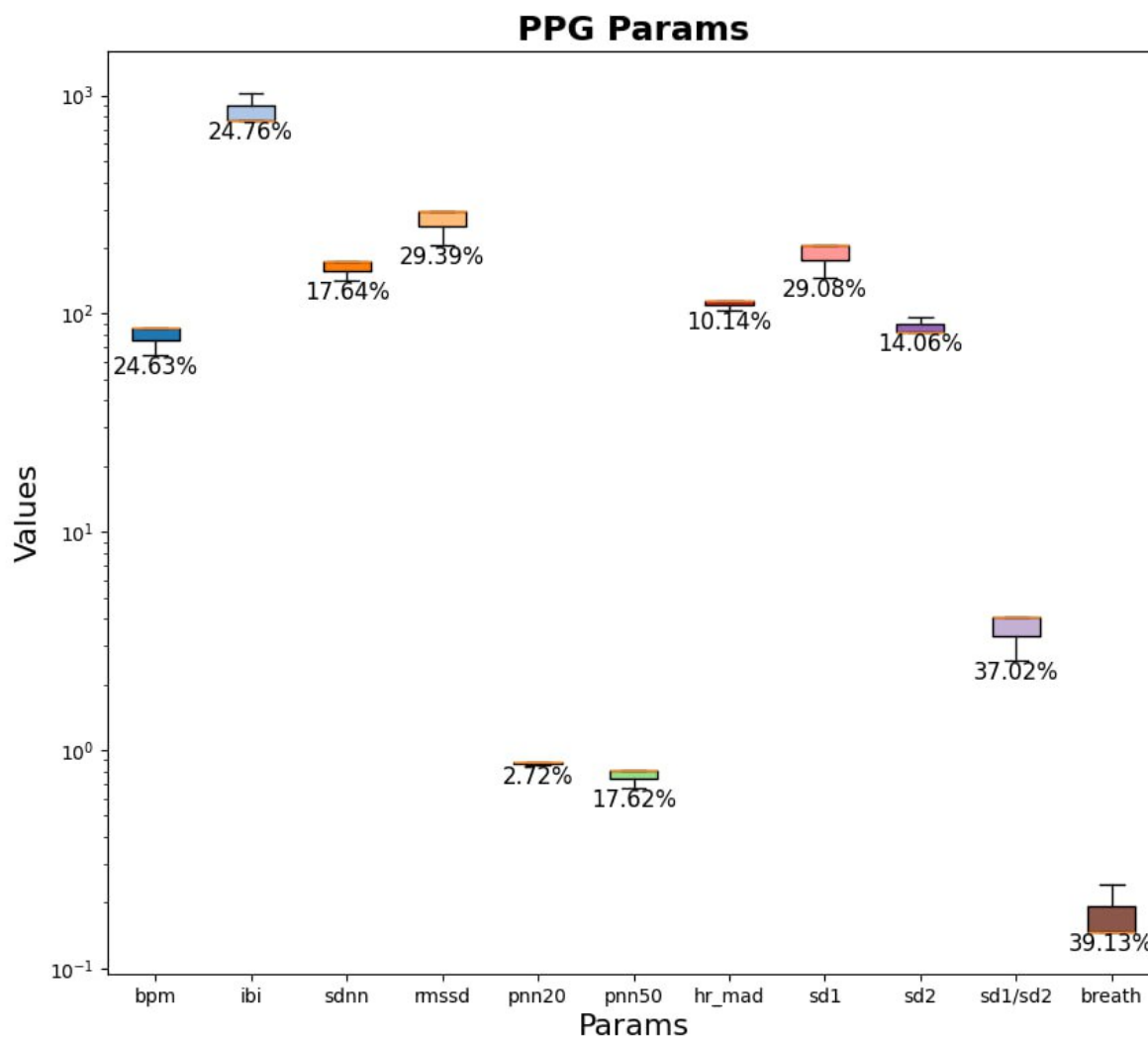


Рис. 3.7. Зміна параметрів сигналів ФПГ в залежності від фізіологічного стану пацієнта.

### **Висновки до розділу**

В результаті було обрано найкращий алгоритм для розрахунку параметрів ФПГ, розроблено алгоритм роботи ПЗ, обрано найвдаліші технології для реалізації запланованого функціоналу та оброблено всі можливі помилки які можуть виникнути у користувача при користуванні програмою.



## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАПУ ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ»

В попередніх розділах було розроблено було проведено аналіз існуючих досліджень на тему «Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми», проведено експеримент де було визначено основні фактори які впливають на результуючі значення та розроблено програмне забезпечення для обробки сигналу то розрахунку його параметрів.

### 4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проекту

Ідея стартап проекту полягає в автоматизації обробки, розрахунку та контролю основних параметрів сигналу фотоплетизмограми.

У таблиці 4.1 описано напрямки застосування ідеї стартапу та вигоди які отримує потенційний користувач [30].

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми	Обробка сирого сигналу ФПГ	Для розрахунку параметрів використовуються оптимізовані алгоритми з високою точністю, які дозволяють швидко обробляти велику кількість даних та

		зберігати при цьому точність вимірювань
	Валідація сигналу	Можливість валідувати сигналу на предмет того чи справді це сигнал фотоплетизмограми
	Збереження даних	Програмне забезпечення надає широкий функціонал для формування на збереження файлів

Запропоноване ПО можливо встановити на операційну систему Windows та MacOS та Linux, що забезпечує йому доступність для користувача будь якої платформи.

