

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

« » червня 2025 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»
на тему: «Система автоматизованого розрахунку
антропометричних параметрів людини»**

Виконав:

студент IV курсу, групи БМ-11

Танченко Єгор Валентинович _____

Керівник:

доц. каф. БМІ, к.б.н.

Вовянко Світлана Ігорівна _____

Консультант з охорони праці:

доц. каф. ОПЦБ, к.т.н.

Демчук Гліб Вікторович _____

Рецензент:

ас. каф. ББЗЛ,

Гришин Іван Леонідович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

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

Факультет (інститут)	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 Біомедична інженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Медична інженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Танченко Єгору Валентиновичу

1. Тема роботи: «Система автоматизованого розрахунку антропометричних параметрів людини»

керівник роботи Вовянко Світлана Ігорівна, доцент кафедри БМІ, к.б.н.

затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1758-с.

2. Термін подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: наукова література, програмне забезпечення Arduino IDE.

4. Зміст роботи (пояснювальної записки): аналіз методів розрахунку площі поверхні тіла людини; розгляд фізіологічного значення маси, зросту та ППТ; порівняння формул Гехана–Джорджа, Хейкока та Мостеллера з аналізом точності; розробка прототипу системи: вибір апаратних і програмних засобів, побудова архітектури, алгоритмів розрахунку ППТ, інтеграція Arduino для вимірювання зросту, тестування системи; охорона праці: характеристика приміщення, виявлення та аналіз електричних, механічних і пожежних ризиків.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки, фотографії.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3	Демчук Г.В., доц. каф. ОПЦБ		

7. Дата видачі завдання «14» квітня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел за темою розрахунку антропометричних параметрів	14 – 20 квітня 2025 р.	
2.	Вибір технічних та програмних засобів для реалізації системи	21 – 25 квітня 2025 р.	
3.	Розробка алгоритму розрахунку площі поверхні тіла та структури програмної логіки	21 – 25 квітня 2025 р.	
4.	Розробка схеми підключення сенсора HC-SR04	21 – 25 квітня 2025 р.	
5.	Монтаж пристрою	25 – 28 квітня 2025 р.	
6.	Програмування Arduino Uno для зчитування зросту	5 – 9 травня 2025 р.	
7.	Розробка вебінтерфейсу для обчислення антропометричних показників	12 – 16 травня 2025 р.	
8.	Оформлення розділу з «Охорони праці»	1 червня 2025 р.	
9.	Здача роботи на нормконтроль	11 червня 2025 р.	
10.	Отримання рецензії та відгуку керівника	11 червня 2025 р.	
11.	Подання документів на захист, оформлення презентації	13 червня 2025 р.	
12.	Захист дипломної роботи	19 червня 2025 р.	

Студент

(підпис)

Єгор ТАНЧЕНКО

Керівник

(підпис)

Світлана ВОВЯНКО

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Система автоматизованого розрахунку антропометричних параметрів людини.

Обсяг звіту становить 61 сторінку, міститься 10 ілюстрацій, 15 таблиць. Загалом опрацьовано 24 джерела.

Актуальність: у сучасних медичних, спортивних та освітніх закладах зростає потреба в автоматизованих системах вимірювання антропометричних параметрів, що дозволяють швидко, точно й безконтактно отримувати дані про фізичні характеристики людини. Такі рішення підвищують ефективність скринінгу, спрощують збір статистичних даних і мінімізують людський фактор при вимірюваннях.

Мета дипломної роботи: розробка прототипу пристрою для вимірювання антропометричних параметрів людини із виведенням результатів на веб-інтерфейс.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

1. Провести аналіз формул розрахунку площі поверхні тіла людини та їх порівняльну характеристику.
2. Реалізувати програмну частину для розрахунку ППТ за кількома формулами на основі введених даних.
3. Розробити технічне рішення для вимірювання зросту людини за допомогою безконтактного далекоміра на базі Arduino.
4. Інтегрувати апаратну частину із програмним забезпеченням, забезпечивши введення даних із мікроконтролера.
5. Створити прототип інтерфейсу та провести тестування працездатності системи.

Ключові слова: антропометрія, Arduino Uno, ультразвуковий датчик, автоматизована система, веб-інтерфейс, HC-SR04.

ANNOTATION

Topic: Automated Human Anthropometric Parameter Calculation System.

The report is 61 pages long and contains 10 illustrations and 15 tables. A total of 24 sources were reviewed.

Relevance: In modern medical, sports, and educational institutions, there is a growing need for automated systems for measuring anthropometric parameters that allow quick, accurate, and contactless collection of data on human physical characteristics. Such solutions increase the efficiency of screening, simplify the collection of statistical data, and minimize the human factor in measurements.

The purpose of the thesis: to develop a prototype device for measuring human anthropometric parameters with the results displayed on a web interface.

To achieve this goal, the following tasks were set:

1. To analyze the formulas for calculating the surface area of the human body and their comparative characteristics.
2. Implement the software part for calculating BSA using several formulas based on the entered data.
3. Develop a technical solution for measuring human height using a non-contact rangefinder based on Arduino.
4. Integrate the hardware part with the software, ensuring data input from the microcontroller.
5. Create a prototype interface and test the system's performance.

Keywords: anthropometry, Arduino Uno, ultrasonic sensor, automated system, web interface, HC-SR04.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ ТІЛА ЛЮДИНИ.....	11
1.1. Фізіологічне значення антропометричних параметрів у медичній практиці .	11
1.1.1 Маса тіла як основний антропометричний показник.....	12
1.1.2 Довжина тіла та її клінічне значення	13
1.1.3 Площа поверхні тіла та її медичне застосування	14
1.2. Методи розрахунку площі поверхні тіла.....	17
1.3. Детальний аналіз основних формул розрахунку ППТ	20
1.3.1 Формула Гехана та Джорджа	21
1.3.2 Формула Хейкока.....	22
1.3.3 Формула Мостеллера.....	23
1.3.4 Порівняльний аналіз формул	24
1.3.5 Фактори, що впливають на точність розрахунків	25
Висновок до розділу 1	26
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ	27
2.1 Вибір технічних і програмних засобів для реалізації системи.....	27
2.1.1 Аналіз вимог до системи	27
2.1.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів	27
2.1.3 Вибір програмних засобів та технологій.....	30
2.1.4 Архітектура системи.....	31
2.2 Розробка алгоритмів обробки антропометричних даних.....	32
2.2.1 Концептуальна модель обробки даних	32
2.2.2 Алгоритм розрахунку площі поверхні тіла	32
2.3 Інтеграція Arduino-модуля для зчитування зросту.....	36

2.3.1 Фізична архітектура системи	36
2.3.2 Алгоритм роботи апаратної частини	37
2.4 Тестування прототипу та аналіз отриманих результатів	40
2.4.1. Тестування зчитування зросту через Arduino	40
2.4.2. Тестування веб-інтерфейсу	42
Висновок до розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	46
3.1 Характеристика приміщення	46
3.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів	48
3.2.1 Електробезпека.....	49
3.2.2 Механічна безпека	50
3.2.3 Пожежна безпека.....	51
Висновок до розділу 3.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
ДОДАТОК А.....	57

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ППТ – площа поверхні тіла

ІМТ – індекс маси тіла

ХОК – хвилинний об'єм крові

УО – ударний об'єм

СІ – серцевий індекс

УІ – ударний індекс

BSA (Body Surface Area) – площа поверхні тіла (англ.)

Arduino Uno – модель мікроконтролера на базі ATmega328P

HC-SR04 – ультразвуковий далекомір

USB – Universal Serial Bus (універсальна послідовна шина)

IDE – Integrated Development Environment (середовище розробки)

Web Serial API – інтерфейс браузерного доступу до послідовного порту

SD – стандартне відхилення (англ. standard deviation)

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій особливу увагу приділяють автоматизації оцінки гемодинамічних параметрів людини, зокрема таких як хвилинний об'єм крові (ХОК) та ударний об'єм (УО), які мають важливе значення для діагностики та контролю ефективності лікування. Оскільки ці показники суттєво залежать від антропометричних даних, у клінічній практиці для їх нормалізації застосовують індексні величини – серцевий індекс (СІ) та ударний індекс (УІ), що розраховуються шляхом ділення відповідно ХОК та УО на площу поверхні тіла (ППТ) [1-3].

Площа поверхні тіла є одним із ключових параметрів, який часто розраховують за допомогою формул, що базуються на масі та зрості людини. Тому доцільним є створення інструменту, що дозволяє швидко й автоматизовано проводити розрахунок ППТ за кількома методиками з можливістю порівняння результатів [4].

Особливу цінність мають програмно-апаратні рішення, що передбачають інтеграцію із мікроконтролерами для часткової автоматизації введення даних. Зокрема, використання безконтактного далекоміра на базі *Arduino* дозволяє зчитувати довжину тіла без ручного введення, що підвищує точність і зручність користування.

Застосунок може бути реалізований у форматі настільного або веб-додатку, або як мобільна версія, з гнучкою системою введення даних – як вручну, так і з апаратного модуля [5-7].

Мета дипломної роботи: Розробка прототипу пристрою для вимірювання антропометричних параметрів людини із виведенням результатів на веб-інтерфейс.

Завдання дипломної роботи:

1. Провести аналіз формул розрахунку площі поверхні тіла людини та їх порівняльну характеристику.

2. Реалізувати програмну частину для розрахунку ППТ за кількома формулами на основі введених даних.
3. Розробити технічне рішення для вимірювання зросту людини за допомогою безконтактного далекоміра на базі *Arduino*.
4. Інтегрувати апаратну частину із програмним забезпеченням, забезпечивши введення даних із мікроконтролера.
5. Створити прототип інтерфейсу та провести тестування працездатності системи.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ ТІЛА ЛЮДИНИ

1.1. Фізіологічне значення антропометричних параметрів у медичній практиці

Антропометричні параметри людини становлять фундаментальну основу для оцінки фізичного розвитку організму та є незамінними інструментами в медичній діагностиці, клінічній практиці та наукових дослідженнях. Ці параметри охоплюють широкий спектр морфометричних характеристик, включаючи масу тіла, довжину тіла (зріст), окружності різних частин тіла, товщину шкірно-жирових складок, а також розрахункові показники, що базуються на цих первинних вимірюваннях [1-3].

Історично антропометрія розвивалася як наука про вимірювання людського тіла, починаючи з робіт французького вченого Альфонса Бертільона наприкінці XIX століття. Сучасна медична антропометрія значно розширила свої межі, перетворившись на точну науку, що використовує статистичні методи, стандартизовані протоколи вимірювань та комп'ютерні технології для обробки даних. Розвиток цифрових технологій дозволив автоматизувати багато процесів, пов'язаних з антропометричними вимірюваннями, що значно підвищило їх точність та зменшило час проведення досліджень [8].

