

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»

УДК 681.5

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«  » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»**

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

**на тему: «Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ПМ-21мп  
НЕКРАСОВА Ольга Олександрівна

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент  
НЕЧАЙ Сергій Олексійович

\_\_\_\_\_

Консультант з «Розробки СТАРТАП-проєкту»:

завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.  
БОЯРИНОВА Катерина Олександрівна

\_\_\_\_\_

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент  
СИНИЦЯ Валентин Іванович

\_\_\_\_\_

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

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Некрасовій Ользі Олександрівні**

1. Тема дисертації «Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки», науковий керівник дисертації Нечай Сергій Олексійович, к.т.н, доц., затверджені наказом по університету від «8» листопада 2023 р. №5188-с
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_ 8 січня 2024 \_\_\_\_\_
3. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Огляд інформації по темі дисертації; 2) Розгляд технічних засобів у профілактиці та лікування плоскостопості; 3) Розгляд плівкових ТП; 4) Патентний пошук; 5) Розробка принципової та принципової електричної схем; 6) Проєктування засобу в SolidWorks та проведення дослідження в ANSYS; 8) Розробка алгоритмів та дизайн-проєкту для функціонування засобу; 9) Розробка стартап-проєкту.
4. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) Вид з рознесеними частинами (A1); 2) Схема принципова (A1); 3) Електрична схема принципова (A1); 4) Аналіз для трьох положень нижньої кінцівки в ПЗ ANSYS (A1); 5) Алгоритм роботи мікросхеми засобу (A1); 6) Алгоритм роботи мобільного застосунку (A1); 7) Дизайн-проєкт мобільного застосунку для засобу (A1); 8) Бізнес-модель проєкту (A1); 9) Ескіз (A4); 10) Пружний елемент тензодатчику (A4).
5. Орієнтовний перелік публікацій: Стаття на конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні — 2023»; стаття подана та погоджена до публікування у наступне видання збірника «Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування».

## 6. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проєкту	Бояринова К. О., завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.		

7. Дата видачі завдання 1 вересня 2023

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Одержати у керівника магістерської дисертації (МД) затвердженого завідувачем кафедри завдання на МД	1.09.2023	
2.	Виконання пояснювальної записки МД	26.12.2023	
3.	Виконання розділу стартап-проєкту МД, передача на перевірку та одержання підпису консультанта	29.12.2023	
4.	Виконання графічних матеріалів МД	07.01.2024	
5.	Подання керівнику для перевірки: МД та тексту його остаточного варіанту в електронному вигляді, одержання відгука на МД	08.01.2024	
7.	Одержання рецензії на МД	12.01.2024	
8.	Подання МД на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	15.01.2024	
9.	Захист магістерської дисертації в екзаменаційній комісії університету	16.01.2024	

Студент \_\_\_\_\_

Ольга НЕКРАСОВА

Науковий керівник \_\_\_\_\_

Сергій НЕЧАЙ

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація складається з таких розділів, як переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 127 сторінки, 63 рисунків, 26 таблиць, 17 формул та 20 джерел.

**Метою** дисертації є розробка автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки для реабілітації постави ніг.

**Актуальність** даної роботи полягає у розробці унікального технічного засобу для самостійної реабілітації в сучасному контексті, зокрема для сьогоденної України.

**Об'єктом** є вимірювальна автоматизована система поєднана з мобільним додатком реабілітаційного засобу, що управляється мікроконтролером та додатком.

**Предмет** — автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки.

В оглядових матеріалах було розглянуто історичний контекст, актуальність теми, огляд існуючих технічних засобів, а також окремо розглянуто засоби в профілактиці та лікуванні плоскостопості, огляд плівкових тензорезисторів. Також розглянуто наукову та практичну важливість засобу, перспективи дослідження.

У проєктно-конструкторському розділі проведено патентний пошук, розроблено принципову та принципову електричну схеми, розглянуто формули для розрахунку тензорезистора та пружнього елемента. Запропоновано ескіз засобу та проведено дослідження.

В розділі розробки стартап-проєкту було проведено опис та технологічний аудит, аналіз ринкових можливостей запуску. Розрахована вартість, підібрана команда та розроблений календарний план-графік та бізнес-модель реалізації проєкту.

**Ключові слова:** технічний засіб, реабілітація, плоскостопість, автоматизація, тензодатчик, електрична схема, система діагностики.

## ANNOTATION

The master's thesis consists of such sections as a list of abbreviations, an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources and appendices. The work contains 127 pages, 63 figures, 26 tables, 17 formulas and 20 sources.

**The aim** of the dissertation is the development of an automated rehabilitation tool for the lower limb to rehabilitate leg posture.

**The relevance** of this work lies in the development of a unique technical tool for independent rehabilitation in the modern context, in particular for today's Ukraine.

**The object** is a measuring automated system combined with a mobile application of a rehabilitation tool controlled by a microcontroller and an application.

**The subject** is an automated rehabilitation tool for the lower limb.

The review materials considered the historical context, the relevance of the topic, an overview of existing technical means, as well as separately considered means in the prevention and treatment of flat feet, an overview of film tensor resistors. The scientific and practical importance of the tool, research prospects are also considered.

In the design and construction department, a patent search was conducted, a basic and principled electrical circuit was developed, and formulas for calculating a tensor resistor and an elastic element were considered. A sketch of the tool was proposed and an experimental analysis was carried out.

In the section on the development of the startup project, a description and technological audit, analysis of the market opportunities of the startup was carried out. The cost was calculated, the team was selected, and the schedule and business model of the project implementation was developed.

**Keywords:** technical means, rehabilitation, flat feet, automation, strain gauge, electric circuit, diagnostic system.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ .....	10
1.1. Вступ до теми.....	10
1.2. Історичний контекст.....	11
1.2.1. Давні часи.....	11
1.2.2. Середньовіччя.....	12
1.2.3. Період Просвітництва.....	12
1.2.4. XIX-XX століття.....	13
1.2.5. Сучасність .....	13
1.3. Актуальність теми .....	15
1.3.1. Актуальність для сьогоденної України.....	15
1.4. Мета досліджень.....	16
1.5. Поняття технічний засіб та способи реабілітації .....	17
1.6. Огляд існуючих технічних засобів та інших засобів для реабілітації.....	18
1.6.1. Протезно-ортопедичні вироби, у тому числі ортопедичне взуття .....	19
1.6.2. Засоби пересування.....	22
1.6.3. Спеціальні засоби для самообслуговування та особистого догляду.....	23
1.6.4. Допоміжні засоби для особистої рухомості, переміщення та підйому.....	24
1.6.5. Спеціальні засоби для освіти .....	25
1.6.6. Спеціальні засоби для орієнтування, спілкування та обміну інформацією .....	25
1.6.7. Спеціальні меблі та оснащення.....	26
1.6.8. Спеціальне фізкультурно-спортивне обладнання і спорядження, спортивний інвентар.....	27
1.7. Розгляд технічних засобів у профілактиці та лікуванні плоскостопості .....	28
1.8. Розгляд плівкових тензометричних датчиків для автоматизації засобу .....	31
1.8.1. Загальна характеристика тензометричних перетворювачів (ТП).....	31
1.8.2. Плівкові тензометричні перетворювачі .....	32
1.9. Наукова та практична важливість.....	33
1.10. Перспективи дослідження.....	34
ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ .....	35
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	36
2.1. Патентний пошук.....	36
2.1.1. Опис предмету, області та глибини пошуку.....	37

2.1.2. Результат патентного пошуку .....	39
2.2. Розробка принципової схеми засобу .....	40
2.3. Елементна база засобу.....	57
2.3.1. Мікроконтролер ESP32-C3.....	57
2.3.2. Плівковий тензорезистор BF350-3AA.....	58
2.3.3. Пружний елемент тензорезистора .....	59
2.3.4. Акумулятор Panasonic CG-062939.....	60
2.3.5. Система зарядки акумулятору MCP73812.....	61
2.3.6. Система стабілізації напруги MAX1676.....	62
2.4. Формули для розрахунку тензорезистора та пружного елемента .....	62
2.5. Розробка принципової електричної схеми засобу .....	67
2.6. Проектування реабілітаційного засобу та нижньої кінцівки у SolidWorks .....	69
2.7. Проведення дослідження в ANSYS .....	72
2.8. Удосконалення системи у майбутньому .....	75
ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ .....	79
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ДИЗАЙН-ПРОЄКТУ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБУ.....	80
3.1. Розробка алгоритму роботи мікросхеми засобу.....	80
3.2. Розробка алгоритму роботи мобільного застосунку.....	81
3.3. Створення дизайн-проєкту для мобільного застосунку .....	83
ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ .....	88
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНИЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ» .....	89
4.1. Опис та технологічний аудит ідеї стартап-проєкту .....	89
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	94
4.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту .....	102
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	107
ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ .....	112
ВИСНОВКИ.....	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	114

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АЦП — електронний пристрій, що перетворює електричну напругу в двійковий цифровий код.

МК — це спеціалізований мікроелектронний програмований прилад, що призначений для використання у керуючих пристроях, системах передачі даних та системах керування технологічними процесами.

SMD (англ. Surface-Mount-Device Light-Emitting Diode) — поверхневий монтаж LED чіпів на друковану плату.

РКП — робочий коефіцієнт перетворення.

ESP-IDF (англ. Espressif IoT Development Framework) — офіційна платформа розробки IoT від Espressif для серії ESP32-C3.

$\rho$  — питомий електричний опір матеріалу  $\left[\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}\right]$ .

$l$  — довжина провідника [мм].

$q$  — площа поперечного перерізу провідника ТП [мм<sup>2</sup>].

$\sigma$  — механічна напруга, що утворюється діючою силою [Па].

$E$  — модуль пружності матеріалу [Па].

$S_{\text{пер}}$  — площа поперечного перетину пружнього елемента [мм<sup>2</sup>].

$R_1, R_2, R_3, R_s$  — опори тензорезисторів [Ом].

$U_{\text{вх}}, U_{\text{вих}}$  — вхідна та вихідна напруга відповідно [В].

$k$  — коефіцієнт симетрії.

$\mu$  — коефіцієнт Пуассона.

$k_T$  — коефіцієнт тензочутливості.



## ВСТУП

Кожна людина унікальна, і тому індивідуалізація технічних засобів реабілітації є важливим аспектом в їхньому застосуванні. Це дозволяє адаптувати засоби до конкретних потреб та можливостей кожного пацієнта, створюючи персоналізований підхід, що сприяє ефективному процесу відновлення.

Використання технічних засобів реабілітації також може спростити роботу лікарів та фахівців у сфері реабілітації. Забезпечуючи пацієнтів із необхідними засобами для самостійної реабілітації, ці технічні рішення роблять процес відновлення більш ефективним та зменшують ризик виникнення травм під час фізичної реабілітації. Такий підхід підкреслює значущість технологічних інновацій у сучасній медицині та реабілітаційній практиці.

Тема технічних засобів реабілітації несе в собі велике значення, особливо з огляду на покращення якості життя осіб із фізичними або когнітивними обмеженнями. Ці засоби виявляються невід'ємною частиною процесу відновлення функцій, які можуть бути втрачені через травми, хвороби чи інші негативні обставини. При цьому технічні рішення надають пацієнтам з обмеженнями можливість бути більш самостійними та впевненими в собі, що сприяє їхній соціальній інтеграції та можливості приймати активну участь у житті.

Однією з важливих переваг індивідуалізації технічних засобів є можливість враховувати особливості кожного пацієнта. Наприклад, розробка реабілітаційних пристроїв з урахуванням індивідуальних характеристик може покращити результати лікування та зробити його менш травматичним.

Технічні рішення в реабілітації відкривають нові можливості для поліпшення якості життя пацієнтів та збільшення їхньої самостійності. Цей підхід акцентує на важливості технологічних інновацій у медичній галузі та визначає їхню роль у вдосконаленні реабілітаційної практики.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

### 1.1. Вступ до теми

Тема технічних засобів у реабілітації є дуже важливою та цікавою з багатьох причин. Зокрема це стосується по більшій частині покращення якості життя людей, які мають обмеження у фізичних або когнітивних можливостях. Ці засоби допомагають пацієнтам відновлювати функції, які вони втратили через травми, хвороби або інші обставини. Технічні засоби допомагають пацієнтам з обмеженнями бути більш самостійними і впевненими в собі. Це сприяє їхній соціальній інтеграції і можливості вести активний спосіб життя.

Також, має місце інновації та розвиток технологій. Робототехніка, віртуальна реальність, штучний інтелект і інші технології постійно розвиваються. Вони використовуються для створення ефективних засобів реабілітації. Це сприяє розвитку новітніх методів та пристроїв для поліпшення реабілітаційних процесів.

Кожна людина індивідуальна, тому завдяки індивідуалізації технічні засоби в реабілітації дозволяють індивідуалізувати підхід до кожного пацієнта. Вони можуть бути налаштовані для конкретних потреб і можливостей кожної людини, що сприяє ефективнішому відновленню.

Використання технічних засобів може полегшити роботу лікарів і фахівців у сфері реабілітації, а також знизити ризик виникнення травм у процесі фізичної реабілітації.

Узагальнюючи, технічні засоби в реабілітації допомагають робити процес відновлення більш ефективним, доступним та цікавим для пацієнтів. Вони сприяють інноваціям у галузі медицини та технологій, роблять медичну допомогу більш індивідуалізованою та покращують якість життя тих, хто потребує реабілітації.

## 1.2. Історичний контекст

Проблема людей з обмеженими можливостями відома з давніх-давен і її рішення завжди залежало від економічного, політичного, культурного рівня конкретної країни і від етапу розвитку суспільства в цілому. Пройшовши шлях від ідей неприязні та фізичного знищення інвалідів, суспільство дійшло розуміння необхідності інтеграції та реінтеграції у суспільство осіб з різними фізичними дефектами та психосоціальними порушеннями. Адже з позицій сьогодення інвалідність слід розглядати як проблему не однієї конкретної людини, а всього суспільства загалом.

### 1.2.1. Давні часи

Реабілітація як чудовий спосіб відновлення порушених функцій організму відома з давніх часів [1]. Ще давньоєгипетські лікарі використовували деякі прийоми трудової терапії для швидшого відновлення своїх пацієнтів. А лікарі Стародавньої Греції та Риму також використовували у лікувальних комплексах фізичну активацію пацієнтів та трудову терапію. У цих країнах широко застосовували масаж як гігієнічний і лікувальний засіб, і навіть з підвищенням працездатності. Засновнику медицини Гіппократу належить наступне висловлювання: «Лікар має бути досвідчений у багатьох речах і, між іншим, у масажі».

В цей же час стали приділяти увагу і непрацездатним громадянам, які отримали каліцтво під час захисту батьківщини. Так, у Римській імперії легіонерам, які отримали каліцтво у військових походах, надавалися земельні ділянки з рабами та одноразовою матеріальною винагородою. А також люди почали вже тут використовувати різні технічні засоби для полегшення життя інвалідів. В Римі були виготовлені дерев'яні протези (рис. 1.2.1) для ампутованих воїнів. Ці протези були досить простими за конструкцією і функціональністю.



Рисунок 1.2.1 — Єгипетський протез пальця на нозі він датується 950-710 рр. до н.е. і був знайдений на жіночій мумії в гробниці поблизу Луксора [2]

### **1.2.2. Середньовіччя**

В епоху середньовіччя ставлення до неповноздатними громадян погіршилося, що виражалось у затримці розвитку організаційних форм надання допомоги. Інваліди мали обмежений доступ до технічних засобів для реабілітації. Протези та інші засоби були виготовлені вручну і не завжди були ефективними. Лише запровадження християнства сприяло становленню вищого, ніж раніше, рівня ставлення до інвалідів у вигляді суспільного та часткового піклування. При монастирях стали відкриватися притулки в яких призревані повинні були відпрацьовувати надану допомогу та їжу.

### **1.2.3. Період Просвітництва**

З XVIII століття медична реабілітація у Європі поєднується з елементами психологічної підтримки пацієнтів. Тоді ж іспанські лікарі помітили, що ті хворі, які в процесі свого лікування доглядали інших пацієнтів, одужували швидше, ніж ті, хто був у своєму лікуванні пасивний. Розвиток інноваційних технічних засобів для реабілітації отримав новий імпульс. Протези стали більш складними та функціональними завдяки науковим відкриттям та інженерним досягненням.

#### 1.2.4. XIX-XX століття

У 1917 р. в США з'явилася Асоціація відновлювальної терапії. У 1903 р. Франц Раттер фон Бус вжив вираз "реабілітація" у зв'язку з благодійною діяльністю. Термін "реабілітація" для фізично інвалідних осіб набув поширення в 1918 р. завдяки Інституту Червоного Хреста в Нью-Йорку.

Після Першої та Другої світових війн, було виготовлено і впроваджено багато інноваційних технічних засобів для реабілітації, зокрема більш ефективних протезів (рис. 1.2.2) та реабілітаційних вправ.



Рисунок 1.2.2 — Рука зі сталі та латуні датується 1840-1940 роками. Війна була найпоширенішою причиною ампутації в той час

Офіційно поняття «реабілітація» вперше було застосовано лише у 1946 р. у Вашингтоні під час проведення конгресу з реабілітації. Отже, вже 1946 р. вчені розглядали реабілітацію як медичні відновлювальні заходи, а й як систему реалізації повернення людини у суспільство шляхом професійного навчання, перенавчання, працевлаштування [3].

#### 1.2.5. Сучасність

Вже на початку 60-х років у науковій літературі широко обговорюється мета реабілітації — повернення хворого чи інваліда до праці та шляхи її

досягнення — створення оптимальних умов активної участі інваліда в житті суспільства.

Прагнення до обміну досвідом, координації та кооперації в галузі реабілітації призвело у 1966 р. до утворення Міжнародного постійного комітету експертів з реабілітації.

Починаючи з 50-х років у Радянському Союзі також розвивається концепція інтеграції хворих та інвалідів у суспільство. При цьому упор робиться на їхнє навчання, отримання ними технічних засобів [4].

У 70-х роках велику увагу питанням реабілітації приділяє Організація Об'єднаних Націй. Так, у 1975 р. на Генеральній Асамблеї ООН було прийнято резолюцію, яка закликає держави – члени ООН зміцнювати віру інвалідів у права людини, в основні свободи та принципи світу, гідності та цінності людини, у принципи соціальної справедливості.

На 31-му засіданні Генеральної Асамблеї ООН було ухвалено рішення оголосити 1981 р. «Міжнародним роком інвалідів», а пізніше 80-ті роки «Декадою інвалідів».

На 61-й сесії Генеральної Асамблеї ООН резолюцією №61/106 від 13 грудня 2006 року було прийнято Конвенцію про права інвалідів, основна мета якої полягає в тому, щоб гарантувати неповноздатними громадянам ті ж права та можливості, що й іншій частині людства [5].

Сучасність характеризується швидким технологічним розвитком. Технічні засоби для реабілітації стають все більш інноваційними та персоналізованими завдяки використанню комп'ютерів, роботики, штучного інтелекту та інших технологій. Вони дозволяють інвалідам отримувати більш ефективну допомогу та більше можливостей для самостійності та активності.

Загальна історія використання технічних засобів для реабілітації відображає неперервний розвиток і покращення цих засобів протягом століть,

завдяки якому люди з обмеженими можливостями мають можливість вести більш активний та самостійний спосіб життя.

### **1.3. Актуальність теми**

У сучасному світі на даний момент в країнах світі понад 650 млн. людей, що складають від 10 % до 15 % населення, які є особами з обмеженими можливостями, їхня кількість у світі є значною та продовжує зростати. Зауважимо, що 80 % цих осіб проживають у країнах, які ще розвиваються.

Як бачимо обрана тема є актуальною і важливою в сучасному світі. Потреба у такому засобі може бути у кожної людини, яка має проблеми із нижньою кінцівкою при ходьбі. Але також буде актуальна людям із вадами тому, що спостерігається зростання захворювань, пов'язаних з нижніми кінцівками, таких як цукровий діабет та ішемічна хвороба серця, що можуть викликати ушкодження нижніх кінцівок. Реабілітація стає необхідною для відновлення функціональності кінцівок в таких випадках.

З технологічним розвитком відкриваються нові можливості для автоматизованих реабілітаційних засобів. Це дозволяє створити більш інноваційні та ефективні методи реабілітації для пацієнтів. Крім того, автоматизована реабілітація може принести і соціальні та економічні переваги. Вона допомагає пацієнтам повернутися до активного життя, зменшуючи їхню залежність від медичних та соціальних послуг. Це сприяє покращенню якості життя та зменшенню витрат на медичне обслуговування.

#### **1.3.1. Актуальність для сьогоденної України**

Ця тема набуває неабиякої значущості у наші часи, коли почалось повномасштабне вторгнення російської федерації на територію України.

З перших днів волонтери та спеціальні організації займались екстреним реагуванням, допомагали зробити евакуацію у безпечні місця в тому числі і закордон. За даними спільного дослідження Fight For Right та Київського



міжнародного інституту соціології, кожна десята людина в Україні має інвалідність (10.8 % всього населення) [6].

Під час обстрілів міст та сіл страждають цивільне (мирне) населення, що призводить до смерті або поранень (рис. 1.3). Через серйозність даних травм — українці можуть отримати статус особи з інвалідністю.