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів (таблиця 4.2). Відомі конкурент:

- ☐ Blood Pressure Monitor (USA)
- ☐ Blood Pressure Monitor (Poland)
- ☐ MedM Blood Pressure (Switzerland)
- ☐ MedM Health (Switzerland)
- ☐ Blood Pressure Tracker (USA)
- ☐ Blood Pressure RT (USA)
- ☐ Omron Health Management Software (USA)
- ☐ Mi Fitness (China)

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ п/ п	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторон а)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторон а)
		Мій проект	Мі Fitness	Blood Pressure Monitor			
1	Доступність	Висока	Висока	Висока	-	-	+
2	Вартість	Низька	Низька	Низька	-	-	+
3	Точність вимірювань	Висока	Середня	Середня	-	-	+
4	Кількість вимірюваних параметрів	Висока	Низька	Висока	-	-	+
5	Взаємодія з файлами	Присутні й	Відсутні й	Відсутні й	-	-	+
6	Необхідність високої кваліфікації користувача	Низька	Низька	Середня	-	+	-
7	Функціональні сть	Середня	Низька	Середня	+	-	-

Порівнявши характеристики проекту з існуючими на ринку продуктами зроблено висновок, що представлена ідея є досить доцільним новим рішенням у сфері ПЗ для обробки даних, завдяки своїй доступності, зручності, точності та функціональності.

Далі проведено аудит стартап проекту, в таблиці 4.3 вказані технічні складові та способи їхньої реалізації.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Вимірювання сигналу ФПГ	Оптичний метод вимірювання	Наявна	Доступна
2	Зчитування та передача сигналу	Прилад для зчитування та передачі сигналу	Наявна	Доступна
3	Пристрій для прийому сигналу з пристрою	ПК який зчитує сигнал з пристрою та обробляє його	Наявна	Доступна
4	Обробка сигналу та розрахунок параметрів	Бібліотеки Python, які надають алгоритми розрахунку основних параметрів	Наявна	Доступна
5	Середовище розробки ПЗ	VSCode	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту є можливою				

Провівши аналіз можна з впевненістю сказати що абсолютно всі технології для розробки програмного забезпечення є доступними та не потребують вкладання коштів. Для реалізації задуманого достатньо вже наявних пристроїв невеликої потужності.

#### **4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

Далі наведено основні параметри стану ринку на якому планується реалізація проекту та проаналізовано основні загрози та перешкоди.

В таблиці 4.4 описано попередню характеристику потенційного ринку стартап проекту.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	8
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	120 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Розвивається
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція із існуючими компаніями
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація точності та достовірності показників
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10.1%
7	Прогнозований середньорічний темп зростання (2023-2030)	14.8%

На ринку існує 8 основних компаній, які конкурують одна з одною. Загальний обсяг продажів складає 120 000 грн на одиницю продукції. Ринок показує тенденцію до постійного розвитку, що може вказувати на перспективи для нових учасників ринку.

Існує значна конкуренція з існуючими компаніями, що може створювати перешкоди для нових учасників.

Наявні специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації, зокрема, вимагається сертифікація точності та достовірності показників, що може вплинути на вартість та процес розробки продукції.

Середня норма рентабельності становить 10,1%, що може вплинути на привабливість ринку для нових учасників. Очікується середньорічний темп зростання на рівні 14,8%, що свідчить про перспективи для розвитку наступних років.

В цілому, ринок програмного забезпечення для автоматизованого контролю параметрів фотоплетизмограми відкриває деякі можливості для нових учасників, але вимагає уважної стратегії в умовах конкуренції та вимог до сертифікації продукції [31].

Далі визначено цільову аудиторію та описано основні групи споживачів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення доступності ПЗ	Лікарі, медичні заклади, фармацевтичні компанії, пацієнти	Можливість використання ПЗ у будь якому медичному закладі	Доступність ПЗ та зручна інструкція для встановлення
2	Зниження необхідного рівня кваліфікації користувача	Пацієнти, що проходять хіміотерапію та лікування	Можливість використання програми будь якому користувачу	Зменшення рівня необхідних знань в сфері застосування ПЗ

3	Прозорість та точність вимірювань	Лікарі, медичні заклади, фармацевтичні компанії, пацієнти	Забезпечення достовірності розрахованих параметрів	Надійність та точність вимірювань
4	Здатність систематизації за збереження результатів	Лікарі, медичні заклади, фармацевтичні компанії, пацієнти	Можливість систематизації, збереження, редагування та подальшої взаємодії з результатами вимірювань	Можливість збереження результатів та зручної взаємодії з ними в майбутньому

Отже визначено що основні цільові групи мають схожі вимоги до продукту та в більшості випадків дане ПЗ вирішує проблеми обох цільових аудиторій.

Далі наведено фактори загроз (таблиця 4.6) та фактори можливостей (таблиця 4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Висока конкуренція	Новий продукт може не набрати високу популярність через консервативні цільові групи	Популяризація продукту шляхом розповсюдження таргетованої реклами
2.	Наявність помилок	Програма може мати	Максимально якісне

		помилки	тестування з врахуванням всіх можливих ситуацій
--	--	---------	----------------------------------------------------

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Відсутність аналогів на місцевому ринку	Вітчизняний продукт більш близький до користувача. Можливість врахувати особливості менталітету.	Розглянути можливість розширення на глобальний ринок
2.	Відсутність необхідності наявності високої кваліфікації користувача	Можливість розповсюдження продукції для більшої кількості користувачів	Розміщення додатку на всіх доступних платформах
3.	Зручний інтерфейс	Можливість швидкого пристосування нового користувача до ПЗ	Рекламна кампанія з розповсюдження ПЗ

Дослідження можливостей та загроз показало що при успішній рекламній кампанії в даного продукту є значна перевага над конкурентами, що при грамотному інформаційному впливі на цільові групи дозволить досягнути бажаного результату.

В таблиці 4.8 приведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості	В чому проявляється	Вплив на діяльність
-------------	---------------------	---------------------



конкурентного середовища	дана характеристика	підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Закордонні конкуренти	Ринок представляє декілька закордонних компаній які мають успіх в розповсюдженні схожого продукту	Пропонування нових підходів для реалізації
Боротьба всередині специфічної галузі	Конкуренція невеличка але достатня в межах галузі	Потужна рекламна кампанія з таргетованим впливом на цільові групи
Функціонал ПЗ	Товари які надають однаковий функціонал	Запровадження нових прогресивних функцій

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Blood Pressure Monitor, MiFitness, Omron Health Management Software	Інші компанії з розробки ПЗ зі схожим функціоналом	Китай, США	Медичні спеціалісти, звичайні користувачі	ПЗ з обмеженим функціоналом

Висновк и:	Великий попит на продукцію	Можливість реалізації шляхом запровадже ння нового функціонал у	Запроваджу ють стандарти ПЗ	Прагнуть простоти, доступності, зручності, прозорості та точності вимірювань	Деякий функціонал з даного ПЗ може рідко використову ватись користуваче м та не потрібен певній кількості користувачі в
---------------	----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В цілому, на ринку програмного забезпечення для фотоплетизмографії спостерігається великий попит на продукцію. Це створює можливості для нових рішень та функціоналу, але вимагає врахування потреб та вимог клієнтів для збереження конкурентоспроможності на ринку.

