

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Біотехнічних систем

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Програмно-апаратна система оцінки функціонального стану
серцево-судинної системи у процесі реабілітації

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РБ-41
спеціальності 163 Біомедична інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Якубовський Д.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Ткачук Р.А.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівський М.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Яворська Є.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-апаратна система оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації». Кваліфікаційна робота бакалавра // Якубовський Денис Іванович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РБ-41 // Тернопіль, 2026 // с. – 80, рис. – 25, табл. – 16, бібліогр. – 42, додат. – 2.

Ключові слова: ПРОГРАМНО-АПАРАТНА СИСТЕМА, СЕРЦЕВО-СУДИННА СИСТЕМА, ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН, РЕАБІЛІТАЦІЯ, ЧАСТОТА СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ, ІНДЕКС РУФ'Є, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, МАТЛАВ, БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.

У кваліфікаційній роботі розроблено програмно-апаратну систему оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації. Проведено аналіз сучасних методів і засобів функціональної діагностики серцево-судинної системи та обґрунтовано доцільність використання автоматизованих засобів контролю фізіологічних показників під час проведення реабілітаційних заходів.

У роботі запропоновано структуру програмно-апаратної системи, до складу якої входять датчик реєстрації серцевої діяльності, мікроконтролерна платформа Arduino Nano та програмне забезпечення, реалізоване у середовищі MATLAB R2014a. Розроблено математичне забезпечення системи, що базується на визначенні частоти серцевих скорочень, розрахунку індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму після фізичного навантаження.

Створено алгоритмічне забезпечення збору, обробки та аналізу даних, а також розроблено графічний інтерфейс користувача для автоматизованого проведення досліджень та відображення результатів оцінювання. Виконано

тестування розробленої системи та запропоновано методику проведення медико-біологічного дослідження для оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

Отримані результати підтверджують можливість використання розробленої програмно-апаратної системи для автоматизованого контролю функціонального стану серцево-судинної системи, підвищення об'єктивності оцінювання та підтримки прийняття рішень під час проведення реабілітаційних заходів. Практичне значення роботи полягає у можливості застосування системи в медичних, реабілітаційних та навчально-наукових закладах.

ANNOTATION

Qualification Thesis Topic: “Software and Hardware System for Assessing the Functional State of the Cardiovascular System during Rehabilitation” // Bachelor's Qualification Thesis // Yakubovskiy Denys // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Biotechnical Systems, Group RB-41 // Ternopil, 2026 // pp. – 80, figs. – 25, tables – 16, refs. – 42, appendices – 2.

Keywords: SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM, CARDIOVASCULAR SYSTEM, FUNCTIONAL STATE, REHABILITATION, HEART RATE, RUFFIER INDEX, MATHEMATICAL MODEL, ALGORITHMIC SUPPORT, MATLAB, BIOMEDICAL ENGINEERING.

This bachelor's qualification thesis is devoted to the development of a software and hardware system for assessing the functional state of the cardiovascular system during rehabilitation. An analysis of modern methods and tools for functional diagnostics of the cardiovascular system was carried out, and the feasibility of using automated means for monitoring physiological parameters during rehabilitation procedures was substantiated.

The thesis proposes the structure of a software and hardware system consisting of a heart activity registration sensor, an Arduino Nano microcontroller platform, and software implemented in the MATLAB R2014a environment. Mathematical support of the system was developed based on heart rate determination, Ruffier index calculation, and recovery coefficient assessment after physical exercise.

Algorithmic support for data acquisition, processing, and analysis was developed, and a graphical user interface was created to automate research procedures and visualize assessment results. The developed system was tested, and a biomedical research methodology for evaluating the functional state of the cardiovascular system during rehabilitation was proposed.

The obtained results confirm the possibility of using the developed software and hardware system for automated monitoring of the functional state of the cardiovascular system, improving the objectivity of assessment, and supporting decision-making during rehabilitation procedures. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the developed system in medical, rehabilitation, educational, and research institutions.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

- 1.1 Аналіз існуючих рішень поставленого завдання
- 1.2 Актуальність виконання роботи
- 1.3 Методи, способи та шляхи вирішення поставленої задачі
- 1.4 Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

- 2.1 Технічне забезпечення програмно-апаратної системи
- 2.2 Математичне забезпечення програмно-апаратної системи
- 2.3 Алгоритмічне забезпечення програмно-апаратної системи
- 2.4 Проєктування програмно-апаратної системи
- 2.5 Тестування роботи програмно-апаратної системи
- 2.6 Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

- 3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання
- 3.2 Методика проведення медико-біологічного дослідження
- 3.3 Висновки до розділу 3

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ

ПРАЦІ

- 4.1 Безпека життєдіяльності
- 4.2 Основи охорони праці
- 4.3 Висновки до розділу 4

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Програмно-апаратна система оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації Пояснювальна записка	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Кубовський Д.І.						
<i>Перев.</i>		Гкачук Р.А.						
<i>Н.конт</i>		Хвостівський М.С.						
<i>Зав.каф</i>		Яворська Є.Б.						
						ТНТУ, каф. БТ гр. РБ-41		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

Додаток А Лістинг основних програмних модулів системи

Додаток Б Графічні матеріали до результатів тестування

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Серцево-судинні захворювання залишаються однією з основних причин погіршення якості життя населення та втрати працездатності. Важливим етапом лікування таких пацієнтів є реабілітація, ефективність якої значною мірою залежить від своєчасного контролю функціонального стану організму. У процесі реабілітації необхідно здійснювати регулярне оцінювання реакції організму на фізичні навантаження та контролювати динаміку відновлення фізіологічних показників [1–6].

Сучасні методи функціональної діагностики дозволяють визначати рівень адаптаційних можливостей організму за показниками частоти серцевих скорочень, артеріального тиску та результатами функціональних проб. Разом із тим значна частина існуючих засобів моніторингу орієнтована переважно на реєстрацію окремих фізіологічних параметрів без комплексного оцінювання фізіологічного стану під час реабілітації [7-12].

Сучасний розвиток біомедичної інженерії та інформаційних технологій створює передумови для розроблення програмно-апаратних систем, які забезпечують автоматизований збір, обробку та аналіз фізіологічної інформації. Використання таких систем дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання стану пацієнта, забезпечити оперативне отримання результатів та підвищити ефективність реабілітаційних заходів [13-18].

Питанням функціональної діагностики стану серцевої діяльності, оцінювання адаптаційних можливостей організму та розроблення біомедичних інформаційно-вимірювальних систем присвячені праці багатьох вітчизняних і зарубіжних учених. Незважаючи на значну кількість досліджень, актуальним залишається завдання створення доступних програмно-апаратних засобів для автоматизованого оцінювання фізіологічних показників у процесі реабілітації.

Актуальність роботи полягає у необхідності розроблення програмно-апаратної системи, яка забезпечує автоматизоване оцінювання

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

функціонального стану організму на основі аналізу фізіологічних показників та результатів функціонального тестування у процесі реабілітації.

Метою роботи є розроблення програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз сучасних методів та засобів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи;
- дослідити особливості застосування функціональних проб у процесі реабілітації;
- обґрунтувати вибір технічного забезпечення системи;
- розробити математичне та алгоритмічне забезпечення оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи;
- реалізувати програмне забезпечення для збору, обробки та відображення результатів дослідження;
- провести тестування розробленої системи та оцінити її ефективність.

Об'єктом дослідження є процес оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи людини під час реабілітації.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизованого визначення показників функціонального стану серцево-судинної системи на основі результатів функціонального тестування.

Методи дослідження: методи функціональної діагностики, математичного моделювання, статистичного аналізу даних, цифрової обробки інформації та програмної реалізації алгоритмів оцінювання фізіологічного стану людини.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні програмно-апаратної системи оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи, яка може бути використана у медичних та реабілітаційних закладах для контролю ефективності відновлювальних заходів.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз існуючих рішень поставленого завдання

Оцінювання функціональних можливостей серцево-судинної системи є важливим елементом сучасної медичної діагностики та реабілітації. Отримання достовірної інформації про кардіологічні показники дозволяє контролювати перебіг відновлювальних процесів, визначати рівень фізичної працездатності пацієнта та оцінювати ефективність призначених реабілітаційних заходів.

У процесі реабілітації особливого значення набуває контроль реакції організму на фізичне навантаження. Серцево-судинна система однією з перших реагує на зміни інтенсивності фізичної активності, тому показники її функціонування широко використовуються для оцінювання загального стану організму та адаптаційних можливостей людини [4].

Існуючі методи оцінювання можна поділити на три основні групи:

- клінічні методи;
- інструментальні методи;
- функціональні методи тестування.

Класифікацію сучасних методів наведено на рис. 1.1.

Клінічні методи базуються на аналізі скарг пацієнта, результатів огляду та загальних показників стану здоров'я. До таких показників належать частота серцевих скорочень, артеріальний тиск, частота дихання та інші фізіологічні параметри. Перевагою клінічних методів є простота застосування та відсутність необхідності використання складного обладнання. Недоліком є залежність результатів від суб'єктивної оцінки медичного працівника та неможливість проведення безперервного моніторингу [5].

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

відновлення після його завершення. До найбільш поширених функціональних проб належать проба Руф'є, проба Руф'є–Діксона, Гарвардський степ-тест та шестихвилинний тест ходьби.

Однією з найпоширеніших є проба Руф'є, яка використовується для оцінювання функціонування серця та рівня фізичної працездатності людини. Методика проведення проби передбачає визначення частоти серцевих скорочень у стані спокою, після виконання фізичного навантаження та після завершення відновного періоду. За отриманими результатами розраховується індекс Руф'є, що характеризує рівень адаптації серцево-судинної системи до фізичних навантажень.

Перевагою проби Руф'є є простота проведення, відсутність необхідності використання дорогого обладнання та можливість застосування в умовах лікувальних закладів, реабілітаційних центрів і самостійного контролю стану здоров'я. До недоліків можна віднести необхідність ручного виконання розрахунків та залежність точності результатів від правильності визначення частоти серцевих скорочень.

У сучасних умовах дедалі більшого поширення набувають програмно-апаратні системи моніторингу фізіологічних показників людини. Такі системи поєднують сенсорні пристрої, засоби збору та передачі даних, мікроконтролери та програмне забезпечення для автоматизованого аналізу отриманої інформації [13–18].

До найбільш відомих засобів контролю фізіологічних показників належать кардіомонітори, спортивні пульсометри та фітнес-браслети. Вони забезпечують автоматичне вимірювання частоти серцевих скорочень та дозволяють здійснювати контроль фізичної активності користувача. Проте більшість таких пристроїв орієнтована на реєстрацію окремих параметрів і не забезпечує комплексного оцінювання в процесі реабілітації.

Для порівняння основних методів оцінювання доцільно використати табл. 1.1.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи

Метод	Переваги	Недоліки
Вимірювання ЧСС	Простота та швидкість	Невисока інформативність
Електрокардіографія	Висока точність	Потребує спеціального обладнання
Пульсоксиметрія	Неінвазивність	Обмежена кількість показників
Проба Руф'є	Оцінка адаптаційних можливостей	Необхідність фізичного навантаження
Фітнес-браслети та пульсометри	Безперервний моніторинг	Недостатня медична інформативність

Проведений аналіз показав, що існуючі методи та засоби оцінювання мають як переваги, так і певні обмеження. Найбільш перспективним підходом для використання у процесі реабілітації є поєднання функціонального тестування із засобами автоматизованого збору та обробки даних. Це дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання, скоротити час обробки результатів та забезпечити можливість оперативного контролю стану пацієнта.

1.2 Актуальність виконання роботи

Серцево-судинні захворювання належать до найбільш поширених патологій сучасності та залишаються однією з основних причин тимчасової втрати працездатності, інвалідизації та смертності населення. Ефективність лікування таких захворювань значною мірою залежить не лише від своєчасної діагностики та медикаментозної терапії, а й від правильно організованого процесу реабілітації, спрямованого на відновлення функціональних можливостей організму та покращення якості життя пацієнтів.

У процесі реабілітації важливе значення має постійний контроль за діяльністю серця. Результати такого контролю дозволяють оцінювати адаптацію організму до фізичних навантажень, визначати ефективність

відновлювальних заходів та своєчасно коригувати програму реабілітації. Недостатній або несвоєчасний контроль фізіологічних показників може призводити до перевантаження серцево-судинної системи та зниження ефективності лікувально-реабілітаційних заходів.

Традиційні методи оцінювання серцевої діяльності базуються на періодичних клінічних обстеженнях та проведенні функціональних проб. Незважаючи на достатню інформативність, такі методи часто потребують участі медичного персоналу, ручного виконання розрахунків та подальшої інтерпретації отриманих результатів. Це збільшує тривалість обстеження та підвищує ймовірність виникнення помилок під час обробки даних [19-23].