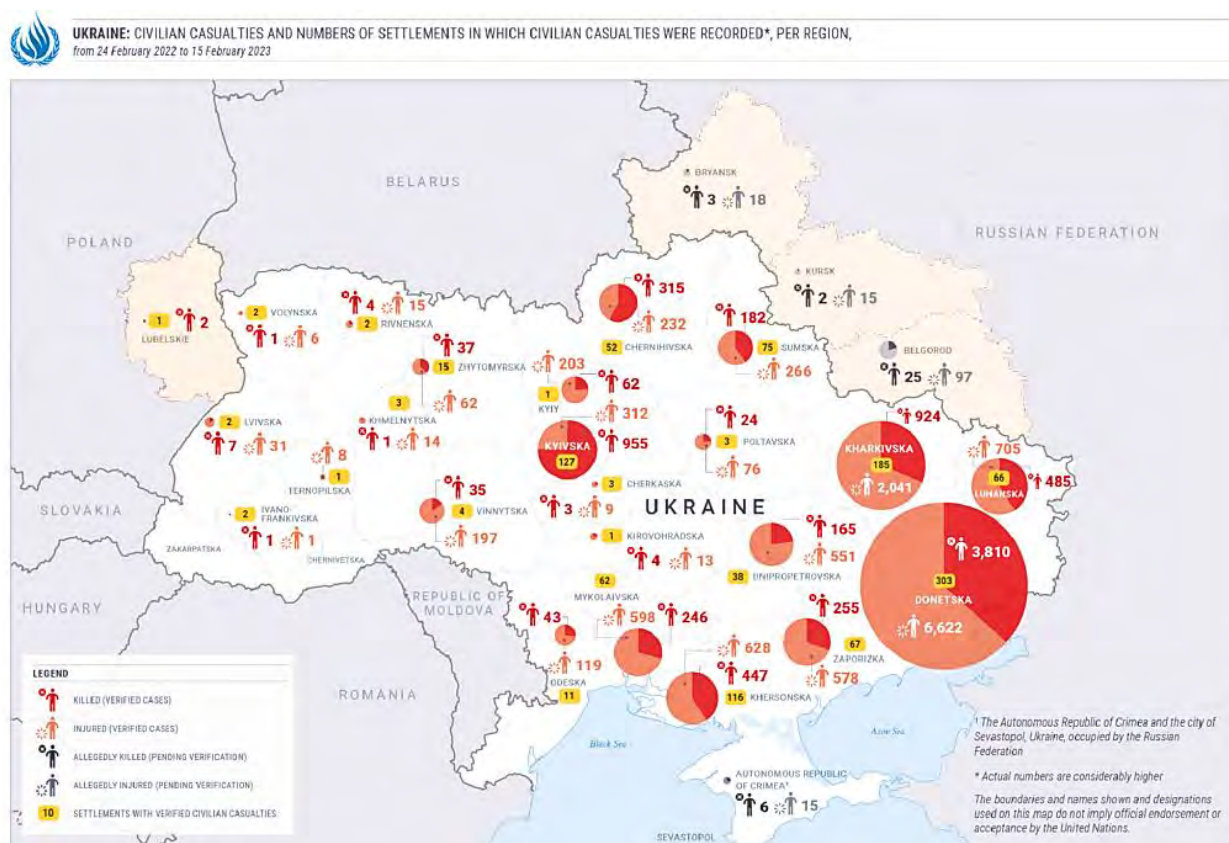


Рисунок 1.3 — Україна: жертви серед цивільного населення та кількість населених пунктів, у яких зафіксовано жертви серед мирного населення, по регіонах [7]

Із моменту повномасштабного вторгнення біля 300 тис. людей оформили інвалідність [8]. З кожним днем відсоток людей, які отримали інвалідність росте.

#### 1.4. Мета досліджень

Метою дослідження є розробка та впровадження передових технологій для поліпшення реабілітаційного процесу пацієнтів з вродженими вадами, ушкодженнями та захворюваннями нижніх кінцівок.



Основними завданнями дослідження є:

1. Аналіз існуючих технічних засобів для реабілітації: Провести об'єктивний аналіз сучасних технічних рішень, які використовуються для реабілітації, зокрема протезів, реабілітаційних пристроїв та допоміжних технічних засобів.

2. Визначення недоліків та викликів: Виявити основні недоліки та обмеження існуючих технічних засобів для реабілітації для нижніх кінцівок.

3. Розробка нового автоматизованого реабілітаційного засобу, який дозволяють ефективно відновлювати правильну функціональність нижньої кінцівки.

4. Розробку програм та алгоритмів для індивідуалізованої адаптації та контролю реабілітаційних процесів в залежності від потреб кожного конкретного пацієнта.

5. Вивчення соціальних, економічних та психологічних аспектів впровадження автоматизованих реабілітаційних засобів у медичну практику.

6. Визначення оптимальних шляхів впровадження цих технологій у систему медичного обслуговування.

Загальна мета досліджень полягає в покращенні якості реабілітації та життя пацієнтів з ушкодженнями нижніх кінцівок та автоматизації цього процесу, а також покращення якості життя людей з вадами нижньої кінцівки.

### **1.5. Поняття технічний засіб та способи реабілітації**

Поняття засобу — спеціальна дія, що дає можливість здійснити щонебудь, досягти чогось; спосіб. Те, що служить знаряддям у якій-небудь дії, справі.

Технічний засіб — це механізми, пристрої і т. ін., необхідні для здійснення чого-небудь, для якоїсь діяльності.

Згідно закону України про реабілітацію інвалідів в Україні Стаття 26 [9]. Засоби реабілітації інвалідів (Стаття 26 набирає чинності з 1 січня 2007 року згідно з пунктом 1 розділу IX цього Закону ) технічними та іншими засобами реабілітації інвалідів є:

- засоби для пересування;
- спеціальні засоби для самообслуговування;
- спеціальні засоби для догляду;
- спеціальні засоби для орієнтування, спілкування та обміну інформацією;
- спеціальні засоби для освіти (включаючи літературу для сліпих) і занять трудовою діяльністю;
- протезні вироби (включаючи протезно-ортопедичні вироби, ортопедичне взуття і спеціальний одяг);
- спеціальне фізкультурно-спортивне обладнання і спорядження, спортивний інвентар.

Перелік технічних та інших засобів реабілітації, якими забезпечуються окремі категорії населення, приведений у відповідність до міжнародних стандартів. З нього виключено застарілі засоби реабілітації, включено нові, а в деяких засобах змінено терміни користування.

## **1.6. Огляд існуючих технічних засобів та інших засобів для реабілітації**

У сучасному світі є різноманітні технічні рішення та засоби, що використовуються в сучасній реабілітації для поліпшення функцій та якості життя осіб з обмеженими можливостями. Розглянемо, які є на даний момент технічні та інші засоби реабілітації в Україні [10].

### 1.6.1. Протезно-ортопедичні вироби, у тому числі ортопедичне взуття

1. Протези верхніх та нижніх кінцівок — це технічні вироби, призначені для відновлення функцій або заміни втрачених частин тіла (рис. 1.6.1). Ці протези грають критичну роль у покращенні життя осіб з ампутаціями, вродженими вадами або іншими фізичними обмеженнями. Ці протези створюються індивідуально під кожного користувача, з урахуванням їхніх фізичних потреб та можливостей. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи карбонові волокна, метал, силікон тощо. Технологічні інновації дозволяють створювати більш ефективні та комфортабельні протези, які підвищують якість життя осіб з ампутаціями.



Рисунок 1.6.1 — Види протезів кінцівок

2. Апарати та тунори для верхніх кінцівок. Допомагають відновити рухи та функціональність кистей, ліктьових суглобів та інших частин верхніх кінцівок. Вони підтримують пацієнтів після травм, операцій або з вродженими вадами, допомагаючи відновити їхню незалежність та комфорт у повсякденному житті. Технічні засоби створені для підтримки руху та функціональності стопи, щиколотки, колінного суглобу та інших частин нижніх кінцівок. Вони

використовуються пацієнтами з ампутаціями, травмами або деформаціями, допомагаючи їм повернутися до активного способу життя

3. Корсети жорсткі та текстильні. Жорсткі корсети створені з міцних матеріалів, таких як металеві або пластикові спиці, і призначені для підтримки та стабілізації хребта. Вони використовуються для лікування спинних захворювань, сколіозу, пошкоджень хребта та інших проблем. Жорсткі корсети надають сильну підтримку та фіксацію.

Текстильні корсети виготовлені з м'яких тканин і призначені для комфортної підтримки спини. Вони можуть використовуватися для лікування менших спинних проблем, розслаблення м'язів, або як профілактичний захист під час фізичної активності. Текстильні корсети зазвичай менш жорсткі, але забезпечують більший комфорт та рухливість.

4. Бандажні вироби — це спеціальні технічні вироби, що використовуються для підтримки, фіксації або компресії певних частин тіла з медичною метою. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як текстиль, латекс, еластичні стрічки або спеціальні тканини з легкою фіксацією.



Рисунок 1.6.2 — Бандаж вальгусний посилений ребром жорсткості нічний

Бандажні вироби розробляються з урахуванням конкретних потреб пацієнта та вимог медичного втручання. Вони грають важливу роль у підтримці

функціональності тіла під час лікування та реабілітації, а також для запобігання подальших ушкоджень чи виникнення болю.

5. Ортопедичне взуття та устілки є важливими компонентами для підтримки та корекції стопи та стопового апарату. Вони спрямовані на полегшення дискомфорту, зменшення болю та підтримку правильної анатомії стопи та гомілкового суглобу. Ключові переваги: корекція деформації, підтримка анатомічної правильності, амортизація, зменшення болю, профілактика та попередження ушкоджень.



Рисунок 1.6.3 — Устілки для взуття ортопедичні

Ортопедичне взуття та устілки розробляються індивідуально для потреб кожного пацієнта з урахуванням особистих характеристик стопи та медичних показань. Вони грають важливу роль у забезпеченні комфорту та підтримки для стопи та можуть бути важливою частиною процесу реабілітації та забезпечення здоров'я стопового апарату.

6. Протези молочної залози та ліфи для їх кріплення є важливими для жінок, які пройшли мастектомію, допомагаючи відновити симетрію грудей та психологічний комфорт, дозволяючи жінкам повернутися до нормального способу життя. Крім того, компресійні рукави використовуються для лікування лімфодему, стану, що може виникнути після операції на грудях, зменшуючи

набряки та покращуючи рухливість руки, що є важливим для жінок після мастектомії. Ці спеціалізовані засоби підтримують фізичне та емоційне відновлення та сприяють збереженню комфорту та здоров'я пацієнток після медичних втручань.



Рисунок 1.6.4 — Компресійний рукав

### 1.6.2. Засоби пересування

Засоби для пересування є вкрай важливими для людей з обмеженими можливостями та для тих, хто потребує підтримки у здійсненні руху. Ці засоби варіюються за типом та призначенням, але всі вони спрямовані на полегшення пересування та покращення якості життя.

1. Крісла колісні, відомі також як інвалідні візки, призначені для людей з обмеженими можливостями руху, які не можуть ходити або ходять обмежено. Ці візки мають колеса, зазвичай чотири, для зручного переміщення, і вони існують в різних типах, включаючи ручні, електронні та спеціалізовані моделі для конкретних потреб.

2. Палиці — це засоби для підтримки при ходьбі. Вони надають стабільність та допомагають зберегти рівновагу, що робить їх ідеальними для тих, хто має проблеми зі спиною, суглобами або м'язами. Палиці існують в різних стилях, включаючи одну палицю, дві палиці та тростину.

3. Милиці — це засоби для підтримки ходи, що розроблені для людей зі зміненим ходом або зі слабкими м'язами нижніх кінцівок. Вони допомагають зберегти рівновагу та забезпечують підтримку при кроці. Милиці мають ручки для зручного ухвалення та регульовані висоти.

4. Ходунці — це засоби для пересування, які надають підтримку при ходьбі. Вони часто використовуються для реабілітації та відновлення функцій після травм або операцій. Ходунці мають чотири ніжки для стабільності та можуть бути обладнані колесами для зручності переміщення.

Ці засоби для пересування існують у різних варіаціях та модифікаціях, щоб відповідати потребам різних користувачів. Вони сприяють незалежності та допомагають людям з обмеженими можливостями вести активний та комфортний спосіб життя.

### **1.6.3. Спеціальні засоби для самообслуговування та особистого догляду**

Спеціальні засоби для самообслуговування та особистого догляду грають ключову роль у забезпеченні самостійності та незалежності людей, які мають обмеження у фізичних можливостях або зазнали тимчасових труднощів у виконанні щоденних рутинних завдань. Ці засоби спрямовані на покращення безпеки та забезпечення комфорту під час особистого догляду. Вони включають в себе такі засоби:

1. Наколінники і налокітники надають підтримку та захист суглобам під час виконання завдань, які вимагають стоячого або колінного положення. Ці пристрої особливо корисні для тих, хто має проблеми з суглобами чи зобов'язаний тривалий час перебувати на колінах або ліктях.

2. Пристосування для підтримання кінцівок та тулуба: Ці пристрої включають в себе паси, тугі обручі або жилети, які надають підтримку та допомагають зберегти правильне положення кінцівок чи тулуба під час виконання певних завдань, таких як піднімання чи пересування.

3. Засоби для одягання — це засоби, які включають в себе довгі ложки для взуття чи рукавички зі спеціальними захоплювачами, які допомагають людям самостійно одягатися та розголошувати. Вони особливо корисні для тих, хто має обмеження в руховій активності.

4. Захоплювачі — це пристрої для захоплення різних предметів, таких як столові прилади, замки, ключі та інше. Вони дозволяють людям з обмеженою силою рук впоратися з рутинними завданнями у побуті.

5. Сидіння для ванни надають можливість людям безпечно сісти та встати від ванни під час гігієнічних процедур. Вони зазвичай мають антискользящу поверхню та регульовану висоту.

6. Туалетні стільці надають підтримку під час відвідування туалету та допомагають забезпечити безпеку та комфорт. Вони можуть бути оснащені поручнями та можуть бути регульованими.

Дані спеціальні засоби для самообслуговування та особистого догляду розроблені з урахуванням потреб користувачів та спрямовані на полегшення виконання щоденних завдань. Вони дозволяють людям з різними обмеженнями зберігати незалежність та вести активний спосіб життя.

#### **1.6.4. Допоміжні засоби для особистої рухомості, переміщення та підйому**

Допоміжні засоби для особистої рухомості, переміщення та підйому відіграють важливу роль у полегшенні життя людей з обмеженими фізичними можливостями. Ці засоби включають в себе ходунки, ролатори, мануальні та електричні інвалідні візки, сходи та пандуси для подолання перешкод, ліфти для підйому на вищий рівень, піднімальні механізми та лебідки для підйому на піднятих поверхнях, а також сидіння-підйомники для полегшення вставання з крісла чи ліжка. Ці засоби спрямовані на підтримку незалежності та мобільності користувачів, допомагаючи забезпечити безпеку та комфорт у виконанні щоденних завдань та забезпеченні доступності різних місць та будівель.





Рисунок 1.6.5 — Підйомник пересувний ПГР-150ЕМ

### **1.6.5. Спеціальні засоби для освіти**

Спеціальні засоби для освіти для інвалідів включають в себе різноманітні педагогічні та технічні інструменти, що сприяють навчанню та розвитку осіб з обмеженими фізичними чи розумовими можливостями. Ці засоби включають в себе адаптовані навчальні матеріали, комп'ютерні програми для спеціальних потреб, спеціалізовані пристрої для звуко- та розумового вивчення, а також технологічні рішення, які роблять освіту доступною та ефективною для різних груп інвалідів. Ці засоби допомагають зменшити бар'єри в навчанні та розвитку і надають інвалідам можливість отримувати якісну освіту та розвивати свій потенціал на рівні з іншими учнями.

### **1.6.6. Спеціальні засоби для орієнтування, спілкування та обміну інформацією**

Спеціальні засоби для орієнтування, спілкування та обміну інформацією грають важливу роль у полегшенні життя та незалежності людей із різними обмеженнями, особливо тих, у кого є проблеми зі зором та слухом. Ці засоби включають в себе:

1. Для осіб із порушенням рухової функції, спеціальні засоби для письма, такі як адаптивні ручки, пензлі та планшети, можуть бути великою допомогою. Деякі з них оснащені спеціальними датчиками або голками для кращого контролю та точності письма.

2. Диктофони дозволяють записувати звукові повідомлення та нотатки, що спрощує комунікацію та збереження інформації.

3. Смартфони та мобільні телефони оснащені різноманітними функціями, які полегшують спілкування для осіб із порушеннями слуху або зору. Вони включають в себе текстову та мовну комунікацію, додатки для читання тексту та диктовані опції.

4. Магнітофони та аудіопрогравачі дозволяють записувати та прослуховувати аудіозаписи, що може бути корисним для збереження важливої інформації та навчання.

5. Спеціалізовані годинники оснащені вібрацією та аудіосигналами, які допомагають інформувати осіб із порушеннями зору та слуху про час, події та сповіщення.

#### **1.6.7. Спеціальні меблі та оснащення**

Спеціальні меблі та оснащення грають важливу роль у створенні доступного та функціонального оточення для осіб із різними обмеженими фізичними можливостями. Адаптивні меблі включають в себе різноманітні елементи, призначені для полегшення щоденних завдань та забезпечення комфорту користувачів. Серед них адаптивні столи та стільці, які можуть бути регульовані за висотою та нахилом, сприяючи зручному використанню і надаючи підтримку особам із обмеженими руховими здатностями. Адаптивні ліжка та матраци мають спеціальні механізми, що дозволяють регулювати положення та комфорт під час сну, що важливо для осіб з обмеженими рухами.

Додатково, спеціальне обладнання включає піднімальні механізми, які полегшують підйом та переміщення осіб з обмеженою руховою активністю, а також адаптивні туалети, ванни та кухонне обладнання для полегшення використання. Ці засоби спрямовані на забезпечення незалежності та комфорту користувачів і роблять їхнє повсякденне життя більш доступним та зручним.

#### **1.6.8. Спеціальне фізкультурно-спортивне обладнання і спорядження, спортивний інвентар**

Спеціальне фізкультурно-спортивне обладнання та спорядження відіграють ключову роль у реабілітації та підтримці фізичної активності для людей із обмеженими фізичними можливостями. Це включає в себе адаптивні спортивні інвентарі та тренажери, які дозволяють користувачам поліпшити м'язову силу, рухову координацію та загальну фізичну форму. Таке обладнання сприяє покращенню фізичного здоров'я, психологічного самопочуття та підтримує активний спосіб життя.



Рисунок 1.6.6 — Багатофункціональний комплекс для реабілітації TRAC 60E

Спортивні інвентарі для осіб із обмеженими фізичними можливостями включають в себе адаптивні крісла для відкату, адаптивні ролики та санки, які дозволяють учасникам з руховими обмеженнями брати участь у різних видів спорту. Це спорядження допомагає підтримувати фізичну активність та підтримує інклюзивність у спортивному середовищі.

### **1.7. Розгляд технічних засобів у профілактиці та лікуванні плоскостопості**

Стопа є фундаментом для тіла людини і виконує важливі функції, такі як ресорну (поглинання ударів), балансування (підтримання стійкості) і проштовхування (рухання вперед). Порушення цього фундаменту може негативно впливати на формування організму підростаючої людини і призводити до порушень у виконанні цих основних функцій.

Структура та стан стопи грають важливу роль у підтриманні нормального фізичного здоров'я. Склепіння стопи має важливе значення, оскільки воно створює передумови для рівномірного розподілу навантаження на стопу. Порушення структури склепінь може викликати нерівномірне навантаження і призвести до проблем з багатьма суглобами стопи.

Для формування нормальних склепінь стопи важливі не лише правильне розташування її складових частин, але і нормальний стан зв'язкового апарату і узгоджену роботу м'язів стопи та гомілки. Всі ці аспекти взаємопов'язані і визначають структуру та функцію стопи в цілому. Тому догляд за стопами та їх правильний розвиток є важливою складовою загального здоров'я та фізичної активності.

Плоскостопість — це відхилення від нормальної анатомічної структури стопи, яке характеризується сплюсненням склепіння. Існують дві основні форми плоскостопості: повздовжня і поперечна. У нормальній стопі повздовжнє склепіння подібне до ніші і простягається від основи великого пальця до початку п'яти та від внутрішнього краю підошви до її середини. Поперечне склепіння утворює дугу, опираючись на голівки плюсневих кісток та перший і п'ятий

пальці. Збереження правильного склепіння стопи великою мірою залежить від дії м'язів, які забезпечують її підтримку. До таких м'язів відносяться м'язи-супінатори (передній і задній гомілкові м'язи) та м'язи-згиначі, зокрема довгий згинач великого пальця.

Зниження повздожнього склепіння стопи призводить до розвитку повздоженої плоскостопості, в той час як зниження поперечного склепіння призводить до поперечної плоскостопості. Іноді ці дві форми плоскостопості можуть поєднуватися. Повздожня плоскостопість часто супроводжується відведенням переднього відділу стопи, підняттям її зовнішнього краю та пронацією п'ятки, що відомо як вальгус стопи (плосковальгусна стопа). У цих випадках внутрішня кісточка стопи видно висувається, а зовнішня вгинається (рис. 1.7.1).

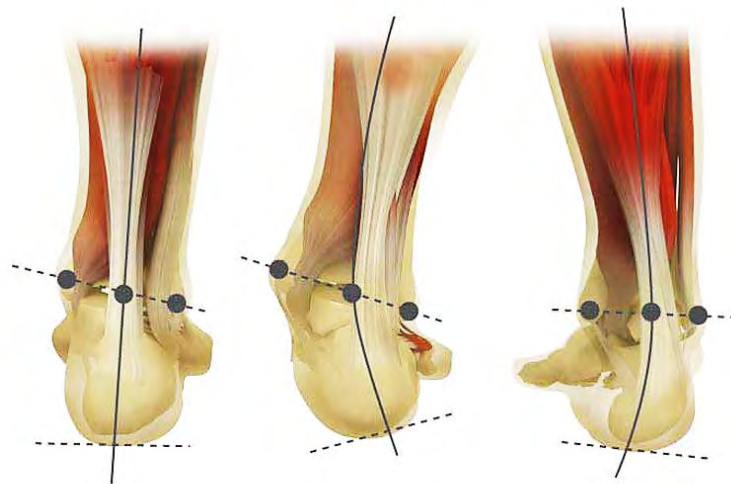


Рисунок 1.7.1 — Установка п'ят: а) нормальна, б) вальгусна, в) варусна

Плоскостопість може бути вродженою або набутою. Набута плоскостопість, залежно від її причин, поділяється на різні види: рахітичну, паралітичну, травматичну і статичну плоскостопість — є найбільш поширеним видом плоскостопості. Статична плоскостопість зазвичай виникає через слабкість м'язів і зв'язкового апарату, які підтримують склепіння стопи. Це може бути спричинено неправильним розвитком або навантаженням стопи, а також

іншими факторами. Один з способів діагностики плоскостопості полягає в візуальному огляді та використанні плантограм, які дозволяють визначити ступінь сплюснення склепіння стопи. Ці відбитки стопи можуть допомогти встановити діагноз і визначити лікувальні заходи для лікування плоскостопості.