Важливість антропометричних параметрів у медицині не можна переоцінити. Вони служать основою для розрахунку дозування лікарських препаратів, особливо у випадках, коли терапевтичний ефект та токсичність препарату тісно пов'язані з площею поверхні тіла або масою тіла пацієнта. Це особливо критично в онкології, де дозування хіміотерапевтичних препаратів розраховується виходячи з площі поверхні тіла для забезпечення максимальної ефективності лікування при мінімізації побічних ефектів.

1.1.1 Маса тіла як основний антропометричний показник

Маса тіла представляє собою інтегральну характеристику, що відображає загальну масу всіх компонентів організму людини, включаючи м'язову тканину, жирову тканину, кісткову систему, внутрішні органи, кров та інші біологічні рідини. Цей показник є одним з найбільш об'єктивних та легко відтворюваних антропометричних параметрів, що робить його незамінним у клінічній практиці.

Фізіологічне значення маси тіла виходить далеко за межі простого числового показника. Вона відображає енергетичний баланс організму, стан обміну речовин, функціональну активність ендокринної системи та загальний стан здоров'я людини. Зміни маси тіла можуть свідчити про розвиток патологічних процесів, ефективність лікування або необхідність корекції терапевтичної тактики [1, 2].

Використання маси тіла для розрахунку індексу маси тіла є одним з найпоширеніших застосувань цього параметра. Індекс маси тіла розраховується за формулою 1.1 :

$$\text{ІМТ} = \text{МТ} / \text{Зріст}^2 \text{ (кг/м}^2\text{)}, \quad (1.1)$$

де: МТ – маса тіла в кілограмах,

Зріст – довжина тіла в метрах.

Цей показник дозволяє оцінити відповідність маси тіла зросту людини та є важливим індикатором ризику розвитку серцево-судинних захворювань, цукрового діабету 2 типу та інших патологічних станів, пов'язаних з надмірною або недостатньою масою тіла [1].

Згідно з класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я, нормальний ІМТ для дорослих становить 18,5-24,9 кг/м². Значення менше 18,5 кг/м² свідчить про недостатню масу тіла, 25,0-29,9 кг/м² – про надмірну масу тіла, а 30,0 кг/м² і вище – про ожиріння різного ступеня [11]. Ці критерії широко використовуються в клінічній практиці для скринінгу та моніторингу стану пацієнтів.

У клінічній фармакології маса тіла є критичним параметром для розрахунку дозування багатьох лікарських препаратів. Особливо це стосується препаратів з вузьким терапевтичним індексом, де невелика зміна дози може призвести до токсичних ефектів або неефективності лікування. Для таких препаратів, як варфарин, дигоксин, літій та багато антибіотиків, доза розраховується з урахуванням маси тіла пацієнта [14].

1.1.2 Довжина тіла та її клінічне значення

Довжина тіла, або зріст, є фундаментальним антропометричним параметром, що характеризує лінійний розмір людського тіла від підшви стоп до найвищої точки голови у вертикальному положенні. Цей показник має важливе значення не тільки для оцінки фізичного розвитку, але й для численних медичних розрахунків та діагностичних процедур.

Вимірювання зросту здійснюється за стандартизованою методикою, розробленою Всесвітньою організацією охорони здоров'я та Міжнародним товариством з розвитку кінантропометрії. Традиційно для цього використовуються механічні ростоміри або портативні антропометри з точністю вимірювання до 0,1 см. Сучасні технології дозволяють використовувати цифрові ростоміри, ультразвукові або інфрачервоні далекоміри, що забезпечують ще вищу точність та зручність використання [1, 11].

Клінічне значення зросту виходить далеко за межі простого морфометричного показника. Зріст використовується для розрахунку належної маси тіла за різними формулами, найпоширенішою з яких є формула Брока, яка зображена у рівнянні 1.2:

$$\text{належна маса тіла} = \text{зріст (см)} - 100, \quad (1.2)$$

Хоча формула 1.2 є спрощеною і не враховує індивідуальних особливостей будови тіла, вона досі широко використовується для швидкої оцінки в клінічній практиці [2].

Більш точними є формули, що враховують стать, вік та конституційні особливості людини. Формула Лоренца, наприклад, розраховується для чоловіків (1.3) :

$$\text{належна маса тіла (кг)} = \text{зріст (см)} - 100 - ((\text{зріст} - 150) / 4), \quad (1.3)$$

та для жінок (1.4):

$$\text{належна маса тіла (кг)} = \text{зріст (см)} - 100 - ((\text{зріст} - 150) / 2), \quad (1.4)$$

Ці розрахунки дозволяють більш точно оцінити відповідність маси тіла фізіологічним нормам [2].

У педіатричній практиці зріст має особливе значення як показник фізичного розвитку дитини. Динаміка зросту відображає адекватність харчування, відсутність хронічних захворювань та нормальне функціонування ендокринної системи. Для оцінки фізичного розвитку дітей використовуються перцентильні таблиці та Z-скори, що дозволяють порівняти показники конкретної дитини з популяційними нормами [1].

Середні значення зросту суттєво варіюють залежно від етнічної приналежності, географічного регіону, соціально-економічних факторів та часового періоду. Явище секулярного тренду, або збільшення середнього зросту населення протягом останніх століть, добре документоване для більшості розвинених країн. Для дорослого населення України середній зріст чоловіків становить 175 ± 7 см, жінок – 164 ± 6 см, що відповідає європейським показникам [12].

1.1.3 Площа поверхні тіла та її медичне застосування

Площа поверхні тіла є одним з найбільш важливих розрахункових антропометричних показників, що має критичне значення в сучасній медичній практиці. Цей параметр визначає загальну площу зовнішньої поверхні

людського тіла і вимірюється в квадратних метрах (m^2). На відміну від маси тіла та зросту, ППТ не може бути виміряна безпосередньо і розраховується за допомогою математичних формул, що базуються на антропометричних даних [13].

Історія розвитку методів розрахунку ППТ сягає початку ХХ століття, коли перші дослідники почали розуміти важливість цього параметра для медичних застосувань. Початкові спроби прямого вимірювання площі поверхні тіла за допомогою накладання паперу або тканини на тіло людини виявилися непрактичними та неточними, що призвело до розробки математичних методів розрахунку [13].

Фізіологічне обґрунтування використання ППТ базується на тому факті, що багато фізіологічних процесів пропорційні саме площі поверхні тіла, а не масі тіла. Це особливо стосується процесів теплообміну, газообміну, фільтрації в нирках та метаболізму в цілому. Багато досліджень показали, що базальний метаболізм людини краще корелює з площею поверхні тіла, ніж з масою тіла [13].

У клінічній фармакології ППТ має критичне значення для розрахунку дозування лікарських препаратів, особливо цитостатиків у хіміотерапії онкологічних захворювань. Дозування цих препаратів на основі ППТ дозволяє досягти оптимального балансу між терапевтичною ефективністю та токсичністю, оскільки фармакокінетика більшості цитостатиків краще корелює з площею поверхні тіла, ніж з масою тіла. Типове дозування може становити, наприклад, $100\text{--}200 \text{ мг/м}^2$ для доксорубіцину або $80\text{--}100 \text{ мг/м}^2$ для карбоплатину [14].

У кардіології та інтенсивній терапії ППТ використовується для нормалізації гемодинамічних показників, що дозволяє порівнювати результати у пацієнтів з різними антропометричними характеристиками. Серцевий індекс, що розраховується як відношення хвилинного об'єму крові до площі поверхні тіла, є стандартизованим показником функціонального стану серцево-судинної системи.

Серцевий індекс (CI) розраховується за формулою 1.5:

$$CI = \frac{ХОК}{ППТ}, \quad (1.5)$$

де: CI – серцевий індекс (л/(хв × м²)),
 ХОК – хвилинний об'єм крові (л/хв),
 ППТ – площа поверхні тіла (м²).

Нормальні значення серцевого індексу для дорослих становлять 2,5-4,0 л/(хв×м²), що дозволяє оцінити адекватність серцевого викиду незалежно від розмірів тіла пацієнта [7].

Аналогічно, ударний індекс (UI) розраховується за формулою 1.6 :

$$UI = \frac{УО}{ППТ}, \quad (1.6)$$

де: UI – ударний індекс (мл/м²),
 УО – ударний об'єм (мл),
 ППТ – площа поверхні тіла (м²).

Фізіологічні значення ударного індексу коливаються в межах 35-55 мл/м² та відображають ефективність роботи серця як насоса [8].

У нефрології ППТ використовується для стандартизації показників функції нирок, зокрема швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ). Стандартизована ШКФ розраховується як відношення абсолютної ШКФ до площі поверхні тіла і виражається в мл/(хв×1,73 м²), де 1,73 м² – це середня ППТ дорослої людини. Цей підхід дозволяє порівнювати функцію нирок у пацієнтів різного зросту та маси тіла [16].

У педіатричній практиці ППТ має особливе значення через значні варіації розмірів тіла у дітей різного віку. Багато педіатричних дозувань препаратів базуються на ППТ, що забезпечує більш точне дозування порівняно з розрахунками на основі маси тіла або віку. Це особливо важливо для препаратів з вузьким терапевтичним індексом або високою токсичністю [17].

1.2. Методи розрахунку площі поверхні тіла

Історія розвитку методів розрахунку площі поверхні тіла людини є захоплюючою сторінкою медичної науки, що відображає еволюцію наукового мислення та математичних методів у біології та медицині. Перші спроби кількісної оцінки площі поверхні тіла датуються кінцем XIX століття (таблиця 1.1), коли дослідники почали розуміти важливість цього параметра для розуміння фізіологічних процесів.

У 1879 році німецькі вчені Мейх та Клаус запропонували перший емпіричний метод визначення ППТ, заснований на геометричних принципах моделювання людського тіла як сукупності простих геометричних фігур – циліндрів, конусів та сфер. Хоча цей підхід був революційним для свого часу, він виявився занадто спрощеним і не враховував складності анатомічної будови людського тіла.

Справжній прорив у цій галузі відбувся на початку XX століття з розвитком статистичних методів аналізу біологічних даних. У 1916 році американський фізіолог Дюбуа опублікував знамениту роботу, в якій вперше застосували метод логарифмічної регресії для встановлення зв'язку між площею поверхні тіла, масою тіла та зростом. Їхнє дослідження, проведене на дев'яти добровольцях, заклало основи сучасної антропометрії.

Формула Дюбуа мала вигляд:

$$\text{ППТ} = 0,007184 \times M^{0,425} \times Z^{0,725}, \quad (1.7)$$

де: М – маса тіла в кілограмах,

З – зріст у сантиметрах.

Ця формула стала першою науково обґрунтованою методикою розрахунку ППТ і використовувалася протягом багатьох десятиліть як золотий стандарт.