Стрімкий розвиток біомедичної інженерії, мікроконтролерної техніки та інформаційних технологій відкриває нові можливості для автоматизації процесів контролю фізіологічного стану людини. Сучасні програмно-апаратні системи здатні забезпечувати автоматизований збір, зберігання, обробку та візуалізацію медико-біологічної інформації, що значно підвищує оперативність отримання результатів та зменшує вплив людського фактора на процес оцінювання [17, 18].

Особливо перспективним є використання програмно-апаратних засобів для автоматизованого проведення функціональних досліджень, під час яких здійснюється оцінювання реакції ССС на фізичне навантаження та аналіз швидкості відновлення фізіологічних показників. Такі системи дозволяють отримувати об'єктивні кількісні характеристики функціонального стану організму та використовувати їх для контролю ефективності реабілітаційних заходів [19].

Незважаючи на значну кількість існуючих засобів моніторингу фізіологічних показників, більшість із них орієнтована на вимірювання окремих параметрів, зокрема частоти серцевих скорочень або рівня фізичної активності. При цьому недостатньо уваги приділяється комплексному оцінюванню адаптаційних можливостей організму саме в умовах реабілітації,

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

де важливими є не лише поточні значення показників, а й динаміка їх змін під впливом фізичних навантажень [20].

Отже, актуальним завданням є розроблення програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації, яка забезпечуватиме автоматизоване визначення основних фізіологічних показників, обробку результатів функціонального тестування та формування об'єктивної оцінки ефективності відновлювальних процесів. Реалізація такої системи сприятиме підвищенню якості реабілітаційних заходів, покращенню контролю стану пацієнтів та розширенню можливостей застосування сучасних інформаційних технологій у медичній практиці.

1.3 Методи, способи та шляхи вирішення поставленої задачі

Розв'язання задачі оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації потребує комплексного підходу, який передбачає використання сучасних засобів реєстрації фізіологічних показників, методів їх обробки та алгоритмів формування інтегральної оцінки стану пацієнта. Вибір відповідних методів визначається необхідністю забезпечення достатньої точності вимірювань, оперативності отримання результатів та можливості використання системи в умовах медичних і реабілітаційних закладів [19-23].

Одним із найпростіших та найпоширеніших способів оцінювання є контроль частоти серцевих скорочень. Частота серцевих скорочень є важливим показником діяльності серця та дозволяє оцінити реакцію організму на фізичне навантаження. Аналіз зміни частоти серцевих скорочень до, під час та після навантаження дає можливість визначати рівень тренуваності організму та швидкість відновлення функціональних систем [19-23].

Для реєстрації частоти серцевих скорочень можуть використовуватися різні методи, серед яких найбільшого поширення набули

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

електрокардіографічний та фотоплетизмографічний методи. Електрокардіографічний метод базується на реєстрації електричної активності серця та характеризується високою точністю визначення кардіологічних показників. Фотоплетизмографічний метод ґрунтується на аналізі змін кровонаповнення периферичних судин та широко використовується у портативних пристроях моніторингу фізіологічного стану людини [23].

Для оцінювання адаптаційних можливостей серцево-судинної системи використовуються функціональні методи тестування, які передбачають виконання дозованого фізичного навантаження та подальший аналіз реакції організму. До найбільш поширених функціональних проб належать проба Руф'є, проба Руф'є–Діксона, Гарвардський степ-тест та шестихвилинний тест ходьби.

Під час виконання даної роботи доцільним є використання проби Руф'є як одного з найбільш доступних та інформативних методів оцінювання функціонування організму. Методика проведення проби передбачає визначення частоти серцевих скорочень у стані спокою, після виконання фізичного навантаження та після завершення відновного періоду. Отримані значення використовуються для розрахунку індексу Руф'є, який характеризує рівень адаптації серцево-судинної системи до фізичного навантаження [8, 12].

Перевагами використання проби Руф'є є простота проведення, відсутність необхідності застосування складного обладнання та можливість автоматизації розрахунків. Крім того, результати проби можуть використовуватися для контролю динаміки функціонального стану пацієнта на різних етапах реабілітації.

Важливою складовою вирішення поставленої задачі є застосування сучасних засобів цифрової обробки даних. Після реєстрації фізіологічних показників здійснюється їх попередня обробка, перевірка коректності вимірювань та розрахунок необхідних функціональних показників.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Прийнято рішення, що для розв'язання поставленої задачі доцільно використовувати комплексний підхід, який поєднує функціональне тестування, автоматизований збір фізіологічних даних та програмну обробку результатів. Застосування такого підходу дозволяє забезпечити об'єктивне оцінювання та підвищити ефективність контролю процесу реабілітації.

1.4 Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу встановлено, що оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи є важливим елементом контролю ефективності реабілітаційних заходів та визначення адаптаційних можливостей організму. Своєчасне отримання достовірної інформації про реакцію системи на фізичне навантаження дозволяє підвищити безпеку та результативність процесу реабілітації.

Проаналізовано сучасні методи оцінювання, серед яких розглянуто клінічні, інструментальні та функціональні методи дослідження. Встановлено, що найбільш інформативними для оцінювання адаптаційних можливостей організму в умовах реабілітації є функціональні методи тестування, які дозволяють аналізувати реакцію системи на дозоване фізичне навантаження та швидкість відновлення фізіологічних показників.

За результатами аналізу існуючих технічних засобів визначено, що сучасні кардіомонітори, пульсометри та фітнес-пристрої забезпечують реєстрацію окремих фізіологічних параметрів, проте не завжди реалізують комплексне оцінювання функціонального стану з автоматизованою обробкою результатів функціональних досліджень.

Встановлено, що одним із найбільш доступних та інформативних методів оцінювання є проба Руф'є, яка дозволяє визначати рівень адаптації організму до фізичних навантажень на основі аналізу частоти серцевих скорочень до та після виконання функціонального тесту.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обґрунтовано доцільність розроблення програмно-апаратної системи оцінки діяльності серця у процесі реабілітації, яка поєднуватиме засоби реєстрації фізіологічних показників, автоматизовану обробку результатів вимірювань та програмне формування висновку щодо функціонального стану пацієнта.

Результати аналітичного дослідження стали підґрунтям для вибору структури та принципів побудови програмно-апаратної системи, розроблення математичного та алгоритмічного забезпечення, що будуть розглянуті у наступному розділі роботи.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Технічне забезпечення програмно-апаратної системи

Ефективність оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи значною мірою залежить від якості технічних засобів, що використовуються для реєстрації, передачі та обробки фізіологічної інформації. Під час розроблення програмно-апаратної системи необхідно забезпечити достатню точність вимірювання показників серцево-судинної системи, надійність функціонування обладнання та можливість автоматизованої обробки отриманих результатів.

З огляду на поставлені завдання, технічне забезпечення системи повинно реалізовувати такі основні функції:

- реєстрацію фізіологічних показників користувача;
- передачу отриманих даних до обчислювального пристрою;
- обробку та зберігання результатів вимірювань;
- відображення результатів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи.

Для реалізації зазначених функцій запропоновано використання програмно-апаратної системи, структурна схема якої наведена на рис. 2.1.

Структура системи

До складу системи входять:

1. Блок реєстрації фізіологічних показників.
2. Мікроконтролерний блок обробки даних.
3. Персональний комп'ютер із програмним забезпеченням.
4. Блок відображення результатів.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1 – Структурна схема програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи

Блок реєстрації фізіологічних показників призначений для визначення частоти серцевих скорочень під час проведення функціонального тестування. Для цього може використовуватися електрокардіографічний модуль або датчик серцевого ритму, що забезпечує отримання сигналу в режимі реального часу.

Мікроконтролерний блок виконує функції збору, попередньої обробки та передачі інформації до персонального комп'ютера. Як центральний елемент системи доцільно використовувати мікроконтролерну платформу Arduino Nano, яка характеризується компактними розмірами, низьким

енергоспоживанням та достатніми обчислювальними можливостями для виконання поставлених завдань.

Персональний комп'ютер використовується для подальшої обробки отриманих даних, розрахунку функціональних показників та формування висновків щодо стану серцево-судинної системи. На комп'ютері реалізується спеціалізоване програмне забезпечення з графічним інтерфейсом користувача.

Блок відображення результатів забезпечує виведення інформації про результати вимірювань, значення розрахованих показників та сформовану оцінку функціонального стану серцево-судинної системи.

2.1.1 Вибір мікроконтролерної платформи

Для реалізації системи обрано платформу Arduino Nano. Основними перевагами даної платформи є:

- компактність конструкції;
- низька вартість;
- простота програмування;
- наявність аналогових та цифрових входів;
- підтримка інтерфейсу USB;
- сумісність із великою кількістю біомедичних сенсорів.

Основні технічні характеристики Arduino Nano наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino Nano

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Тактова частота	16 МГц
Напруга живлення	5 В
Аналогові входи	8
Цифрові входи/виходи	14
Flash-пам'ять	32 КБ
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ

даних, розрахунок функціональних показників та формування висновку про функціонування системи.

Запропонована структура забезпечує автоматизоване виконання всіх основних етапів оцінювання та створює необхідні умови для реалізації математичного та алгоритмічного забезпечення системи.

2.2 Математичне забезпечення програмно-апаратної системи

Математичне забезпечення програмно-апаратної системи призначене для обробки результатів вимірювання фізіологічних показників, розрахунку параметрів функціонального стану серцево-судинної системи та формування підсумкової оцінки рівня адаптації організму до фізичного навантаження. Використання математичних методів дозволяє забезпечити об'єктивність отриманих результатів та мінімізувати вплив суб'єктивних факторів на процес оцінювання.

У розробленій системі оцінювання базується на аналізі частоти серцевих скорочень, визначеної під час проведення функціональної проби Руф'є. Застосування даного підходу дозволяє оцінити реакцію серцево-судинної системи на фізичне навантаження та швидкість її відновлення після завершення навантаження.

2.2.1 Математична модель оцінювання функціонального стану

У процесі проведення функціонального тестування визначаються три основні показники:

- P_1 – частота серцевих скорочень у стані спокою, уд/хв;
- P_2 – частота серцевих скорочень безпосередньо після фізичного навантаження, уд/хв;
- P_3 – частота серцевих скорочень через одну хвилину після завершення навантаження, уд/хв.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

На основі отриманих значень розраховується індекс Руф'є:

$$I_R = \frac{4(P_1 + P_2 + P_3) - 200}{10}, \quad (2.1)$$

де I_R – індекс Руф'є;

Індекс Руф'є характеризує рівень функціонального стану серцево-судинної системи та дозволяє оцінити ефективність адаптаційних механізмів організму.

Математичну модель оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи наведено на рис. 2.3.

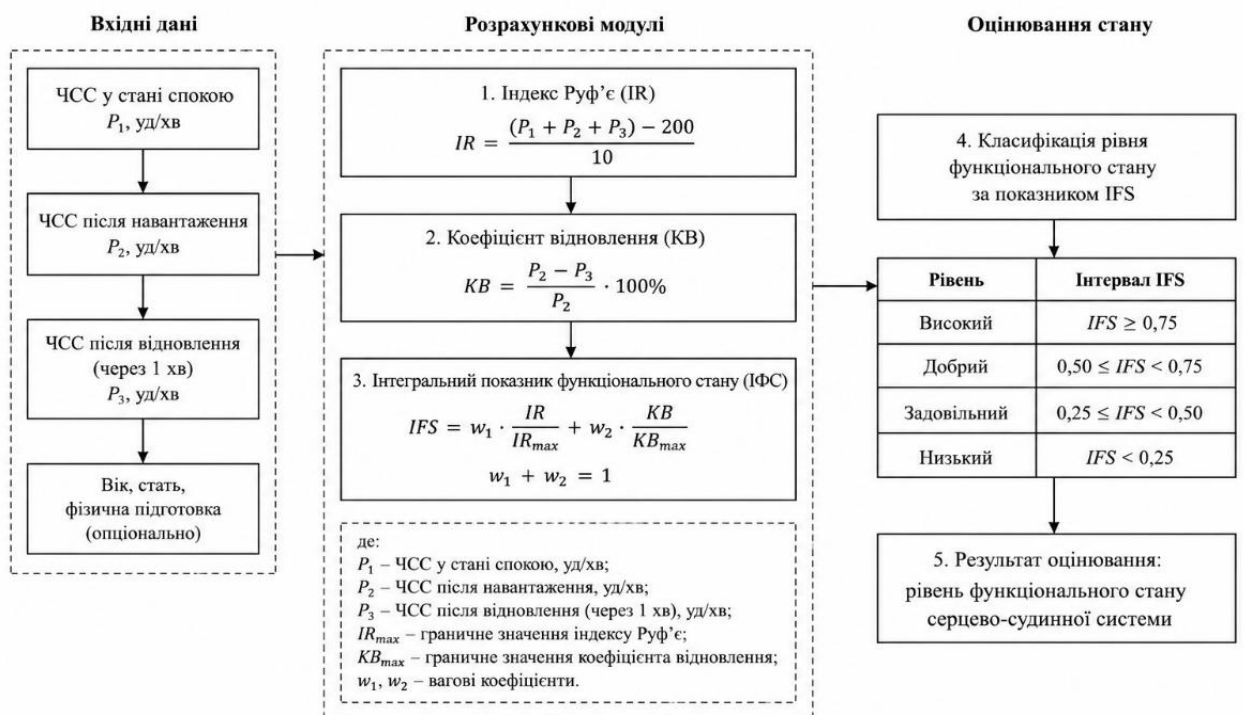


Рисунок 2.3 – Математична модель оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи

2.2.2 Шкала оцінювання функціонального стану

Для інтерпретації результатів використовується шкала оцінювання індексу Руф'є, наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Інтерпретація значень індексу Руф'є

Значення індексу Руф'є	Оцінка функціонального стану
Менше 0	Відмінний
0 – 5	Добрий
5,1 – 10	Задовільний
10,1 – 15	Незадовільний
Більше 15	Поганий

Чим меншим є значення індексу Руф'є, тим вищими є функціональні резерви серцево-судинної системи та кращою є адаптація організму до фізичних навантажень.