Корекція деформації стопи та попередження плоскостопості з використанням спеціальних технічних тренажерних пристроїв, які комбінують фізичні вправи, масаж підшви стопи та вібростимулювання, може бути ефективним підходом до поліпшення структури та функції стопи. Такий комплексний підхід допомагає зміцнити м'язи, покращити рухомість суглобів та підтримати склепіння стопи, сприяючи її здоров'ю.

Перший пристрій «валик з масажними елементами» (рис. 1.7.2). Запропонований пристрій дозволяє при виконанні стопами фізичних вправ:

а) котінням валика вперед-назад викликати резонансні струси підшвенної поверхні стопи, чим забезпечується відразу 2 види масажу – механічний і вібромасаж.

б) котіння дозволяє значно зміцнити зв'язки, які натягують зводи стопи, збільшити кількість структурних одиниць у м'язових волокнах і підвищити їх функціональний стан, витривалість і силу, поліпшити трофіку тканин і їх еластичність.

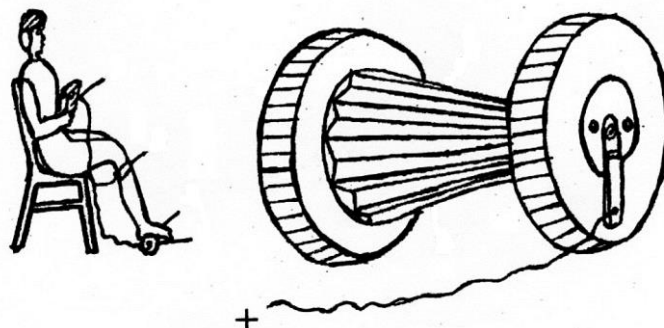


Рисунок 1.7.2 — Пристрій «валик з масажними елементами»

Другий пристрій вібромасажна «бігова доріжка» слугує для зміцнення функціонального стану стопи, гомілки і стегна.

Ця конструкція пристрою вирішує важливі технічні завдання, такі як можливість використання вібрації та масажу для стимуляції ніг та оптимального впливу на центральну нервову систему та залози внутрішньої секреції. Суть пропонованого пристрою полягає у зміні впливу вібромасажного полотна на стопи в залежності від напрямку ходи — підняття або спуску пацієнта, з можливістю зміни кута та нахилу полотна завдяки шарнірному встановленню, що дозволяє обертати валик-сходинку. Кожен валик має масажне покриття з горбинками, що дозволяє одночасно масажувати стопи ніг. Частоту вібрації можна регулювати, регулюючи швидкість руху «сходинки». Ця конструкція пристрою може бути корисною для поліпшення стану ніг та стимуляції організму в цілому.

## **1.8. Розгляд плівкових тензометричних датчиків для автоматизації засобу**

### **1.8.1. Загальна характеристика тензометричних перетворювачів (ТП)**

Тензометричні перетворювачі ґрунтуються на використанні зміни електричного опору провідних матеріалів (металів і напівпровідників) при розтягу та стиску їх у межах пружних деформацій [11].

Переваги ТП включають в себе:

- малу масу та компактні габарити;
- здатність вимірювати як сталі, так і змінні деформації;
- можливість розміщення їх у важкодоступних місцях;
- простоту конструкції та невисоку вартість виготовлення.

Основні недоліки ТП включають в себе:

- поперечну тензочутливість для дротяних ТП, яка становить 0,25–1% (при цьому у фольгових і ненаклеюваних ТП ця проблема практично відсутня);
- обмежену потужність вихідного сигналу ТП.

Клас точності вимірювальних пристроїв з використанням тензоперетворювачів зазвичай знаходиться в межах 0,2–1,5%.

Серед різновидів ТП, які найчастіше використовуються в промисловості, можна виділити провідникові (до яких відносяться дротяні та фольгові), напівпровідникові та плівкові.

### 1.8.2. Плівкові тензометричні перетворювачі

Плівкові ТП мають досить широке застосування. Метод виготовлення плівкових ТП: тензочутливий матеріал наноситься на плівку вакуумною возгонкою і подальшою конденсацією на плівці. Для виготовлення плівкових ТП застосовують як металеві (наприклад, титаноалюмінієвий сплав), так і напівпровідникові (германій, кремній) матеріали.

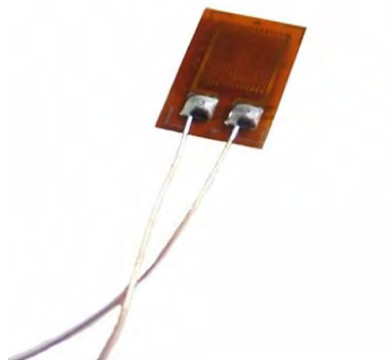


Рисунок 1.8 — Плівковий тензометричний перетворювач

Переваги плівкових ТП включають:

- відсутність поперечної тензочутливості, що робить їх надзвичайно точними;
- зменшену масу та компактні габарити у порівнянні з дротяними ТП;
- кращі умови охолодження, що дозволяє проводити більші струми через плівкові ТП;
- здатність вимірювати швидкозмінні деформації завдяки їх безінерційності;



- покращену якість приклеювання до випробуваних деталей, порівняно з дротяними ТП;

- можливість розміщення у важкодоступних місцях;
- використання передової технології виготовлення;
- простоту конструкції та доступну вартість виробництва.

Недоліки плівкових ТП включають:

- обмежене застосування через низьку потужність вихідного сигналу;
- порівняно низький опір, який не перевищує 50 Ом.

Отже, плівкові тензометричні перетворювачі — це важливі пристрої для вимірювання деформацій та напружень, які відзначаються високою точністю, компактністю, здатністю вимірювати різні типи деформацій, кращими умовами охолодження, простою конструкцією і доступністю, що робить їх ідеальними для застосування у розробці автоматизованого реабілітаційного засобу.

## **1.9. Наукова та практична важливість**

Наукова важливість розробки та впровадження автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки полягає в тому, що ця технологія відкриває нові можливості для вивчення та розуміння процесів відновлення та реабілітації пацієнтів з різними порушеннями руху та функцій нижньої кінцівки. Дослідження та розробка автоматизованих реабілітаційних систем дозволяють вивчати вплив різних параметрів та режимів лікування на ефективність реабілітації та відновлення хворих. Це важливо для подальшого вдосконалення методів та стратегій лікування, сприяє науковим дослідженням у галузі фізіотерапії, реабілітаційної медицини та біомеханіки.

Практична важливість цієї теми проявляється в покращенні якості життя пацієнтів у яких є проблеми з нижніми кінцівками. Автоматизовані реабілітаційні засоби допомагають пацієнтам відновити функціональність нижньої кінцівки, зменшують тривалість реабілітації та покращують їхню якість

життя. Це особливо важливо для пацієнтів, які перенесли травми, операції або страждають від хронічних захворювань нижньої кінцівки. Крім того, автоматизовані системи можуть бути корисними для лікарів і фахівців з реабілітації, допомагаючи їм ефективніше контролювати та адаптувати реабілітаційні програми для кожного пацієнта.

Узагальнюючи, розробка та використання автоматизованих реабілітаційних засобів для нижньої кінцівки має велике значення як для науки, так і для практики, сприяючи вдосконаленню методів лікування та поліпшенню якості життя пацієнтів.

### **1.10. Перспективи дослідження**

Перспективи досліджень у галузі автоматизованих реабілітаційних засобів для нижньої кінцівки обіцяють значний розвиток та вдосконалення. Однією з головних перспектив є подальше вдосконалення технологій та конструкцій цих засобів. Завдяки швидкому розвитку робототехніки, штучного інтелекту та біомедичної інженерії, можливості створення більш продуктивних та інтелектуальних реабілітаційних систем значно зростають. Це означає, що майбутні автоматизовані засоби зможуть більш точно адаптуватися до потреб кожного пацієнта, надавати індивідуалізовану реабілітацію та вести статистику щодо прогресу в реабілітації.

Крім того, перспективи дослідження включають розвиток телемедицини та дистанційного моніторингу. Це дозволить лікарям та фахівцям в реабілітації віддалено контролювати процес реабілітації та надавати поради пацієнтам в режимі реального часу. Такий підхід особливо корисний для пацієнтів, які не мають можливості постійно відвідувати лікаря або фахівця у центрі реабілітації.

Усі ці перспективи дослідження підкреслюють важливість інновацій та подальшого розвитку автоматизованих реабілітаційних засобів для нижньої кінцівки, зокрема в контексті покращення реабілітації та забезпечення якості життя пацієнтів.

## ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

У цьому розділі роботи було розглянуто широкий спектр аспектів, пов'язаних із технічними засобами для реабілітації та їх історичним розвитком. Історичний контекст розвитку технічних засобів для реабілітації показав, що ідеї та засоби для поліпшення якості життя осіб із обмеженими можливостями існують протягом багатьох століть. Від давніх часів до сучасності спостерігається поступовий розвиток та зміна у поглядах на реабілітацію.

Актуальність теми була обґрунтована актуальністю вивчення технічних засобів для реабілітації в сучасному контексті, зокрема для сьогоденної України. Зазначено важливість розвитку цієї галузі в контексті підтримки осіб із обмеженими можливостями після війни та поліпшення їхнього якості життя.

Мета досліджень, визначена у цьому розділі, полягає в розробці та впровадженні передових технологій для поліпшення реабілітаційного процесу пацієнтів з вродженими вадами, ушкодженнями та захворюваннями нижніх кінцівок.

Розширено зробила огляд на всі існуючі технічні засоби для реабілітації. Ця частина роботи відіграє ключову роль у створенні фундаменту для подальших досліджень і розвитку реабілітаційних технологій.

Розглянула тензометричні датчики, які дозволяють точно вимірювати деформації та напруження в нижній кінцівці пацієнта. Плівкові тензометричні перетворювачі мають переваги, такі як відсутність поперечної тензочутливості та низька маса, але їхнім обмеженням є обмежена потужність вихідного сигналу.

Наукова та практична важливість цього розділу полягає в обґрунтуванні важливості розвитку автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки, що впливають на покращення якості життя хворих. Перспективи дослідження вказують на необхідність подальшої розробки і вдосконалення технічних засобів для реабілітації.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Розділ присвячено розробці автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки його конструкції, вибору елементної бази та проведення необхідних розрахунків.

Мета роботи — розробити унікальний індивідуальний автоматизований технічний засіб, спрямований на реабілітацію пацієнтів з неправильною поставою нижніх кінцівок.

### 2.1. Патентний пошук

Патент — це документ, який видається компетентними державними органами та підтверджує виключне право власника на створений ним об'єкт промислової власності, такий як винахід, корисна модель чи промисловий зразок. Цей документ має як юридичне, так і технічне значення. Він закріплює власнику патенту конкретні права, визначені законом. У той же час, патент містить технічний опис самого об'єкта. Патент свідчить про кілька аспектів, включаючи:

- визнання пропозиції як об'єкта, який може бути охороноспроможним;
- встановлення права на авторство даного об'єкта;
- підтвердження права власності на цей об'єкт;
- визнання пріоритету щодо цього об'єкта.

Патентний пошук представляє собою офіційну процедуру вибору відповідних документів або інформації з патентної документації шляхом застосування різних критеріїв пошуку. Ця процедура включає в себе відбір документів, що відповідають одній або декільком ознакам (критеріям пошуку). Патентний пошук використовується, зокрема, під час проведення патентних досліджень з метою визначення патентної ситуації щодо об'єкта, що

розробляється. Це допомагає визначити доцільність та можливість отримання або надання правової охорони, а також оцінити ситуацію щодо використання прав на об'єкти промислової власності в відповідній галузі. Основні види патентного пошуку включають тематичний, іменний (фірмовий) і нумераційний.

Мета патентного пошуку — встановлення рівня техніки; визначення обсягу прав власника охоронного документа; визначення умов реалізації прав власників охоронних документів.

### **2.1.1. Опис предмету, області та глибини пошуку**

Предметом патентного пошуку є автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки.

У ході патентного пошуку знайшла найбільш придатний індекс міжнародної патентної класифікації (МПК) — А61В 5/103. Він містить інформацію про патенти, що входять до життєвих потреб людині у сфері медицини у діагностиці, а саме вимірювальні пристрої для досліджування форми, структури, розміру або руху тіла або його частин, для діагностичних цілей.

У результаті патентного пошуку у спеціальній інформаційній системі Українського національного офісу інтелектуальної власності та інновацій (УКРНОІВІ) було виявлено:

1. Патент № 34360 «ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ОДНАКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СТОП ЛЮДИНИ ПРИ РІЗНІЙ ДОВЖИНІ НИЖНІХ КІНЦІВОК».

Опис: Пристрій для визначення умов однакового навантаження стоп людини при різній довжині нижніх кінцівок, який складається з опорної площадки, встановленої на опорах-датчиках, підсилювачів, аналого-цифрових перетворювачів та системи обробки інформації та індикації, опори-датчики з'єднані з підсилювачами, підключеними до входів аналого-цифрових

перетворювачів, відрізняється тим, що в пристрій введений блок комутації, а опорна площадка складається з чотирьох симетрично розташованих прямокутних вимірювальних частин, розміщених відповідно під передніми та задніми відділами стоп, виходи аналого-цифрових перетворювачів з'єднані з входами блока комутації, виходи якого підключені до системи обробки інформації та індикації, крім того, в пристрій додатково введені права та ліва основи, вісім кронштейнів, чотири втулки-стакана, опорна платформа та чотири фіксуючих штиря, причому опоридатчики правої та лівої пари вимірювальних частин спираються, відповідно, на праву та ліву основу, на нижніх поверхнях яких під кожною вимірювальною частиною розташовані праворуч та ліворуч від поздовжніх осей основ по одному направленому вниз кронштейну, який має на нижньому кінці боковий виступ, виступи пари кронштейнів, які знаходяться під вимірювальною частиною, входять у протилежно розташовані пази двозаходної різьби, нарізаної на внутрішній циліндричній поверхні втулки-стакана, встановленої під вимірювальною частиною на опорній платформі пристрою на осі, яка проходить через дно втулки-стакану, на опорній платформі під кожною основою між втулками-стаканами розташовані по два направлених вгору фіксуючих штиря, які проходять із зазором крізь отвори в основах та утримують основи від горизонтальних зміщень [12].

## 2. Патент № 102998 «ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПЛАНТАРНІЙ ПОВЕРХНІ СТОПИ ЛЮДИНИ».

Опис: Винахід належить до медичної техніки, а саме до ортопедії та травматології, і може бути використаний для оцінки навантаження на різні ділянки плантарної поверхні стопи. Пристрій включає платформу з фіксованими до неї датчиками тиску з пластинами зі сторони стопи, при цьому одна з пластин розміщена під п'ятою, а інші - паралельно поздовжній осі стопи, та електронно-комп'ютерний блок. Використання запропонованого пристрою дозволяє розташовувати платформи на різній відстані, висоті, та під різним кутом одна

відносно другої залежно від потреб для кожного пацієнта та отримувати числові показники величин тиску на окремі ділянки стоп, простий у використанні [13].

### 3. Патент № 71296 «ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЛАНТОГРАФІЇ».

Опис: Винахід відноситься до медичної техніки, точніше до ортопедії, та може бути використаний при обстеженні плантарної поверхні стоп. Пристрої для обстеження плантарної (підшовної) поверхні стоп відіграють значну роль при конструюванні ортопедичних устілок, ортопедичного та спортивного взуття або при діагностиці стоп з різними захворюваннями, зокрема, з синдромом "діабетична стопа". Відомий пристрій для плантографії, який включає площадку покриту 5-6 шарами марлі, що змочені розчином бриліантової зелені або іншим барвником та карту-анкету. Пацієнт стає спочатку на просочену барвником марлю, після чого на карту-анкету.

Олівцем, встановленим перпендикулярно до площини опори, на карті-анкеті обводять контури стопи. Після цього пацієнт сходить з карти-анкети, на якій залишається відбиток підшовної частини стопи та її контур, по яких проводиться аналіз параметрів стопи та зон її навантаження [14].

#### **2.1.2. Результат патентного пошуку**

Під час патентного пошуку було виявлено, що в Україні є 3 запатентованих винаходів інтелектуальної власності. Перевагами цих винаходів є те що вони мають опори-датчики з'єднанні підсилювачем, аналого-цифрових перетворювачі та системи обробки інформації та індикації, дозволяє оперативно отримувати інформацію про співвідношення навантаження. Недоліки у тому що у них не передбачено визначення навантаження на передні та задні відділи стоп та він не дозволяє змінювати висоту та кут нахилу опорної площадки під скороченою кінцівкою, неможливо одночасно отримувати відбитки з обох кінцівок, крім того, пристрої складний у обслуговуванні, у пристрої для плантографії барвник наноситься нерівномірно, тому одержані відбитки неякісні і по них складно проводити аналіз зон навантаження стоп. Крім того пристрій

негігієнічний тому, що після зняття відбитку необхідно змивати барвник з підошовної частини стопи.

Проаналізувавши всі слабкі і сильні сторони винаходів, ще раз впевнилась у актуальності розробки автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки, який зміг би виконувати задачу виявлення неправильної постави нижньої кінцівки та реабілітації цієї проблеми.

## **2.2. Розробка принципової схеми засобу**

У меті роботи для проєктування зазначено, що засіб повинен, за допомогою обробки даних, давати можливість користувачеві самостійно коригувати положення ноги у взутті. В даному випадку потрібна візуалізація правильного положення ноги. Таким показовим екраном є смартфон, який зараз має практично кожна людина. На смартфон будуть передаватись дані від засобу і це можна зробити через WI-FI або Bluetooth.

На меті створення засобу було принципово, щоб вся електронна схема засобу має бути мінімальної товщини, щоб не створювати дискомфорт у користувача. Тому вважаю за потрібним ввести обмеження товщині засобу величиною 2.0-2.5 мм, щоб не викликати незручності в людини.

При пошуку врахувала, що вбудована мікросхема повинна обробляти сигнали від тензодатчиків, мати вбудовану систему зв'язку, необхідну кількість входів АЦП, систему заряджання акумулятора, систему стабілізації напруги живлення, систему контролю напруги живлення, контроль температури для коригування показань датчиків. Дизайн обробної мікросхеми теж потрібен мінімальної товщини та мінімального розміру. Елементи схеми, датчики та акумулятор повинні бути мінімальної товщини.

Таким чином, було прийнято, що батарея для засобу повинна мати мінімальну товщину. Під цю вимогу підходять вироби під назвою flexible battery. Перше комерційне виробництво таких батарей з'явилося у 2016 році. З того часу подібним виробництвом займаються багато відомих виробників, таких як LG



Chem, Samsung SDI, Apple, Nokia, Front Edge Technology, STMicroelectronics, Blue Spark Technologies, Fullriver Battery New Technology тощо. З кожним роком загальносвітове виробництво таких батарей стрімко зростає.

Розглянемо декілька варіантів батарей:

- Батарея у вигляді кабелю від фірми LG Chem зображена на рисунку 2.2.1. Їх ще називають cable battery. На жаль, така форма батареї в нашому випадку не влаштовує, а саме розміром товщини, він більше ніж 2 мм.

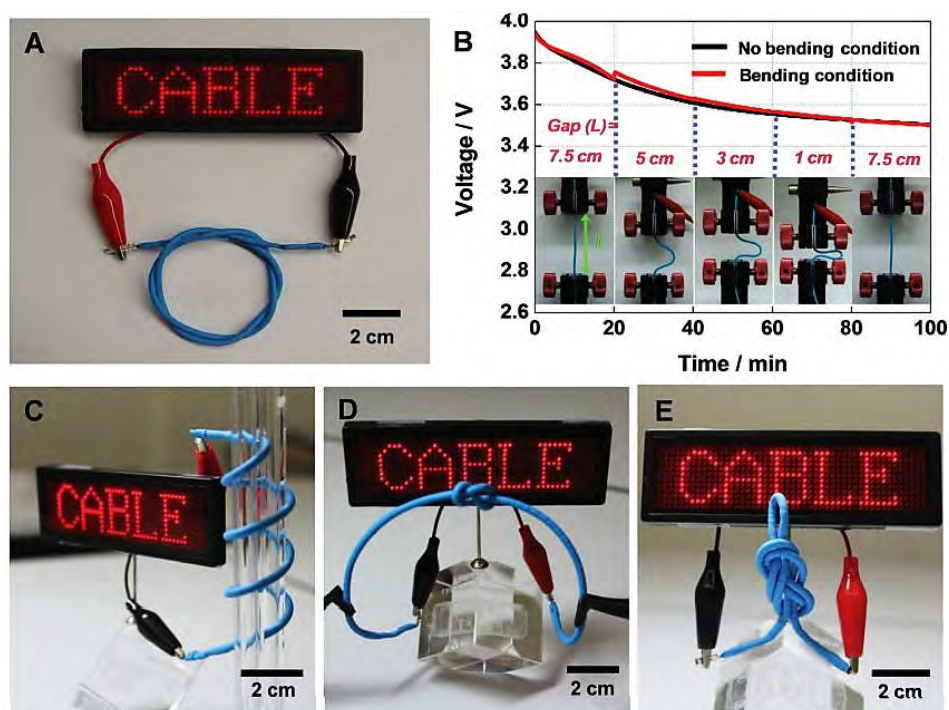


Рисунок 2.2.1 — Батарея LG Chem

- Батарея від фірми Apple (рис. 2.2.2), що зосередилась на створенні гнучких дисплеїв з інтегрованим акумулятором. Такий варіант теж не підходить.