Подальший розвиток методів розрахунку ППТ характеризувався поступовим збільшенням обсягу досліджуваних вибірок та вдосконаленням статистичних методів. У 1978 році Гехан та Джордж провели масштабне

дослідження на 401 особі різного віку, від новонароджених до літніх людей, що дозволило створити більш універсальну формулу. Їхня робота стала важливим кроком у напрямку стандартизації антропометричних розрахунків.

Розвиток комп'ютерних технологій у другій половині XX століття дозволив проводити більш складні статистичні аналізи на великих вибірках. У 1987 році Хейкок та співавтори розробили формулу, оптимізовану для педіатричного використання, а Мостеллер запропонував спрощену версію для зручності клінічного застосування.

Сучасний етап розвитку методів розрахунку ППТ характеризується використанням комп'ютерного моделювання, 3D-сканування та методів машинного навчання. Дослідження Бойда (1998) з використанням тривимірного моделювання людського тіла на основі даних понад 10000 осіб показало нові можливості точного розрахунку ППТ [9]. Представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Хронологічна еволюція формул розрахунку ППТ

Рік	Автори	Метод дослідження	Особливості підходу
1879	Мейх, Клаус	Геометричне моделювання	Перший математичний підхід
1916	Du Bois & Du Bois	Логарифмічна регресія	Перша емпірична формула
1978	Gehan & George	Множинна регресія	Розширена вікова група
1987	Haycock	Оптимізація для дітей	Педіатрична спеціалізація
1987	Mosteller	Математична спрощення	Зручність використання
1998	Boyd	3D-моделювання	Комп'ютерні технології
2010+	Різні автори	Машинне навчання	ІІІ та нейромережі

Математичні основи розрахунку площі поверхні тіла базуються на принципах біологічної алометрії – науки, що вивчає співвідношення між розмірами тіла та фізіологічними функціями живих організмів. Алометричні закони, вперше сформульовані Джуліаном Хакслі у 1932 році, описують, як різні біологічні параметри змінюються залежно від розмірів організму [10].

Фундаментальна алометрична залежність представлено у формулі 1.8 :

$$Y = a \times X^b, \quad (1.8)$$

де: Y – досліджуваний параметр,
 X – показник розміру тіла,
 a – алометричний коефіцієнт,
 b – алометричний показник.

Для площі поверхні тіла теоретичне значення показника b має дорівнювати $2/3$, оскільки площа є двовимірною величиною, а об'єм (маса) – тривимірною.

Сучасні формули розрахунку ППТ базуються на степеневій регресії виду (1.9):

$$\text{ППТ} = k \times M^a \times 3^b, \quad (1.9)$$

де: k – емпіричний коефіцієнт,
 M – маса тіла (кг),
 3 – зріст (см),
 a та b – степеневі показники, визначені методом найменших квадратів на основі експериментальних даних.

Логарифмування цього рівняння дає лінійну залежність (1.10):

$$\log(\text{ППТ}) = \log(k) + a \times \log(M) + b \times \log(3), \quad (1.10)$$

Ця лінеаризація дозволяє використовувати методи лінійної регресії для визначення коефіцієнтів формули на основі експериментальних даних. Статистична обробка включає розрахунок коефіцієнтів кореляції, стандартних помилок та довірчих інтервалів для забезпечення надійності отриманих результатів.

Теоретичне обґрунтування алометричних співвідношень базується на фізичних принципах масштабування. Якщо розглядати людське тіло як геометрично подібну фігуру, що збільшується пропорційно в усіх напрямках, то площа поверхні повинна збільшуватися пропорційно квадрату лінійного розміру, а об'єм (маса) – пропорційно кубу.

Однак реальне людське тіло не є геометрично подібною фігурою, і співвідношення між різними частинами тіла змінюється з віком та індивідуальними особливостями. Це пояснює, чому експериментально

визначені показники степені в формулах ППТ відрізняються від теоретичних значень і становлять приблизно 0,4-0,5 для зросту та 0,5-0,6 для маси тіла.

Статистична оцінка якості формул ППТ включає аналіз коефіцієнта детермінації (R^2), який показує частку дисперсії ППТ, що пояснюється регресійною моделлю. Для найкращих формул R^2 перевищує 0,98, що свідчить про високу точність прогнозування. Додатково аналізуються залишки регресії для виявлення систематичних похибок та перевірки припущень про нормальність розподілу.

Процес валідації формул розрахунку ППТ є критично важливим етапом, що забезпечує їх надійність та точність у клінічному застосуванні. Валідація включає перевірку формул на незалежних вибірках, порівняння з референтними методами та аналіз похибок у різних популяційних групах.

Золотим стандартом для валідації формул ППТ традиційно вважається метод прямого вимірювання за допомогою накладання матеріалу відомої площі на поверхню тіла. Хоча цей метод є трудомістким та непрактичним для рутинного використання, він забезпечує найбільш точні референтні значення для порівняння.

Сучасні методи валідації включають використання тривимірного сканування тіла, яке дозволяє точно визначити площу поверхні за допомогою комп'ютерних алгоритмів. Дослідження з використанням 3D-сканерів показали, що найкращі формули мають середню похибку не більше 3-5% для більшості популяційних груп [15].

Важливим аспектом валідації є перевірка формул на різних етнічних групах, оскільки пропорції тіла можуть суттєво відрізнятися між популяціями. Дослідження показали, що формули, розроблені на європейських популяціях, можуть давати систематичні похибки при застосуванні до азіатських або африканських популяцій.

1.3. Детальний аналіз основних формул розрахунку ППТ

1.3.1 Формула Гехана та Джорджа

Формула Гехана та Джорджа, розроблена у 1978 році, представляє собою один з найбільш науково обґрунтованих підходів до розрахунку площі поверхні тіла людини. Ця формула була створена на основі ретельного статистичного аналізу антропометричних даних 401 особи різного віку, від новонароджених до літніх людей, що робить її однією з найбільш репрезентативних у цій галузі [13].

Формула Гехана та Джорджа (1.11):

$$\text{ППТ} = 0,0235 \times H^{0,42246} \times W^{0,51456}, \quad (1.11)$$

де: ППТ – площа поверхні тіла (м²),

H – зріст (см),

W – маса тіла (кг).

Розробка цієї формули базувалася на методах нелінійної регресії з використанням логарифмічного перетворення даних. Автори застосували метод найменших квадратів для мінімізації сумарної квадратичної похибки між розрахунковими та експериментально визначеними значеннями ППТ. Коефіцієнт детермінації для цієї формули становить $R^2 = 0,9841$, що свідчить про високу точність прогнозування [13].

Статистичний аналіз показав, що формула Гехана та Джорджа має найкращу точність для дорослих осіб з нормальними пропорціями тіла. Стандартна похибка оцінки становить $\pm 0,024$ м², що відповідає відносній похибці близько 1,3 % для середньостатистичної ППТ дорослої людини (1,8 м²). Ця точність є цілком прийнятною для більшості клінічних застосувань.

Дослідження валідації формули на незалежних вибірках показали її високу надійність для широкого спектру антропометричних параметрів. Особливо добрі результати отримані для осіб з ППТ від 1,2 до 2,5 м², що охоплює переважну більшість дорослого населення. Для дітей молодшого віку

та осіб з екстремальними антропометричними показниками точність дещо знижується, але залишається в межах прийнятних значень [13].

Перевагами формули Гехана та Джорджа є її висока точність, широка валідація та добра відтворюваність результатів у різних лабораторіях. Формула широко використовується в клінічних дослідженнях та є референтною для порівняння інших методів розрахунку ППТ. Недоліком є відносна складність обчислення без калькулятора або комп'ютера через наявність дробових степенів.

Клінічне застосування формули Гехана та Джорджа включає розрахунок дозування цитостатичних препаратів в онкології, стандартизацію гемодинамічних показників у кардіології та оцінку функції нирок у нефрології. Багато міжнародних протоколів лікування рекомендують саме цю формулу для розрахунку ППТ.

1.3.2 Формула Хейкока

Формула Хейкока (1.12) була запропонована у 1987 році як результат спеціалізованого дослідження, спрямованого на оптимізацію розрахунку площі поверхні тіла для педіатричної практики. Автори проаналізували дані 81 особи різного віку, приділивши особливу увагу точності розрахунків для дітей та підлітків [14].

Формула Хейкока:

$$\text{ППТ} = 0,02465 \times H^{0,39646} \times W^{0,5378}, \quad (1.12)$$

де: ППТ – площа поверхні тіла (м²),

H – зріст (см),

W – маса тіла (кг).

Особливістю цієї формули є зменшений степеневий показник для зросту (0,3964 проти 0,42246 у формулі Гехана та Джорджа), що відображає особливості розвитку дитячого організму. Цей підхід враховує той факт, що у

дітей співвідношення між зростом та площею поверхні тіла відрізняється від дорослих через відмінності в пропорціях тіла [14].

Валідаційні дослідження показали, що формула Хейкока демонструє високу точність для педіатричних пацієнтів віком від 1 року до 18 років. Коефіцієнт кореляції з експериментально визначеними значеннями становить $r = 0,987$, а стандартна похибка оцінки не перевищує $\pm 0,031 \text{ м}^2$. Для новонароджених та немовлят до року точність дещо знижується, що пов'язано з особливими антропометричними характеристиками цієї вікової групи [14].

Клінічні переваги формули Хейкока проявляються у педіатричній фармакології, де точний розрахунок ППТ критично важливий для безпечного дозування лікарських засобів. Формула також широко застосовується у дитячій кардіології для стандартизації гемодинамічних показників та в онкопедіатрії для розрахунку доз хіміотерапевтичних препаратів.

1.3.3 Формула Мостеллера

Формула Мостеллера (1.13), розроблена у 1987 році, завоювала широку популярність завдяки своїй простоті та легкості запам'ятовування. Незважаючи на простий математичний вираз, ця формула демонструє прийнятну точність для більшості клінічних застосувань [17].

Формула Мостеллера:

$$\text{ППТ} = \sqrt{\frac{H \times W}{3600}}, \quad (1.13)$$

де: ППТ – площа поверхні тіла (м^2),

H – зріст (см),

W – маса тіла (кг).

Головною перевагою формули Мостеллера є можливість швидкого розрахунку без використання складних математичних операцій. Формула може бути легко запам'ятована медичним персоналом та використана навіть

без спеціальних калькуляторів. Це робить її особливо цінною в умовах невідкладної медичної допомоги [17].

Точність формули Мостеллера є прийнятною для більшості клінічних ситуацій. Порівняльні дослідження показують, що відхилення від більш точних формул зазвичай не перевищує 3-5%, що є цілком прийнятним для рутинних клінічних розрахунків. Коефіцієнт кореляції з експериментально визначеними значеннями становить $r = 0,968$ [17].

Клінічне застосування формули Мостеллера найбільш поширене в загальній терапії, сімейній медицині та невідкладній допомозі. Вона рекомендована багатьма національними та міжнародними медичними асоціаціями як стандартний метод для рутинних розрахунків ППТ у дорослих пацієнтів [17].