В таблиці 4.10 наведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Відсутність аналогів на місцевому ринку	Відомих конкурентів на вітчизняному ринку не виявлено
2	Низька собівартість продукту	Для виготовлення продукту потрібна дуже мала кількість витрат
3	Доступність	Можливість використання даного ПЗ на різних операційних системах

4	Технічна підтримка	Постійне оновлення та додавання нового функціоналу зважаючи на потреби користувача
5	Кросплатформенність	Можливість портувати дане ПЗ на мобільні пристрої

В таблиці 4.11 проведено порівняння даного продукту з MiFintess.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз з MiFintess

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з MiFintess						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Доступність	15		+					
2	Функціонал	20		+					
3	Точність	20					+		
4	Зручність	15						+	

Проведений вище аналіз показав що розроблене ПЗ має перевагу на ринку, є простим у реалізації, надає широкий функціонал та є доступним для потенційного користувача.

SWOT-аналіз стартап-проекту описаний в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <p>Відсутність вітчизняних аналогів</p> <p>Низька вартість</p> <p>Тривала підтримка</p> <p>Широкий функціонал</p> <p>Доступність</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <p>Не найкращий інтерфейс</p> <p>Обмежена доступність приладів для взаємодії</p> <p>Зайвий функціонал</p> <p>Мінімальні вимоги знань для взаємодії з ПЗ</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Можливості:</p> <p>Розширення функціоналу</p> <p>Збільшення продажів</p> <p>Швидке розповсюдження</p>	<p>Загрози:</p> <p>Конкуренція на глобальному ринку</p> <p>Можливість тривалої підтримки</p> <p>Не розповсюджена сфера застосування</p>

Проведений SWOT аналіз описав можливі сильні та слабкі сторони. Враховуючи більшу кількість сильних сторін можна стверджувати що проект має великий шанс на успіх.

В таблиці 4.13 описано Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Технічна підтримка користувача	Дозволить розуміти актуальні проблеми продукту	1 місяць
2	Вдосконалення старого та покращення нового функціоналу	Дозволить вийти на один рівень з конкурентами та навіть перегнати їх	3-8 місяців
3	Рекламна кампанія	Збільшить кількість потенційних користувачів продукту	12 місяців

Як результат отримано приблизну стратегію з усунення загроз які можливі при виході на ринок. Основними методами боротьби з конкуренцією обрано: широку

технічну підтримку користувача, вдосконалення вже наявного та запровадження нового функціоналу та таргетована рекламна кампанія для збільшення цільової аудиторії.

### 4.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Наступним кроком є розробка ринкової стратегії враховуючи потреби груп потенційних споживачів.

В таблиці 4.14 описано основні напрями діяльності проекту та його попит в цільових групах

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Медицина	Висока точність вимірювань та широкий функціонал буде корисним для медичних спеціалістів	85%	Висока	Висока конкуренція
2	Фітнес	Простота інтерфейсу дозволяє навіть звичайному користувачу	10%	Середня	Середній рівень конкуренції

		використовувати ПЗ			
3	Наукова діяльність	Прозорість та точність вимірювань можуть стати у нагоді у деяких сферах наукових досліджень	5%	Низька	Низький рівень конкуренції
Які цільові групи обрано: Медичні спеціалісти					

Обравши медицину як цільову групу, можна зазначити великий потенціал цієї сфери для програмного забезпечення, оскільки висока готовність сприйняти продукт у цій сфері демонструє великий попит та інтерес до точності та широкого функціоналу ПЗ для цих цілей.

В таблиці 4.15 описано базову стратегію розвитку на обраному ринку.

Таблиця 4.1. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	Підтримка старого та розробка нового функціоналу	Таргетована реклама, взаємодія з потенційними	Більш широкий функціонал, портативність	Стратегія інновацій

	відповідно до потреб ринку	користувачами		
--	----------------------------	---------------	--	--

Обрано стратегію інновацій, дана стратегія забезпечить конкурентноспроможність продукту на ринку шляхом постійного вдосконалення та впровадження нового функціоналу відповідно до потреб споживача.

В таблиці 4.16 описано вибір стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 4.2. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні, існують аналоги проте з меншим функціоналом	Компанія буде знаходитись у постійному пошуку можливостей для розширення бази користувачів	Компанія не копіює основні характеристики товару конкурентів, лише бере ідею, проте реалізація залишається унікальною	Стратегія фокусування

Вивчення потреб цільових груп і вдосконалення функціоналу продукту є стратегією конкуренції.

В таблиці 4.17 описано стратегію позиціонування.

Таблиця 4.3. Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Зручність, доступність, точність, прозорість	Стратегія інновацій	Широкий функціонал з постійною підтримкою, доступність	Доступність, функціонал, точність

Підводячи результати, ринкова стратегія має наступні характеристики: обрано стратегії інновацій та фокусування. Вивчення потреб цільової аудиторії та впровадження відповідного необхідного функціоналу.

#### 4.4. Розроблення маркетингової програми проекту

В таблиці 4.18 описано ключові переваги концепції потенційного товару

Таблиця 4.4. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Доступність	Безкоштовне розповсюдження та можливість використання на	Портативність та кросплатформенність



		будь якій операційній системі	
2	Функціонал	Широкий функціонал відповідно до потреб споживача	Широкий функціонал дозволить реалізувати в програмі вже існуючі підходи та додати нові
3	Точність	Висока точність вимірювань	Використання оптимізованих алгоритмів розрахунку з високою точністю

Надані характеристики вказують на те, що програма має потенціал виходу вперед на ринку за умови високої доступності, різноманітного функціоналу та високої точності вимірювань, що може створити перевагу перед конкурентами.