2.2.3 Оцінювання швидкості відновлення

Додатково для характеристики процесу відновлення доцільно використовувати коефіцієнт відновлення серцевого ритму K_B :

$$K_B = \frac{P_2 - P_2}{P_2 - P_1} \times 100\%, \quad (2.2)$$

Даний показник характеризує ефективність відновлювальних процесів після фізичного навантаження. Вищі значення коефіцієнта відновлення свідчать про кращий функціональний стан серцево-судинної системи.

2.2.4 Модель функціонування програмно-апаратної системи

Математичне забезпечення системи можна представити у вигляді послідовності функціональних перетворень:

$$X \rightarrow M \rightarrow A \rightarrow R, \quad (2.3)$$

де X – вхідні дані вимірювання частоти серцевих скорочень;

M – математична обробка результатів;

A – алгоритм оцінювання функціонального стану;

R – результати оцінювання.

Вхідними даними системи є результати вимірювання частоти серцевих скорочень під час проведення функціонального тестування. На етапі математичної обробки виконується розрахунок індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення. Після цього алгоритм системи визначає рівень функціонального стану серцево-судинної системи відповідно до встановлених критеріїв та формує результат для користувача.

Узагальнену математичну модель функціонування системи наведено на рис. 2.4.

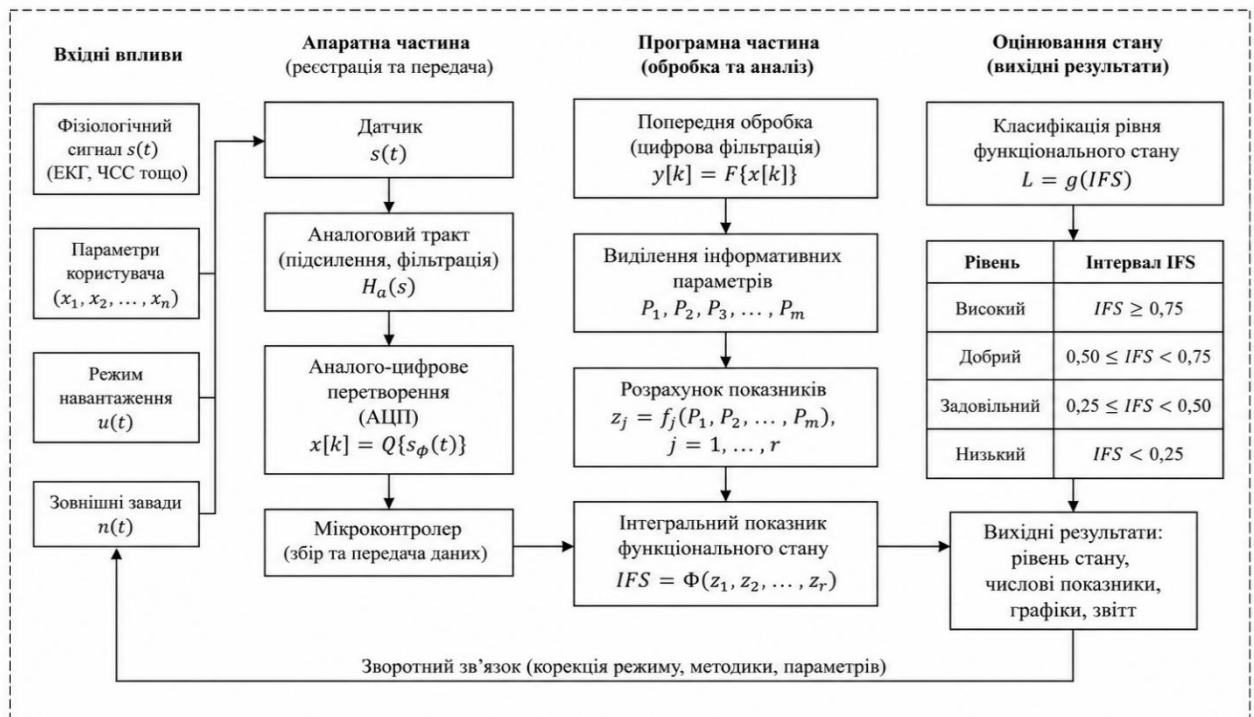


Рисунок 2.4 – Узагальнена математична модель функціонування програмно-апаратної системи

Таким чином, математичне забезпечення розробленої системи базується на використанні показників частоти серцевих скорочень та результатів функціонального тестування. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати

процес оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи, забезпечити об'єктивність отриманих результатів та підвищити ефективність контролю перебігу реабілітаційного процесу.

2.3 Алгоритмічне забезпечення програмно-апаратної системи

Алгоритмічне забезпечення є важливою складовою програмно-апаратної системи оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи, оскільки визначає послідовність виконання операцій зі збору, обробки та аналізу фізіологічних даних. Від структури алгоритму залежить точність отриманих результатів, швидкість обробки інформації та ефективність функціонування системи в цілому.

Основним призначенням алгоритмічного забезпечення є автоматизація процесу оцінювання на основі результатів функціонального тестування. Алгоритм забезпечує отримання вихідних даних від вимірювального модуля, їх перевірку, обробку, розрахунок показників та формування висновку щодо рівня функціонального стану користувача.

Загальна структура алгоритму роботи програмно-апаратної системи наведена на рис. 2.5.

Робота системи починається з ініціалізації апаратного та програмного забезпечення. Після запуску програми виконується перевірка працездатності мікроконтролера, датчика реєстрації серцевої діяльності та каналу передачі даних між апаратною та програмною частинами системи.

На наступному етапі здійснюється реєстрація частоти серцевих скорочень у стані спокою. Отримане значення зберігається в пам'яті системи як параметр P_1 .

Після завершення початкового вимірювання користувач виконує функціональне навантаження відповідно до методики проби Руф'є. У даній роботі передбачається виконання 30 присідань протягом 45 секунд. Після

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Через одну хвилину після завершення навантаження проводиться повторне вимірювання частоти серцевих скорочень. Отримане значення використовується як параметр P_3 , що характеризує процес відновлення серцево-судинної системи.

Після завершення збору даних алгоритм переходить до етапу математичної обробки результатів. На цьому етапі виконується розрахунок індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму відповідно до формул, наведених у підрозділі 2.2.

Для автоматизованого визначення функціонального стану використовується алгоритм класифікації результатів, схема якого наведена на рис. 2.6.

Алгоритм класифікації передбачає порівняння розрахованого значення індексу Руф'є з нормативними межами. Залежно від отриманого результату користувачу присвоюється одна з таких категорій:

- відмінний функціональний стан;
- добрий функціональний стан;
- задовільний функціональний стан;
- незадовільний функціональний стан;
- поганий функціональний стан.

Після завершення розрахунків система формує підсумковий звіт, який містить:

- значення частоти серцевих скорочень у стані спокою;
- значення частоти серцевих скорочень після навантаження;
- значення частоти серцевих скорочень після відновлення;
- розрахований індекс Руф'є;
- коефіцієнт відновлення;
- оцінку функціонального стану серцево-судинної системи.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

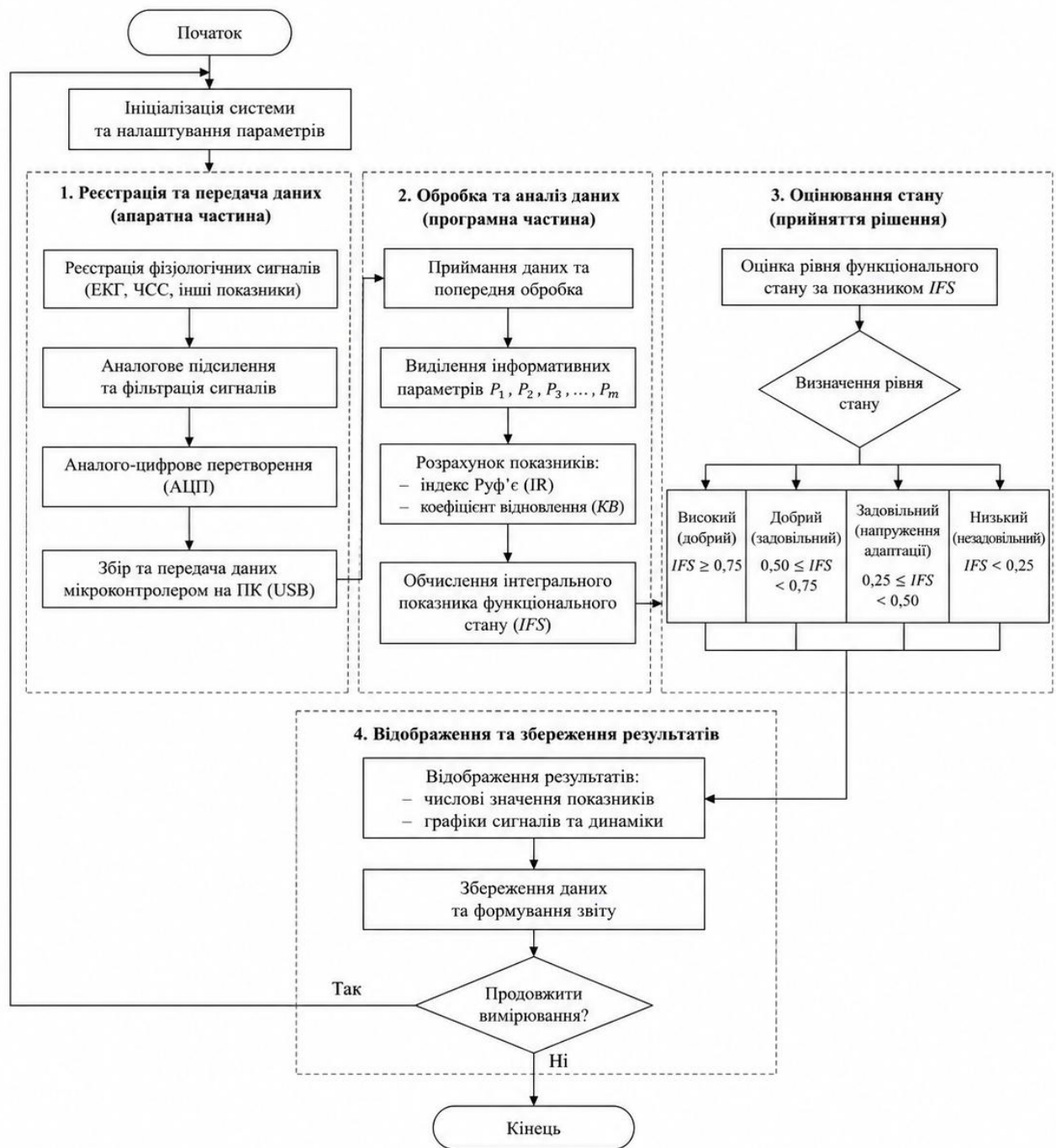


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритму функціонування програмно-апаратної системи

Таким чином, розроблене алгоритмічне забезпечення забезпечує автоматизацію всіх основних етапів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи: від збору фізіологічних даних до формування підсумкового висновку. Реалізація такого алгоритму дозволяє підвищити

оперативність отримання результатів, зменшити вплив людського фактора та забезпечити об'єктивність оцінювання стану користувача в процесі реабілітації.

2.4 Проєктування програмно-апаратної системи

Проєктування програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи є одним із ключових етапів розроблення, оскільки визначає структуру взаємодії апаратних і програмних компонентів, способи збору та обробки фізіологічної інформації, а також порядок представлення результатів користувачу. Основною метою проєктування є створення системи, яка забезпечує автоматизоване виконання функціонального тестування та формування об'єктивної оцінки функціонального стану серцево-судинної системи.