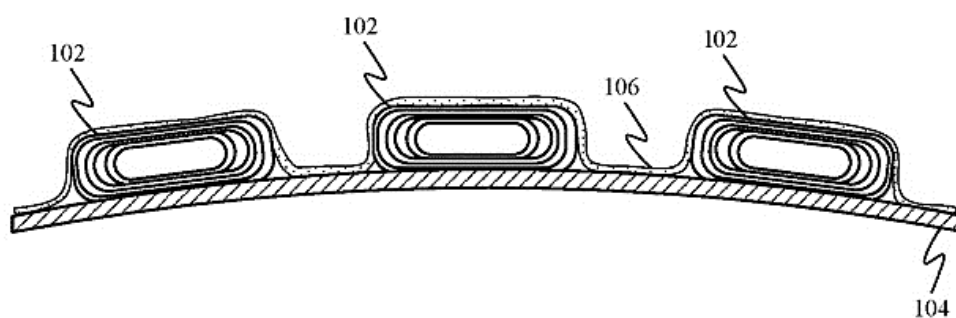


Рисунок 2.2.2 — Гнучний дисплей з інтегрованим акумулятором Apple

- Продукт від фірми Grepow, а саме модель GRP2410020 зображений на рисунку 2.2.3. Він має ємність 30 мА/год, габарити 10x20x2.4 мм, що робить його найтоншим поки з представлених моделей і становить 2.4 мм, але все одно для проекту він затовстий.



Рисунок 2.2.3 — Батарея Grepow GRP2410020

- Акумулятор корейської фірми Jenax (рис. 2.2.4), а саме модель J.Flex має ємність 30 мА/год, розміри 27x48x1.2 мм. Батарея має задовільні розміри та товщину.



Рисунок 2.2.4 — Батарея Jenax J.Flex

- Гнучка батарея від Panasonic зображена на рисунку 2.2.5. Акумулятор має габаритні розміри 28x39x0.55 мм. Батарея має задовільні розміри та товщину.



Рисунок 2.2.5 — Батареї Panasonic

Після детального пошуку під всі параметри, які були потрібні для засобу визначився лідер із товщиною всього в 0.55 мм. Це акумулятор Panasonic CG-062939 або CG-063555. Перша модель має ємність 17.5 мА/год, друга має 40 мА/год.

Тензодатчики також повинні мати мінімальну товщину, тому ідеально підходить саме плівкові тензодатчики. Зараз багато фірм виробляють так звані плівкові тензорезистори, які якраз підходять для схеми.

Розглянемо декілька варіантів плівкових тензодатчиків:

- Модель FSR402 представлена на рисунку 2.2.6. Діаметр датчика 18мм, гарантована робота при навантаженні не більше 10кг. Ця стрічка моделей має різні варіанти виконання, аж до 50кг включно. Під даний проєкт не підходить, так як людина може важити більше максимальної тут ваги.



Рисунок 2.2.6 — Плівковий тензодатчик FSR402

- Датчик S14-G з діаметром 3 мм зображений на рисунку 2.2.7. Гарантована робота даного датчика при навантаженні не більше 200 г. Також не підходить.



Рисунок 2.2.7 — Плівковий тензодатчик S14-G

- Датчик DF9-40 має діаметр 12мм (рис. 2.2.8), гарантована робота при навантаженні не більше 20кг.



Рисунок 2.2.8 — Плівковий тензодатчик DF9-40

- Датчики BF350 (рис. 2.2.9), вони мають досить велику стрічку моделей, серед яких можна обрати оптимальні розміри та допустиме навантаження.

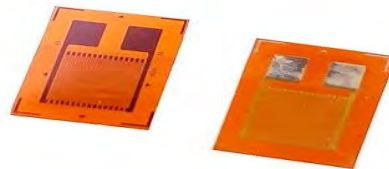


Рисунок 2.2.9 — Плівкові тензодатчики BF350

Серед багатьох є обираю датчики BF350, що мають модель із опором 1 кОм, що додатково сприяє зниженню споживання струму від акумулятора.

Вбудована мікросхема процесора повинна мати мініатюрний розмір, мати вбудований модем, вбудовану флеш-пам'ять, необхідну кількість входів АЦП, мінімальну обв'язку, якнайменше споживаний струм, мати достатню документацію, повинна бути доступною і недорогою. Немале значення має кількість доступної літератури, що описує і має приклади програмування обраного МК, а також верифіковані додатки для з'єднання з розповсюдженими операційними системами Windows, Linux, macOS, iOS, Android. Бажана можливість працювати в середовищі Arduino.

Такі виробники випускають TI, Mediatek, Realtek, Nuvoton, Espressif Systems та інші. Розглянемо деякі з них:

- MT7687 виробляється Mediatek (рис. 2.2.10) і має дизайн корпусу QFN-64, габаритні розміри 8x8x0.8 мм. МК має досить сильну інтеграцію і має вбудований WI-FI модем, розвинену систему керування енергоспоживанням, має змогу використовувати вбудовану і зовнішню flash memory, модуль криптошифрування, чотири входи АЦП, дев'ять входів GPIO, споживаний струм від 0.4 мА до 800 мА.

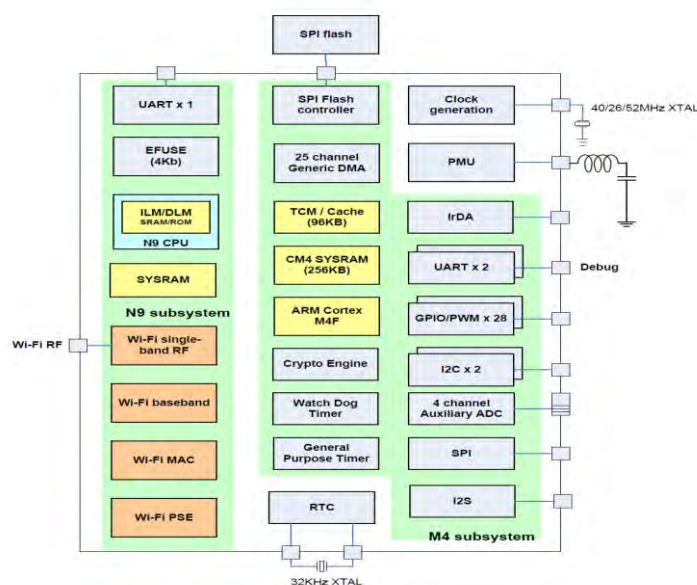


Рисунок 2.2.10 — Внутрішня структура мікросхеми MT7687

За сумою всіх можливостей даного МК можна констатувати, що прилад не влаштовує, бо має лише чотири входи АЦП, досить великий споживаний струм, не має можливості зв'язку по Bluetooth.

- МК CC3200 виробництва Texas Instruments (рис. 2.2.11). Цей прилад має дизайн корпусу QFN-64, габаритні розміри 9x9x0.5 мм. Мікросхема має сильну інтеграцію і має вбудований WI-FI модем, розвинену систему керування енергоспоживанням, має змогу використовувати вбудовану і зовнішню flash memory, модуль криптошифрування, чотири входи АЦП, двадцять сім входів GPIO, споживаний струм від 0.25 мА до 300 мА.



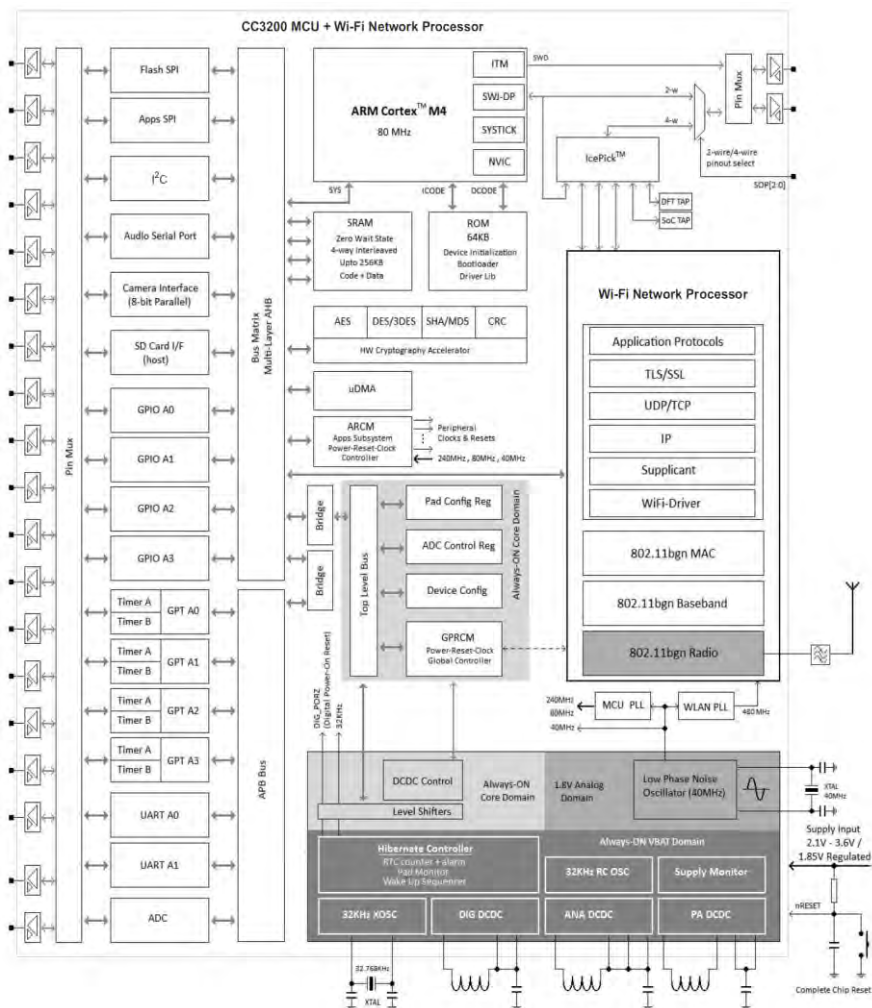


Рисунок 2.2.11 — Внутрішня структура мікросхеми CC3200

За сумою всіх можливостей даного МК можна зауважити, що прилад не влаштовує, бо має лише чотири входи АЦ, не має можливості зв'язку по Bluetooth, немає вбудованого сенсора температури.

- МК STM32U575 виробництва STMicroelectronics (рис. 2.2.12). Цей прилад має дизайн корпусу LQFP-48, габаритні розміри 7x7x1.2 мм. Мікросхема має сильну інтеграцію і ут має вбудованого WI-FI модема, розвинену систему керування енергоспоживанням, має змогу використовувати вбудовану і зовнішню flash memory, двадцять два конфігуровані входи АЦП, шістнадцять конфігурованих входів GPIO, споживаний струм від 0.02 мА до 200 мА.

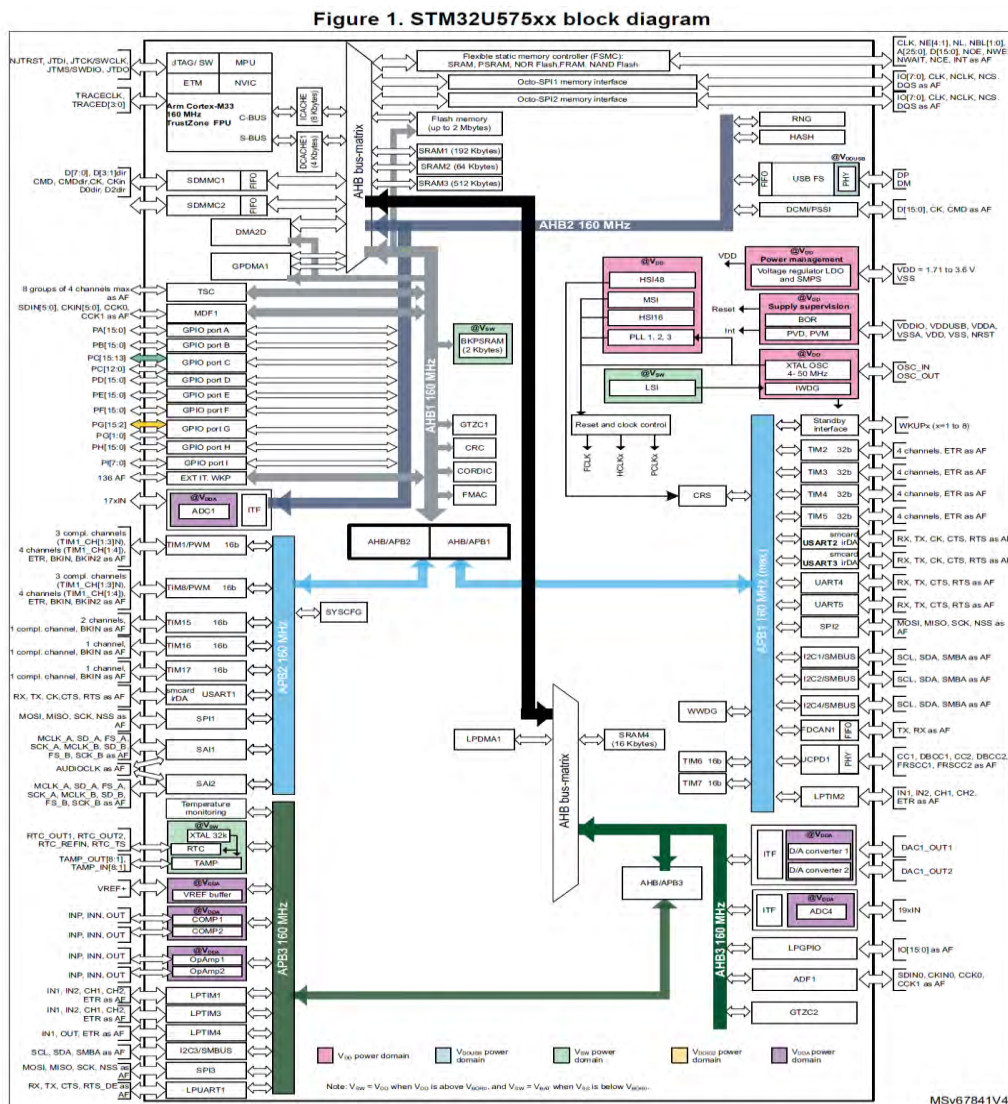


Рисунок 2.2.12 — Внутрішня структура мікросхеми STM32U575

За сумою всіх можливостей даного МК можна зауважити, що прилад не влаштовує, не має можливості зв'язку по Bluetooth та WI-FI, немає вбудованого сенсора температури.

- МК ESP32-C3, виробництва Espressif Systems (рис. 2.2.13). Вказаний прилад має вбудований вузол зв'язку по WI-FI та Bluetooth, шість конфігурованих входів АЦП, низьковольтне живлення від літій-іонного акумулятора, вбудований сенсор температури, розвинену систему керування живленням внутрішніх блоків для мінімізації споживання струму, дизайн корпусу QFN-32 5x5x0.9 мм, величезна база прикладів програмування через Arduino, мінімальна обв'язка, а також недорогий.



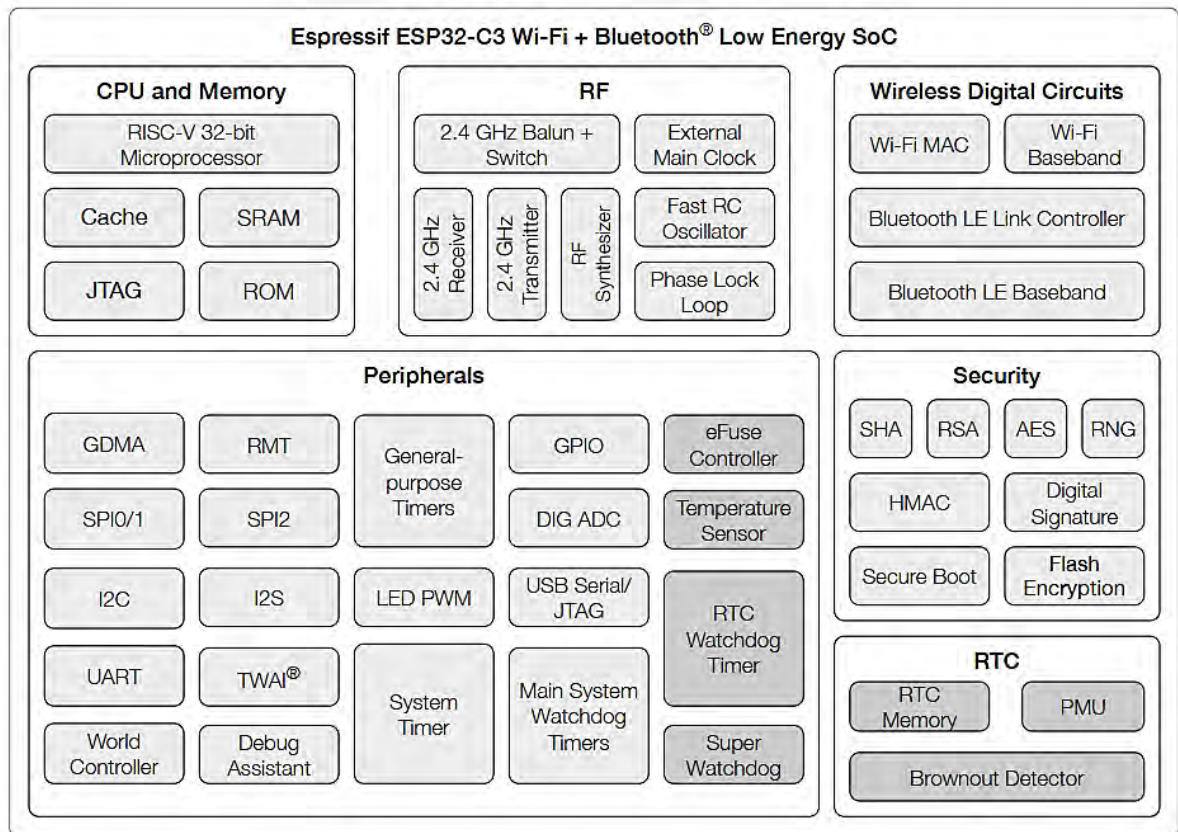


Рисунок 2.2.13 — Внутрішня структура мікросхеми ESP32-C3

За сумою всіх вимог та переглянутих варіантів вибрано мікросхему ESP32-C3. Цей МК має споживаний струм від 0.05 мА до 84 мА, залежно від внутрішньої енергетичної конфігурації, ввімкненої в даний момент. На жаль, у цій мікросхемі немає системи заряджання батареї та стабілізатора загального живлення. Тому цю роль виконують додаткові мікросхеми.

Мікросхеми стабілізаторів живлення від Li-ion батарей виробляють дуже велика кількість виробників. Розглянемо декілька з них:

- Перший варіант — це MC33340, що виробляється Onsemi (рис. 2.2.14). Прилад має дизайн корпусу SOIC-8, габаритні розміри 5x6x1.5 мм. Схема заряду повинна мати додатковий зовнішній ключ, для вимкнення зовнішнього джерела живлення.

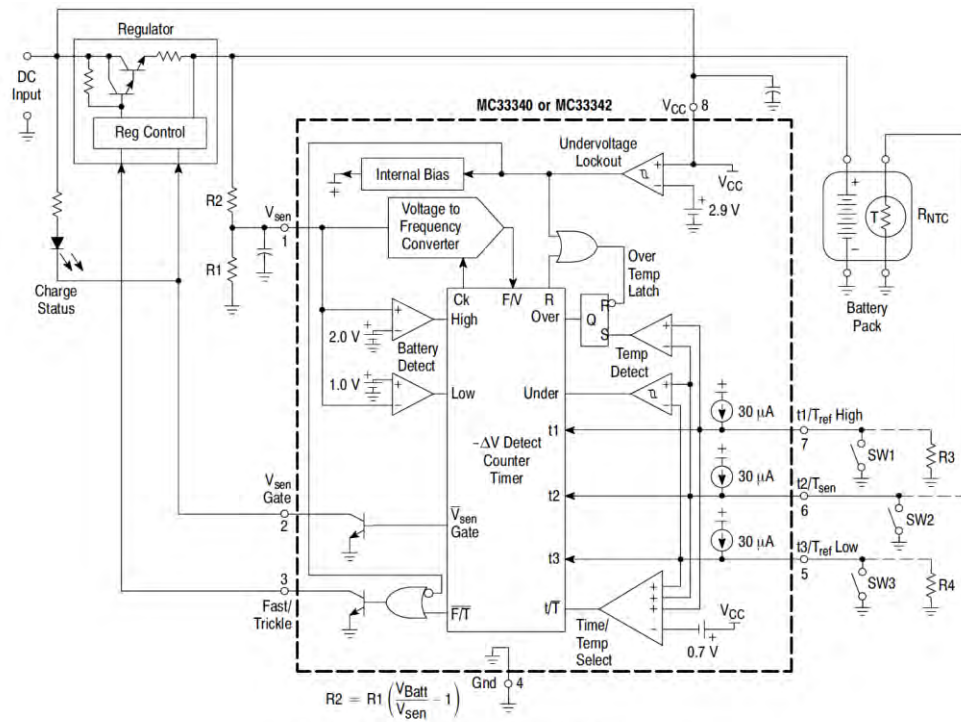


Рисунок 2.2.14 — Типове застосування для зарядки акумулятора варіантом MC33340

- Другий варіант — це STC4054 виробництва STMicroelectronics (рис. 2.2.15). Прилад має дизайн корпусу TSOT-23 і має габаритні розміри 2.8x2.9x1.0 мм.