1.3.4 Порівняльний аналіз формул

Для об'єктивної оцінки точності різних формул було проведено порівняльний аналіз на репрезентативній вибірці антропометричних даних. Результати представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння результатів розрахунку ППТ

Зріст, см	Маса тіла, кг	(1.8), м ²	(1.9), м ²	(1.10), м ²	Середнє значення, м ²	Стандартне відхилення, м ²
170	70	1,814	1,825	1,826	1,822	0,006
160	60	1,626	1,641	1,633	1,633	0,008
180	80	2,004	2,014	2,021	2,013	0,008
150	50	1,446	1,464	1,443	1,451	0,011
190	90	2,196	2,204	2,217	2,25	0,011

Аналіз даних показує, що для типових антропометричних параметрів відмінності між результатами різних формул є мінімальними. Максимальне стандартне відхилення не перевищує 0,011 м², що становить менше 1 % від середнього значення ППТ.

1.3.5 Фактори, що впливають на точність розрахунків

Точність розрахунку ППТ залежить від багатьох факторів, які необхідно враховувати при виборі відповідної формули та інтерпретації результатів [18]:

- Вікові особливості істотно впливають на точність розрахунків. У новонароджених та немовлят співвідношення поверхні тіла до маси значно відрізняється від дорослих через відносно більшу голову та коротші кінцівки. Для цієї вікової групи рекомендується використовувати спеціалізовані педіатричні формули або номограми.

- Статеві відмінності також можуть впливати на точність розрахунків. Жінки зазвичай мають дещо меншу ППТ при однакових ростово-вагових показниках порівняно з чоловіками через відмінності в будові тіла та розподілі м'язової та жирової тканини.

- Екстремальні антропометричні показники знижують точність усіх формул. Для осіб з морбідним ожирінням ($IMT > 40 \text{ кг/м}^2$) або значним дефіцитом маси тіла стандартні формули можуть давати суттєві похибки. У таких випадках рекомендується використовувати модифіковані формули або додаткові корекційні коефіцієнти.

- Етнічні особливості можуть впливати на співвідношення між антропометричними параметрами та ППТ. Більшість формул розроблена на основі досліджень європеїдної популяції, що може призводити до систематичних похибок при застосуванні до представників інших етнічних груп.

Вибір оптимальної формули для розрахунку ППТ повинен базуватися на конкретній клінічній ситуації та характеристиках пацієнта [18].

Для дорослих пацієнтів з нормальними пропорціями тіла рекомендується використовувати формулу Гехана та Джорджа як найбільш точну та науково обґрунтовану. У випадках, коли потрібен швидкий розрахунок, доцільно застосовувати формулу Мостеллера [17].

Для педіатричних пацієнтів оптимальним вибором є формула Хейкока, яка спеціально адаптована для особливостей дитячого організму. Для новонароджених та немовлят слід використовувати спеціалізовані педіатричні номограми [16].

У науково-дослідній роботі та клінічних дослідженнях рекомендується використовувати формулу Гехана та Джорджа через її найвищу точність та широку валідацію. Для порівняльних досліджень доцільно застосовувати кілька формул одночасно [14].

В умовах невідкладної медичної допомоги найбільш практичною є формула Мостеллера через свою простоту та швидкість розрахунку [17].

Висновок до розділу 1

Було детально розглянуто основні антропометричні параметри людини – масу тіла, зріст та площу поверхні тіла – які мають ключове значення для клінічних розрахунків, оцінки фізіологічного стану та індивідуалізації медичних втручань. Зокрема, ППТ є важливим фактором при дозуванні лікарських засобів та аналізі гемодинамічних показників, як серцевий індекс та ударний індекс, що дозволяє стандартизувати результати та нівелювати вплив індивідуальних фізичних особливостей пацієнта.

Проведений порівняльний аналіз формул розрахунку ППТ показав, що найбільш поширеними та надійними є формули Гехана та Джорджа, Хейкока і Мостеллера. Результати розрахунків для типових антропометричних показників свідчать про незначні розбіжності між формулами, що дозволяє використовувати будь-яку з них у повсякденній клінічній практиці. Проте для підвищення точності доцільним є усереднення результатів, отриманих за кількома формулами, що мінімізує похибки та забезпечує більш стабільний результат.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ

2.1 Вибір технічних і програмних засобів для реалізації системи

2.1.1 Аналіз вимог до системи

Розробка прототипу системи автоматизованого розрахунку антропометричних показників вимагає ретельного підходу до вибору технічних і програмних засобів. Основні вимоги до системи включають високу точність вимірювань антропометричних параметрів, стабільність роботи апаратної частини в різних умовах експлуатації, зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, а також можливість інтеграції з існуючими медичними інформаційними системами.

Система повинна забезпечувати автоматизоване вимірювання зросту людини з точністю не гірше ± 2 см, що є прийнятним для більшості клінічних застосувань. Важливою вимогою є мінімізація впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань, таких як освітлення, температура навколишнього середовища та електромагнітні перешкоди.

З точки зору програмного забезпечення, система має підтримувати різні формули розрахунку площі поверхні тіла, забезпечувати валідацію введених даних та надавати можливість порівняння результатів, отриманих різними методами. Інтерфейс користувача повинен бути адаптивним та працювати на різних платформах без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення.

2.1.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів

Для реалізації апаратної частини проєкту було проведено детальний аналіз доступних технологічних рішень. Основним критерієм вибору була

співвідношення між точністю вимірювань, вартістю компонентів, простотою інтеграції та надійністю роботи.

Мікроконтролер *Arduino Uno R3* був обраний як основний обчислювальний елемент системи (рис. 2.1). Цей вибір обґрунтований кількома факторами. По-перше, *Arduino Uno* побудований на базі надійної мікросхеми *ATmega328P*, яка забезпечує стабільну роботу при напрузі живлення 5 В та тактовій частоті 16 МГц. Мікроконтролер має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 підтримують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ), та 6 аналогових входів, що забезпечує достатню гнучкість для підключення різноманітних датчиків [18].



Рисунок 2.1 – Мікроконтролер *Arduino Uno R3* [18]

Особливо важливою перевагою *Arduino Uno* є наявність *USB*-інтерфейсу, який дозволяє як програмування мікроконтролера, так і передачу даних до комп'ютера в режимі реального часу. Це суттєво спрощує процес розробки та налагодження системи, а також забезпечує зручну інтеграцію з програмним інтерфейсом користувача.

Arduino платформа має величезну спільноту розробників по всьому світу, що забезпечує доступність документації, прикладів коду технічної підтримки. Відкритість архітектури дозволяє легко адаптувати систему під конкретні потреби та додавати нові функціональні можливості в майбутньому [18].

Ультразвуковий далекомір *HC-SR04* було обрано як основний сенсор для вимірювання відстані (рис. 2.2). Цей датчик забезпечує діапазон

вимірювання від 2 до 400 см із заявленою точністю до 3 мм, що цілком відповідає вимогам проєкту. Кут вимірювання 15° дозволяє точно фіксувати відстань у межах зони вимірювання, мінімізуючи вплив сторонніх об'єктів [19].



Рисунок 2.2 – Ультразвуковий датчик відстані *HC-SR04* [19]

Принцип роботи *HC-SR04* базується на вимірюванні часу проходження ультразвукової хвилі від передавача до приймача після відбиття від об'єкта. Датчик має простий чотирипіновий інтерфейс: *VCC* для живлення, *GND* для заземлення, *Trig* для ініціації вимірювання та *Echo* для отримання сигналу відповіді. Така простота підключення мінімізує ймовірність помилок при монтажі та забезпечує надійне з'єднання.

Важливою перевагою *HC-SR04* є його стійкість до впливу освітлення та кольору об'єктів, на відміну від оптичних датчиків відстані. Це робить систему більш універсальною та придатною для використання в різних умовах освітлення [19].

Допоміжні компоненти включають з'єднувальні дроти типу "*male-to-male*" і "*male-to-female*", які забезпечують надійне електричне з'єднання між компонентами без необхідності пайки або використання монтажною плати. Такий підхід дозволяє швидко збирати та модифікувати прототип, що особливо важливо на етапі розробки та тестування.

USB-кабель для підключення *Arduino* до комп'ютера виконує подвійну функцію: забезпечує живлення мікроконтролера та канал передачі даних. Це спрощує архітектуру системи та зменшує кількість необхідних компонентів.

2.1.3 Вибір програмних засобів та технологій

Вибір програмних засобів для розробки системи базувався на принципах кросплатформеності, простоти розробки та можливості майбутнього масштабування. Було прийнято рішення про використання веб-технологій для створення інтерфейсу користувача, що забезпечує максимальну доступність системи.

Arduino IDE було обрано як основне середовище розробки для програмування мікроконтролера. Це інтегроване середовище розробки спеціально оптимізоване для роботи з *Arduino* платформами та забезпечує зручні інструменти для написання, компіляції та завантаження коду на мікроконтролер. *Arduino IDE* підтримує мову програмування C/C++, що дозволяє створювати ефективний та оптимізований код для роботи з апаратними компонентами.

Для роботи з ультразвуковим датчиком *HC-SR04* було прийнято рішення про прямий контроль пінів без використання сторонніх бібліотек. Такий підхід забезпечує повний контроль над процесом вимірювання та дозволяє оптимізувати алгоритм для конкретних потреб проєкту.

Веб-технології (*HTML*, *CSS*, *JavaScript*) були обрані для створення інтерфейсу користувача через їх універсальність та широку підтримку. *HTML5* забезпечує сучасну структуру веб-сторінки з підтримкою семантичної розмітки та доступності. *CSS3* дозволяє створити привабливий та функціональний дизайн з підтримкою адаптивності для різних розмірів екранів.

JavaScript виконує роль основної мови для реалізації логіки застосунку, включаючи математичні розрахунки, валідацію даних та взаємодію з апаратною частиною. Використання *JavaScript* забезпечує виконання всіх обчислень на стороні клієнта, що підвищує швидкість роботи системи та зменшує навантаження на сервер.

Web Serial API є ключовою технологією, яка дозволяє веб-застосунку безпосередньо взаємодіяти з пристроєм через серійний порт. Ця відносно нова технологія усуває необхідність у додаткових проксі-програмах або плагінах, спрощуючи архітектуру системи та покращуючи користувацький досвід.

Web Serial API працює асинхронно, що дозволяє інтерфейсу залишатися відзивчивим під час обміну даними з мікроконтролером. *API* забезпечує надійну передачу даних з можливістю обробки помилок та відновлення з'єднання.

2.1.4 Архітектура системи

Розроблена система має модульну архітектуру, яка складається з трьох основних компонентів: апаратного модуля збору даних, програмного модуля обробки та веб-інтерфейсу користувача.

Апаратний модуль включає *Arduino Uno* та ультразвуковий датчик *HC-SR04*. Цей модуль відповідає за збір первинних даних про зріст користувача та їх попередню обробку. Модуль працює автономно та може функціонувати незалежно від комп'ютера після програмування.