2.4.1 Архітектура програмно-апаратної системи

Запропонована система реалізована за модульним принципом та складається з апаратної та програмної частин. Загальну архітектуру системи наведено на рис. 2.8.

До складу апаратної частини входять:

- датчик реєстрації серцевої діяльності AD8232;
- мікроконтролер Arduino Nano;
- персональний комп'ютер;
- USB-інтерфейс передачі даних.

Програмна частина реалізована у середовищі MATLAB та включає модулі збору, обробки, аналізу та відображення інформації.

У процесі роботи електрокардіографічний сигнал знімається за допомогою датчика AD8232 та надходить до мікроконтролера Arduino Nano. Після попередньої обробки дані передаються через USB-інтерфейс до

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

персонального комп'ютера, де виконується їх подальший аналіз та формування висновку про функціональний стан користувача.

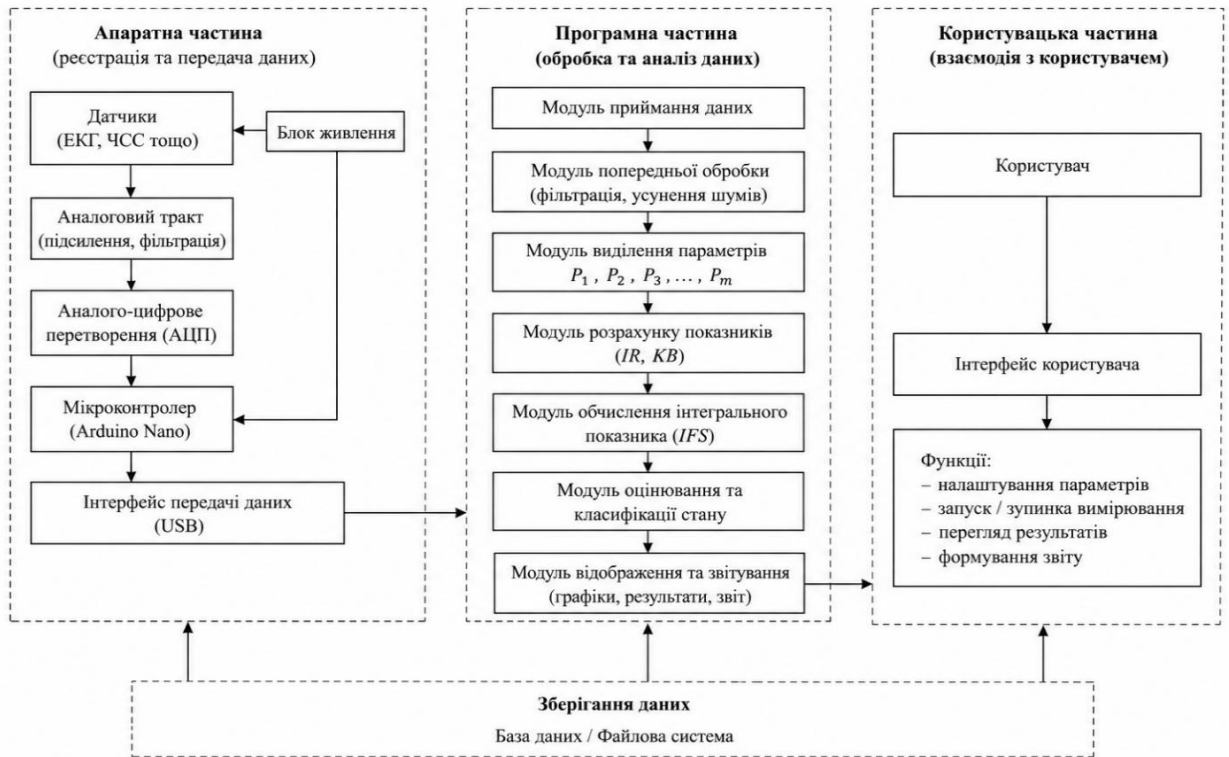


Рисунок 2.8 – Архітектура програмно-апаратної системи

2.4.2 Проектування апаратної частини системи

Для реєстрації біоелектричної активності серця використовується модуль AD8232, який являє собою інтегровану систему підсилення та фільтрації електрокардіографічних сигналів. Модуль забезпечує реєстрацію низькоамплітудних біопотенціалів серця та формування сигналу, придатного для подальшого аналізу.

Основними функціями апаратної частини є:

- зняття електрокардіографічного сигналу;
- підсилення біомедичного сигналу;
- фільтрація перешкод;
- оцифрування сигналу;
- передача даних до персонального комп'ютера.

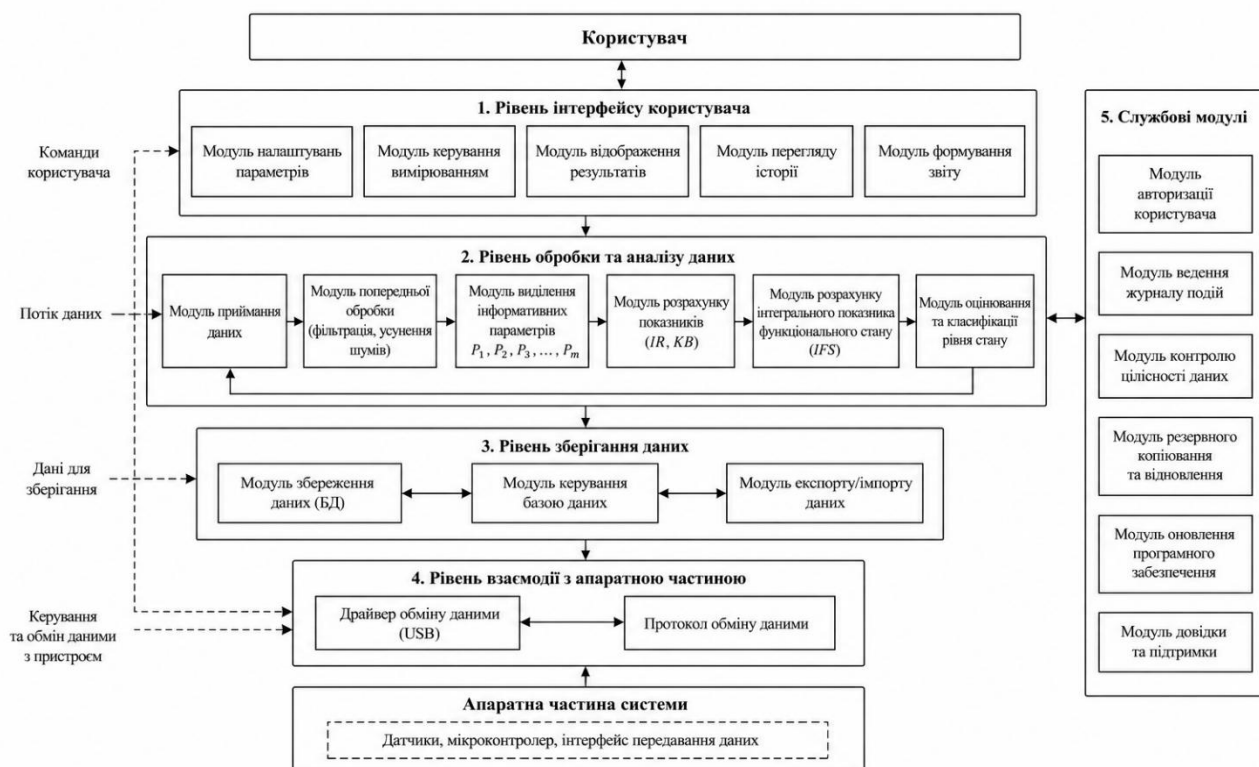


Рисунок 2.10 – Структура програмного забезпечення системи

Програмне забезпечення складається з таких модулів:

- модуль отримання даних;
- модуль математичної обробки;
- модуль розрахунку індексу Руф'є;
- модуль формування висновку;
- модуль графічного інтерфейсу користувача.

Модуль отримання даних забезпечує приймання інформації від Arduino Nano через послідовний інтерфейс передачі даних. Після надходження інформації виконується її перевірка та передача до блоку математичної обробки.

Модуль математичної обробки реалізує алгоритми розрахунку частоти серцевих скорочень, індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму.

Модуль формування висновку виконує аналіз отриманих результатів та визначає рівень функціонального стану серцево-судинної системи відповідно до встановленої шкали оцінювання.

2.4.4 Проектування графічного інтерфейсу користувача

Для забезпечення зручності роботи користувача розроблено графічний інтерфейс, який дозволяє здійснювати контроль процесу вимірювання та перегляд результатів дослідження.

Основними елементами інтерфейсу є:

- поле введення персональних даних користувача;
- кнопки керування процесом дослідження;
- вікно відображення поточних значень частоти серцевих скорочень;
- таблиця результатів вимірювання;
- поле відображення індексу Руф'є;
- поле формування висновку.

Макет головного вікна програми наведено на рис. 2.11.



Рисунок 2.11 – Головне вікно програмного забезпечення

Після завершення функціонального тестування користувачу відображаються результати вимірювань та підсумкова оцінка функціонального стану серцево-судинної системи. Приклад вікна результатів наведено на рис. 2.12.



Рисунок 2.12 – Вікно відображення результатів дослідження

Розроблений інтерфейс забезпечує простоту використання системи та не потребує спеціальної підготовки користувача. Це дозволяє використовувати систему як у медичних установах, так і в реабілітаційних центрах.

Таким чином, у результаті проектування сформовано структуру програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи, визначено склад її апаратних та програмних компонентів, а також розроблено графічний інтерфейс користувача. Запропонована архітектура забезпечує автоматизоване проведення функціонального тестування та формування об'єктивної оцінки стану серцево-судинної системи в процесі реабілітації.

2.5 Тестування роботи програмно-апаратної системи

Тестування є завершальним етапом розроблення програмно-апаратної системи та призначене для перевірки правильності функціонування її апаратних і програмних компонентів. Основною метою тестування є підтвердження працездатності системи, перевірка коректності розрахунків функціональних показників та оцінювання можливості використання системи для контролю функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

У процесі тестування перевірялися такі функції системи:

- реєстрація частоти серцевих скорочень;
- передача даних між мікроконтролером та персональним комп'ютером;
- обробка результатів вимірювання;
- розрахунок індексу Руф'є;
- визначення коефіцієнта відновлення;
- формування висновку щодо функціонального стану серцево-судинної системи;
- відображення результатів у графічному інтерфейсі користувача.

2.5.1 Методика тестування

Для перевірки працездатності системи було проведено серію тестових досліджень із використанням функціональної проби Руф'є. Під час тестування для кожного користувача визначалися:

- частота серцевих скорочень у стані спокою (P_1);
- частота серцевих скорочень після фізичного навантаження (P_2);
- частота серцевих скорочень після відновлення (P_3).

На основі отриманих результатів автоматично розраховувався індекс Руф'є та формувалася оцінка функціонального стану серцево-судинної системи.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Результати тестування наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати тестування програмно-апаратної системи

№ користувача	P ₁ , уд/хв	P ₂ , уд/хв	P ₃ , уд/хв	Індекс Руф'є	Оцінка
1	68	108	78	1,6	Добрий
2	72	120	84	5,6	Задовільний
3	64	100	72	-0,4	Відмінний
4	76	128	90	7,6	Задовільний
5	82	138	96	14,4	Незадовільний

Отримані результати свідчать про коректну роботу алгоритму розрахунку індексу Руф'є та правильне визначення категорії функціонального стану серцево-судинної системи відповідно до встановленої шкали оцінювання.

2.5.2 Перевірка правильності розрахунків

Для підтвердження коректності роботи програмного забезпечення було виконано порівняння результатів автоматизованих розрахунків із результатами ручного обчислення індексу Руф'є.

Для першого користувача:

$$I_R = \frac{4(68+108+78)-200}{10} = 1,6,$$

Отримане значення повністю збігається з результатом, сформованим програмним забезпеченням, що підтверджує правильність реалізації математичного алгоритму.

2.5.3 Аналіз результатів тестування

Під час проведення тестування встановлено, що програмно-апаратна система забезпечує:

- стабільну передачу даних між апаратною та програмною частинами;

- коректне зчитування результатів вимірювання;
- автоматичне виконання математичних розрахунків;
- формування висновків без участі оператора;
- наочне представлення результатів дослідження.

Результати оцінювання функціонального стану користувачів наведено на рис. 2.13.