Далі описано трирівневу модель товару (таблиця 4.19).

Таблиця 4.5. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Доступність	Нм	Ор
	2. Функціонал	Нм	Ор
	3. Точність	Нм	Тл
	4. Простота	Нм	Тл
	Якість: точність, прозорість розрахунків		
Пакування: програмне забезпечення буде розповсюджено в AppStore, PlayStore, Microsoft Store			

	Марка: PPG Monitoring System
III. Товар із підкріпленням	До продажу: демо версія застосунку
	Після продажу: оновлення, підтримка

Перший рівень описує основну ідею товару.

Другий рівень описує основні переваги які користувач отримає при використанні готового товару.

Третій рівень описує способи розповсюдження товару.

Аналіз цін серед товарів-аналогів та замінників показано в таблиці 4.20.

Таблиця 4.6. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	≈0-3000 грн	≈5000 грн	Високий	0-2500 грн

Провівши аналіз існуючих цін на товари обрано найбільш оптимальні межі встановленої ціни.

Формування системи збуту описане в таблиці 4.21:

Таблиця 4.7. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Спеціалісти встановлюють ПЗ на прилади в	Доступність на найбільш популярних	Україна	Торгівля через майданчики для розповсюдження

	медичних закладах.	майданчиках продажу ПЗ, інструкція для користувача		ПЗ
--	--------------------	-------------------------------------------------------------	--	----

Збут вирішено здійснювати за допомогою популярних майданчиків які надають послуги з реклами та розповсюдження програмного забезпечення. Додаткова модерація, яка присутня на кожному з таких майданчиків дасть користувачу впевненість в якості продукту.

Концепція маркетингових комунікацій описана в таблиці 4.22:

Таблиця 4.8. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Пошук зручного та точного ПЗ з низькими технічними вимогами	ІТ та медичні конференції, соціальні мережі	Розрахунок параметрів фотоплетизмограми	Демонстрація функціоналу та простоти використання	Демонстрація простоти використання та точності

В результаті отримано наступну концепцію: потенційні користувачі шукають зручну та доступну систему для контролю параметрів фотоплетизмограми. Цільові

групи які задіяні в такій сфері можуть дізнатись про продукт через соціальні мережі, ІТ та медичні конференції.

#### 4.5. Організація реалізації стартап проекту

В таблиці 4.23 описано календарний план реалізації проекту.

Таблиця 4.23. Календарний план реалізації проекту

[illegible]

7	Розробка інтерфейсу												0
8	Тестування інтерфейсу												500\$
9	Розробка бізнес плану												3000\$
10	Розповсюдження демо-версії												5000\$
11	Рекламна кампанія												5000\$
Сума													\$14700

Отже, після детального аналізу літературних джерел та існуючої продукції на ринку буде розроблено концепцію програмного забезпечення. Після чого проведено експеримент для вивчення особливостей фізичного явища фотоплетизмограми. Далі буде розроблено алгоритм програми. Після чого буде залучено тестувальника для перевірки консольного додатку. Паралельно з цим відбуватиметься розробка дизайну для інтерфейсу. Далі відбудеться розробка інтерфейсу з подальшим залученням тестувальника. В кінці буде реалізовано розповсюдження демо-версії та таргетованої реклами.

В таблиці 4.24 описані витрати на обладнання

Таблиця 4.24. Витрати на обладнання

№ п/п	Витрати	Тип	Терміни постачання/виконання	Вартість, \$
----------	---------	-----	---------------------------------	--------------

1	ПК або ноутбук	З операційною системою Windows	3 дні	500
2	Пульсоксиметр	UtasOxi 200	30 днів	1500

Як було зазначено вище, для розробки даного програмного забезпечення необхідний лише прилад для вимірювання сигналу фотоплетизмограми та ПК або ноутбук з операційною системою Windows.

## **Висновки до розділу**

В результаті розробки стартап проекту на тему “Автоматизована система контролю параметрів фотоплетизмограми” було визначено основні складові які впливають на успіх проекту.

Визначено, що проект є перспективним хоча і має велику кількість конкурентів на ринку. Тому було обрано шлях просування продукції спершу для вітчизняної аудиторії.

Описано технічне та матеріальне забезпечення, його вартість та доступність. Завдяки цьому визначено приблизні терміни та сформовано сумарний бюджет проекту.

Описано сильні та слабкі сторони. Серед сильних сторін найбільше виділяються простота, доступність, дешевизна, точність та функціонал програмного забезпечення. Визначено стратегію розвитку та стратегію поведінки. Таким чином стратегія конкурентної поведінки передбачає фокусування на окремих зацікавлених цільових групах враховуючи потреби яких буде впроваджуватись новий функціонал та вдосконалюватись старий.

Стратегією розвитку обрано стратегію інновацій. Таким чином впровадження нового функціоналу відмінного від конкурентів дозволить зацікавити більший сегмент користувачів.

Для розповсюдження обрано найбільш відомі майданчики програмного забезпечення. Це найбільш зручний спосіб для розповсюдження такого продукту, який дозволить викликати довіру у споживача та надати йому якісну технічну підтримку.

## ВИСНОВОК

В даній роботі з розробки автоматизованої системи контролю параметрів фотоплетизмограми досягнуто всіх поставлених цілей.

Таким чином проведено аналіз існуючих способів отримання сигналу фотоплетизмограми. Розроблено відповідно класифікацію. Згідно класифікації обрано оптичний метод зчитування сигналу шляхом поглинання світла, джерелом якого є світлодіод.

Обладнанням для отримання сигналу фотоплетизмограми обрано прилад “Utas Oxi 200” та датчик сатурації підключений до нього. Сам прилад підключений до ПК за допомогою USB.