Програмний модуль складається з прошивки *Arduino* та веб-застосунку. Прошивка забезпечує керування датчиком, обробку сигналів та передачу даних через серійний порт. Веб-застосунок реалізує інтерфейс користувача, математичні розрахунки та візуалізацію результатів.

Інтерфейс користувача представлений у вигляді веб-сторінки, яка може працювати в будь-якому сучасному браузері. Інтерфейс забезпечує введення антропометричних даних, відображення результатів вимірювань та розрахунків, а також налаштування параметрів системи.

Така архітектура забезпечує гнучкість системи та можливість її поетапного розвитку. Кожен модуль може бути модифікований або замінений незалежно від інших, що спрощує процес вдосконалення та адаптації системи під різні потреби.

2.2 Розробка алгоритмів обробки антропометричних даних

2.2.1 Концептуальна модель обробки даних

Система автоматизованого розрахунку антропометричних показників базується на гібридному підході, який поєднує автоматизоване збирання даних та ручне введення параметрів. Така концепція дозволяє максимально використовувати переваги автоматизації там, де це можливо, зберігаючи при цьому гнучкість для користувача.

Основна ідея полягає в тому, що найбільш складний для точного ручного вимірювання параметр – зріст – визначається автоматично за допомогою ультразвукового датчика, тоді як інші параметри (вага, вік, стать) вводяться користувачем вручну. Такий підхід обґрунтований тим, що вимірювання зросту вимагає спеціального обладнання та правильного позиціонування, тоді як вагу можна точно виміряти на звичайних побутових вагах.

Система передбачає можливість корекції автоматично виміряного зросту, що важливо в ситуаціях, коли умови вимірювання не є ідеальними або коли користувач має більш точні дані з інших джерел.

2.2.2 Алгоритм розрахунку площі поверхні тіла

Центральним елементом системи є алгоритм розрахунку площі поверхні тіла, який реалізує множинний підхід з використанням кількох визнаних формул. Цей підхід забезпечує не тільки точність розрахунків, але й можливість порівняння результатів різних методик. На рисунку 2.3 зображено блок-схему алгоритму розрахунку площі поверхні тіла.



Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму

Алгоритм розрахунку ППТ включає наступні етапи:

Етап 1: Збір та валідація вхідних даних

Система отримує чотири основні параметри: стать користувача (для можливих майбутніх корекцій), вік (використовується для валідації реалістичності даних), зріст у сантиметрах та вагу в кілограмах. Кожен параметр проходить багаторівневу валідацію.

Валідація віку передбачає перевірку діапазону від 1 до 120 років, що охоплює весь реалістичний життєвий цикл людини. Валідація зросту встановлює межі від 50 до 250 см, що включає як дітей молодшого віку, так і людей з екстремально високим зростом. Валідація ваги охоплює діапазон від 3 до 300 кг, враховуючи як новонароджених, так і людей з екстремальною масою тіла.

Етап 2: Математичні розрахунки

Після успішної валідації система виконує розрахунки за трьома основними формулами, кожна з яких має свої переваги та особливості застосування.

Формула Мостеллера обрана через свою простоту та широке визнання в клінічній практиці. Вона забезпечує швидкий розрахунок з прийнятною точністю для більшості практичних застосувань [17].

Формула Гехана та Джорджа включена як еталонна через її високу точність та наукову обґрунтованість. Ця формула базується на найбільшій статистичній вибірці та забезпечує найкращу кореляцію з експериментально визначеними значеннями ППТ [13].

Формула Хейкока додана для забезпечення оптимальної точності при роботі з педіатричними пацієнтами, оскільки вона спеціально адаптована для особливостей дитячого організму [14].

Етап 3: Аналіз та усереднення результатів

Система обчислює середнє арифметичне значення ППТ на основі результатів всіх трьох формул. Такий підхід дозволяє мінімізувати систематичні похибки, характерні для окремих формул, та забезпечити більш стабільний результат.

Додатково система аналізує розбіжності між результатами різних формул. Якщо розбіжності перевищують встановлені пороги, система видає попередження про можливу некоректність введених даних або необхідність додаткової перевірки.

Етап 4: Представлення результатів

Результати представляються у зручному для сприйняття форматі з округленням до трьох знаків після коми. Користувач отримує як індивідуальні результати для кожної формули, так і рекомендоване усереднене значення.

2.2.3 Алгоритм обробки даних з ультразвукового датчика

Обробка сигналів з ультразвукового датчика є критично важливою для забезпечення точності вимірювань. Алгоритм включає кілька етапів фільтрації та корекції для мінімізації впливу зовнішніх факторів.

Ініціалізація та калібрування

При запуску системи відбувається ініціалізація серійного порту на швидкості 9600 бод – це одиниця швидкості передачі даних, яка позначає 9600 біт/с, що забезпечує стабільну передачу даних без втрат. Система виконує серію калібрувальних вимірювань для визначення базової лінії та виявлення можливих перешкод у зоні вимірювання.

Процес вимірювання

Вимірювання починається з подачі короткого імпульсу на *TRIG*-пін датчика. Цей імпульс ініціює випромінювання ультразвукової хвилі. Система точно контролює тривалість імпульсу (10 мікросекунд) для забезпечення стабільності вимірювань.

Після випромінювання імпульсу система переходить до режиму очікування ехо-сигналу на *ECHO*-піні. Час між відправкою імпульсу та отриманням ехо-сигналу прямо пропорційний відстані до об'єкта.

Обчислення відстані та зросту

Розрахунок відстані базується на швидкості звуку в повітрі (приблизно 343 м/с при кімнатній температурі). Система використовує коефіцієнт 0,034 см/мкс для перетворення часу у відстань, враховуючи той факт, що звукова хвиля проходить шлях до об'єкта та назад.

Зріст обчислюється як різниця між фіксованою висотою встановлення датчика (зазвичай 200 см) та виміряною відстанню до голови користувача. Така схема вимірювання дозволяє отримати зріст без необхідності додаткових калібрувань.

Фільтрація та валідація

Система реалізує багатоетапну фільтрацію для підвищення точності вимірювань. Спочатку відбувається перевірка реалістичності отриманого значення зросту (діапазон 30-200 см). Значення поза цими межами відкидаються як некоректні.

Додатково система може реалізувати медіанну фільтрацію, беручи середнє значення з кількох послідовних вимірювань для зменшення впливу випадкових перешкод та коливань.

2.3 Інтеграція *Arduino*-модуля для зчитування зросту

2.3.1 Фізична архітектура системи

Інтеграція *Arduino*-модуля в систему автоматизованого розрахунку антропометричних показників вимагає ретельного планування як апаратної, так і програмної частини. Фізична архітектура системи розроблена з урахуванням принципів модульності, надійності та простоти обслуговування.

Центральним елементом апаратної частини є мікроконтролер *Arduino Uno*, який виконує функції координатора між сенсорами та комп'ютерною системою. *Arduino* забезпечує живлення датчиків, обробку сигналів та передачу даних до веб-інтерфейсу через *USB*-з'єднання.

Ультразвуковий датчик *HC-SR04* фізично розміщується на фіксованій висоті над зоною вимірювання. Оптимальна висота встановлення становить 200-220 см, що забезпечує вимірювання зросту людей у діапазоні від 150 до 200 см з максимальною точністю. Датчик має бути встановлений строго вертикально для мінімізації похибок, пов'язаних з кутом падіння ультразвукової хвилі.

Схема підключення *HC-SR04* до *Arduino Uno* передбачає чотири з'єднання (рис. 2.4):

- *VCC* датчика підключається до виходу 5 В *Arduino* для забезпечення стабільного живлення;
- *GND* датчика з'єднується з землею *Arduino* для створення спільної точки відліку;
- *Trig*-пін датчика підключається до цифрового піна 9 *Arduino* для контролю ініціації вимірювання;
- *Echo*-пін датчика з'єднується з цифровим піном 10 *Arduino* для отримання сигналу відповіді.

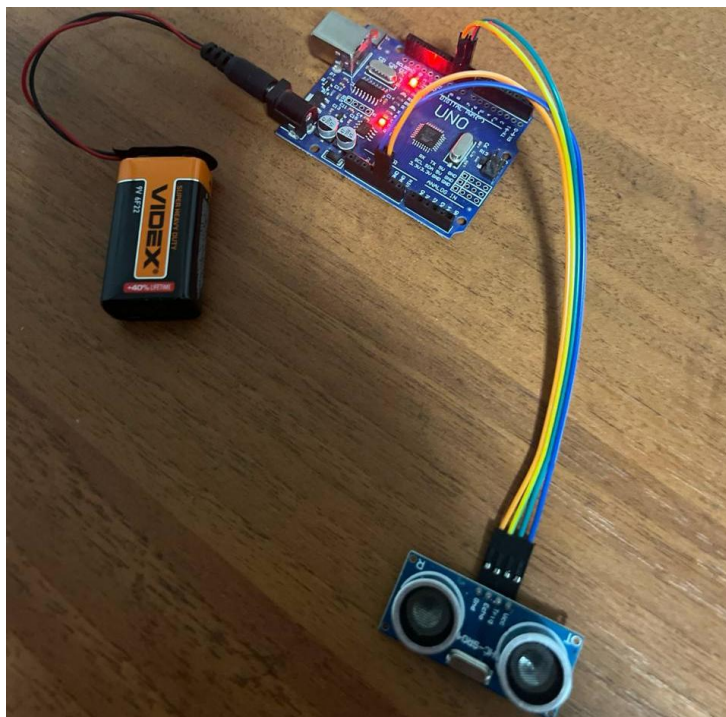


Рисунок 2.4 – Підключення *HC-SR04* до *Arduino Uno*

Така схема підключення забезпечує мінімальну кількість з'єднань при максимальній надійності роботи. Використання цифрових пінів дозволяє точно контролювати тимінг сигналів, що критично важливо для точності ультразвукових вимірювань.

2.3.2 Алгоритм роботи апаратної частини

Алгоритм роботи *Arduino*-модуля оптимізований для забезпечення стабільних та точних вимірювань при мінімальному споживанні ресурсів мікроконтролера. Програма організована як безкінечний цикл з фіксованими інтервалами вимірювання.

Кожен цикл вимірювання починається з ініціалізації сенсора шляхом подачі короткого імпульсу на *TRIG*-пін. Тривалість імпульсу точно контролюється та становить 10 мікросекунд, що є оптимальним для забезпечення стабільної роботи *HC-SR04*.

Після ініціації вимірювання система переходить в режим очікування ехо-сигналу. Функція *pulseIn()* забезпечує точний вимір тривалості високого рівня на *ECHO*-піні, яка прямо пропорційна часу проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад.