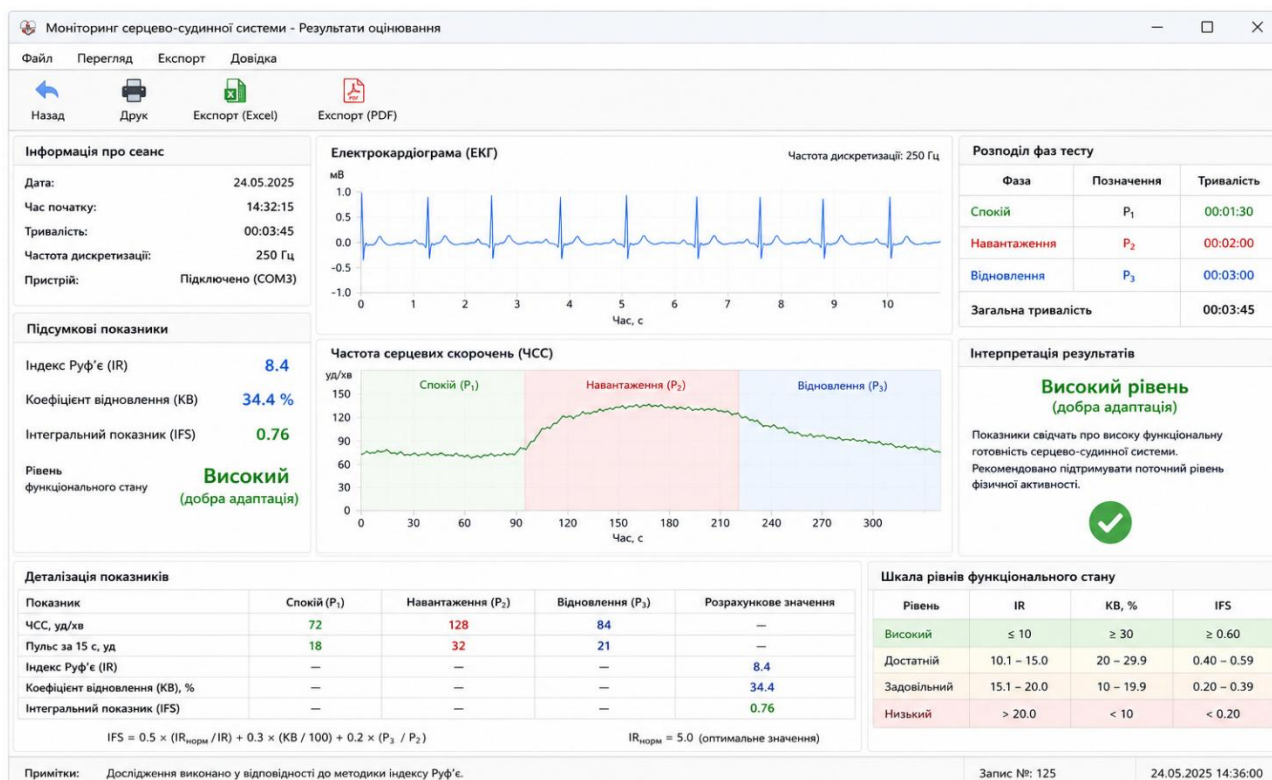


Рисунок 2.13 – Результати оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи

Для графічного подання результатів доцільно використати стовпчикову діаграму, на якій по осі абсцис відкладаються номери користувачів, а по осі ординат – значення індексу Руф'є.

Крім того, було перевірено коректність роботи графічного інтерфейсу користувача. У процесі тестування підтверджено правильність відображення

результатів вимірювання, автоматичного оновлення показників та формування підсумкового висновку.

2.5.4 Оцінювання ефективності роботи системи

За результатами тестування встановлено, що розроблена програмно-апаратна система забезпечує автоматизоване оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи та дозволяє скоротити час обробки результатів функціонального тестування порівняно з ручним способом розрахунків.

Використання автоматизованої системи дозволяє:

- підвищити об'єктивність оцінювання;
- зменшити вплив людського фактора;
- забезпечити швидке отримання результатів;
- спростити проведення функціональних досліджень у процесі реабілітації;
- забезпечити можливість накопичення та подальшого аналізу результатів вимірювань.

Отже, проведене тестування підтвердило працездатність розробленої програмно-апаратної системи, коректність реалізованих алгоритмів та можливість її використання для оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації. Отримані результати свідчать про відповідність системи поставленим вимогам та доцільність її практичного застосування у медичних і реабілітаційних закладах.

2.6 Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

судинної системи у процесі реабілітації та розроблено основні складові її технічного, математичного й алгоритмічного забезпечення.

Обґрунтовано вибір структури технічного забезпечення системи, до складу якого входять датчик реєстрації серцевої діяльності, мікроконтролерний модуль Arduino Nano, персональний комп'ютер та програмне забезпечення для обробки результатів вимірювання. Запропонована структура забезпечує автоматизований збір, передачу та аналіз фізіологічних даних.

Розроблено математичне забезпечення системи, основу якого становить використання показників частоти серцевих скорочень, отриманих під час проведення функціональної проби Руф'є. Для оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи використано розрахунок індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму, що дозволяє визначати рівень адаптаційних можливостей організму до фізичних навантажень.

Сформовано алгоритмічне забезпечення системи, яке визначає послідовність виконання операцій збору даних, проведення математичних розрахунків, класифікації результатів та формування висновку щодо функціонального стану користувача. Розроблений алгоритм забезпечує автоматизацію процесу функціонального тестування та мінімізує вплив людського фактора на результати оцінювання.

Виконано проектування програмно-апаратної системи, визначено склад її апаратних і програмних компонентів, а також розроблено структуру графічного інтерфейсу користувача. Запропоноване рішення забезпечує зручність використання системи та наочне представлення результатів дослідження.

Проведено тестування розробленої системи, у ході якого підтверджено коректність роботи програмного забезпечення, правильність реалізації математичних алгоритмів та працездатність усіх основних функціональних модулів. Отримані результати показали можливість використання системи для

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

автоматизованого оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

Таким чином, у результаті виконання проектної частини розроблено програмно-апаратну систему, яка забезпечує автоматизоване проведення функціонального тестування, обробку результатів вимірювань та формування об'єктивної оцінки функціонального стану серцево-судинної системи, що створює підґрунтя для проведення медико-біологічних досліджень та оцінювання ефективності її практичного застосування.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища для розв'язання поставленого завдання

Одним із важливих етапів розроблення програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи є вибір програмного середовища, яке забезпечує реалізацію алгоритмів обробки даних, проведення математичних розрахунків, візуалізацію результатів та створення графічного інтерфейсу користувача. Від правильності вибору програмного середовища залежить ефективність розроблення програмного забезпечення, зручність його використання та можливість подальшої модернізації системи.

Для розв'язання поставленого завдання існує значна кількість сучасних програмних засобів, серед яких найбільш поширеними є MATLAB, LabVIEW, Python, Scilab та інші спеціалізовані середовища для наукових і технічних розрахунків [35-37].

Середовище Python є одним із найпопулярніших інструментів для розроблення прикладного програмного забезпечення та аналізу даних. Його перевагами є безкоштовне поширення, велика кількість бібліотек для математичної обробки інформації та широкі можливості візуалізації даних. Проте для реалізації біомедичних застосунків необхідна додаткова інтеграція численних сторонніх модулів, що ускладнює процес розроблення та супроводу програмного забезпечення [29].

Програмне середовище LabVIEW широко використовується для створення систем автоматизованого керування та збору даних. Його основною перевагою є графічне програмування та підтримка великої кількості вимірювального обладнання. Разом із тим використання LabVIEW потребує спеціалізованого програмного забезпечення та ліцензій, що збільшує вартість розроблення системи [30].

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Одним із найбільш поширених програмних середовищ у галузі біомедичної інженерії є MATLAB. Дане середовище широко використовується для математичного моделювання, цифрової обробки сигналів, аналізу експериментальних даних та створення графічних інтерфейсів користувача. Завдяки великій кількості вбудованих функцій MATLAB дозволяє швидко реалізовувати алгоритми обробки біомедичних сигналів та виконувати складні математичні розрахунки [31].

Для реалізації програмно-апаратної системи у даній роботі обрано середовище MATLAB R2014a. Вибір саме цієї версії обумовлений її широким використанням у навчальному процесі, наявністю необхідних інструментів для математичної обробки даних та підтримкою засобів взаємодії з мікроконтролерними платформами.

Основними перевагами MATLAB R2014a є:

- наявність потужного математичного апарату;
- підтримка обробки експериментальних даних;
- можливість роботи з біомедичними сигналами;
- наявність засобів побудови графіків та діаграм;
- підтримка створення графічних інтерфейсів користувача;
- можливість обміну даними з мікроконтролерами через послідовний порт;
- широкий набір вбудованих функцій статистичної обробки інформації.

Для реалізації програмного забезпечення використовуються такі основні інструменти MATLAB:

- MATLAB Command Window;
- MATLAB Editor;
- GUIDE (Graphical User Interface Development Environment);
- функції роботи з послідовним портом;
- засоби математичної обробки даних;
- засоби візуалізації результатів.

судинної системи у процесі реабілітації. Обране середовище повністю задовольняє вимоги щодо математичної обробки даних, побудови графічного інтерфейсу та взаємодії з апаратними компонентами системи.

3.2 Методика проведення медико-біологічного дослідження

Медико-біологічне дослідження проводиться з метою перевірки працездатності розробленої програмно-апаратної системи та оцінювання можливості її використання для визначення функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації. Основним завданням дослідження є визначення здатності системи автоматизовано реєструвати фізіологічні показники, виконувати необхідні розрахунки та формувати об'єктивну оцінку функціонального стану користувача.

Методика дослідження базується на використанні функціональної проби Руф'є, яка є одним із найбільш поширених методів оцінювання адаптаційних можливостей серцево-судинної системи та широко застосовується в реабілітаційній медицині, фізичній терапії та спортивній медицині [8, 12, 38].

Загальну схему проведення медико-біологічного дослідження наведено на рис. 3.2.

3.2.1 Мета дослідження

Метою дослідження є оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи на основі аналізу реакції організму на фізичне навантаження та перевірка ефективності функціонування розробленої програмно-апаратної системи.

3.2.2 Учасники дослідження

У дослідженні брали участь умовно здорові 10 добровольців віком від 18 до 25 років, які не мали встановлених захворювань серцево-судинної системи та протипоказань до виконання помірною фізичного навантаження.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Перед початком дослідження учасники ознайомилися з методикою проведення тестування та отримували необхідні інструкції щодо виконання функціональної проби.



Рисунок 3.2 – Схема проведення медико-біологічного дослідження

3.2.3 Умови проведення дослідження

Для забезпечення достовірності результатів вимірювання дослідження проводилося за таких умов:

- температура повітря в приміщенні 20–24 °С;
- відсутність значних фізичних навантажень протягом 2 годин до тестування;
- відсутність вживання кофеїновмісних напоїв перед дослідженням;
- перебування досліджуваного у стані фізичного та емоційного спокою перед початком вимірювань.

Усі вимірювання виконувалися в однакових умовах та за єдиною методикою.

На основі отриманих результатів здійснювалося визначення рівня функціонального стану серцево-судинної системи відповідно до прийнятої шкали оцінювання.

Результати дослідження накопичувалися в електронній базі даних та могли використовуватися для аналізу динаміки змін функціонального стану користувача протягом усього періоду реабілітації.

3.2.6 Статистична обробка результатів

Для аналізу отриманих даних використовувалися методи описової статистики. Для кожного показника визначалися:

- середнє арифметичне значення;
- мінімальне значення;
- максимальне значення;
- стандартне відхилення.

Середнє арифметичне визначалося за формулою:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i$$

де X_i – значення показника для окремого досліджуваного;

n – кількість досліджуваних.

Для оцінювання розсіювання результатів використовувалося стандартне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Статистична обробка результатів виконувалася засобами MATLAB R2014a.

3.2.7 Оцінювання ефективності розробленої системи

Ефективність функціонування програмно-апаратної системи оцінювалася за такими критеріями:

- коректність реєстрації фізіологічних показників;
- правильність математичних розрахунків;
- швидкість формування результатів;
- зручність використання програмного забезпечення;
- можливість автоматизованого формування висновків.

За результатами проведеного дослідження здійснювалася оцінка можливості використання розробленої системи для контролю функціонального стану серцево-судинної системи під час проведення реабілітаційних заходів.

Таким чином, запропонована методика медико-біологічного дослідження забезпечує комплексне оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи на основі аналізу реакції організму на фізичне навантаження та дозволяє перевірити ефективність функціонування розробленої програмно-апаратної системи в умовах реабілітаційного процесу.

3.3 Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано обґрунтування вибору програмного середовища для реалізації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи та розроблено методику проведення медико-біологічного дослідження.