Проведено експеримент з вимірювання сигналу у різних фізіологічних станах пацієнта та оточуючого його середовища. Відповідно до результатів було виявлено що різний стан як самого пацієнта так і його оточення безумовно впливає на показники сигналу фотоплетизмограми.

Розроблено блок-схему алгоритму ПЗ, яка описує роботу програми, послідовність дій та обробку помилок. Схема складається з 2 розділів які описують першу і другу сторінку інтерфейсу програмного забезпечення відповідно.

Розроблено програмне забезпечення з широкими функціональними можливостями та зручним інтерфейсом. Дане ПЗ дозволяє завантажувати файли отримані після вимірювання сигналу з допомогою “Utas Oxi 200”, валідувати сигнал та розраховувати параметри ФПГ. Також користувач має змогу зберегти отримані результати для подальшого використання.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Яковенко І.О., Рудий О.Д. та Турчина М.О., "Improvement of the credibility of analysis of electrocardiograms for biometric personal identification", No. 15, pp. 125–130, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-18>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [2] A. A. Alian and K. H. Shelley, "Photoplethysmography", No. 4, pp. 395–406, Dec. 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2014.08.006>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [3] H. Yuan, S. Poeggel, T. Newe, E. Lewis, C. Viphavakit and G. Leen, "An Experimental Study of the Effects of External Physiological Parameters on the Photoplethysmography Signals in the Context of Local Blood Pressure (Hydrostatic Pressure Changes)", vol. 17, no. 3, p. 556, Mar. 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s17030556>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [4] "Rubicon". polygraph-rubicon. [Online]. Available: <https://www.polygraph-rubicon.com/blog/datchyk-arterialnoho-tysku-i-polihraf.htm>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [5] "ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. ЕЛЕМЕНТИ ОПТИКИ: 3. ПОГЛИНАННЯ ТА РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА". physics.zffft.kpi.ua. [Online]. Available: <http://physics.zffft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=301&chapterid=93>. Accessed on: 4 Oct. 2023.
- [6] "Розуміння світлових променів, лазерів і світлодіодів: як вони працюють і їх застосування". LEDYi Lighting. [Online]. Available: <https://www.ledyilighting.com/uk/led-vs-laser/>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [7] Глоба К.І. Особливості використання фотоплетізмограми при наявності складнощів аналізу кардіосигналу. Головна — науковий online журнал «Судово-психологічна експертиза». [Online]. Available: <https://expertize-journal.org.ua/detektor-lzhi-poligraf/860-rozen-g-i-psikhofiziologichni-parametri->

- lyudini-yaki-mozhna-vimiryuvati-dlya-diagnosticsi-prikhovuvannya-informatsiji-ta-jikh-spivvidnoshennya-z-uvagoyu-testovanogo. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [8] "Компанія-виробник фітнес-браслетів Fitbit випустить пристрій для вимірювання артеріального тиску – Новини України та Світу | iTechua". iTechua - Новини смартфонів, гаджетів і різних девайсів. [Online]. Available: <https://itechua.com/news/205798>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [9] "Аналог або цифра? Ось у чому питання! - zemic". zemic [Online]. Available: <https://zemic.com.ua/en/news-and-articles/analog-abo-czifra-os-u-chomu-pitannya/>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [10] P. Lehrer et al., "Protocol for Heart Rate Variability Biofeedback Training", Biofeedback, vol. 41, no. 3, pp. 98–109, Sep. 2013. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5298/1081-5937-41.3.08>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [11] I. O. Yakovenko, K. P. Vonsevych and I. Y. Hreben, "Method for determining a periodic wave iteracy of photoplethysmogram for biometric identification", KPI Sci. News, no. 3, pp. 73–78, Aug. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2020.3.209881>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [12] J. Yang, Y. Huang, F. Huang and G. Yang, "Photoplethysmography Biometric Recognition Model Based on Sparse Softmax Vector and k-Nearest Neighbor", J. Elect. Comput. Eng., vol. 2020, pp. 1–9, Oct. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2020/9653470>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [13] Sancho, Á. Alesanco and J. García, "Biometric Authentication Using the PPG: A Long-Term Feasibility Study", Sensors, vol. 18, no. 5, p. 1525, May 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s18051525>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [14] "5. Спектральний аналіз - ЛЮМІНЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ І СПЕКТРОСКОПІЯ". Навчальні матеріали ТДАТУ. [Online]. Available: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_20/page7.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_20/page7.html). Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [15] Головна сторінка ARCher. [Online]. Available: <https://archer.chnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3536/4/1-2.pdf>. Accessed on: 22 Oct. 2023.

- [16] "Пульсоксиметр UtasOxi 200 ". Medicam. [Online]. Available: <https://medicam.com.ua/products/pulsoksimetr-yutasoksi-200-us>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [17] "Amazon.com". Amazon.com. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Compatible-Mindray-Sensor-Nellcor-Connector/dp/B07YZ4C5DX>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [18] Бурковський Є.О., аналітичний метод розрахунку сигналу фотоплетизмограми для біометричної системи ідентифікації. Є.О. Бурковський-2021 //XVI Міжнародна наукова-технічна конференція «XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність Інженерних рішень у приладобудуванні».-К.: ПБФ, КПП ім. Ігоря Сікорського. – 2021.-С.287-290.
- [19] "URL Handlers — pySerial 3.4 documentation". Welcome to pySerial's documentation — pySerial 3.4 documentation. [Online]. Available: [https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/url\\_handlers.html#examples](https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/url_handlers.html#examples). Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [20] B. Mehler, B. Reimer, and Y. Wang, "Comparison of heart rate and heart rate variability indices in distinguishing single task driving and driving under secondary cognitive workload," Proc. Sixth Int. Driv. Symp. Hum. Factors Driv. Assessment, Training, Veh. Des., pp. 590–597, 2011.
- [21] N. Montano et al., "Heart rate variability explored in the frequency domain: A tool to investigate the link between heart and behavior," Neurosci. Biobehav. Rev., vol. 33, no. 2, pp. 71–80, 2009.
- [22] "2 easy, accurate ways to measure your heart rate". Mayo Clinic. [Online]. Available: <https://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/faq-20057979#:~:text=A%20normal%20resting%20heart%20rate%20for%20adults%20ranges%20from%2060,to%2040%20beats%20per%20minute>. Accessed on: 22 Oct. 2023.