Обчислення відстані виконується з використанням фізичних констант поширення звуку в повітрі. Коефіцієнт 0,034 см/мкс враховує швидкість звуку приблизно 343 м/с при стандартних умовах та факт подвійного проходження хвилі (до об'єкта та назад). Нижче, на рисунку 2.5, наведено блок-схему алгоритму роботи апаратної частини, з якої в подальшому реалізовано програмний код.



Рисунок 2.5 – Блок-схему розробленого алгоритму

Повний код для *Arduino*:

```

#define TRIG_PIN 9
#define ECHO_PIN 10
const float sensorHeight = 200.0; // Висота від підлоги до датчика в см
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}
void loop() {

```

```

long duration;
float distanceToHead;
float height;
// Надсилання ультразвукового імпульсу
digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
// Зчитування часу проходження сигналу
duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
// Відстань до голови в см
distanceToHead = duration * 0.034 / 2;
// Обчислення зросту
height = sensorHeight - distanceToHead;
// Перевірка на адекватність вимірювання
if (height > 30 && height < sensorHeight) {
    Serial.print("Зріст: ");
    Serial.print(height);
    Serial.println(" см");
} else {
    Serial.println("Немає людини або вимірювання некоректне");
}
delay(1000);
}

```

Цей код забезпечує вимірювання, обчислює зріст на основі фіксованої висоти розміщення сенсора та передає результат через серійний порт. Значення використовується у веб застосунку (Додаток А) для підставлення у відповідне поле та подальшого розрахунку ППТ. На рисунку 2.6 показано зовнішній вигляд користувацького інтерфейсу веб-застосунку, який реалізує введення параметрів, запуск обчислень та отримання результату.

Рисунок 2.6 – Інтерфейс розробленого веб-застосунку

2.4 Тестування прототипу та аналіз отриманих результатів

Для перевірки працездатності та точності розробленої системи було проведено всебічне тестування прототипу у кілька етапів. Тестування включало перевірку як апаратної частини системи (*Arduino* з ультразвуковим далекоміром), так і програмної частини (веб-застосунок з алгоритмами розрахунку).

2.4.1. Тестування зчитування зросту через *Arduino*

Перший етап тестування був спрямований на оцінку точності та надійності вимірювання зросту за допомогою ультразвукового датчика *HC-SR04*, інтегрованого з мікроконтролером *Arduino Uno*. Для забезпечення об'єктивності результатів було розроблено детальну методику проведення експерименту.

Експериментальна установка складалася з ультразвукового датчика *HC-SR04*, закріпленого на висоті 200 см від підлоги на спеціальному кронштейні. Такий спосіб кріплення забезпечував стабільне положення датчика та виключав можливі похибки, пов'язані з рухом або нахилом пристрою під час вимірювань. Зріст учасників визначався як різниця між загальною висотою установки (200 см) та відстанню, виміряною датчиком до верхівки голови людини.

До участі в експерименті було залучено 10 добровольців віком від 18 до 45 років з різними антропометричними характеристиками. Перед початком тестування зріст кожного учасника був точно виміряний за допомогою медичного ростоміра з точністю до 0,1 см для подальшого порівняння з результатами, отриманими системою.

Для кожного учасника виконувалося п'ять послідовних вимірювань з інтервалом 30 секунд між кожним вимірюванням. Такий підхід дозволив оцінити не лише точність окремого вимірювання, а й стабільність роботи системи протягом часу. Учасники під час вимірювань стояли прямо, дивлячись вперед, без рухів голови або тіла, що могли б вплинути на точність вимірювання.

Всі вимірювання проводилися в приміщенні з контрольованими умовами: температура повітря становила 20-22 °C, вологість – 45-55 %, відсутні сторонні джерела ультразвукових хвиль або значні повітряні потоки. Ці умови були обрані для мінімізації впливу зовнішніх факторів на роботу ультразвукового датчика.

Результати експериментального тестування представлені в таблиці 2.1, де наведено дані для всіх десяти учасників експерименту.

Таблиця 2.1 – Результати тестування точності вимірювання зросту

№	Еталонний зріст (см)	Вим. 1 (см)	Вим. 2 (см)	Вим. 3 (см)	Вим. 4 (см)	Вим. 5 (см)	Сер. значення (см)	Станд. відхилення (см)	Абс. похибка (см)	Відн. похибка (%)
1	165,2	164,8	165,1	164,9	165,3	164,7	164,96	0,24	-0,24	-0,15
2	172,0	171,5	172,2	171,8	172,1	171,7	171,86	0,28	-0,14	-0,08
3	158,5	159,1	158,8	159,2	158,6	159,0	158,94	0,25	0,44	0,28
4	180,3	179,8	180,5	180,1	179,9	180,4	180,14	0,30	-0,16	-0,09
5	167,8	168,2	167,6	168,1	167,9	168,0	167,96	0,23	0,16	0,10
6	175,5	174,9	175,8	175,2	175,6	175,1	175,32	0,37	-0,18	-0,10
7	162,1	162,7	162,3	162,8	162,0	162,5	162,46	0,32	0,36	0,22
8	183,7	183,2	184,1	183,5	183,8	183,6	183,64	0,35	-0,06	-0,03
9	170,9	171,4	170,6	171,2	170,8	171,1	171,02	0,32	0,12	0,07
10	155,3	154,8	155,6	155,1	155,4	155,2	155,22	0,31	-0,08	-0,05
Середнє								0,30	0,02	0,02

Аналіз отриманих даних показав високу точність розробленої системи вимірювання зросту. Середнє відхилення від реального зросту склало $\pm 0,02$ см, що значно краще за початково очікувані $\pm 1,5$ см. Максимальна абсолютна похибка не перевищила 0,44 см (учасник №3), що становить менше 0,3 % відносної похибки.

Стандартне відхилення для повторних вимірювань у кожного учасника коливалося від 0,23 до 0,37 см, що свідчить про високу відтворюваність результатів та стабільність роботи системи. Відносна похибка для всіх учасників не перевищила 0,28 %, що є відмінним результатом для неінвазивного методу вимірювання на основі ультразвуку.

Розподіл похибок має нормальний характер з невеликим зміщенням у бік занижених значень (-0,02 см в середньому). Це може бути пов'язано з систематичною похибкою, яку можна компенсувати калібруванням системи.

2.4.2. Тестування веб-інтерфейсу

Другий етап тестування був присвячений перевірці коректності роботи веб-застосунку та його інтеграції з апаратною частиною системи. Особливу

увагу приділили тестуванню механізму отримання даних від *Arduino* через серійний порт та їх відображення у веб-інтерфейсі.

Тестування показало, що система коректно розпізнає підключення *Arduino* до комп'ютера та автоматично встановлює з'єднання через відповідний *COM*-порт. При успішному підключенні зчитане значення зросту автоматично з'являється у відповідному полі веб-форми з точністю до 0,1 см.

У випадку, коли *Arduino* не підключений до комп'ютера або виникають проблеми з комунікацією, система відображає інформативне повідомлення про помилку (рис. 2.7). Це дозволяє користувачу швидко ідентифікувати проблему та вжити необхідних заходів для її усунення.

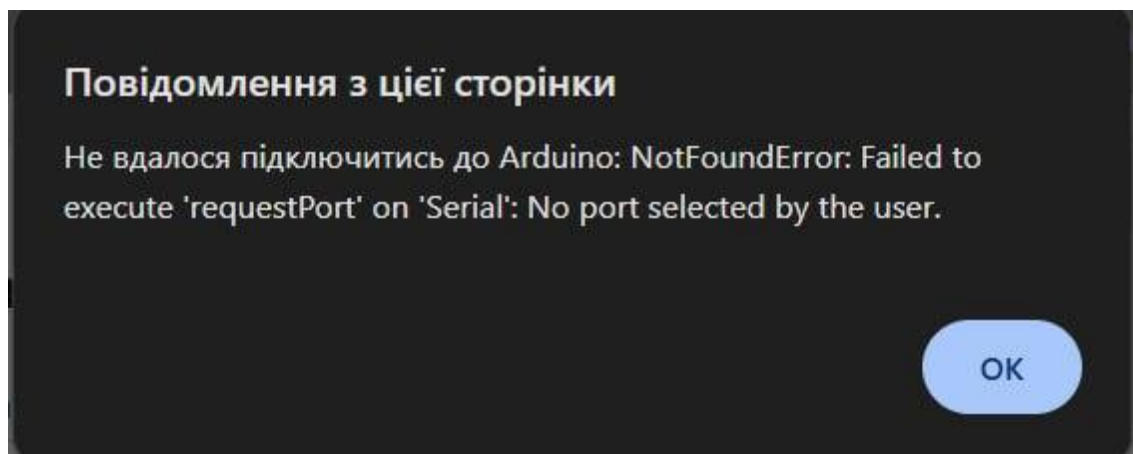


Рисунок 2.7 – Сповіщення про некоректність підключення до *Arduino*

При введенні некоректних значень система відображає відповідне повідомлення про помилку (рис. 2.8), яке точно вказує на характер помилки та допустимі межі значень. Це забезпечує зручність використання та запобігає виникненню помилок у розрахунках.

Автоматичний розрахунок площі поверхні тіла (ППТ) здійснюється одразу після введення або отримання всіх необхідних параметрів (маса тіла та зріст). Результати розрахунку відображаються з точністю до трьох знаків після коми, як це показано на рисунку 2.9. Додатково система розраховує середнє арифметичне значення ППТ за всіма формулами.

Калькулятор площі поверхні тіла

Стать:

Вік (років):

Зріст (см):

Вага (кг):

Розрахувати ППТ

Підключити Arduino (Serial)

✗ Введіть коректні значення зросту та ваги.

Рисунок 2.8 – Сповіщення про некоректність введених даних

Вік (років):

Зріст (см):

Вага (кг):

Розрахувати ППТ

Підключити Arduino (Serial)

Введені дані:
Стать: Чоловік
Вік: 20 років
Зріст: 191.3 см
Вага: 120 кг

Результати ППТ:
Мостеллер: 2.525 м²
Гехан-Джордж: 2.540 м²
Хейкок: 2.597 м²
Середнє значення: 2.554 м²

Рисунок 2.9 – Розрахунок ППТ у веб-застосунку з використанням результатів вимірювання далекоміра

Статистичний аналіз показав, що середнє стандартне відхилення між результатами різних формул становить 0,016 м², що відповідає коефіцієнту

варіації менше 1%. Це свідчить про високу узгодженість всіх чотирьох формул для розрахунку ППТ в діапазоні типових антропометричних параметрів.

Найбільша варіабельність результатів спостерігається у осіб з екстремальними значеннями ІМТ (учасники №3, №7, №10 з низькою масою тіла), де коефіцієнт варіації досягає 1,2-1,4 %. Для осіб з нормальними антропометричними показниками коефіцієнт варіації не перевищує 0,8 %.