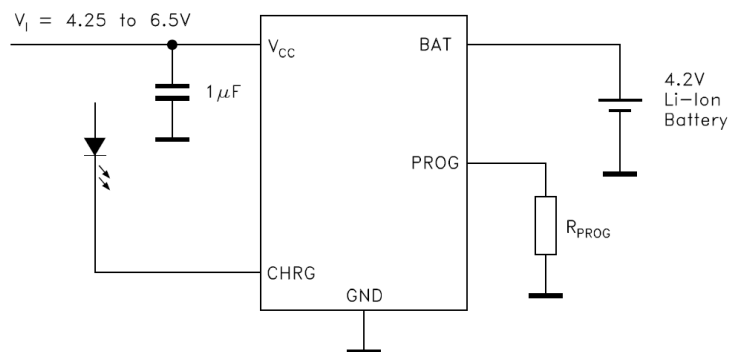


Рисунок 2.2.15 — Типове застосування для зарядки акумулятора варіантом STC4054

- Розглянемо третій варіант — це ADP5062 виробництва Analog Devices (рис. 2.2.16). Прилад має дизайн корпусу LFCSP\_WQ і має габаритні розміри 4x4x0.75 мм.

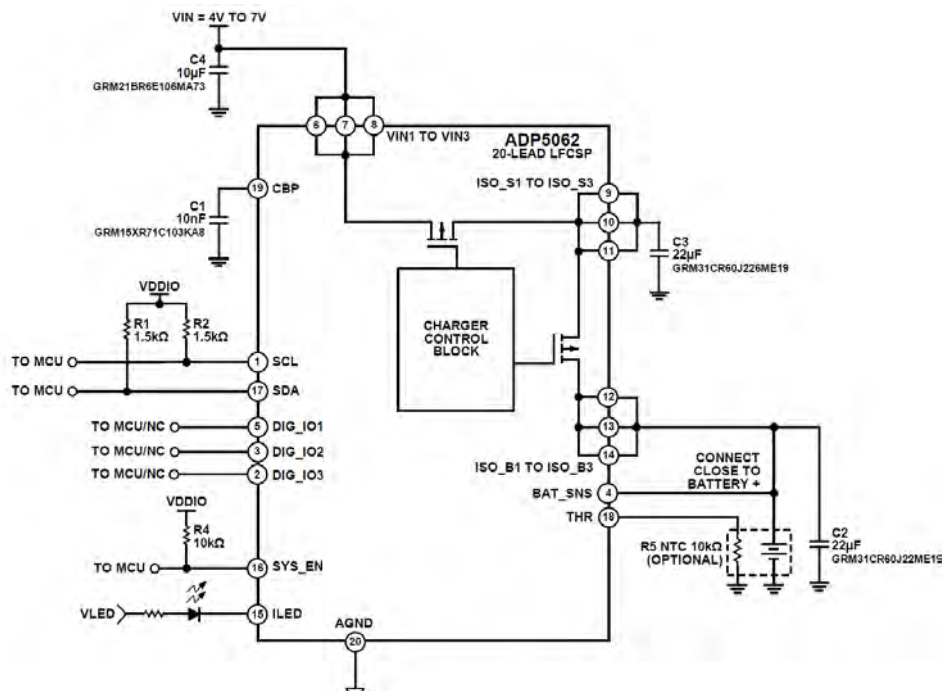


Рисунок 2.2.16 — Типове застосування для зарядки акумулятора варіантом ADP5062

• Останній варіант — це MCP73812, виробництва Microchip (рис. 2.2.17). Прилад має дизайн корпусу SOT-23 і має габаритні розміри 3x2.5x1 мм. Мікросхема має змогу за допомогою зовнішніх комутацій змінювати максимальний струм заряду акумулятора, невеликий розмір і повністю відповідає вимогам проекту.

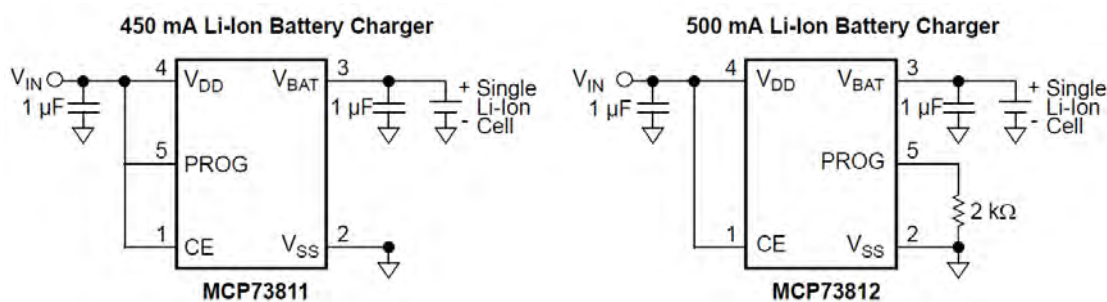


Рисунок 2.2.17 — Типове застосування для зарядки акумулятора варіантом MCP73812

Тепер ми маємо обрати мікросхему низьковольтного стабілізатора. В принципі МК може працювати і при зниженій напрузі акумулятора, але тоді для

коректного способу вимірювання потрібно застосувати схему тензометричного моста (рис. 2.2.18).

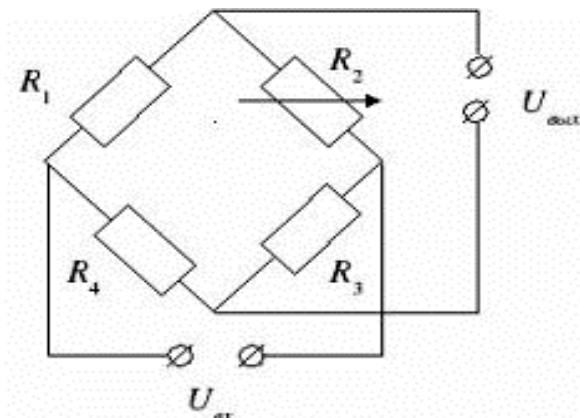


Рисунок 2.2.18 — Схема тензометричного моста

Це схемне рішення нівелює нестабільність живлення схеми, але потребує, в нашому випадку, подвійної кількості входів АЦП. МК має лише шість конфігурованих входів АЦП, тому треба стабілізатор напруги живлення. У випадку застосування стабілізатора для кожного входу потрібні лише два резистора, один з них тензорезистор. Інтегральні схеми низьковольтних стабілізаторів виробляє чимало виробників. Розглянемо декілька з них:

- Перший варіант — це ADP3000, ADP5062 виробництва Analog Devices (рис. 2.2.19). Прилад має дизайн корпусу SOIC-8 і має габаритні розміри 5x6x1.5 мм.

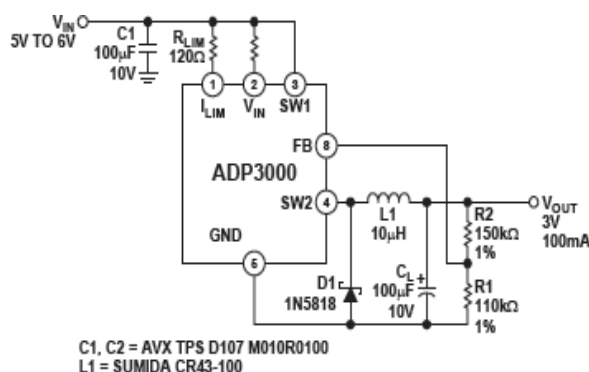


Рисунок 2.2.19 — Типове застосування для стабілізації напруги варіантом ADP3000

Ця мікросхема має досить численну кількість зовнішніх елементів, також погано працює зі зниженою напругою акумулятора.

- Другий варіант — це LM2731 виробництва Texas Instruments (рис. 2.2.20). Прилад має дизайн корпусу SOT-23 і має габаритні розміри 3x2.5x1 мм.

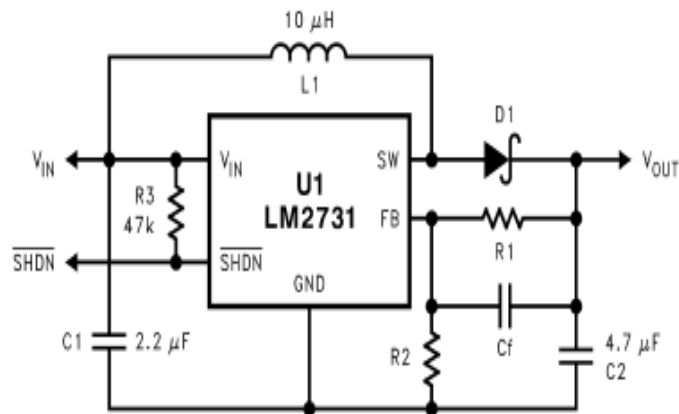


Рисунок 2.2.20 — Типове застосування для стабілізації напруги варіантом LM2731

Прилад має задовільні характеристики і розміри, хоча в цьому сенсі є й кращі пристрої, що ми й побачимо в подальших варіантах.

- Третій варіант — це ISL9111 виробництва Renesas (рис. 2.2.21). Прилад має дизайн корпусу 6-LD-SOT23 і має габаритні розміри 2.9x2.8x1.15 мм.

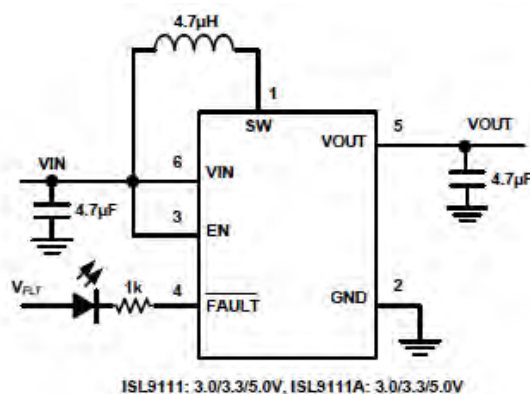


Рисунок 2.2.21 — Типове застосування для стабілізації напруги варіантом ISL9111

Ця мікросхема має добрі параметри, але має дещо незадовільну товщину. Зауважу, що такий пристрій досить важко купити на ринку України.

- Останній приклад — це MAX1676 виробництва Maxim Integrated (рис. 2.2.22). Прилад має дизайн корпусу 8uMAX і має габаритні розміри 3x5x0.8мм.

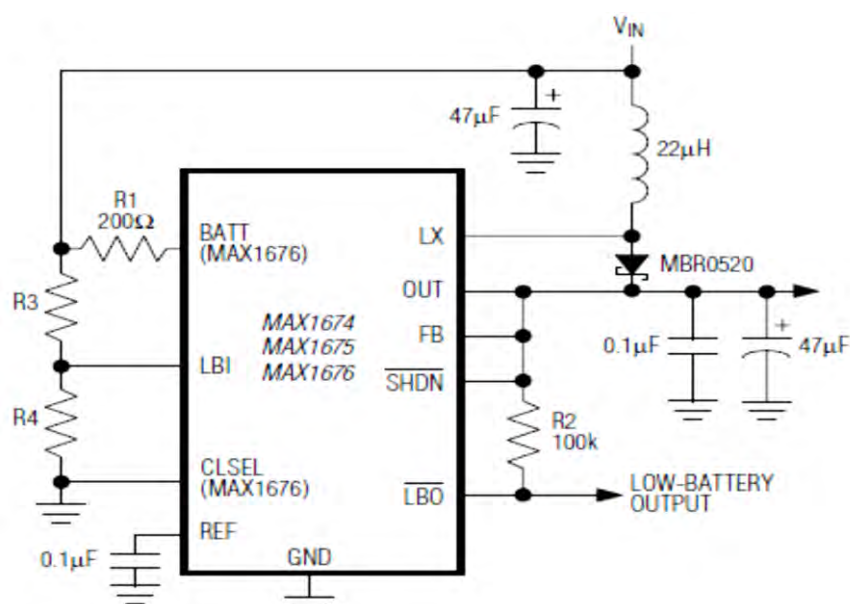


Рисунок 2.2.22 — Типове застосування для стабілізації напруги варіантом MAX1676

Цей прилад має дуже хороший коефіцієнт корисної дії, може працювати з вхідною напругою від 0.6 до 5 В, крім того має вбудований компаратор, котрий сигналізує про розряд акумулятора. Цю мікросхему легко можна купити і вона недорога.

З величезної кількості подібних обрані системою зарядки акумулятору — MCP73812, системою стабілізації напруги — MAX1676.

Щоб схема живлення мала завершений вигляд, треба подбати про зовнішній зарядний пристрій. У засобі буде Li-ion акумулятор і як всі ми звикли, що, наприклад, такий акумулятор в смартфоні живиться за допомогою спеціального зарядного пристрою, під'єданого до роз'єму USB. Але в нашому



випадку це означає, що треба мати такий роз'єм USB на кожному засобі «устілки» і це неможливо тому, що цей роз'єм буде дошкуляти людині.

Звичайно, можна зробити стрічковий роз'єм на плівці, але для під'єднання такої «устілки» до зарядного пристрою, треба її щоразу виймати з взуття і це створює незручності, а також небажану деформацію електронної схеми. Крім того такий спосіб не може забезпечити водонепроникнення всередину схеми, а засіб може піддаватись таким умовам, що може бути волога (дощ, сніг, піт тощо). Для максимальної зручності користувача обрана безконтактна система заряджання акумулятора, прийнята вже в багатьох смартфонах. Приймальна антена зарядного пристрою являє собою згорнуту в спіраль — друковану доріжку (рис. 2.2.23), напилену на плівку, як виготовляють плівкову клавіатуру. Цей провідник служить також антеною для зв'язку зі смартфоном.

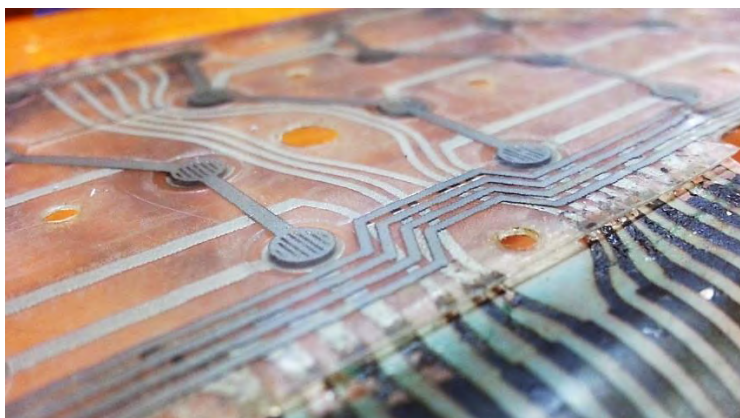


Рисунок 2.2.23 — Приклад зображення друкованої доріжки для безконтактної зарядки

Зарядні станції для генерації електромагнітного поля, що в свою чергу, створює в приймальній антені струм, необхідний для заряду акумулятора, вже можна купувати в численних магазинах. Наприклад таку як зображена на рисунку 2.2.24.



Рисунок 2.2.24 — Приклад безконтактної зарядки

Отже, із мети роботи засіб буде складатись з:

- 1) плівковий тензодатчик — він дозволяє трансформувати деформації твердих тіл в електричний сигнал, за яким визначається значення певної величини;
- 2) батарея — забезпечує живлення всього засобу та ефективної його роботи;
- 3) бездротова зарядка — можливість зарядки через напилену плівку;
- 4) вузол зв'язку WI-FI та Bluetooth вбудований у мікросхему — для отримання результатів автоматизованого засобу;
- 5) вбудований датчик температури — вимірює температуру та забезпечує якісну роботу засобу;
- 6) система зарядки акумулятору — контроль заряду батареї;
- 7) система стабілізації напруги — контроль стабільної подачі напруги та сповіщення про низький рівень батареї.

Запропонована схема представлена рис. 2.2.



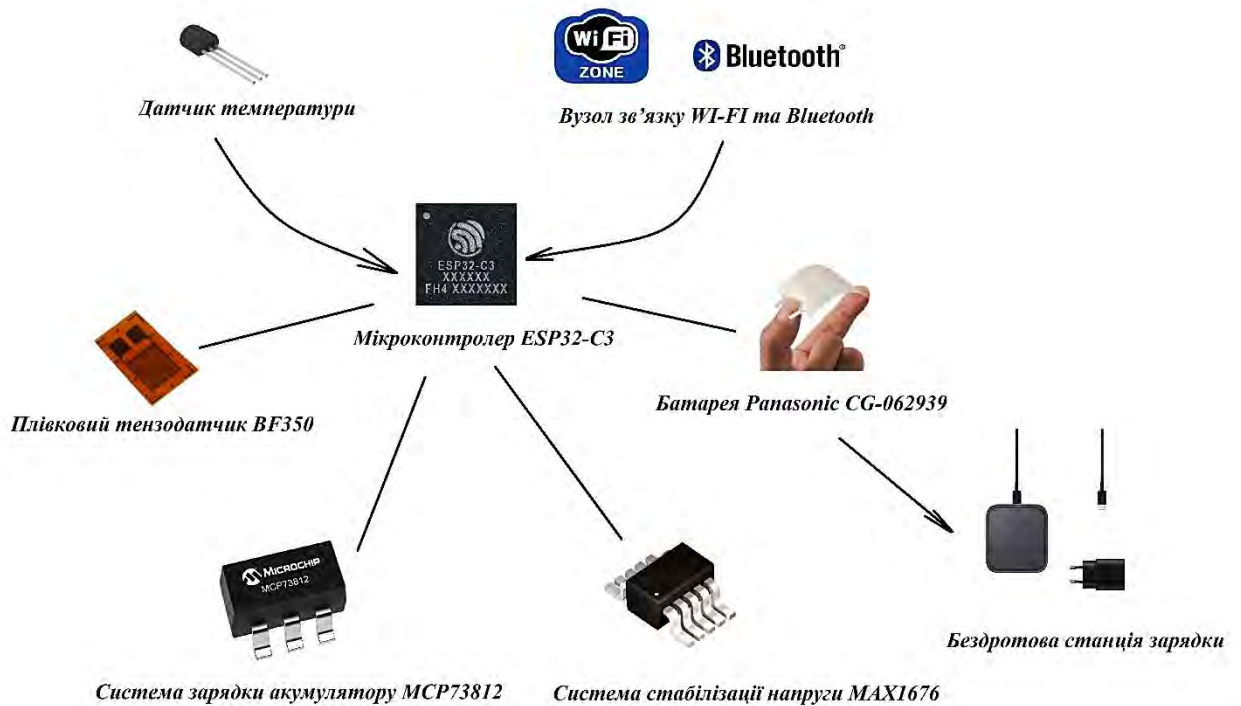


Рисунок 2.2 — Схема реабілітаційного автоматизованого засобу для нижньої кінцівки принципова

## 2.3. Елементна база засобу

### 2.3.1. Мікроконтролер ESP32-C3

У якості мікроконтролера для засобу обрано ESP32-C3 виробництва Espressif Systems. Сам мікроконтролер має невеликий розмір 5x5x0.9 мм, що для мене було дуже важливо при виборі. Функціональна блок схема представлена на рисунку 2.2.13. Головними характеристиками є наявність: вузла WI-FI на базі IEEE 802.11, підтримкою пропускнуої смуги 20 МГц, 40 МГц у діапазоні 2.4 ГГц; вузла Bluetooth з високою потужністю 20 дБм; 32-розрядного однопоточного процесора RISC-V до 160 МГц; доступу до флеш-пам'яті; чотири режими живлення. Цей МК має споживаний струм від 0.05 мА до 84 мА, залежно від внутрішньої енергетичної конфігурації, ввімкненої в даний момент.

### 2.3.2. Плівковий тензорезистор ВF350-3АА

Принцип дії тензорезистивного датчика полягає у зміні електричного опору, пропорційно силі механічного впливу, прикладеного до чутливого елемента, виконаного у вигляді сітки з нікель-хромового сплаву.

Для порівняння опору сенсора з прикладеною механічною силою застосовуються методи цифрової обробки сигналу. Оскільки параметри виробу можуть несуттєво відрізнятись у той чи інший бік, слід передбачити можливість калібрування.

Основні переваги:

- Точна відповідність параметра вихідного опору прикладеної зовнішньої сили;
- Широкі межі чутливості до зовнішнього впливу;
- Висока надійність.

Характеристики датчика:

- Опір: 350 Ом;
- Базовий матеріал: епоксид-модифікований фенол;
- Основна товщина матеріалу:  $32 \pm 1$  мкм;
- Матеріал сітки: константан;
- Опір ізоляції: 10000 Ом;
- Допуск середнього значення опору:  $\leq 0.1\%$ ;
- Коефіцієнт чутливості: від 2.00 до 2.20;
- Чутливий коефіцієнт дисперсії:  $\leq \pm 1\%$ ;
- Коефіцієнт поперечного впливу: 0.4%;
- Межа деформації: 2%;
- Довговічність:  $\geq 1$  М;
- Розмір: 7.1 x 4.1 мм;
- Робоча температура: до 80 °С;

- Температурна компенсація: алюміній;
- Коефіцієнт термокомпенсації: 9, 11, 16, 23, 27.

Приклади найчастішого використання датчиків VF350-3AA:

- Датчики присутності з можливістю відсічення за вагою (які не реагують на маленьких тварин);
- Системи контролю приміщень;
- Сигналізатори перевантаження та перевищення норми ваги в пристроях проєктів інтернет речей та «Розумний дім».

Зовнішній вигляд та габаритні розміри плівкового тензорезистора VF350-3AA представлений на рисунку 2.3.2.



Рисунок 2.3.2 — Плівкового тензорезистор VF350-3AA

### 2.3.3. Пружний елемент тензорезистора

Пружний елемент буде встановлений під плівковим тензорезистором. Він буде виконаний у формі прямокутника з заокругленими кутами із нержавіючої сталі марки AISI 304.

Сталь AISI 304 — один з найбільш затребуваних нержавіючих сплавів в світі. Популярність матеріалу обумовлюється оптимальним хімічним складом, доступною вартістю і високими експлуатаційними якостями [15].