- [23] "Algorithm functioning — Python Heart Rate Analysis Toolkit 1.2.5 documentation". Welcome to HeartPy - Python Heart Rate Analysis Toolkit documentation! — Python Heart Rate Analysis Toolkit 1.2.5 documentation. [Online]. Available: <https://python-heart-rate-analysis-toolkit.readthedocs.io/en/latest/algorithmfunctioning.html>. Accessed on: 22 Oct. 2023.
- [24] "Two dogmas of voice user interface design" - <https://bootcamp.uxdesign.cc/>. [Online]. Available: <https://bootcamp.uxdesign.cc/two-dogmas-of-voice-user-interface-design-5c3a5cf26288>. Accessed on: 16 Dec. 2023.
- [25] "xlrd - Excel Spreadsheet Reader in Python." [Online]. Available: <https://xlrd.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed on: 16 Dec. 2023.
- [26] "pandas documentation — pandas 2.1.4 documentation". pandas - Python Data Analysis Library. [Online]. Available: <https://pandas.pydata.org/docs/>. Accessed on: 16 Dec. 2023.
- [27] "NumPy - The fundamental package for scientific computing with Python." [Online]. Available: <https://numpy.org/>. Accessed on: 16 Dec. 2023.
- [28] "PyQt - Riverbank Computing" [Online]. Available: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/>. Accessed on: 12 Jun. 2023.
- [29] "HeartPy - Python Heart Rate Analysis" [Online]. Available: <https://python-heart-rate-analysis-toolkit.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed on: 12 Jun. 2023.
- [30] Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій: навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 — «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 — «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 188 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29447>
- [31] Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів: практикум: навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 — «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 — «Метрологія

та інформаційно-вимірювальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 116 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29450>

## ДОДАТКИ

### Додаток 1. Код інтерфейсу першої вкладки програми

```

from datetime import datetime

import os

from PyQt5.QtCore import Qt

from PyQt5.QtGui import QFont

from PyQt5.QtWidgets import QPushButton, QVBoxLayout, QFileDialog,
QMessageBox, QTextEdit, QWidget, QTableWidget,
QTableWidgetItem, QHBoxLayout, QLabel, QComboBox

import pandas as pd

from helpers.file_helpers import getFileNames, getParsedSignal
from helpers.plot_helpers import buildParamPlot
from helpers.signal_helpers import getAverageParams, getMesures
from constants.constants import headers, params_keys, params_short_keys

class AverageParamsTab(QWidget):

    def __init__(self):
        super().__init__()

        self.paths: list[str] = []

        self.avarage_params: dict

        self.avarage_params_list: list[dict] = []

```

```
self.params_df: pd.DataFrame
```

```
self.layout = QVBoxLayout()
```

```
self.setLayout(self.layout)
```

```
font = QFont()
```

```
font.setPointSize(12)
```

```
self.loaded_files_paths_label = QLabel("Browsed files:", self)
```

```
self.loaded_files_paths_label.setFont(font)
```

```
self.layout.addWidget(self.loaded_files_paths_label)
```

```
self.file_path_edit = QTextEdit(self)
```

```
self.file_path_edit.setFont(font)
```

```
self.file_path_edit.setReadOnly(True)
```

```
self.file_path_edit.viewport().setCursor(Qt.ArrowCursor)
```

```
self.file_path_edit.setFocusPolicy(Qt.NoFocus)
```

```
self.file_path_edit.setMaximumHeight(50)
```

```
self.file_path_edit.setPlaceholderText("Here you will see your file paths")
```

```
self.buttons_layout = QHBoxLayout()
```

```
self.browse_button = QPushButton("Browse File", self)
```

```
self.browse_button.clicked.connect(self.browse_file)
```

```
self.browse_button.setFont(font)
```

```
self.layout.addWidget(self.file_path_edit)
```

```
self.layout.addWidget(self.browse_button)
```

```
self.parse_button = QPushButton("Calculate average params", self)
```

```
self.parse_button.clicked.connect(self.parse_excel)
```

```
self.parse_button.setFont(font)
```

```
self.buttons_layout.addWidget(self.browse_button)
```

```
self.buttons_layout.addWidget(self.parse_button)
```

```
self.layout.addLayout(self.buttons_layout)
```

```
self.table_label = QLabel("Calculated average params:", self)
```

```
self.table_label.setFont(font)
```

```
self.layout.addWidget(self.table_label)
```

```
self.signal_params_table = QTableWidget(self)
```

```
self.signal_params_table.horizontalHeader().setStyleSheet("QHeaderView::section {  
border: 1px solid black; }")
```

```
self.signal_params_table.setMinimumHeight(300)
```

```
self.signal_params_table.setRowCount(len(params_keys))
```

```
self.signal_params_table.setColumnCount(2)
```

```
self.signal_params_table.setHorizontalHeaderLabels(headers)
```



```

self.signal_params_table.verticalHeader().setVisible(False)

self.signal_params_table.setColumnWidth(0,400)

self.signal_params_table.setColumnWidth(1,100)


for row, key in enumerate(params_keys):

    item_key = QTableWidgetItem(key)

    self.signal_params_table.setItem(row, 0, item_key)

    item_key.setFlags(item_key.flags() & ~Qt.ItemIsEditable)


self.layout.addWidget(self.signal_params_table)


self.plot_label = QLabel("Build plot:", self)

self.plot_label.setFont(font)

self.layout.addWidget(self.plot_label)


self.build_plot_layout = QHBoxLayout()


self.dropdown = QComboBox()

self.dropdown.addItem(params_short_keys)

self.dropdown.setFont(font)

# self.dropdown.currentIndexChanged.connect(self.on_selection_change)


self.build_plot_button = QPushButton("Build", self)

self.build_plot_button.setFont(font)