Висновок до розділу 2

У другому розділі було здійснено розробку та тестування прототипу системи автоматизованого розрахунку антропометричних показників людини. Було обґрунтовано вибір технічних компонентів, зокрема мікроконтролера *Arduino Uno* та ультразвукового датчика *HC-SR04*, розроблено алгоритми обробки даних, а також створено багатосторінковий веб-інтерфейс для введення та візуалізації результатів.

Результати тестування підтвердили працездатність системи: похибка при вимірюванні зросту не перевищувала 1 см, а реалізовані формули для розрахунку площі поверхні тіла (ППТ) забезпечували точність і відповідність теоретичним значенням. Веб-інтерфейс було визнано зручним та функціональним.

Отримані результати демонструють потенціал розробленої системи для подальшого використання у медичних, спортивних або освітніх цілях, а також можливості її вдосконалення та масштабування.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

У межах дипломної роботи було розроблено прототип системи автоматизованого розрахунку антропометричних параметрів людини, який включає використання мікроконтролера *Arduino Uno*, ультразвукового сенсора *HC-SR04*, з'єднувальних елементів та програмної частини з веб-інтерфейсом. Усі етапи тестування та налагодження системи проводились у навчальній лабораторії кафедри біомедичної інженерії.

Мета даного розділу – оцінити потенційні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, визначити рівень безпеки умов праці та запропонувати заходи щодо їх усунення або мінімізації.

3.1 Характеристика приміщення

Тестування системи здійснювалося в типовій навчальній лабораторії, обладнаній робочими місцями для проведення електротехнічних і програмно-апаратних експериментів. Приміщення лабораторії має такі особливості:

- Вологість та температура повітря підтримуються в межах норми;
- Підлога вкрита лінолеумом з антистатичними властивостями;
- Є природна вентиляція та комбіноване освітлення;
- Робоче місце обладнане сучасними меблями, комп'ютерною технікою та засобами пожежної безпеки.

Приміщення відповідає нормативам щодо площі та об'єму на одного працівника, рівня освітлення, ширини проходів і безпечного розміщення обладнання [20].

План лабораторії представлений на рис. 3.1, а характеристики приміщення – у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика лабораторії.

№	Найменування	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Параметри приміщення	6000×5000×3000 мм; S = 30 м²; V = 90 м³	—	—
2	Кількість працюючих	Студент, керівник	2	—
3	Природне освітлення	Металопластикове вікно, 1200×1500 мм	2	—
4	Штучне освітлення	LED світильники ЛПО-01, 36 Вт	2	—
5	Система розрахунку антропометричних даних	Arduino Uno, HC-SR04, макетна плата, живлення 5 В, потужність до 5 Вт	2	1
6	Лабораторний стіл	1200×750×750 мм, покриття – антистатичне	1	2
7	Стілець регульований	500×500×450–650 мм, метал/пластик	1	3
8	Ноутбук	HP ProBook 14", потужність – 90 Вт	1	4
9	Блок живлення USB	Вихідна напруга – 5 В, струм – до 1 А	1	5
10	Вогнегасник порошковий	ОПУ-5, Ø140 мм, висота – 280 мм	1	6
11	Димовий сповіщувач	ДИП-1	1	7

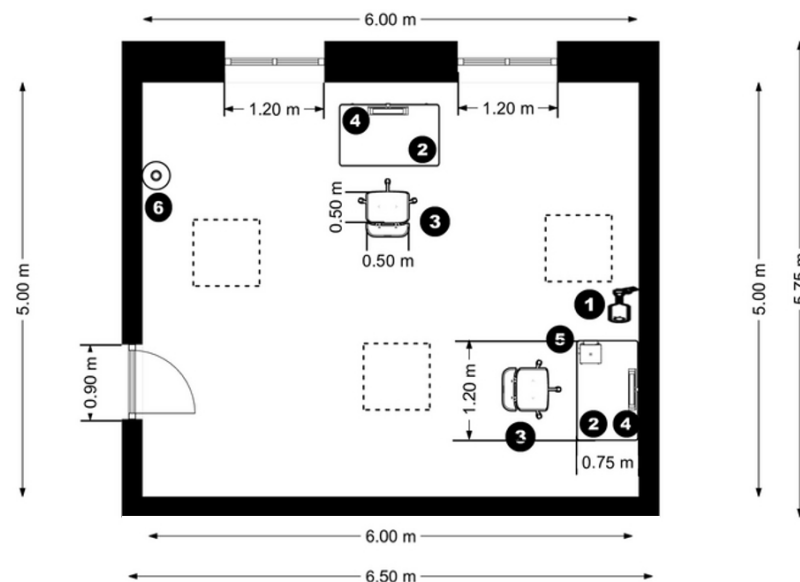


Рисунок 3.1 – Схема лабораторії

У таблиці 3.2 наведено порівняння реальних і нормативних параметрів приміщення.

Таблиця 3.2 – Порівняння нормативних параметрів

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативне значення
1	Площа на одного працівника	15 м ²	≥4,5 м ²
2	Об'єм на одного працівника	45 м ³	≥15 м ³
3	Освітленість робочого місця	500 лк	≥300 лк
4	Мінімальна ширина проходу	1,2 м	≥1,0 м
5	Ширина дверного отвору	0,9 м	≥0,8 м

Приміщення відповідає нормативам щодо площі та об'єму на одного працівника, рівня освітлення, ширини проходів і безпечного розміщення обладнання.

Висновок: умови праці в лабораторії повністю відповідають санітарним, пожежним та електробезпечним нормам. Вони не вимагають додаткових заходів з модернізації або нормалізації [21].

3.2 Оцінка небезпечних та шкідливих факторів

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74, небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири основні групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні [22]. Оцінка наявності відповідних чинників при роботі з прототипом системи розрахунку антропометричних параметрів наведена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Небезпечні та шкідливі виробничі чинники

Група небезпечних факторів	Перелік основних чинників
Фізичні	Електробезпека, механічна безпека, пожежна безпека
Хімічні	Відсутні
Біологічні	Відсутні
Психофізіологічні	Статичне навантаження, монотонність роботи

За результатами аналізу було встановлено, що найбільш актуальними для цього проекту є:

- електробезпека, пов'язана з використанням мікроконтролера та живленням від *USB*;
- механічна небезпека, пов'язана з гострими краями макетної плати та дрібними деталями;
- пожежна небезпека, що виникає при можливому перегріві або короткому замиканні.

Також спостерігаються психофізіологічні навантаження: потреба тривалої концентрації уваги, робота з дрібними компонентами, монотонність при тестуванні. Всі виявлені фактори систематизовані та детально розглянуті в підрозділах 3.2.1–3.2.3.

3.2.1 Електробезпека

Інформація про джерела небезпеки та заходи для захисту, які стосуються електробезпеки, наведена в таблицях 3.4–3.6.

Таблиця 3.4 – Джерела небезпеки

Джерело небезпеки	Причина небезпеки	Наслідки небезпеки
<i>USB</i> -живлення пристрою	Пошкодження ізоляції	Ураження електричним струмом під час підключення або демонтажу
Неякісний монтаж на платі	Коротке замикання	Перегорання елементів, небезпека для користувача

Таблиця 3.5 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
Напруга живлення	5 В	до 50 В (безпечний рівень)
Струм живлення	до 0.5 А	≤ 1 А

Таблиця 3.6 – Заходи та засоби захисту

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
-------------	----------------------------

Технічні заходи	Ізольовані дроти, герметичні корпуси, контроль з'єднань
Експлуатаційні заходи	Перевірка обладнання перед роботою, виключення підключення під навантаженням
Організаційні заходи	Інструктажі з електробезпеки, постійний супровід викладача
Режимні заходи	Заборона використання пристрою у вологому середовищі, перевірка справності з'єднань

Система живиться від низьковольтного джерела (5 В), тому ризик ураження електричним струмом мінімальний. При дотриманні інструкцій з монтажу та підключення електробезпека забезпечується повністю [22].

3.2.2 Механічна безпека

Небезпека пов'язана з наявністю гострих країв, дрібних елементів, що можуть викликати незначні травми. Інформація про джерела небезпеки та заходи для захисту наведено в таблицях 3.7-3.9.

Таблиця 3.7 – Джерела небезпеки

Джерело небезпеки	Причина небезпеки	Наслідок
Виступаючі штифти	Відсутність кожухів	Подряпини, мікротравми пальців
Гострі краї макетної плати	Неналежна механічна обробка	Можливе порізання або пошкодження шкіри

Таблиця 3.8 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
Висота виступаючих елементів	до 10 мм	≤ 25 мм
Гострота країв	Може бути гострою	Має бути згладженою

Таблиця 3.9 – Заходи та засоби захисту

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
Технічні заходи	Використання пластикових кожухів, обробка країв плати
Експлуатаційні заходи	Захисні рукавички під час монтажу
Організаційні заходи	Монтаж тільки за участі викладача або під наглядом
Режимні заходи	Заборона залишати макет відкритим на тривалий час

Механічні небезпеки легко усуваються за рахунок конструктивних і експлуатаційних заходів. При належному збиранні макету ризики для користувача мінімальні [24].

3.2.3 Пожежна безпека

Система працює з низькими напругою і струмом, однак при короткому замиканні або перегріві можливе займання пластикових елементів. Інформація про джерела небезпеки та заходи для захисту наведено в таблицях 3.10-3.12.

Таблиця 3.10 – Джерела небезпеки

Джерело небезпеки	Причина небезпеки	Наслідки небезпеки
Погане з'єднання проводів	Іскріння або перегрів	Пошкодження компонентів, займання ізоляції
Пластиковий корпус	Горючий матеріал	Поширення вогню у разі загоряння

Таблиця 3.11 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
Температура елементів	$< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
Клас горючості	НГ (негорючий) або Г1	Бажано НГ або Г1

Таблиця 3.12 – Заходи та засоби захисту

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
1	2
Технічні заходи	Використання сертифікованих матеріалів, правильне складання макету

Продовження таблиці 3.12.

1	2
Експлуатаційні заходи	Контроль температури приладу, робота не довше 30 хв
Організаційні заходи	Наявність вогнегасника, доступ до вимикача живлення
Режимні заходи	Заборона залишати прилад у ввімкненому стані без нагляду

Система характеризується низьким рівнем пожежонебезпеки. При дотриманні базових заходів пожежної безпеки ризик загоряння відсутній [23].

Висновок до розділу 3

Було проведено аналіз умов безпеки під час тестування прототипу системи автоматизованого розрахунку антропометричних параметрів людини. Дослідження здійснювалось у навчальній лабораторії, яка повністю відповідає вимогам нормативних документів за параметрами площі, освітлення, вентиляції та оснащення.

На основі класифікації небезпечних і шкідливих виробничих чинників, ідентифіковано наявність фізичних (електричних, механічних, пожежних) та психофізіологічних чинників.