Основні характеристики AISI 304:

- межа плинності AISI 304 становить 310 МПа;
- напруга, що допускається стали на розрив — від 515 МПа (мінімальне значення) до 600 МПа (середній показник);
- пластичність — 70%;
- згідно з довідковими даними, твердість сплаву по Брінеллю (НВ) становить 170 одиниць та за Роквеллом — 70 одиниць, що вважається досить високим показником серед матеріалів з подібним хімічним складом;
- щільність AISI 304 —  $7.74 \text{ г / см}^3$  (типове значення для більшості марок нержавійки). Висока механічна міцність, гарні пластичні властивості, стійкість до корозії, температурних перепадів і дії хімічно активних сполук, а також інші експлуатаційні властивості AISI 304 дозволяють використовувати сплав в різних галузях промисловості і побуту.

Даний матеріал має вибір із товщини: 0.55 мм, 0.88 мм та 1 мм. Обираємо перше значення для мінімізації всього виробу.

#### **2.3.4. Акумулятор Panasonic CG-062939**

Батарею для засобу було обрано Panasonic CG-062939. Основними характеристиками є габарити 28.5x39x0.55 мм, вага 0.7 г, ємність 17.5 мА/год, номінальна напруга 3.8 В, максимальна напруга зарядки 4.35 В, максимальний зарядний струм 17.5 мА, радіус вигину R25мм.

Приклад характеристик гнучкої батареї представлено на рисунку 2.3.3.

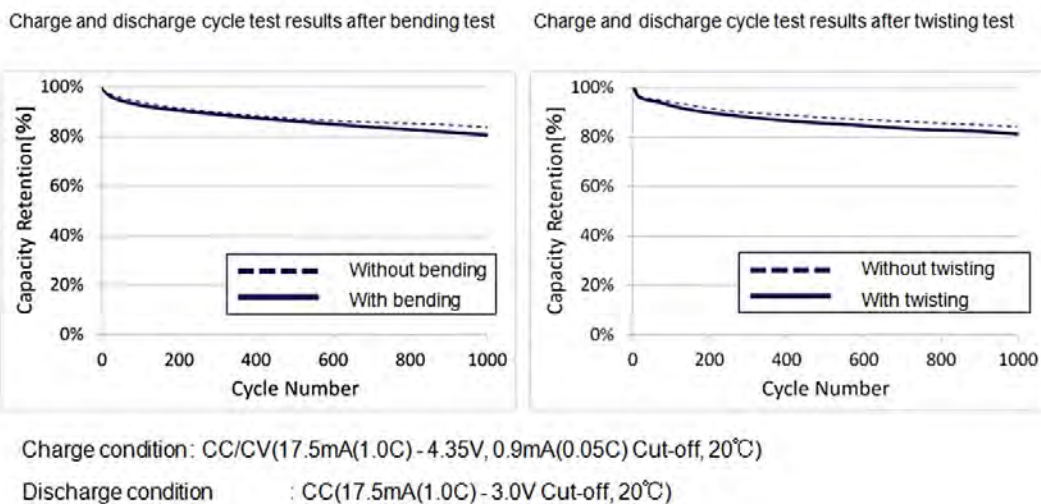


Рисунок 2.3.3 — Результати випробування циклу заряджання та розряджання на згинання і після випробування на скручування

### 2.3.5. Система зарядки акумулятору MCP73812

Системою зарядки акумулятору обрано MCP73812. Основними характеристиками є точність регулювання напруги  $\pm 1\%$ , регульована вихідна напруга 4.2 В, внутрішнє терморегулювання, струм заряду програмований резистором до 500 мА.

Приклад характеристики заряджання акумулятору системою зображений на рисунку 2.3.4.

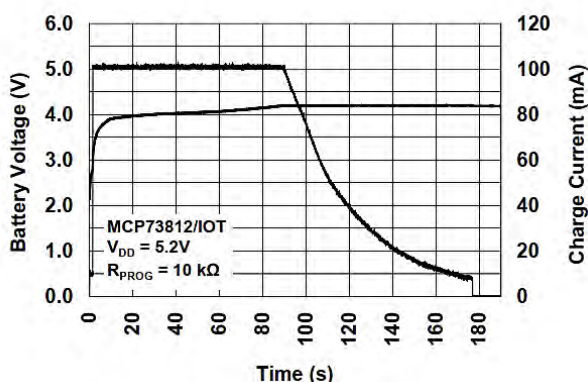


Рисунок 2.3.4 — Типовий профіль заряду (приклад на акумуляторі 180 мА/год)

### 2.3.6. Система стабілізації напруги MAX1676

Системою стабілізації напруги було обрано MAX1676. Основними характеристиками є споживаний струм у стані спокою 16 мкА, вхідна напруга може починатись з 0.7 В, малошумний варіант із протівібраційною функцією, великий діапазон робочих температур.

На рисунку 2.3.5 представлені робочі характеристики системи MAX1676.

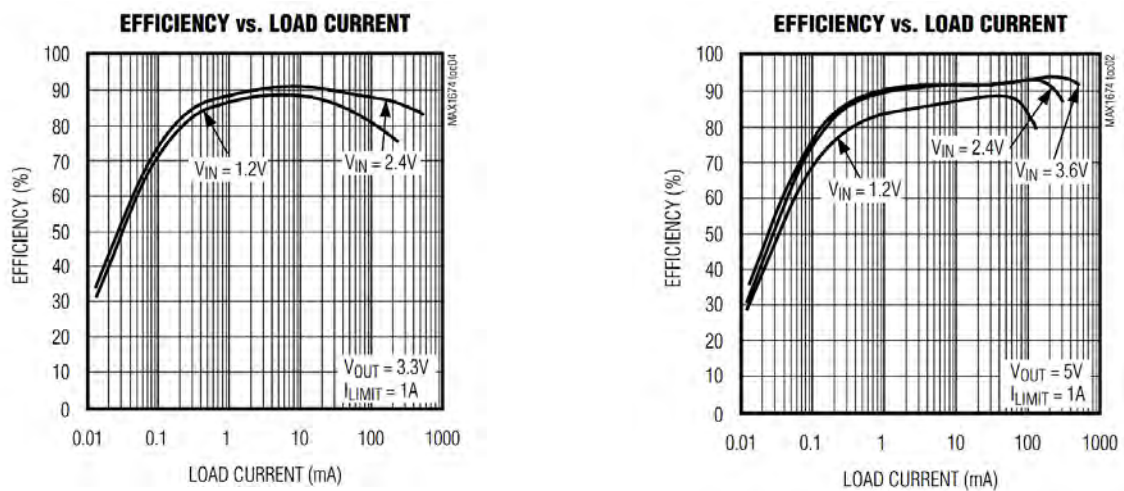


Рисунок 2.3.5 — Ефективність проти струму навантаження при вихідних напругах 3.3 та 5 В

### 2.4. Формули для розрахунку тензорезистора та пружного елемента

Тензодатчик представляє собою пружний елемент на якому закріплені тензорезистори. На рисунку 2.4 представлено структурну схему тензодатчика. Вимірювальна сила  $F$  за допомогою пружного елемента перетворюється в деформацію  $\delta$ . Деформація пружного елемента сприймається тензорезистором і перетворюється в вимірювальний опір  $\epsilon_r$ , який у вимірювальній ланці перетворюється у величину вихідної напруги [16].

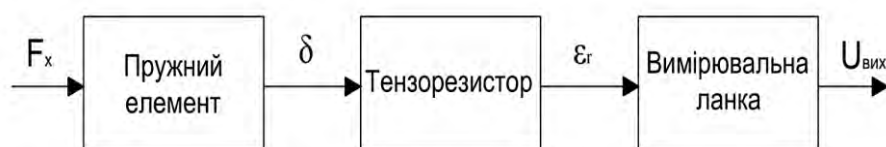


Рисунок 2.4 — Структурна схема тензодатчика

Тензорезистивний ефект, що дозволяє фіксувати зміни електричного опору в твердих провідниках або напівпровідникових пластинах при їх стисненні або розширенні, пов'язаний з деформаційними впливами на атомну структуру матеріалу. Своє практичне втілення він знайшов при створенні цілого конструктивного ряду тензорезисторів, без використання яких уже важко уявити життя сучасної людини.

#### 2.4.1. Формули для тензорезистора

До основних техніко-метрологічних характеристик ТП належать тензочутливість, повний опір, повзучість, механічний гістерезис, температурна нестабільність, динамічні характеристики [17].

Тензочутливість визначається головним чином тензорезистивними властивостями матеріалу чутливого елемента, проте значною мірою залежить від конструкції перетворювача, матеріалу основи, виду і умов полімеризації клею та інших факторів.

Основна характеристика чутливості матеріалу до механічної деформації – коефіцієнт відносної тензочутливості  $S$ . Він визначається як відношення відносної зміни опору до відносної зміни довжини провідника:

$$S = \frac{\varepsilon R_x}{\varepsilon_l} = \frac{\Delta R_x / R_x}{\Delta l / l} \quad (1)$$

Найпростішим ТП, який служить для вимірювання зусиль, є дріт, що розтягується силами  $P_x$  (рис. 2.4.1).

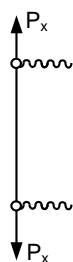


Рисунок 2.4.1 — Найпростіший тензоперетворювач для вимірювання зусиль

Опір дроту

$$R_x = \rho \frac{l}{q} \quad (2)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір матеріалу;  $l$  – довжина провідника;  $q$  – площа поперечного перерізу провідника ТП.

Прологарифмувавши вираз для  $R_x$ , дістанемо:

$$\ln R_x = \ln \rho + \ln l - \ln q \quad (3)$$

Диференціюючи цей вираз і записуючи в часткових прирощеннях, маємо

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta q}{q} \quad (4)$$

або

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta l}{l} \left[ \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l} + I - \frac{\Delta q / q}{\Delta l / l} \right] \quad (5)$$

Водночас відомо, що

$$\frac{\Delta q / q}{\Delta l / l} = -2\sigma, \quad (6)$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт Пуассона, що характеризує відносну зміну площі поперечного перерізу дроту при розтягу або стиску (величина стала в межах пружних деформацій і додатна для всіх металів, крім нікелю). Тоді

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta l}{l} \left[ \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l} + I - 2\sigma \right]. \quad (7)$$

Звідси коефіцієнт відносної тензочутливості ТП

$$S = \frac{\Delta R_x / R_x}{\Delta l / l} = \frac{\Delta l}{l} \left[ \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l} + I - 2\sigma \right]. \quad (8)$$



Матеріал деталі, що досліджується, і дроту ТП має зазнавати механічних напружень, які не перевищують межі пружних деформацій, в противному разі в ньому відбудуться необоротні деформації. Тому допустиме значення напружень не перевищує 20–30% межі пружності.

Оскільки значення відносної деформації  $\Delta l/l$  в межах пружних властивостей матеріалу не перевищує  $2.5 \cdot 10^{-3}$ , то при  $S=0.5...4$  відносна зміна опору  $\Delta R_x/R_x = (1.25 \dots 10) \cdot 10^{-3}$ , тобто не перевищує 1%.

#### 2.4.2. Формули для пружнього елемента

Деформація тензорезисторів напряму залежить від площі поперечного перерізу пружнього елемента в місці де вони наклеєні. Відповідно чутливість тензорезисторів можна корегувати змінюючи цей параметр. Чим менша площа поперечного перерізу пружнього елемента тим більша чутливість тензодатчика.

Відносна деформація тензорезистора визначається за законом Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (9)$$

де  $\sigma$  — механічна напруга, що утворюється діючою силою,

$E$  — модуль пружності матеріалу.

Напруга  $\sigma$  залежить від прикладеної сили та площі поперечного перетину пружнього елемента до якого прикладають цю силу:

$$\sigma = \frac{F}{S_{\text{пер}}}, \quad (10)$$

де  $S_{\text{пер}}$  — площа поперечного перетину пружнього елемента.

Підставляємо (9) та (10):

$$\varepsilon = \frac{F}{E \cdot S_{\text{пер}}}. \quad (11)$$

Відносну деформацію тензорезисторів можна представити як зміну їх опорів  $\varepsilon_r$  :

$$\varepsilon \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \varepsilon_r. \quad (12)$$

Тому розрахувавши їх мостову схему підключення (див. рис. 2.4.2) можна виразити РКП. РКП для тензодатчика — це відношення вихідної величини до вхідної, тобто фактично РКП виражає чутливість нашого датчика.

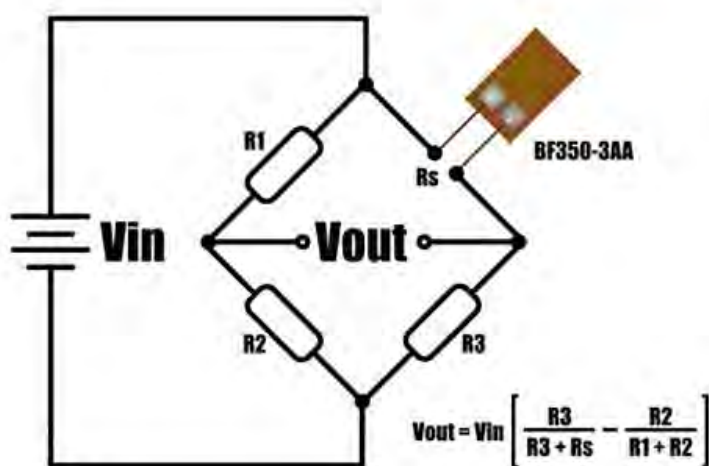


Рисунок 2.4.2 — Мостова схема підключення тензорезисторів

$$\frac{U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \text{РКП} = \frac{R_3}{R_3 + R_s} - \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (13)$$

де  $R_1, R_2, R_3, R_s$  — опори тензорезисторів,

$U_{\text{ВХ}}, U_{\text{ВИХ}}$  — вхідна та вихідна напруга відповідно.

$$\text{РКП} = \frac{k}{(k+1)^2} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_s}{R_s} - \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} \right), \quad (14)$$

де  $k$  — коефіцієнт симетрії.

При симетричній схемі підключення  $k=1$ .

$$\text{РКП} = \frac{k}{(k+1)^2} k_T (\varepsilon + \varepsilon + \mu \cdot \varepsilon + \mu \cdot \varepsilon), \quad (15)$$

де  $\mu$  — коефіцієнт Пуасона,

$k_T$  — коефіцієнт тензочутливості.

Коефіцієнт тензочутливості характеризує тензоефект різних матеріалів при деформації розтягнення або стискання. Він показує, в скільки разів відносна зміна опору більше його відносної деформації.

$$PKP = \frac{k}{(k + 1)^2} \cdot k_T \cdot 2 \cdot (1 + \mu) \frac{F}{E \cdot S_{\text{пер}}}. \quad (16)$$

Звідси виражаємо нашу шукану величину:

$$S_{\text{пер}} = \frac{k}{(k + 1)^2} \cdot k_T \cdot 2 \cdot (1 + \mu) \frac{F}{E \cdot PKP}. \quad (17)$$

Отже, підставивши всі відомі параметри та задавши необхідне нам значення РКП ми можемо визначити площу поперечного перерізу пружного елемента тензодатчика.

## 2.5. Розробка принципової електричної схеми засобу

При складанні схеми будуть два провідники з антени з'єднані з діодним мостом. Діодний міст обраний із вбудованими діодами Шоттки для мінімізації втрат на діодах. Після випрямлення та обмеження напруги стабілітроном живлення надходить на мікросхему MCP73812, яка здійснює зарядку акумулятора і має внутрішній обмежувач струму в 50 мА. Далі живлення з батареї йде на стабілізатор живлення на 3.3 В, тобто на мікросхему MAX1676.

Серед іншого мікросхема має внутрішній компаратор живлення та може видати сигнал про зниження напруги живлення батареї на мікросхеми ESP32-C3. Цей стабілізатор здатний працювати при зниженні напруги батареї до 1 В.

Запропонована принципова електрична схема для автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки представлена на рисунку 2.5.

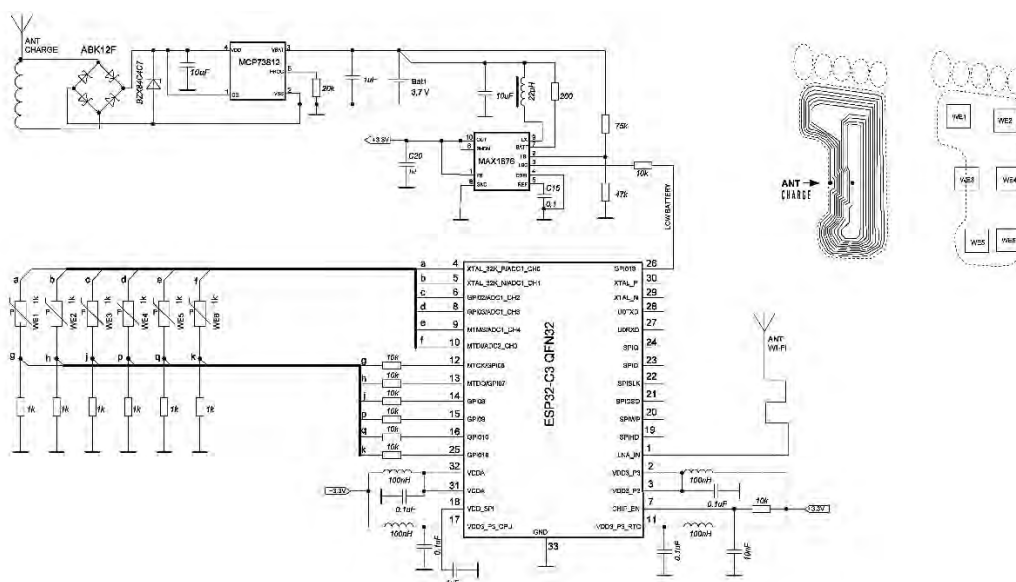


Рисунок 2.5 — Принципова електрична схема засобу

Всі основні функції проєкту виконує мікросхема ESP32-C3. МК виконує виміри тензорезисторів, забезпечує зв'язок зі смартфоном по WI-FI, або Bluetooth, передає показання сенсора температури, стан заряду акумулятора.

ESP32-C3 стандартно налаштована на два входи АЦП, але за допомогою відповідного налаштування це число можна розширити до шести, чого достатньо для роботи датчиків. Крім того, для зменшення споживаного струму потрібно задати почергове опитування датчиків, далі включення живлення зв'язкового модему всередині мікросхеми, далі коротка передача пакета. Після передачі модем відключається, максимально знижується споживання живлення і процесор чекає наступного циклу. Цілком достатньо близько 5 циклів на секунду. Видається необхідною умовою для початку появи вимірювальних циклів — це різкий перепад тиску на тензорезистори, тобто людина стоїть на ногах або сперлася однією з ніг під час руху.

Весь засіб є певним шаровим «пирогом». Знизу матеріальний шар для устілки, який зазвичай використовують матеріали як: шкіра, поліуретан, зносостійка цупка тканина. Далі йде шар плівки, з нанесеним провідником — антенною. Потім йде шар плівки з пружними елементами на які наклеюються тензорезистори, на плівку кріпиться також основна електрична схема, для

мінімізації розмірів пасивних деталей необхідно використовувати SMD розмір 0603. Наступний шар — це плівка з акумулятором і останній шар — це захисний із матеріального шару можна використати аналогічну, яка була на початку.

Звичайно, всі шари міцно склеюються водонепроникним клеєм, можна додатково нанести тонкий прошарок з гнучкого силікону на шар з електричною схемою.

При розробці додатку в смартфоні слід також задати деякий діапазон нерівномірності тиску, тому що при переміщенні ступня людини може дещо зміщуватись по «устілці». Абсолютно необхідно проведення численних тестів з різними варіантами плоскостопості, з людьми різного віку, зросту, ваги. Без тестів неможливо встановити, як, наприклад, змінюється тиск стопи людини при переміщенні на різні сенсори «устілки». Треба також враховувати температуру всередині взуття, бо це впливає на покази тензодатчиків. Зовнішній вигляд інтерфейса додатку на смартфоні може бути зовсім мінімалістичним, а також більш розвиненим, реального положення стопи, текстовими рекомендаціями.

## **2.6. Проектування реабілітаційного засобу та нижньої кінцівки у SolidWorks**

Для проведення подальшого дослідження розробимо реабілітаційний засіб у програмному забезпеченні SolidWorks. Як для прикладу беремо розмір устілки – 39, це 250 мм довжини. Для полегшення проектування застосовуємо інструмент — картинка ескізу (рис. 2.6.1) та обводимо шаблон устілки інструментом — сплайн.