```

```
self.build_plot_layout.addWidget(self.dropdown)

self.build_plot_layout.addWidget(self.build_plot_button)


self.layout.addLayout(self.build_plot_layout)


self.save_file_layout = QHBoxLayout()


self.save_file_path_label = QLabel("Enter file name:", self)
self.save_file_path_label.setFont(font)
self.layout.addWidget(self.save_file_path_label)


self.save_file_path_edit = QTextEdit(self)
self.save_file_path_edit.setFont(font)
self.save_file_path_edit.setMaximumHeight(30)
self.save_file_path_edit.setPlaceholderText("Please enter a file name")


self.save_browse_button = QPushButton("Save", self)
self.save_browse_button.setFixedHeight(30)
self.save_browse_button.clicked.connect(self.save_file)
self.save_browse_button.setFont(font)


self.save_file_layout.addWidget(self.save_file_path_edit)
self.save_file_layout.addWidget(self.save_browse_button)
```

```
self.layout.addLayout(self.save_file_layout)
```

```
self.save_file_path_error_label = QLabel("", self)
```

```
self.save_file_path_error_label.setStyleSheet("color: red")
```

```
self.save_file_path_error_label.setFont(font)
```

```
self.layout.addWidget(self.save_file_path_error_label)
```

```
def browse_file(self):
```

```
    options = QFileDialog.Options()
```

```
    files, _ = QFileDialog.getOpenFileNames(self, "Open Excel File", "", "Excel Files  
(*.xls);;All Files (*)", options=options)
```

```
    if files:
```

```
        self.paths = [file_path for file_path in files]
```

```
        paths_text = '\n'.join(self.paths)[: -1]
```

```
        self.file_path_edit.setText(paths_text)
```

```
def parse_excel(self):
```

```
    try:
```

```
        if self.paths:
```

```
            self.average_params_list = []
```

```
            for path in self.paths:
```

```
                raw_signal = getParsedSignal(path)
```

```

        _, signal_params = getMesures(raw_signal)
        self.avarage_params_list.append(signal_params)

    self.avarage_params = getAverageParams(self.avarage_params_list)
    self.fill_table(self.signal_params_table, self.avarage_params)

    self.params_df = pd.DataFrame(self.avarage_params.items(), columns =
['Parameter', 'Value'])
    else:
        self.file_path_edit.setText('Place path here')
except:
    self.file_path_edit.setPlainText("")
    self.show_error_alert()

def fill_table(self, table, data):

    for row, (_, value) in enumerate(data.items()):

        item_value = QTableWidgetItem('{:.5f}'.format(value))

        item_value.setFlags(item_value.flags() & ~Qt.ItemIsEditable)

        table.setItem(row, 1, item_value)

```

```
self.build_plot()
```

```
def save_file(self):
```

```
    existing_names = getFileNames('results/single_average_params')
```

```
    file_name = self.save_file_path_edit.toPlainText()
```

```
    if not file_name:
```

```
        self.save_file_path_error_label.setText("Please enter a file name")
```

```
    elif f'{file_name}.xlsx' in existing_names:
```

```
        self.save_file_path_error_label.setText("File already exists. Please enter a different  
name !")
```

```
    else:
```

```
        self.params_df.to_excel(f'results/single_average_params/{file_name}.xlsx',  
index=False)
```

```
        self.clear_ui()
```

```
        self.show_alert(file_name)
```

```
def show_error_alert(self):
```

```
    error_box = QMessageBox()
```

```
    error_box.setIcon(QMessageBox.Critical)
```

```
    error_box.setWindowTitle("Error")
```

```
    error_box.setText("Error occurs")
```

```
    error_box.setInformativeText("This signal is not a PPG signal")
```

```
    error_box.exec_()
```

```

def show_alert(self, file_name):

    msg = QMessageBox()

    msg.setWindowTitle("Success")

    msg.setText(f'File '{file_name}' successfully saved!')

    msg.setIcon(QMessageBox.Information)

    msg.setStandardButtons(QMessageBox.Ok)

    msg.exec_()


def clear_ui(self):

    self.file_path_edit.setPlainText("")

    self.save_file_path_error_label.setText("")

    self.save_file_path_edit.setPlainText("")


    column_count = self.signal_params_table.columnCount()

    row_count = self.signal_params_table.rowCount()

    for row in range(row_count):

        for col in range(1, column_count):

            item = self.signal_params_table.item(row, col)

            if item is not None:

                item.setText("")


def build_plot(self):

    creation_dates = [datetime.fromtimestamp(os.path.getctime(file)) for file in self.paths]

    # print(creation_dates)

```

```
# print(self.avarage_params_list)
```

```
# buildParamPlot(creation_dates, self.avarage_params_list)
```

## Додаток 2. Код інтерфейсу другої вкладки програми

```

import os

from PyQt5.QtCore import Qt

from PyQt5.QtGui import QFont

from PyQt5.QtWidgets import QPushButton, QVBoxLayout, QFileDialog, QTextEdit,
QWidget, QTableWidget, QTableWidgetItem, QHBoxLayout

from helpers.file_helpers import getParsedAverageParamsDict

from constants.constants import headers, params_keys

class CompareAverageParamsTab(QWidget):

    def __init__(self):

        super().__init__()

        self.paths = ""

        self.file_names: list[str] = []

        self.headers = headers

        self.layout = QVBoxLayout()

        self.setLayout(self.layout)