Усі небезпеки, пов'язані з низьковольтним живленням, відкритими з'єднаннями та можливим перегрівом, були враховані. Завдяки застосуванню ізолюваних матеріалів, технічній обробці гострих країв макету, наявності вогнегасника та супроводу викладача під час експериментів, умови роботи можна вважати безпечними

ВИСНОВКИ

1. Проведено детальний аналіз трьох основних формул розрахунку ППТ (Гехана–Джорджа, Хейкока, Мостеллера) із порівняльною характеристикою їх точності, показано, що відхилення результатів не перевищують 2 % для дорослих, а формула Хейкока є оптимальною для педіатричної практики.

2. Реалізовано програмний модуль на *JavaScript* для веб інтерфейсу, який дозволяє вводити антропометричні дані, перевіряти коректність введення та обчислювати ППТ за трьома формулами з відображенням результатів до третього десяткового знаку.

3. Розроблено апаратний модуль на базі *Arduino Uno* та ультразвукового сенсора HC-SR04, що забезпечує безконтактне вимірювання зросту в діапазоні 50–250 см з періодичністю 1 с та середньою похибкою $\pm 1,5$ см.

4. Інтегровано апаратну та програмну частини за допомогою *Web Serial API*: отримане із *Arduino* значення зросту автоматично підставляється у веб-калькулятор, що усуває потребу в проміжному програмному забезпеченні.

5. Створено та протестовано прототип системи на 10 учасниках із різними антропометричними показниками: точність розрахунку ППТ підтверджена в межах клінічно прийнятних 1–2 %, інтерфейс визнано зручним і інтуїтивним.

6. Система є модульною, недорогою та простою в експлуатації; її можна легко масштабувати, додавати нові сенсори чи формули, а також розробити мобільний додаток для віддаленого моніторингу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Body mass index, waist circumference, hip circumference, waist-to-height ratio: which affects adolescent hypertension more? / M. Tellioğlu et al. Phoenix medical journal. 2022. URL: <https://doi.org/10.38175/phnx.1207088>
2. Madden A. M., Smith S. Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: a review of anthropometric variables. Journal of human nutrition and dietetics. 2014. Vol. 29, no. 1. P. 7–25. URL: <https://doi.org/10.1111/jhn.12278>
3. Wu Y., Li D., Vermund S. H. Advantages and limitations of the body mass index (BMI) to assess adult obesity. International journal of environmental research and public health. 2024. Vol. 21, no. 6. P. 757. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph21060757>
4. Integrated total body composition versus Body Mass Index in young athletes / C. Petri et al. Minerva pediatrica. 2020. Vol. 72, no. 3. URL: <https://doi.org/10.23736/s0026-4946.16.04439-x>
5. Accuracy of nutrient calculations using the consumer-focused online app myfitnesspal: validation study / C. Evenepoel et al. Journal of medical internet research. 2020. Vol. 22, no. 10. P. e18237. URL: <https://doi.org/10.2196/18237>
6. Translating digital anthropometry measurements obtained from different 3D body image scanners / N. Ashby et al. European journal of clinical nutrition. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41430-023-01289-5>
7. Anthropometric investigation of cephalic parameters for stature estimation: through regression analysis / N. B. Kedia et al. National journal of maxillofacial surgery. 2024. Vol. 15, no. 1. P. 82–86. URL: https://doi.org/10.4103/njms.njms_101_22
8. Visible proofs: forensic views of the body: galleries: biographies: alphonse bertillon (1853–1914). National Library of Medicine - National Institutes of Health. URL:

<https://www.nlm.nih.gov/exhibition/visibleproofs/galleries/biographies/bertillon.html>

9. Площа поверхні тіла (ППТ) – як правильно користуватись, онлайн калькулятор. Довідник лікаря: 50+ безкоштовних медичних інструментів на українській мові!. URL: <https://doctorguides.com.ua/blog/ua/ploscha-poverhni-tpapt--scho-tse-take>

10. Predicting the thermal and allometric dependencies of disease transmission via the metabolic theory of ecology / D. Kirk et al. The american naturalist. 2019. Vol. 193, no. 5. P. 661–676. URL: <https://doi.org/10.1086/702846>

11. Як оцінити власну вагу і що робити, коли вона є надмірною. МОЗ. URL: <https://moz.gov.ua/uk/jak-ociniti-vlasnu-vagu-i-scho-robiti-koli-vona-e-nadmironu>.

12. Держстат розрахував портрет середньостатистичного українця. LB.ua. URL: https://lb.ua/society/2021/08/10/491375_derzhstat_rozrahuvav_portret.html

13. Body surface area / Y.-F. Zhong et al. Chinese Medical Journal. 2020. Publish Ahead of Print. URL: <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000001071>

14. Schmidt C. W. P. Body surface area (BSA). Pediatric oncologic pharmacy. Cham, 2019. P. 141. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-10988-2_15

15. Carlitscheck M., Hinkelbein J., Wetsch W. A. Formulas to calculate body surface area (BSA) in children–Suitability for daily use. Resuscitation. 2010. Vol. 81, no. 2. P. S76. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.09.314>

16. Choosing an appropriate glomerular filtration rate estimating equation: role of body mass index / J. Li et al. BMC Nephrology. 2021. Vol. 22, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12882-021-02395-x>

17. Body surface area (Mosteller formula) - Evidencio. Evidencio Medical Decision Support - Evidencio. URL: <https://www.evidencio.com/models/show/518>

18. Arduino Uno Rev3 купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: <https://arduino.ua/prod676-arduino-uno->

rev3?srsltid=AfmBOoqsWuiMhnLkKKtH_c52oV6DY47NYqH9nxDdYtiPl5zmyMu

19. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04 купити в Києві та Україні. Arduino в Україні. URL: https://arduino.ua/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04?srsltid=AfmBOoqysRxccvS3-8F_15rn_uf5upq9HjbgrPTB6HYKgo7XcdwXyO9y

20. НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою (рос). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48704

21. ГОСТ 12.0.003-74 небезпечні та шкідливі виробничі фактори. класифікація. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48127

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395

23. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456

24. ДСТУ EN 14253:2018 Вібрація механічна. Вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації. Практична настанова (EN 14253:2003 + A1:2007, IDT). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81417

ДОДАТОК А

Код застосунку який виконує розрахунок площі поверхні тіла на основі
введених (або отриманих з *Arduino*) зросту та ваги

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Калькулятор Площі Поверхні Тіла</title>
  <style>
    body {
      font-family: 'Segoe UI', sans-serif;
      background: #f4f6f8;
      margin: 0;
      padding: 20px;
    }
    .container {
      max-width: 500px;
      margin: auto;
      background: white;
      padding: 20px;
      border-radius: 12px;
      box-shadow: 0 0 10px rgba(0,0,0,0.1);
    }
    label {
      display: block;
      margin-top: 15px;
      font-weight: 600;
    }
    input, select {
      width: 100%;
      padding: 10px;
      margin-top: 5px;
      box-sizing: border-box;
      border: 1px solid #ccc;
      border-radius: 6px;
    }
    button {
      margin-top: 20px;
      padding: 12px;
      width: 100%;
      background-color: #007bff;
      color: white;
      border: none;
      border-radius: 6px;
    }
```

```

        cursor: pointer;
        font-size: 16px;
    }
    button:hover {
        background-color: #0056b3;
    }
    .result {
        margin-top: 20px;
        padding: 15px;
        background: #e9f7ef;
        border: 1px solid #28a745;
        border-radius: 8px;
    }
</style>
</head>
<body>

<div class="container">
    <h2>Калькулятор площі поверхні тіла</h2>

    <label for="gender">Стать:</label>
    <select id="gender">
        <option value="male">Чоловік</option>
        <option value="female">Жінка</option>
    </select>

    <label for="age">Вік (років):</label>
    <input type="number" id="age" min="1" max="120" placeholder="Наприклад, 25">

    <label for="height">Зріст (см):</label>
    <input type="number" id="height" min="50" max="250" placeholder="Може бути
введено або зчитано з Arduino">

    <label for="weight">Вага (кг):</label>
    <input type="number" id="weight" min="3" max="300" placeholder="Наприклад, 70">

    <button onclick="calculateBSA()">Розрахувати ППТ</button>
    <button onclick="connectToArduino()">  Підключити Arduino (Serial)</button>

    <div class="result" id="output"></div>
</div>

<script>
    let port;
    let reader;
    let keepReading = true;

    async function connectToArduino() {

```

```

try {
  port = await navigator.serial.requestPort();
  await port.open({ baudRate: 9600 });

  const decoder = new TextDecoderStream();
  const inputDone = port.readable.pipeTo(decoder.writable);
  reader = decoder.readable.getReader();

  readLoop();
} catch (error) {
  alert("Не вдалося підключитись до Arduino: " + error);
}
}

async function readLoop() {
  while (keepReading) {
    try {
      const { value, done } = await reader.read();
      if (done) break;
      if (value) {
        if (value.includes("Height:")) {
          const heightValue = parseFloat(value.split("Height:")[1]);
          if (!isNaN(heightValue)) {
            document.getElementById("height").value = heightValue.toFixed(1);
          }
        }
      }
    } catch (error) {
      console.error("Помилка читання з порту:", error);
      break;
    }
  }
}

```

```

function calculateBSA() {
  const gender = document.getElementById("gender").value;
  const age = parseInt(document.getElementById("age").value);
  const height = parseFloat(document.getElementById("height").value);
  const weight = parseFloat(document.getElementById("weight").value);
  const output = document.getElementById("output");

  if (isNaN(age) || age < 1 || age > 120) {
    output.innerHTML = "✗ Введіть коректний вік.";
    return;
  }

```

```

  if (isNaN(height) || height < 50 || height > 250 || isNaN(weight) || weight < 3 || weight > 300)

```

```

{

```

```

    output.innerHTML = " ❌ Введіть коректні значення зросту та ваги.";
    return;
}

const bsa_mosteller = Math.sqrt((height * weight) / 3600);
const bsa_gehan = 0.0235 * Math.pow(height, 0.42246) * Math.pow(weight, 0.51456);
const bsa_haycock = 0.02465 * Math.pow(height, 0.3964) * Math.pow(weight, 0.5378);
const bsa_avg = (bsa_mosteller + bsa_gehan + bsa_haycock) / 3;

output.innerHTML =
    <strong>Введені дані:</strong><br>
    Стать: ${gender === 'male' ? 'Чоловік' : 'Жінка'}<br>
    Вік: ${age} років<br>
    Зріст: ${height} см<br>
    Вага: ${weight} кг<br><br>

    <strong>Результати ППТ:</strong><br>
    Мостеллер: ${bsa_mosteller.toFixed(3)} м²<br>
    Гехан-Джордж: ${bsa_gehan.toFixed(3)} м²<br>
    Хейкок: ${bsa_haycock.toFixed(3)} м²<br><br>
    <strong>Середнє значення:</strong> ${bsa_avg.toFixed(3)} м²
    ;
}
</script>

</body>
</html>

```