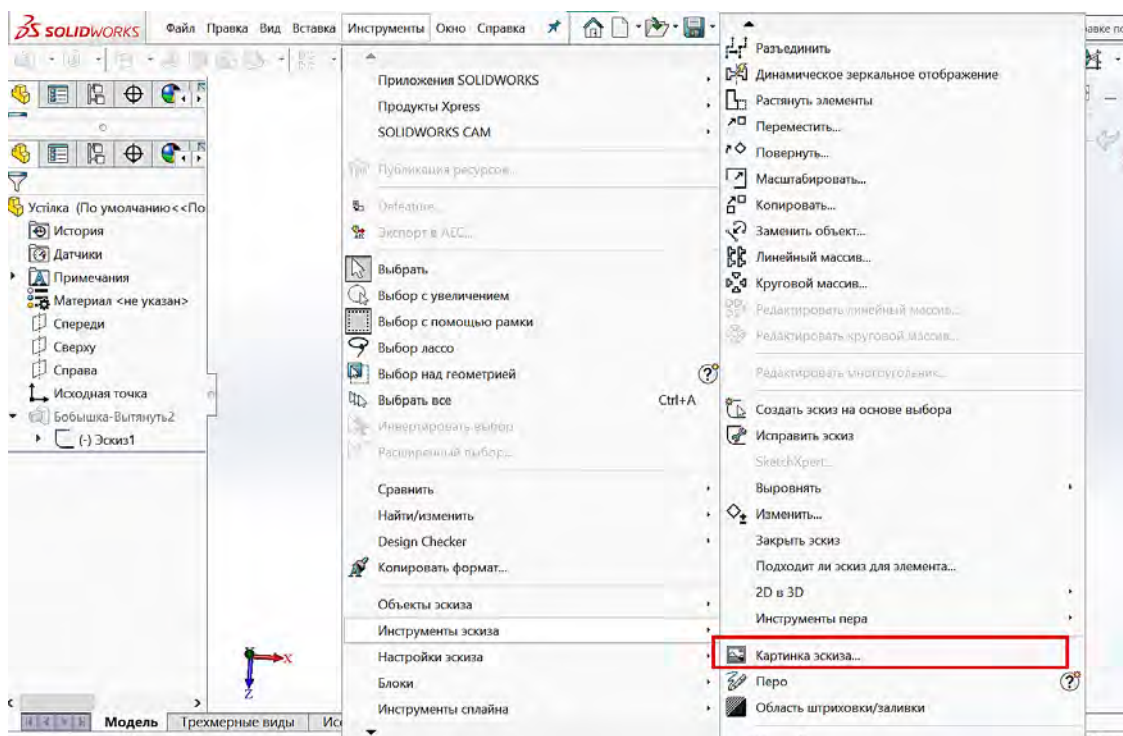


Рисунок 2.6.1 — Застосування інструменту Картинка ескізу

Будуємо засіб з висотою 2 мм за допомогою інструменту витягнута бобишка та отримуємо заготовку на захисний та ізолюючий шари засобу (рис. 2.6.2).

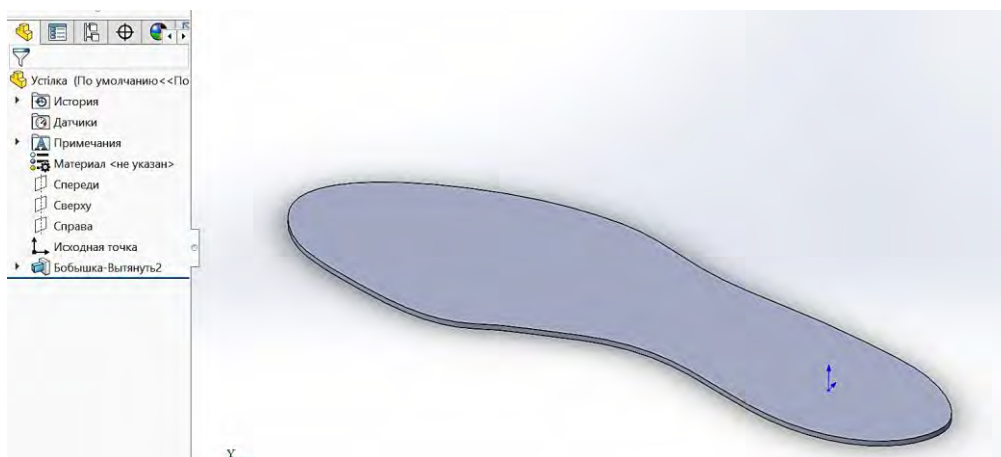


Рисунок 2.6.2 — Заготовка на захисний та ізолюючий шари засобу

По цьому шаблону створюємо заготовки на інші шари засобі (рис. 2.6.3).

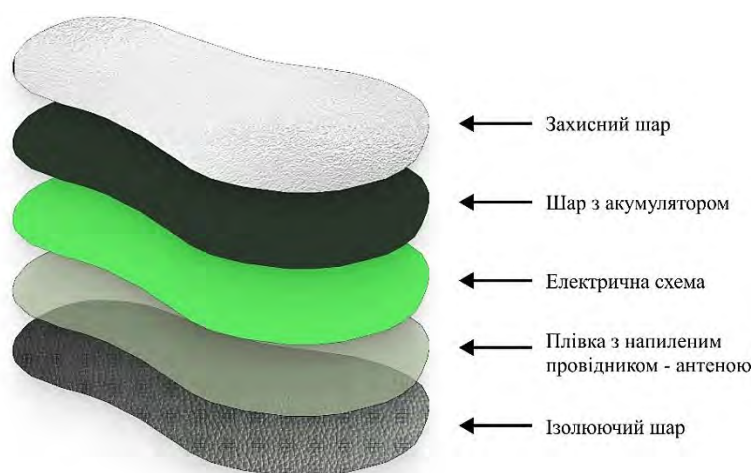


Рисунок 2.6.3 — Приклад розташування шарів у засобі

На рисунку 2.6.4 зображено вид з рознесеними шарами засобу. У шарах із акумулятором та електричною схемою розміщені елементи, які будуть у певному шарі побудовані із точними розмірами від виробника.

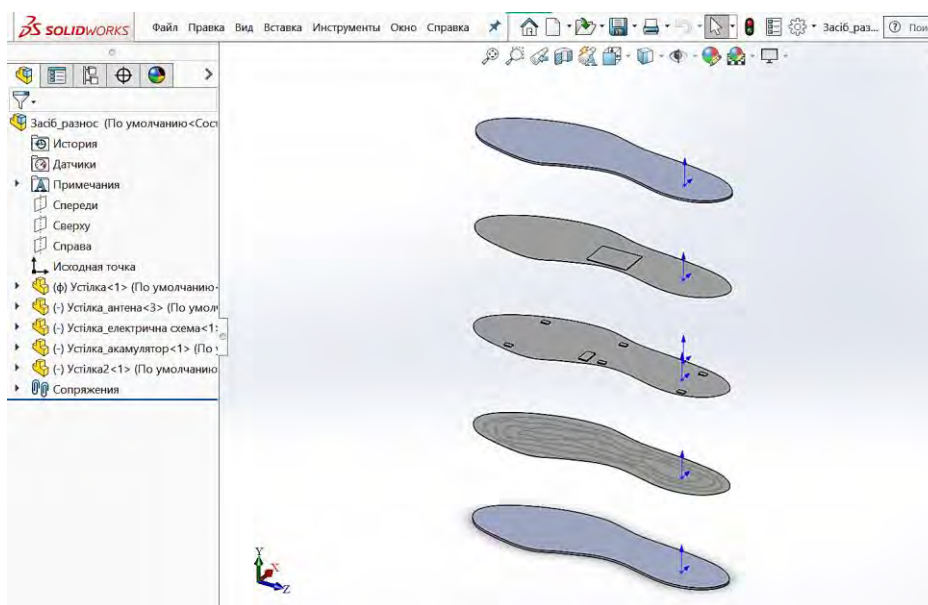


Рисунок 2.6.4 — Вид засобу з рознесеними шарами

Для проведення подальшого дослідження побудуємо 3 положення нижньої кінцівки у програмному забезпеченні SolidWorks: нормальне, вальгусне та варусне. За необхідності можна розробити більш якісно нижню кінцівку, але для попереднього аналізу досить чорнового варіанту, де більше грає роль

положення ноги і як наслідок цього розробимо все однаково, крім кінцевого відбитку ноги в даному положенні із трьох варіантів (рис. 2.6.5).

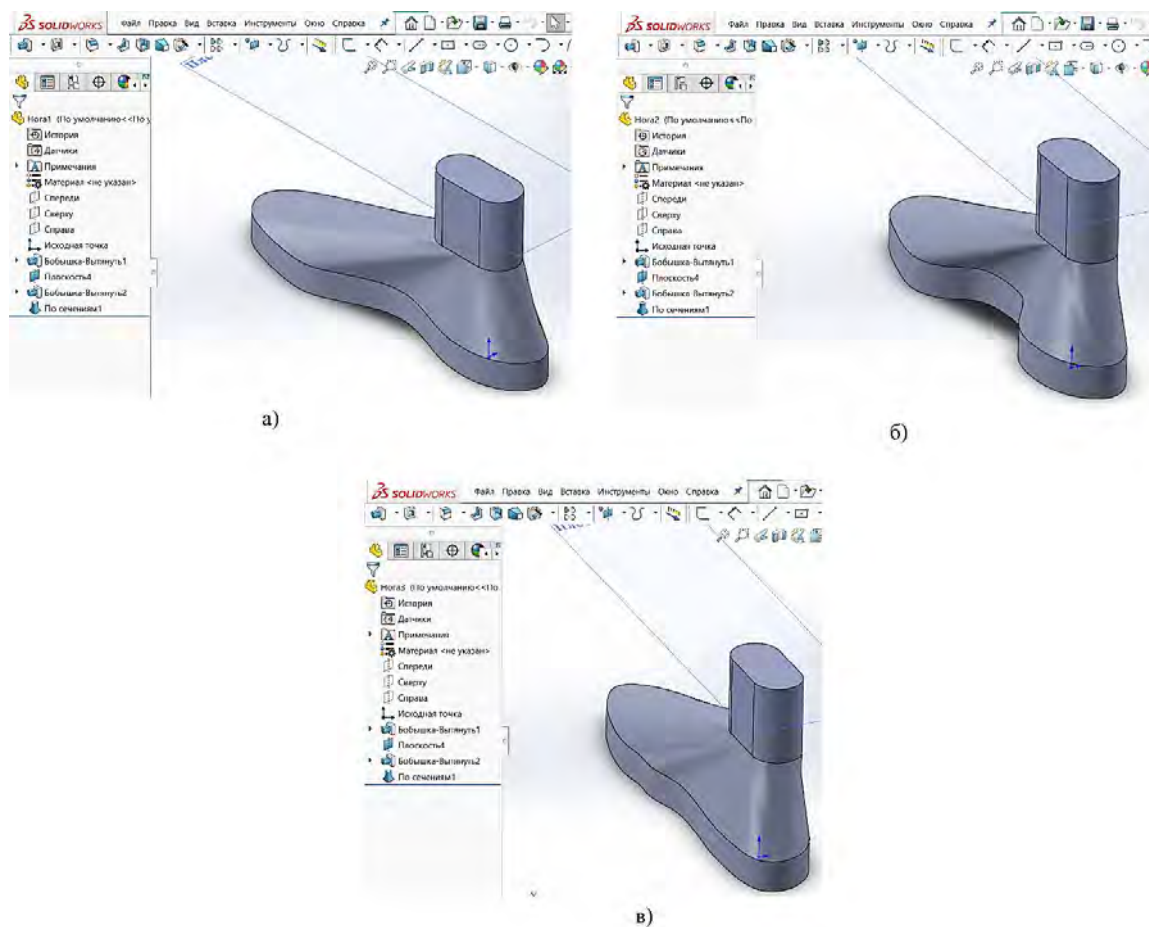


Рисунок 2.6.5 — Чорновий варіант трьох положень нижньої кінцівки: а) нормальне; б) варусне; в) вальгусне

## 2.7. Проведення дослідження в ANSYS

Для цього відкриваємо вікно Workbench та одразу встановлюємо одиниці вимірювання проєкту на «SI (kg, m, s, K, A, N, V)». На панелі інструментів обираємо «Static Structural» таких створюємо три та перейменовуємо назвою положення (рис. 2.7.1).



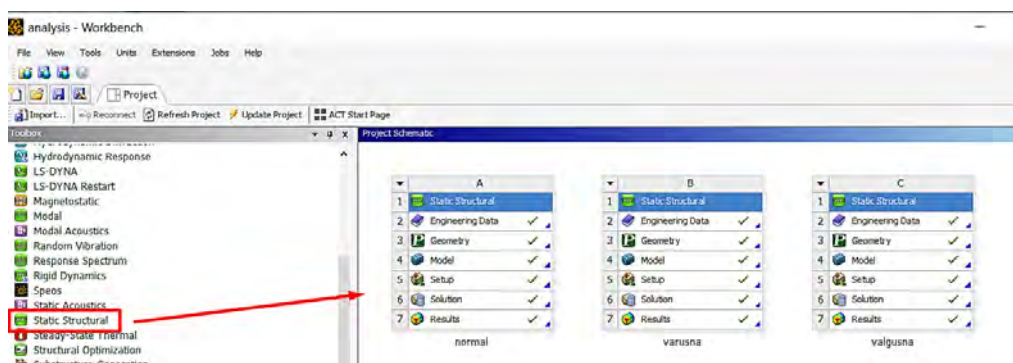


Рисунок 2.7.1 — Системи для дослідження

Обираємо у кожному системі збірку з деталей положення ноги у певному положенні та засобу (рис. 2.7.2).

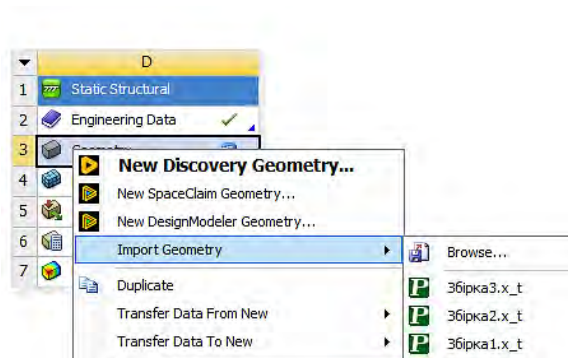


Рисунок 2.7.2 — Обрання збірки для дослідження

Переходимо до Mechanical ANSYS натиснувши двічі в системі Model. Закріплюємо засіб з нижньої поверхні та нижню кінцівку блокуємо у переміщенні, крім осі Y та прикладаємо силу до нижньої поверхні ноги у розмірі 300 Н, а саме будемо вважати у даному дослідженні, що прискорення вільного падіння буде дорівнювати  $10 \text{ кг/м}^3$ , а навантаження на одну ногу буде припадати рівно половина від маси людини, тобто 30 кг (рис. 2.7.3).

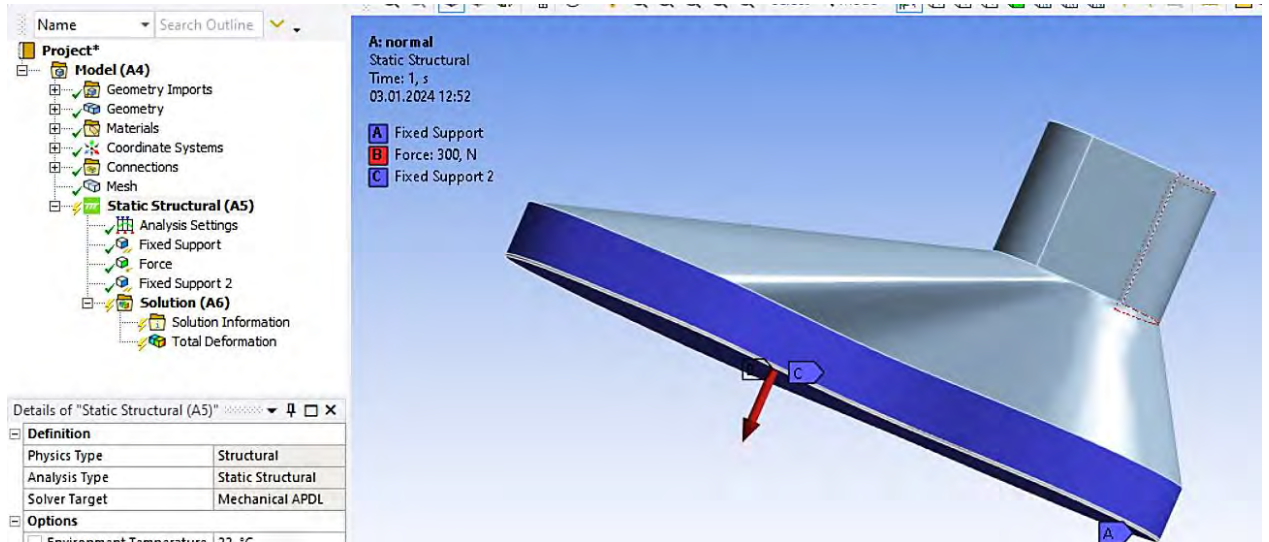


Рисунок 2.7.3 — Введення граничних умов та навантаження

Аналогічно проведемо всі підготовчі моменти для двох інших моделей. Розв'яжемо їх за допомогою Total Deformation та отримаємо результати (рис. 2.7.4).

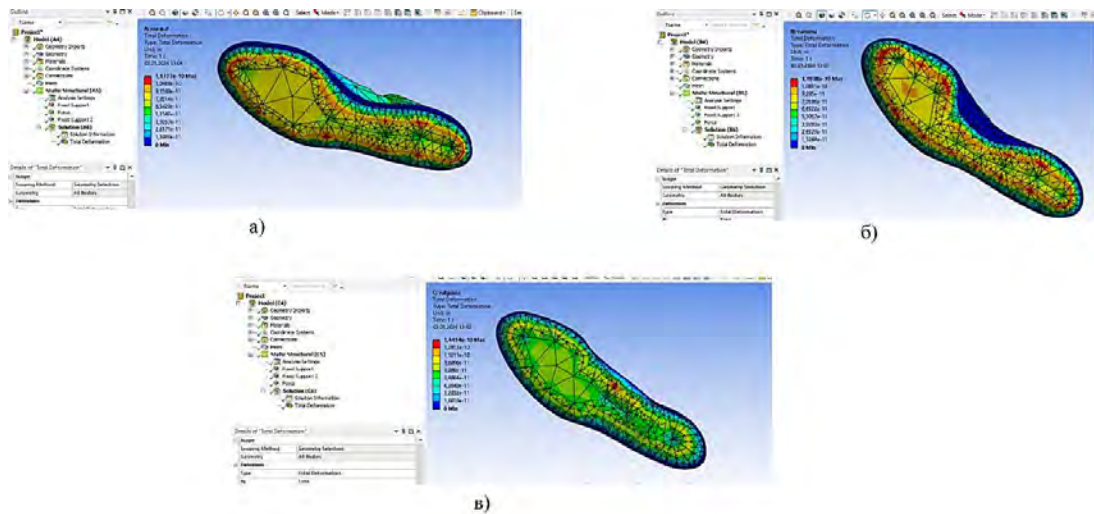


Рисунок 2.7.4 — Розв'язок для трьох положень нижньої кінцівки: а) нормальне; б) варусне; в) вальгусне

Як бачимо із результатів дослідження, що на рис. 2.7.4 (а) вага розподілена правильно по устілці та залишає невелике вільне місце під западиною коротким м'язом розгиначем великого пальця стопи. Кардинально різна картина з нормальним положенням, на рис. 2.7.4 (б) дуже багато місця значення тензодатчика у цій зоні будуть майже нульові, також бачимо на рис.

2.7.4 (в) у місці западини є показники тиску на рівні з іншими датчиками — це не є нормою.

## 2.8. Удосконалення системи у майбутньому

На даному етапі розробки система містить у собі такі елементи, як:

- два матеріальних шари для засобу «устілки»;
- плівка, яка слугує провідником — антеною;
- металеві пружні елементи з датчиками;
- основна електрична схема;
- плівка з акумулятором;
- смартфон.

Щоб система стала ще більш ефективною для реабілітації людини, можна додати ще 2 елемента у систему — камери. Їх присутність у системі дасть ще одну змогу переконатись у правильності або не правильності постави ноги у людини.

Додавання камер до розробленої системи значно посилює її функціонал та ефективність для реабілітації людини. Камери можна розмістити з обох боків системи, щоб вони могли відстежувати рухи ніг та загальну поставу користувача. Це дозволить системі не лише контролювати фізичний контакт ноги з засобом, але і надавати візуальний звіт щодо положення тіла та ніг у реальному часі.

Така інтеграція камер в систему дозволить персоналу та пацієнтам отримувати більш деталізовану інформацію про рухові навички та досягнення у відновленні фізичної активності. В цілому, це покращення забезпечить більш точний та індивідуалізований підхід до реабілітації людини з проблемами опорно-рухового апарату.

Якщо у пацієнта не правильна постава ноги, ми це побачимо по зображенню (рис. 2.9), навіть ситуета з камер — результатом буде викривлення тіла у той чи інший бік, це і буде додаткова діагностика для діагностики.



Рисунок 2.9 — Схема вдосконаленої системи засобу

Діагностика буде відбуватися завдяки передаванню через WI-FI відео із камер, де зможемо побачити в цілому картину, як людина пройшла та окремо поставу ніг.

Камери будуть за синхронізовані з іншими елементами системи, як тільки на тензодатчики буде здійснений натиск камери автоматично будуть ввімкнені та будуть вести запис.

Щоб подальше розширення системи було більш повним та інтегрованим, можна врахувати можливість автоматичного аналізу зібраних даних за допомогою штучного інтелекту. Методи машинного навчання можуть допомогти виявляти паттерни у рухах користувача, роблячи систему більш адаптивною та персоналізованою.

Для забезпечення додаткової безпеки та комфорту користувача можна розглянути можливість додавання сенсорів для виявлення надмірної

температури чи вологості у взутті. Це дозволить уникнути неприємностей та підвищити загальний рівень зручності використання системи.

Для додаткового підвищення функціональності можна розглянути інтеграцію системи з хмарними технологіями. Це дозволить зберігати дані в безпечному хмарному сховищі та надавати можливість доступу до статистики та рекомендацій з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету.

Врахування відгуків та сприйняття користувача також може бути важливим елементом. Додавання можливості налаштування параметрів системи через інтерфейс смартфона або комп'ютера дозволить кожному користувачеві персоналізувати процес реабілітації відповідно до його потреб і комфорту.

Такі розширення не лише покращать функціонал системи, але й дозволять створити інтегровану та інтелектуальну платформу для ефективної реабілітації та підтримки здоров'я користувачів.

Підсумуємо, що дасть нам у майбутньому впровадження камер у систему. Ця система має потенціал суттєво покращити ефективність та функціональність проекту. Використання камер у загальній системі із засобом в цілому може бути спрямоване на кілька ключових аспектів:

- Відстеження рухів користувача: камери можуть слугувати для відстеження рухів користувача в реальному часі. Це дозволяє системі отримувати точну інформацію про положення тіла та кінцівок. Такий збір даних може бути використаний для оцінки правильності виконання вправ та динаміки рухів під час реабілітаційних тренувань.