У результаті аналізу сучасних програмних засобів встановлено, що для реалізації поставленого завдання доцільно використовувати середовище

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

MATLAB R2014a, яке забезпечує необхідні можливості для математичної обробки даних, реалізації алгоритмів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи, побудови графічного інтерфейсу користувача та взаємодії з апаратними компонентами системи. Використання даного програмного середовища дозволяє ефективно реалізувати функції збору, обробки та візуалізації результатів дослідження.

Розроблено методику проведення медико-біологічного дослідження, яка базується на використанні функціональної проби Руф'є для оцінювання адаптаційних можливостей серцево-судинної системи. Запропонована методика передбачає визначення частоти серцевих скорочень у стані спокою, після виконання фізичного навантаження та після завершення відновного періоду з подальшим автоматизованим розрахунком індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму.

Визначено умови проведення дослідження, порядок виконання функціонального тестування та методи статистичної обробки результатів. Запропонований підхід забезпечує отримання об'єктивних даних про функціональний стан серцево-судинної системи та дозволяє здійснювати контроль ефективності реабілітаційних заходів.

Розроблена методика створює необхідні умови для практичного використання програмно-апаратної системи у медичних і реабілітаційних закладах та забезпечує можливість подальшого накопичення й аналізу результатів досліджень.

Таким чином, результати спеціальної частини підтверджують можливість використання розробленої програмно-апаратної системи для автоматизованого оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації та створюють підґрунтя для оцінювання її практичної ефективності.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Безпека життєдіяльності

4.1.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи основними учасниками процесу є оператор системи та досліджуваний користувач. Робота з системою здійснюється в приміщеннях медичних закладів, реабілітаційних центрів або лабораторій, обладнаних персональними комп'ютерами та електронними засобами реєстрації фізіологічних показників.

Під час роботи з програмно-апаратною системою на персонал можуть впливати різні виробничі фактори, які відповідно до вимог нормативних документів поділяються на фізичні, психофізіологічні та організаційні.

До фізичних факторів належать:

- електричний струм;
- електромагнітні поля від електронного обладнання;
- недостатнє або надмірне освітлення робочого місця;
- несприятливі параметри мікроклімату приміщення;
- шум від роботи електронного обладнання.

Одним із найбільш небезпечних факторів є можливість ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції електричних кіл або порушення правил експлуатації обладнання. Незважаючи на використання низьковольтних пристроїв, необхідно дотримуватися вимог електробезпеки під час підключення та експлуатації обладнання.

До психофізіологічних факторів належать:

- тривала робота за комп'ютером;
- підвищене навантаження на органи зору;
- статичне навантаження на опорно-руховий апарат;

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

– нервово-емоційне напруження під час роботи з медичною інформацією.

Тривала робота за персональним комп'ютером може спричиняти втому органів зору, зниження концентрації уваги та погіршення загального самопочуття оператора. Тому необхідно дотримуватися встановлених режимів праці та відпочинку.

До організаційних факторів належать:

- порушення правил експлуатації обладнання;
- недостатня підготовка персоналу;
- недотримання вимог охорони праці;
- використання несправного обладнання.

Для мінімізації впливу небезпечних факторів необхідно забезпечити належний технічний стан обладнання, дотримання вимог безпеки праці та проведення інструктажів з охорони праці для персоналу.

Таким чином, основними небезпечними факторами під час роботи з програмно-апаратною системою є дія електричного струму, навантаження на органи зору та опорно-руховий апарат, а також можливі порушення правил експлуатації обладнання. Врахування зазначених факторів дозволяє створити безпечні умови праці та забезпечити надійну експлуатацію системи.

4.1.2 Організація безпечного робочого місця оператора програмно-апаратної системи

Безпечна організація робочого місця оператора є важливою умовою забезпечення ефективної та безпечної експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи. Правильне облаштування робочого місця сприяє зниженню рівня втоми працівника, підвищенню продуктивності праці та запобіганню виникненню професійних захворювань, пов'язаних із тривалою роботою за персональним комп'ютером.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Робоче місце оператора повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів з охорони праці та ергономіки. Під час організації робочого місця необхідно враховувати особливості виконуваних робіт, характеристики використовуваного обладнання та умови виробничого середовища.

До складу робочого місця оператора входять:

- персональний комп'ютер;
- монітор;
- клавіатура;
- маніпулятор типу «миша»;
- програмно-апаратна система оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи;
- робочий стіл;
- робоче крісло.

Загальний вигляд організації робочого місця оператора наведено на рис. 4.1.

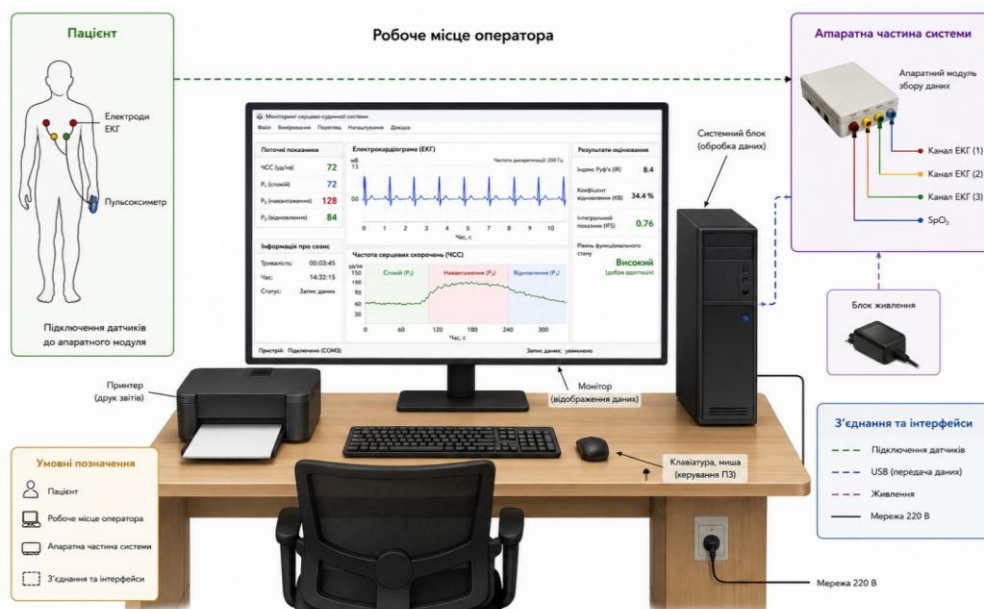


Рисунок 4.1 – Схема організації робочого місця оператора програмно-апаратної системи

Освітлення робочого місця повинно забезпечувати комфортне сприйняття інформації з екрана монітора та документації. Для приміщень, у яких виконуються роботи з використанням персональних комп'ютерів, рекомендована освітленість робочої поверхні становить 300–500 лк.

Світильники необхідно розташовувати таким чином, щоб уникати утворення відблисків на поверхні екрана монітора. Перевагу слід надавати комбінованому освітленню, яке поєднує природне та штучне освітлення.

Під час роботи за комп'ютером оператор повинен дотримуватися встановленого режиму праці та відпочинку. Для зниження навантаження на органи зору та опорно-руховий апарат рекомендується через кожні 45–60 хвилин роботи робити короткочасні перерви тривалістю 5–10 хвилин.

Для профілактики втоми доцільно виконувати вправи для очей та розминку м'язів шиї, спини й верхніх кінцівок. Такі заходи сприяють покращенню кровообігу та зменшенню ризику виникнення професійних захворювань.

Таким чином, дотримання вимог щодо організації робочого місця оператора забезпечує безпечні та комфортні умови праці під час експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи, сприяє підвищенню ефективності роботи персоналу та зменшенню негативного впливу виробничих факторів на організм людини.

4.2 Основи охорони праці

4.2.1 Електробезпека та пожежна безпека під час експлуатації системи

Під час експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи особлива увага повинна приділятися забезпеченню електробезпеки та пожежної безпеки. Незважаючи на те, що більшість елементів системи працює від низьковольтних джерел живлення, порушення правил експлуатації електрообладнання може

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

призвести до виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з ураженням електричним струмом або виникненням пожежі.

До складу системи входять персональний комп'ютер, блок живлення, мікроконтролер Arduino Nano, датчик реєстрації серцевої діяльності та периферійне обладнання. Живлення більшості елементів системи здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В через сертифіковані блоки живлення та USB-інтерфейси.

4.2.2 Аналіз безпеки ураження електричним струмом

Основними причинами виникнення небезпеки ураження електричним струмом можуть бути:

- пошкодження ізоляції електричних проводів;
- використання несправного електрообладнання;
- відсутність або несправність захисного заземлення;
- порушення правил експлуатації електротехнічних пристроїв;
- потрапляння вологи на струмопровідні частини обладнання.

Найбільшу небезпеку становить можливість контакту людини з частинами обладнання, які перебувають під напругою. Для зниження ризику ураження електричним струмом необхідно використовувати лише справні технічні засоби та регулярно проводити їх технічний огляд.

У розробленій системі для підключення датчиків до пацієнта використовується низьковольтне живлення, що значно знижує ризик виникнення небезпечних струмів у вимірювальному колі. Передача даних між апаратною та програмною частинами здійснюється через USB-інтерфейс, який забезпечує додатковий рівень електричної ізоляції між вимірювальним пристроєм і користувачем.

Для забезпечення електробезпеки необхідно дотримуватися таких вимог:

- використовувати лише сертифіковані блоки живлення;

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

- здійснювати підключення обладнання до мережі через справні розетки із захисним контактом;
- не допускати експлуатації обладнання з пошкодженими кабелями;
- проводити періодичний контроль технічного стану обладнання;
- забороняти виконання робіт в умовах підвищеної вологості;
- відключати систему від мережі перед проведенням профілактичних робіт.

4.2.3 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека під час експлуатації програмно-апаратної системи забезпечується виконанням комплексу організаційних та технічних заходів, спрямованих на попередження виникнення джерел займання.

Основними причинами виникнення пожежі в приміщеннях із комп'ютерною технікою можуть бути:

- короткі замикання електричних кіл;
- перевантаження електричної мережі;
- несправність блоків живлення;
- перегрів електронних компонентів;
- порушення правил експлуатації електрообладнання.

Для попередження виникнення пожежонебезпечних ситуацій необхідно:

- використовувати обладнання, що відповідає вимогам електробезпеки;
- не перевищувати допустиме навантаження на електромережу;
- забезпечувати вільний доступ до вимикачів електроживлення;
- своєчасно очищати обладнання від пилу;
- контролювати температурний режим роботи обладнання;
- регулярно перевіряти справність електропроводки.

Приміщення, у якому експлуатується система, повинно бути обладнане первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння можливих загорянь

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

6. Не допускати повторного ввімкнення обладнання до усунення несправності.

Особлива увага повинна приділятися випадкам ураження людини електричним струмом. У такій ситуації необхідно насамперед припинити дію електричного струму, викликати медичну допомогу та надати потерпілому домедичну допомогу відповідно до чинних рекомендацій.

Таким чином, дотримання вимог електробезпеки та пожежної безпеки під час експлуатації програмно-апаратної системи дозволяє мінімізувати ризик виникнення аварійних ситуацій, забезпечити безпечні умови праці персоналу та підвищити надійність функціонування системи в процесі її практичного використання.

4.2.5 Заходи щодо покращення умов праці

Підвищення ефективності роботи оператора програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи значною мірою залежить від створення комфортних та безпечних умов праці. Комплекс заходів щодо покращення умов праці спрямований на зменшення впливу несприятливих виробничих факторів, збереження працездатності персоналу та запобігання розвитку професійних захворювань.

Одним із найважливіших напрямів покращення умов праці є забезпечення ергономічної організації робочого місця. Робочий стіл і крісло повинні відповідати антропометричним характеристикам працівника та забезпечувати підтримання правильної робочої пози. Регулювання висоти сидіння та кута нахилу спинки дозволяє зменшити статичне навантаження на хребет і м'язи спини.

Особливу увагу необхідно приділяти умовам освітлення робочого місця. Для забезпечення комфортної роботи з монітором доцільно використовувати комбіноване освітлення, яке поєднує природне та штучне світло. Освітленість робочої поверхні повинна підтримуватися на рівні 300–500 лк, що забезпечує

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

зниження втомлюваності органів зору та покращення якості сприйняття інформації.

Важливим фактором підтримання працездатності персоналу є забезпечення оптимального мікроклімату в приміщенні. Рекомендовані параметри мікроклімату наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Рекомендовані параметри мікроклімату робочого приміщення

Параметр	Рекомендоване значення
Температура повітря	20–24 °С
Відносна вологість	40–60 %
Швидкість руху повітря	до 0,1 м/с

Для підтримання зазначених параметрів доцільно використовувати системи вентиляції та кондиціонування повітря. Регулярне провітрювання приміщення сприяє покращенню самопочуття працівників і підвищенню продуктивності праці.