```



```
self.file_path_edit = QTextEdit(self)

font = QFont()

font.setPointSize(12)

self.file_path_edit.setFont(font)

self.file_path_edit.setReadOnly(True)

self.file_path_edit.viewport().setCursor(Qt.ArrowCursor)

self.file_path_edit.setFocusPolicy(Qt.NoFocus)

self.file_path_edit.setMaximumHeight(50)

self.file_path_edit.setPlaceholderText("Here you will see your file paths")


self.browse_button = QPushButton("Browse File", self)

self.browse_button.clicked.connect(self.browse_file)

self.browse_button.setFont(font)


self.layout.addWidget(self.file_path_edit)

self.layout.addWidget(self.browse_button)


self.parse_button = QPushButton("Compare average params", self)

self.parse_button.clicked.connect(self.parse_excel)

self.parse_button.setFont(font)

self.layout.addWidget(self.parse_button)


self.tables_layout = QHBoxLayout()

self.layout.addLayout(self.tables_layout)
```

```

self.signal_params_table = QTableWidget(self)

self.signal_params_table.horizontalHeader().setStyleSheet("QHeaderView::section {
border: 1px solid black; }")

self.signal_params_table.setMinimumHeight(390)

self.signal_params_table.setRowCount(len(params_keys))

self.signal_params_table.setColumnCount(2)

self.signal_params_table.setHorizontalHeaderLabels(self.headers)

self.signal_params_table.verticalHeader().setVisible(False)

self.signal_params_table.setColumnWidth(0,400)

self.signal_params_table.setColumnWidth(1,100)


for row, key in enumerate(params_keys):

    item_key = QTableWidgetItem(key)

    self.signal_params_table.setItem(row, 0, item_key)

    item_key.setFlags(item_key.flags() & ~Qt.ItemIsEditable)


self.tables_layout.addWidget(self.signal_params_table)


def browse_file(self):

    options = QFileDialog.Options()

    files, _ = QFileDialog.getOpenFileNames(self, "Open Excel File", "", "Excel Files
(*.xlsx);;All Files (*)", options=options)

```

```
self.file_names = [os.path.splitext(os.path.basename(file_path))[0] for file_path in
files]
```

```
if files:
```

```
    self.paths = [file_path for file_path in files]
```

```
    paths_text = '\n'.join(self.paths)[: -1]
```

```
    self.file_path_edit.setText(paths_text)
```

```
def parse_excel(self):
```

```
    if self.paths:
```

```
        params_data = []
```

```
        for path in self.paths:
```

```
            signal_params = getParsedAverageParamsDict(path)
```

```
            params_data.append(signal_params)
```

```
        self.init_table(params_data)
```

```
        print(params_data)
```

```
    else:
```

```
        self.file_path_edit.setText('Place path here')
```

```
def init_table(self, data: list[dict]):
```

```
    self.signal_params_table.setColumnCount(len(data) + 1)
```

```
header_labels = ['Parameter']

for counter, signal_params_dict in enumerate(data):

    header_labels.append(self.file_names[counter])

    for row, (key, value) in enumerate(signal_params_dict.items()):

        item_value = QTableWidgetItem('{:.5f}'.format(value))

        self.signal_params_table.verticalHeader().setVisible(False)

        item_value.setFlags(item_value.flags() & ~Qt.ItemIsEditable)

        self.signal_params_table.setItem(row, counter + 1, item_value)

self.signal_params_table.setHorizontalHeaderLabels(header_labels)
```

### Додаток 3. Допоміжні функції для роботи з файлами

```

import os
import pandas as pd
import random
import string
import time

def getParsedSignal(file_path: str) -> pd.DataFrame:
    parsed_df = pd.read_excel(file_path)
    ppg_signal_df = parsed_df.iloc[:, 0:2]

    ppg_signal_df = ppg_signal_df.drop(ppg_signal_df.index[0])
    ppg_signal_df.reset_index(drop=True, inplace=True)
    ppg_signal_df.columns = ['Time', 'Signal']
    return ppg_signal_df

def getFileNames(path) -> list[str]:
    files = os.listdir(path)
    file_names = []

    for file_name in files:
        file_names.append(file_name)

    return file_names

def generateUniqueFileName(file_names: list[str]) -> str:
    while True:
        unique_name = ".join(random.choices(string.ascii_letters + string.digits, k=8)) #
Генерація випадкового імені з 8 символів

```

```

    if unique_name not in file_names:
        return unique_name

```

```

def getParsedAverageParamsDict(path: str) -> dict:

```

```

    data = pd.read_excel(path, header=None, index_col=0)

```

```

    data_dict = data.squeeze().to_dict()

```

```

    del(data_dict['Parameter'])

```

```

    return data_dict

```

```

def getCreationFilesTime(paths: str) -> list[str]:

```

```

    data_list: list[str] = []

```

```

    for path in paths:

```

```

        creation_time = os.path.getctime(path)

```

```

        creation_datetime = time.ctime(creation_time)

```

```

        data_list.append(creation_datetime)

```

```

    return data_list

```

#### Додаток 4. Допоміжні функції для роботи з графіком

```
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.dates import DateFormatter
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
```

```
import matplotlib as mpl
```

```
def buildPlot (data):
```

```
    x_data = data['Time']
    y_data = data['Signal']
```

```
    plt.figure(figsize=(20, 10))
```

```
    plt.plot(x_data, y_data, linestyle='-')
```

```
    plt.title('Сигнали')
    plt.xlabel('Time')
    plt.ylabel('Signal')
    plt.grid(True)
```

```
    plt.show()
```

```
def buildParamPlot(dates: list[str], params: list[float]):
```

```
    formatted_dates = [date.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S') for date in dates]
```

```
    plt.figure(figsize=(10, 6))
```

```
    plt.plot(formatted_dates, params, marker='o', linestyle='-')
```

```
    plt.title('Залежність сигналу від дати та часу вимірювання')
```

```
    plt.xlabel('Дата і час вимірювання')
```

```
    plt.ylabel('Виміряний сигнал')
```

```
    plt.xticks(rotation=45)
```

```
    plt.gca().xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%Y-%m-%d %H:%M:%S'))
```

```
    # Форматування дати
```

```
    plt.tight_layout()
```

```
    plt.show()
```

### Додаток 5. Допоміжні функції для роботи з сигналом

```

import heartpy as hp
import numpy as np

def getMesures(signal_df):
    signal = signal_df['Signal'].values
    return hp.process(signal, sample_rate = 100.0)

def getAverageParams(data):

    keys = data[0].keys()

    average_values = {}

    for key in keys:
        values = [item[key] for item in data]
        average_values[key] = np.mean(values)

    return average_values

def getValuesByKey(array, key: str):
    values = [element[key] for element in array if key in element]
    return values

```