Одним із найбільш поширених факторів, що негативно впливають на операторів комп'ютерних систем, є тривале навантаження на органи зору. Для його зменшення рекомендується:

- використовувати монітори з високою якістю зображення;
- регулювати яскравість і контрастність екрана відповідно до умов освітлення;
- дотримуватися відстані 50–70 см між очима користувача та екраном;
- застосовувати захисні режими відображення інформації;
- виконувати вправи для очей під час перерв.

Для профілактики розвитку захворювань опорно-рухового апарату необхідно забезпечити раціональний режим праці та відпочинку. Під час роботи з персональним комп'ютером рекомендується через кожні 45–60

хвилин роботи робити перерви тривалістю 5–10 хвилин. Під час перерв доцільно виконувати вправи для м'язів шії, плечового поясу та спини.

Важливим заходом покращення умов праці є використання сучасних програмних засобів автоматизації обробки інформації. Автоматичне формування результатів дослідження, розрахунок показників та створення звітів дозволяють знизити психоемоційне навантаження на оператора та зменшити ймовірність виникнення помилок під час роботи.

Для забезпечення безпечної експлуатації програмно-апаратної системи рекомендується проводити:

- періодичний технічний огляд обладнання;
- перевірку справності електричних з'єднань;
- контроль стану кабельних ліній;
- регулярне оновлення програмного забезпечення;
- резервне копіювання результатів досліджень.

Упровадження запропонованих організаційних та технічних заходів дозволяє підвищити безпеку праці, знизити негативний вплив виробничих факторів на організм людини та забезпечити ефективну роботу персоналу під час експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи.

Таким чином, реалізація комплексу заходів щодо покращення умов праці сприяє створенню комфортного виробничого середовища, підвищенню продуктивності праці оператора та забезпеченню надійної й безпечної роботи програмно-апаратної системи.

4.3 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час експлуатації програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на оператора під час роботи з комп'ютерним та електронним обладнанням. Встановлено, що основними факторами ризику є можливість ураження електричним струмом, підвищене навантаження на органи зору, статичне навантаження на опорно-руховий апарат, а також вплив несприятливих параметрів мікроклімату та освітлення.

Розглянуто вимоги до організації безпечного робочого місця оператора програмно-апаратної системи. Визначено рекомендації щодо розміщення комп'ютерного обладнання, вибору робочих меблів, забезпечення нормативних параметрів освітлення та мікроклімату, а також дотримання режимів праці та відпочинку під час роботи з персональним комп'ютером.

Особливу увагу приділено питанням електробезпеки під час експлуатації електронного обладнання та необхідності використання справних технічних засобів із дотриманням вимог нормативних документів з охорони праці. Розглянуто основні заходи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання виникненню аварійних ситуацій у приміщеннях, де використовується комп'ютерна техніка та електронні пристрої.

Встановлено, що дотримання вимог безпеки життєдіяльності та охорони праці дозволяє забезпечити безпечні умови експлуатації програмно-апаратної системи, знизити ризик виникнення виробничого травматизму та професійних захворювань, а також підвищити ефективність роботи персоналу.

Таким чином, реалізація запропонованих організаційних і технічних заходів забезпечує створення безпечних та комфортних умов праці під час використання програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання розроблення програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації. Проведені дослідження та отримані результати дозволяють сформулювати такі висновки:

Проведено аналіз сучасних методів оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи та засобів контролю фізіологічних показників у процесі реабілітації. Встановлено доцільність використання автоматизованих програмно-апаратних засобів для підвищення оперативності та об'єктивності оцінювання стану пацієнта.

Обґрунтовано вибір технічного забезпечення системи, до складу якого входять мікроконтролер Arduino Nano, модуль реєстрації кардіосигналів AD8232 та персональний комп'ютер. Запропонована структура забезпечує збір, передавання та обробку фізіологічних даних у режимі реального часу.

Розроблено математичне забезпечення програмно-апаратної системи, яке базується на використанні індексу Руф'є та коефіцієнта відновлення серцевого ритму. Застосування зазначених показників дозволяє здійснювати кількісну оцінку функціонального стану серцево-судинної системи та адаптаційних можливостей організму.

Розроблено алгоритмічне забезпечення функціонування системи, що включає етапи реєстрації фізіологічних показників, проведення функціональної проби, автоматизованого розрахунку показників та формування висновку щодо стану користувача.

Реалізовано програмне забезпечення в середовищі MATLAB R2014a, яке забезпечує введення та обробку даних, виконання розрахунків, відображення результатів дослідження та формування підсумкових висновків щодо функціонального стану серцево-судинної системи.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Проведено тестування розробленої програмно-апаратної системи із використанням експериментальних даних. Отримані результати підтвердили працездатність системи, коректність реалізованих алгоритмів та можливість автоматизованого оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи в умовах реабілітації.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи в реабілітаційних центрах, медичних закладах, навчальних лабораторіях та спортивній медицині для оперативного контролю стану людини під час фізичних навантажень і відновлення.

Таким чином, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто, а всі завдання дослідження виконано в повному обсязі

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hall J. E. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. 14th ed. Philadelphia : Elsevier, 2021. 1152 p.
2. Levick J. R. An Introduction to Cardiovascular Physiology. 5th ed. London : Hodder Arnold, 2010. 448 p.
3. Berne R. M., Levy M. N. Cardiovascular Physiology. 10th ed. Philadelphia : Mosby, 2001. 288 p.
4. Goldman L., Schafer A. I. Goldman-Cecil Medicine. 26th ed. Philadelphia : Elsevier, 2020. 2944 p.
5. Коваленко В. М. Кардіологія. Київ : МОРІОН, 2021. 784 с.
6. Амосова К. М. Внутрішня медицина. Т. 1. Київ : Медицина, 2018. 1056 с.
7. McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L. Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance. 8th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2015. 1056 p.
8. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 11th ed. Philadelphia : Wolters Kluwer, 2021. 480 p.
9. Piepoli M. F., Corrà U., Dendale P. et al. Challenges in secondary prevention after acute myocardial infarction. European Journal of Preventive Cardiology. 2017. Vol. 24, No. 3. P. 299–310.
10. Anderson L., Oldridge N., Thompson D. R. et al. Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Coronary Heart Disease. Journal of the American College of Cardiology. 2016. Vol. 67, No. 1. P. 1–12.
11. Thomas R. J., Beatty A. L., Beckie T. M. et al. Home-Based Cardiac Rehabilitation. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. 2019. Vol. 39, No. 4. P. 208–225.
12. Основи реабілітації, фізичної терапії, ерготерапії / за ред. В. В. Клапчука. Київ : Медицина, 2020. 528 с.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

13. Webster J. G., Eren H. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2014. 1640 p.
14. Bronzino J. D., Peterson D. R. Biomedical Engineering Fundamentals. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2015. 1268 p.
15. Carr J. J., Brown J. M. Introduction to Biomedical Equipment Technology. 4th ed. Upper Saddle River : Pearson, 2011. 720 p.
16. Готра З. Ю. Біомедична електроніка. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2010. 352 с.
17. Павлов С. В., Кожем'яко В. П., Колісник П. Ф. Біомедичні інформаційні технології і системи. Вінниця : ВНТУ, 2014. 324 с.
18. Павлов С. В. Біомедичні електронні апарати і системи. Вінниця : ВНТУ, 2011. 280 с.
19. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use / Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. European Heart Journal. 1996. Vol. 17. P. 354–381.
20. Rangayyan R. M. Biomedical Signal Analysis: A Case Study Approach. 2nd ed. Hoboken : Wiley-IEEE Press, 2015. 728 p.
21. Sörnmo L., Laguna P. Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications. Amsterdam : Academic Press, 2005. 641 p.
22. Clifford G. D., Azuaje F., McSharry P. Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. Norwood : Artech House, 2006. 408 p.
23. Pan J., Tompkins W. J. A Real-Time QRS Detection Algorithm. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 1985. Vol. BME-32, No. 3. P. 230–236.
24. Яворська Є. Б. Математичні моделі та методи опрацювання ритмокардіосигналів для визначення характеристик серцевої ритміки з прогнозованою вірогідністю : дис. ... канд. техн. наук : 01.05.02. Тернопіль, 2009. 154 с.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

34. Analog Devices. AD8232 Heart Rate Monitor Front End Data Sheet. URL: <https://www.analog.com> (дата звернення: 01.06.2026).
35. MathWorks. MATLAB R2014a Documentation. Natick, MA : The MathWorks Inc., 2014.
36. Attaway S. MATLAB: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. 5th ed. Cambridge : Butterworth-Heinemann, 2021. 432 p.
37. Palm W. J. Introduction to MATLAB for Engineers. 3rd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 720 p.
38. Fletcher G. F., Ades P. A., Kligfield P. et al. Exercise Standards for Testing and Training. Circulation. 2013. Vol. 128. P. 873–934.
39. IEC 60601-1:2005 + AMD1:2012. Medical Electrical Equipment — General Requirements for Basic Safety and Essential Performance.
40. ISO 13485:2016. Medical Devices — Quality Management Systems — Requirements for Regulatory Purposes.
41. ISO 14971:2019. Medical Devices — Application of Risk Management to Medical Devices.
42. ДСТУ EN 62366-1:2022. Медичні вироби. Проєктування виробів з урахуванням експлуатаційної придатності.

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ 163.22-015.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг основних програмних модулів системи

А.1 Модуль розрахунку індексу Руф'є

```
function IR = ruffierIndex(P1, P2, P3)
IR = (P1 + P2 + P3 - 200) / 10;
end
```

де:

P1 – частота серцевих скорочень у стані спокою;

P2 – частота серцевих скорочень після фізичного навантаження;

P3 – частота серцевих скорочень після відновлення.

А.2 Модуль визначення функціонального стану серцево-судинної системи

```
function state = determineState(IR)
if IR <= 0
    state = 'Відмінний';
elseif IR <= 5
    state = 'Добрий';
elseif IR <= 10
    state = 'Задовільний';
elseif IR <= 15
    state = 'Незадовільний';
else
    state = 'Поганий';
end
end
```

А.3 Модуль обчислення коефіцієнта відновлення

```
function K = recoveryCoefficient(P1, P3)
K = P3 / P1;
end
```

A.4 Модуль формування текстового висновку

```
function result = generateConclusion(IR, K)

if IR <= 5 && K <= 1.1
    result = 'Функціональний стан серцево-судинної системи
добрий.';
elseif IR <= 10
    result = 'Функціональний стан серцево-судинної системи
задовільний.';
else
    result = 'Рекомендується проведення додаткового обстеження.';
end

end
```

A.5 Модуль побудови графіка результатів дослідження

```
function plotHeartRate(P1, P2, P3)

values = [P1 P2 P3];

figure;
bar(values);

set(gca, 'XTickLabel', ...
{'Спокій', 'Навантаження', 'Відновлення'});

ylabel('ЧСС, уд/хв');
title('Результати оцінювання функціонального стану');

grid on;

end
```

A.6 Основна програма оцінювання функціонального стану

```
clc;
clear;
close all;

disp('Оцінювання функціонального стану ССС');

P1 = input('Введіть ЧСС у спокої P1 = ');
P2 = input('Введіть ЧСС після навантаження P2 = ');
P3 = input('Введіть ЧСС після відновлення P3 = ');
```

```

IR = ruffierIndex(P1,P2,P3);

K = recoveryCoefficient(P1,P3);

state = determineState(IR);

conclusion = generateConclusion(IR,K);

fprintf('\n');
fprintf('Індекс Руф' 'е = %.2f\n',IR);
fprintf('Коефіцієнт відновлення = %.2f\n',K);
fprintf('Стан: %s\n',state);
fprintf('%s\n',conclusion);

plotHeartRate(P1,P2,P3);

```

A.7 Модуль графічного інтерфейсу користувача

```

function cardiovascularGUI

f = figure('Position',[500 300 400 300],...
          'Name','Оцінка функціонального стану');

uicontrol('Style','text',...
          'Position',[30 240 120 20],...
          'String','ЧСС у спокої');

editP1 = uicontrol('Style','edit',...
                  'Position',[180 240 100 25]);

uicontrol('Style','text',...
          'Position',[30 190 120 20],...
          'String','ЧСС після навантаження');

editP2 = uicontrol('Style','edit',...
                  'Position',[180 190 100 25]);

uicontrol('Style','text',...
          'Position',[30 140 120 20],...
          'String','ЧСС після відновлення');

editP3 = uicontrol('Style','edit',...
                  'Position',[180 140 100 25]);

uicontrol('Style','pushbutton',...
          'String','Розрахувати',...
          'Position',[120 70 150 40],...
          'Callback',@calculateResult);

function calculateResult(~,~)

```

```
P1 = str2double(get(editP1,'String'));
P2 = str2double(get(editP2,'String'));
P3 = str2double(get(editP3,'String'));

IR = (P1 + P2 + P3 - 200)/10;

msgbox(sprintf('Індекс Руф' 'e = %.2f',IR),...
        'Результат');

end

end
```

Наведені програмні модулі реалізовані в середовищі MATLAB R2014a та забезпечують автоматизований розрахунок індексу Руф'є, визначення функціонального стану серцево-судинної системи, формування висновку та візуалізацію результатів дослідження. Вони є основою програмного забезпечення розробленої програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації.

ДОДАТОК Б

Графічні матеріали до результатів тестування

У додатку наведено графічні матеріали, що ілюструють результати тестування програмно-апаратної системи оцінки функціонального стану серцево-судинної системи у процесі реабілітації. Графіки побудовано на основі тестових значень частоти серцевих скорочень у стані спокою, після фізичного навантаження та після відновлення.

Б.1 Діаграма значень індексу Руф'є

На рисунку Б.1 наведено діаграму значень індексу Руф'є для групи досліджуваних. Отримані значення дозволяють порівняти функціональний стан серцево-судинної системи різних користувачів та визначити рівень адаптації організму до фізичного навантаження.

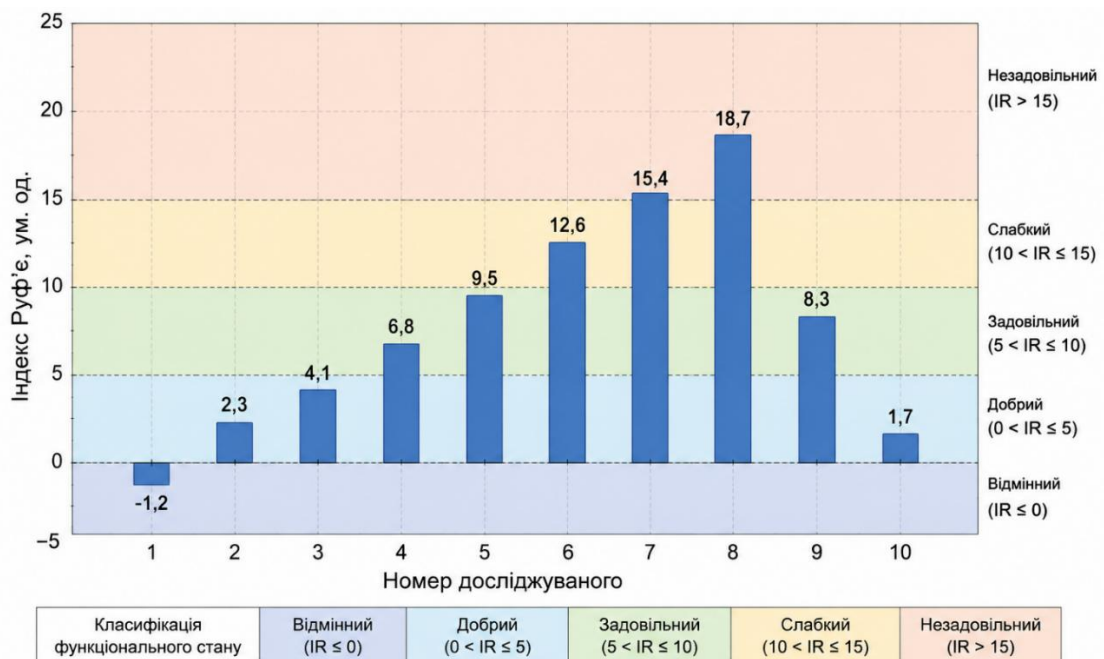


Рисунок Б.1 – Діаграма значень індексу Руф'є

Б.2 Діаграма коефіцієнта відновлення серцевого ритму

На рисунку Б.2 наведено значення коефіцієнта відновлення серцевого ритму. Даний показник характеризує швидкість зниження частоти серцевих скорочень після фізичного навантаження та відображає ефективність відновлювальних процесів.

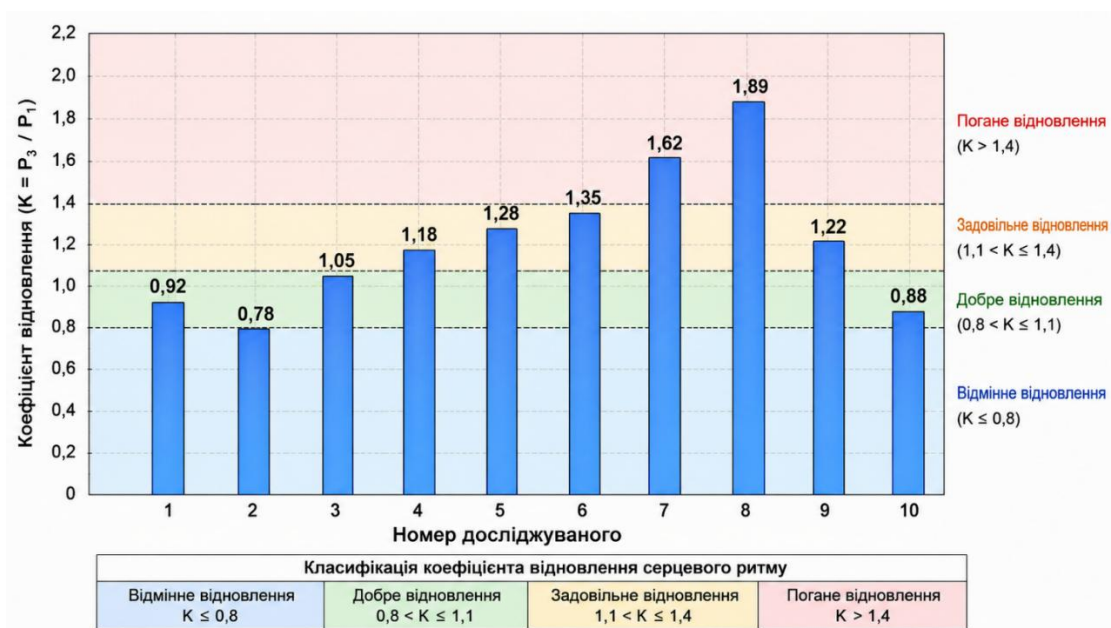


Рисунок Б.2 – Діаграма коефіцієнта відновлення серцевого ритму

Б.3 Порівняння частоти серцевих скорочень на етапах дослідження

На рисунку Б.3 наведено порівняння значень частоти серцевих скорочень у стані спокою, після фізичного навантаження та після відновлення. Аналіз таких даних дозволяє оцінити реакцію серцево-судинної системи на дозоване фізичне навантаження.

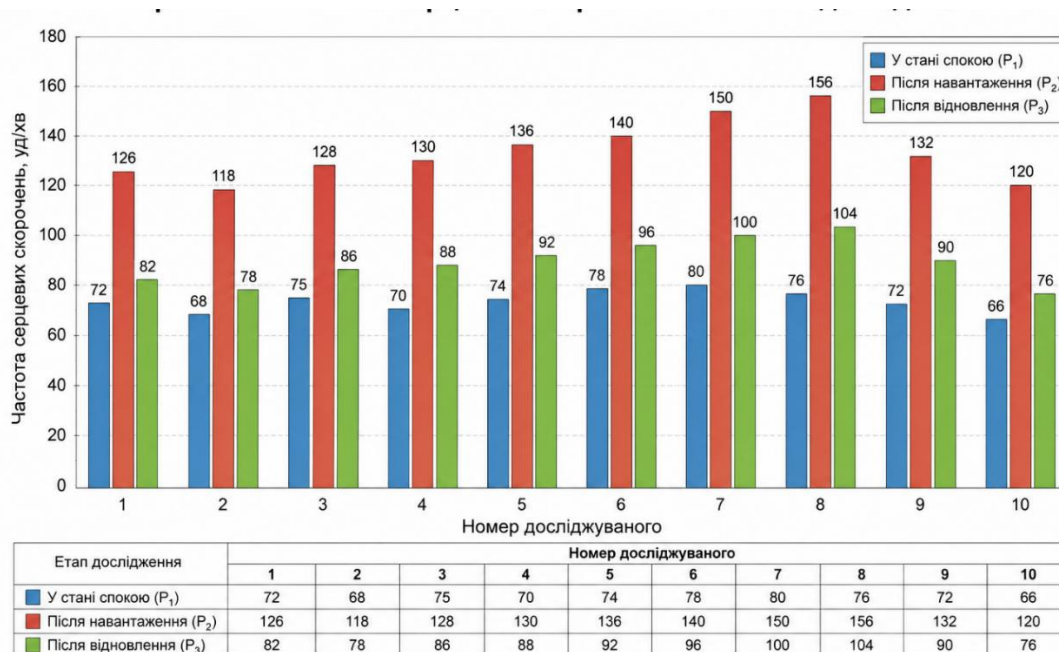


Рисунок Б.3 – Порівняння частоти серцевих скорочень на етапах дослідження

Б.4 Розподіл досліджуваних за рівнем функціонального стану

На рисунку Б.4 подано розподіл досліджуваних за рівнем функціонального стану серцево-судинної системи відповідно до значень індексу Руф'є. Такий графік дозволяє наочно оцінити кількість користувачів із відмінним, добрим, задовільним та незадовільним функціональним станом.

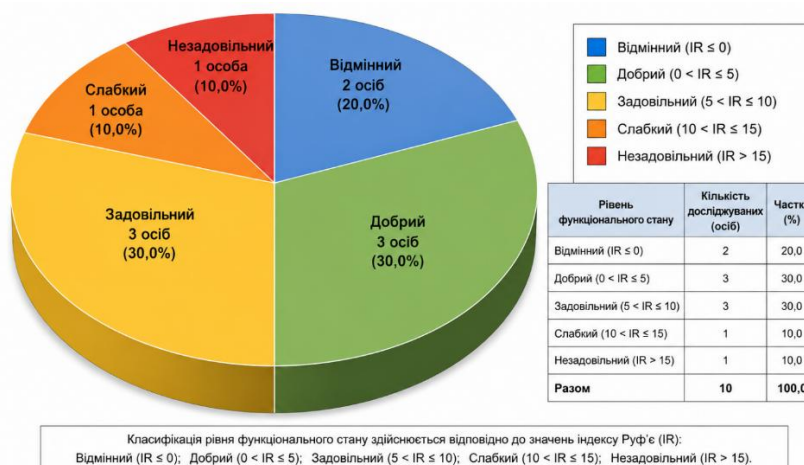


Рисунок Б.4 – Розподіл досліджуваних за рівнем функціонального стану серцево-судинної системи

Б.5 Узагальнена діаграма результатів тестування

На рисунку Б.5 наведено узагальнену діаграму результатів тестування програмно-апаратної системи. Вона відображає основні показники, які використовуються для оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи, та підтверджує працездатність розробленого програмного забезпечення.

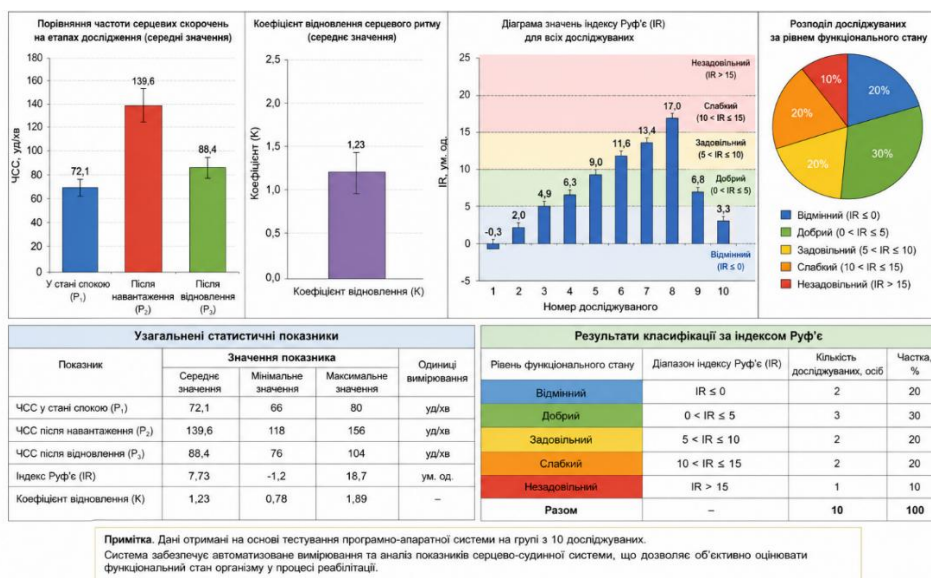


Рисунок Б.5 – Узагальнена діаграма результатів тестування програмно-апаратної системи

Наведені графічні матеріали підтверджують можливість використання розробленої системи для автоматизованого оцінювання функціонального стану серцево-судинної системи та наочного представлення результатів функціонального відновлення тестування.