- Оцінка постави та балансу: камери можуть допомагати в визначенні постави користувача та оцінці його балансу. Це важливо для реабілітації, оскільки деякі порушення можуть впливати на правильність стояння та рухів. Система може надавати зворотний зв'язок та коригувати тренувальні програми на основі цих даних.

- Виявлення паттернів рухів: застосування штучного інтелекту для аналізу зображень з камер дозволяє виявляти паттерни у рухах користувача. Можна використовувати алгоритми машинного навчання для автоматичного розпізнавання та класифікації різних типів рухів чи поз. Це допомагає медичному персоналу або пацієнту та системі надавати індивідуалізований підхід до реабілітації.

- Підтримка візуалізації прогресу: відеозаписи та зображення з камер можуть служити важливим інструментом для візуалізації прогресу користувача. Користувачі та медичний персонал можуть переглядати записи тренувань, порівнювати результати та спостерігати за поліпшенням з часом.

Інтеграція штучного інтелекту в аналіз зображень з камер дозволяє автоматизувати процеси відстеження та аналізу даних, що значно прискорює обробку та дозволяє системі надавати більш деталізований та індивідуалізований зворотний зв'язок.

## ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ

У цьому розділі детально розглянуті ключові аспекти розробки реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки. Починаючи з патентного пошуку, де було визначено предмет, область та глибину пошуку, де було проведено докладний аналіз сучасних рішень та визначено ступінь унікальності та новаторства запропонованого засобу, досягнуто успішних результатів, які відобразились у подальших етапах роботи. Розроблено ключові аспекти, необхідні для впровадження інноваційного реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки.

Розроблено принципову схему засобу, визначено елементарну базу, включаючи мікроконтролер ESP32-C3, тензорезистор BF350-3AA та інші компоненти, які забезпечують ефективну роботу систем. Використання акумулятора Panasonic CG-062939 та системи зарядки MCP73812 враховує аспекти мобільності та довготривалої автономної роботи пристрою. Розглянуто формули для розрахунків тензорезистора та пружного елемента, які надають важливі параметри для подальшої оптимізації та точності реабілітаційного засобу.

Спроектowana принципова електрична схема визначає взаємодію всіх компонентів, забезпечуючи стабільність та надійність функціонування.

Реалізація реабілітаційного засобу та нижньої кінцівки у SolidWorks та проведення дослідження в ANSYS сприяють не лише вдосконаленню конструкції, але й виявленню потенційних аспектів для подальшого розвитку.

У розділі також розглядається питання подальшого удосконалення системи включенням у систему камер. Визначені можливості для майбутнього враховують технічні та функціональні аспекти, що дозволять розширити функціональні можливості та підвищити правильність діагностики реабілітаційного засобу.

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ДИЗАЙН-ПРОЄКТУ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБУ

### 3.1. Розробка алгоритму роботи мікросхеми засобу

Для програмування загальної мікросхеми потрібно встановити середовище розробки ESP-IDF та налаштувати його для мікроконтролеру ESP32-S3. Після цього Ви можете написати код для взаємодії з тензорезисторами та іншими пристроями засобу. Для цього розглянемо загальний алгоритм роботи мікросхеми засобу на рисунку 3.1.

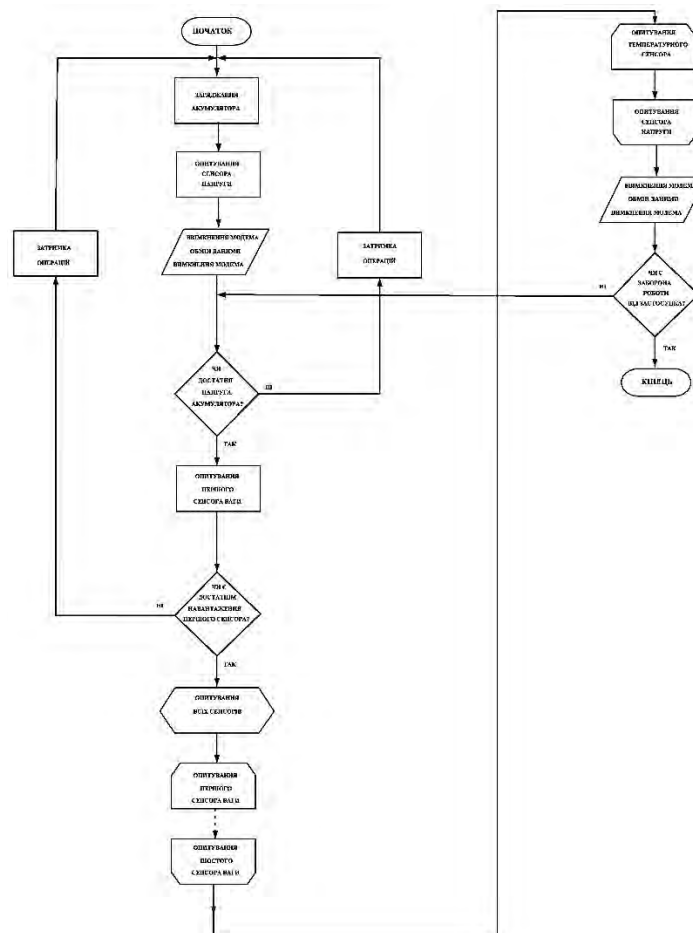


Рисунок 3.1 — Алгоритм роботи мікросхеми засобу

В перший момент часу рівень заряду акумулятора засобу є недостатнім для роботи, засіб знаходиться на зарядному пристрої. Проходить опитування сенсора напруги акумулятора (в нашому випадку це вихід компаратора напруги



MAX1676, позначення LOW BATTERY). Після опитування відбувається ввімкнення модема, обмін даними, вимкнення модема. Така модель поведінки зумовлена метою максимального збереження заряду акумулятора. Під час обміну даними мобільним застосунком аналізується, чи є достатнім рівень заряду акумулятора, вводяться дані для визначення достатнього навантаження на перший тензорезистор.

Якщо рівень заряду недостатній, то відбувається затримка операцій (перехід МК в енергозберігаючий режим на певний час), після чого знов здійснюється опитування сенсора напруги.

Якщо рівень заряду достатній, то відбувається опитування тензористора. Якщо рівень навантаження недостатній (засіб стоїть на зарядці, людина сидить), то знов відбувається затримка операцій, можливе заряджання акумулятора.

Якщо рівень навантаження достатній, то починається опитування всіх шести тензорезисторів, внутрішнього сенсора температури, сенсора напруги. Далі вмикається модем, відбувається обмін даними між засобом і мобільним застосунком, вимикається модем. Якщо немає заборони від застосунку, то знов відбувається опитування першого сенсора і далі згідно раніш описаного. Якщо є заборона від застосунку (рівень заряду акумулятора недостатній, рівень температури вийшов за межі, рівень навантаження на засіб занадто великий), то засіб переходить в енергозберігаючий режим, аж до зовнішньої ініціації засобу з боку мобільного застосунку.

Надалі можна розвивати функціонал роботи мікросхеми засобу за допомогою додавання можливо якихсь нових датчиків у систему.

### **3.2. Розробка алгоритму роботи мобільного застосунку**

Розробка ефективного алгоритму для роботи мобільного застосунку стає ключовим етапом у створенні успішного продукту, який задовольнить потреби користувачів.



В подальшому можна розвивати функціонал даного застосунку, наприклад у електричній схемі містить датчик температури можна також відслідковувати цей параметр.

### 3.3. Створення дизайн-проекту для мобільного застосунку

В епоху мобільних технологій ефективний та привабливий дизайн мобільного застосунку визначає його успіх на ринку. Від першого враження до користування кожною функцією — дизайн визначає взаємодію користувача з продуктом, а отже, його популярність та користувацький досвід. У цьому підрозділі розглянемо процес створення дизайн-проекту для мобільного застосунку автоматизованого реабілітаційного засобу.

Розробка дизайн-проекту буде відбуватись у програмному забезпеченні Figma у веб-версії. Гарна та проста назва, яка буде легко запам'ятовуватись користувачеві обрана «WalkFit». Розробка заставки застосунку (рис. 3.3.1), яка буде у користувачів на головних екранах вимагає простоти та зрозумілості про що даний застосунок.



Рисунок 3.3.1 — Заставка застосунку

Створення дизайну екранів для авторизації користувачів: для нових запропонована реєстрація за поштою або номером телефону, також прості шляхи реєстрації через акаунти Google, Facebook та Apple; для діючих користувачів вхід за логіном та паролем або також прості входи через акаунти Google, Facebook та Apple. (рис. 3.3.2).

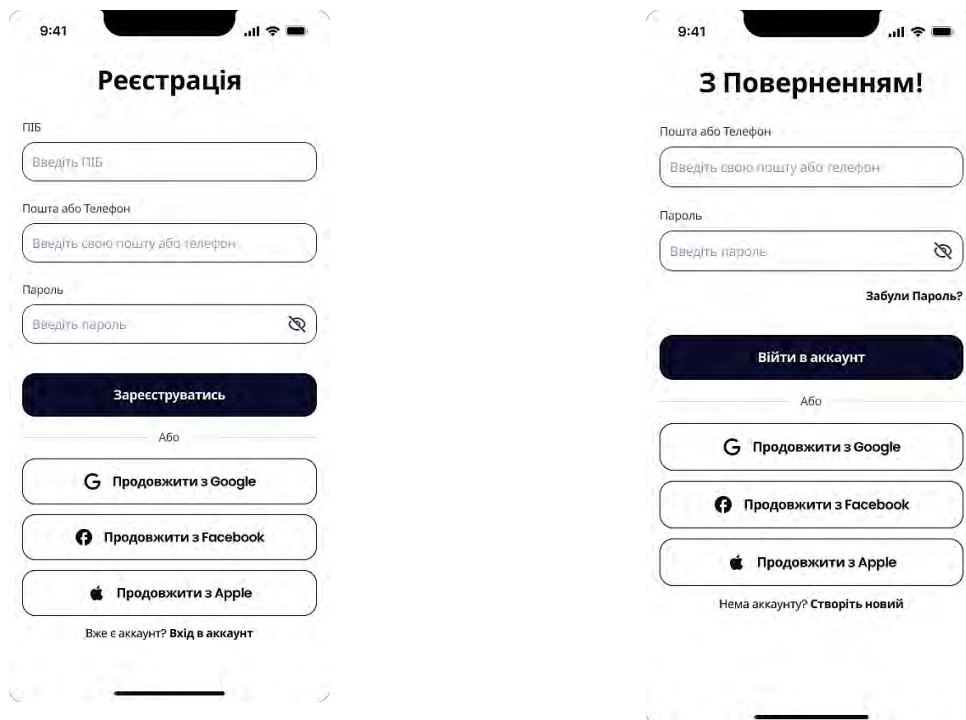


Рисунок 3.3.2 — Авторизація користувача

Створення екранів для допоміжної функції «Забули Пароль?». Буде відбуватись за вказаною поштою або номером телефону при реєстрації. Після цього надійде підтверджувальний чотирьох значний код після цього вікно введення нового паролю (рис. 3.3.3)

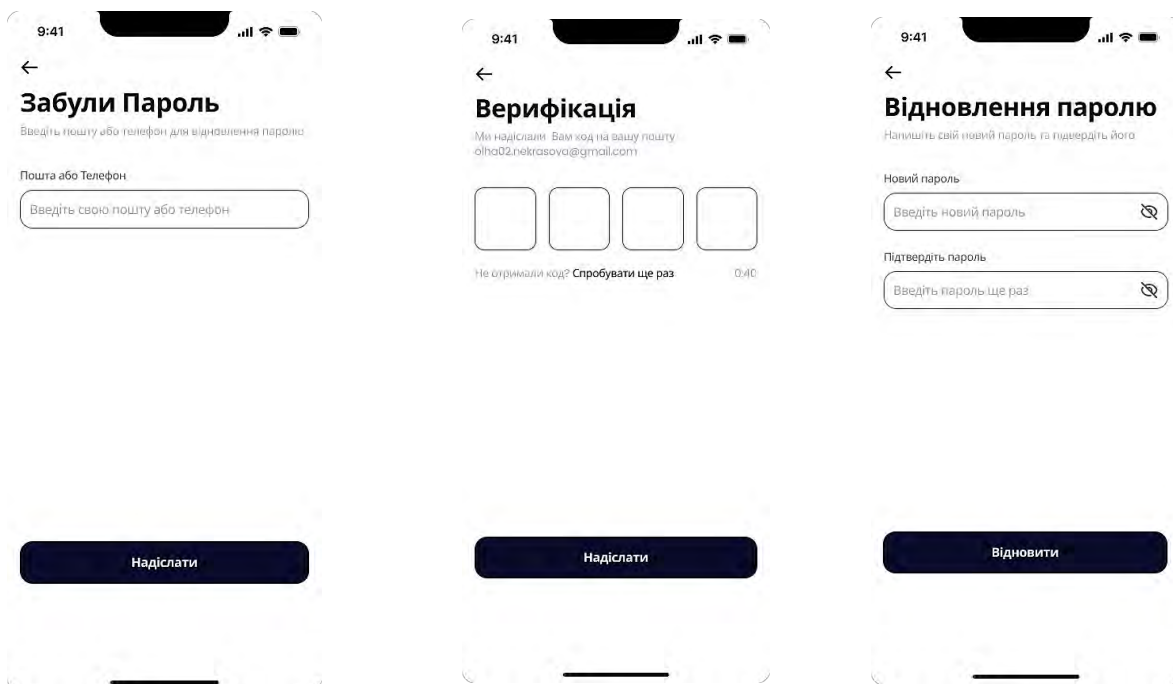


Рисунок 3.3.3 — Екрани для допоміжної функції «Забули Пароль?».

На головному екрані буде відбуватись контроль постави, підключення засобу, а також дані про кожну із стоп. Окремі зображено праву та ліву ногу, що гортається свайпом. Спочатку ми побачимо неактивні датчики сірим кольором, після підключення буде відображено кольором покази датчиків: червоний — не в межах норми; зелений — норма. Після чого можемо натиснути кнопку та подивитись дані про кожний датчик.

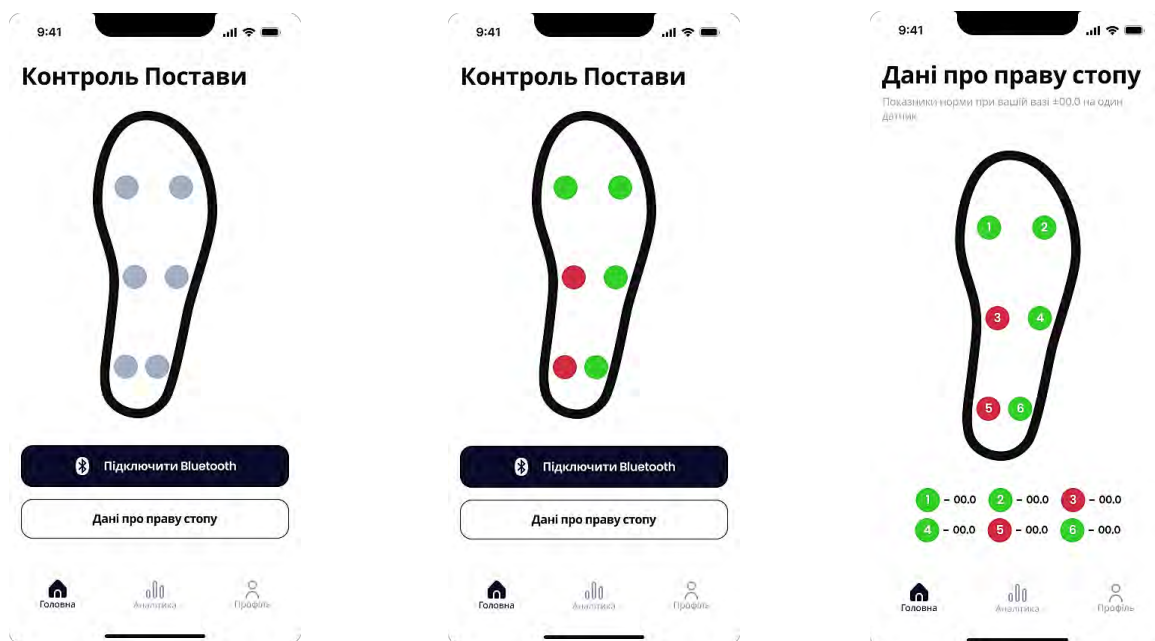


Рисунок 3.3.4 — Головний екран для правої стопи

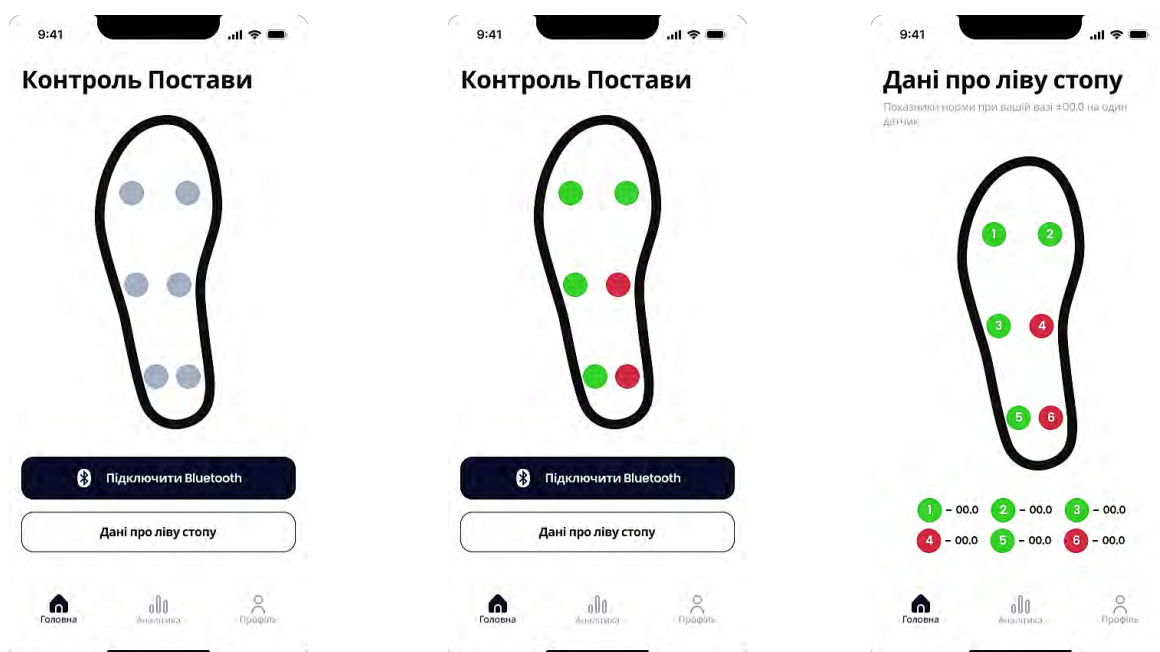


Рисунок 3.3.5 — Головний екран для лівої стопи

Повідомлення на головному екрані про порушення постави стопи із рекомендаціями по виправленню, а також розроблений екран із спливаючим повідомленням від застосунку, наведено на рисунку 3.3.6.

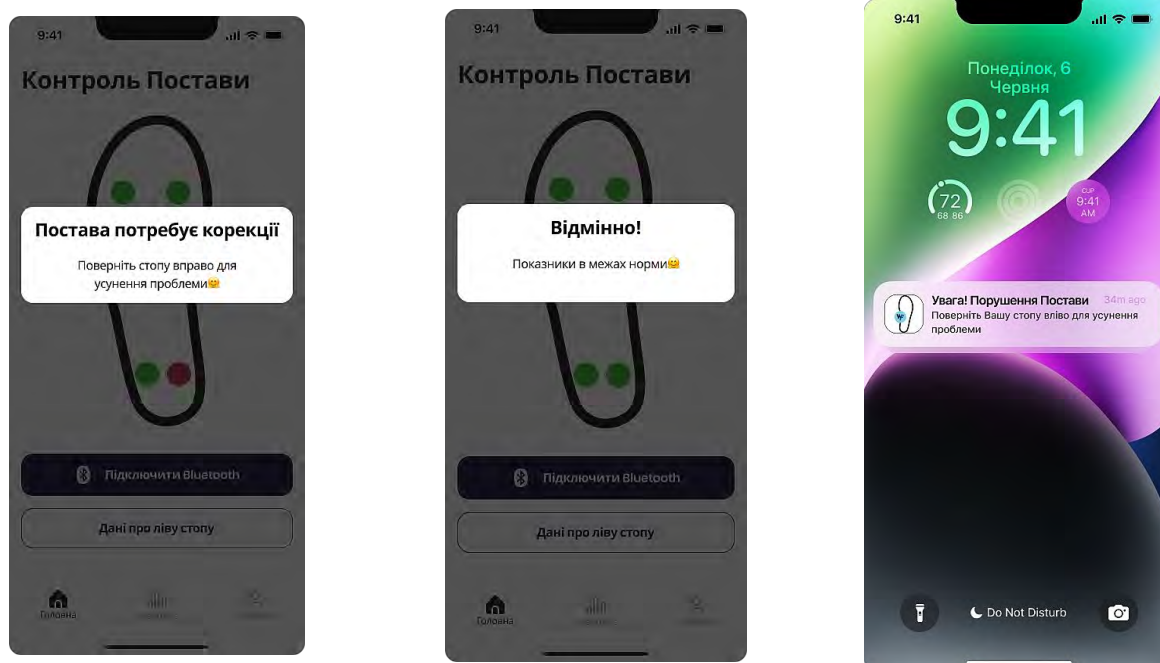


Рисунок 3.3.6 — Повідомлення про порушення постави

На рисунку 3.3.7 наведено два інших вікна: аналітика, де можна відстежити прогрес у реабілітації; профіль, де в особистих даних треба ввести свою вагу та діапазон критичних значень.

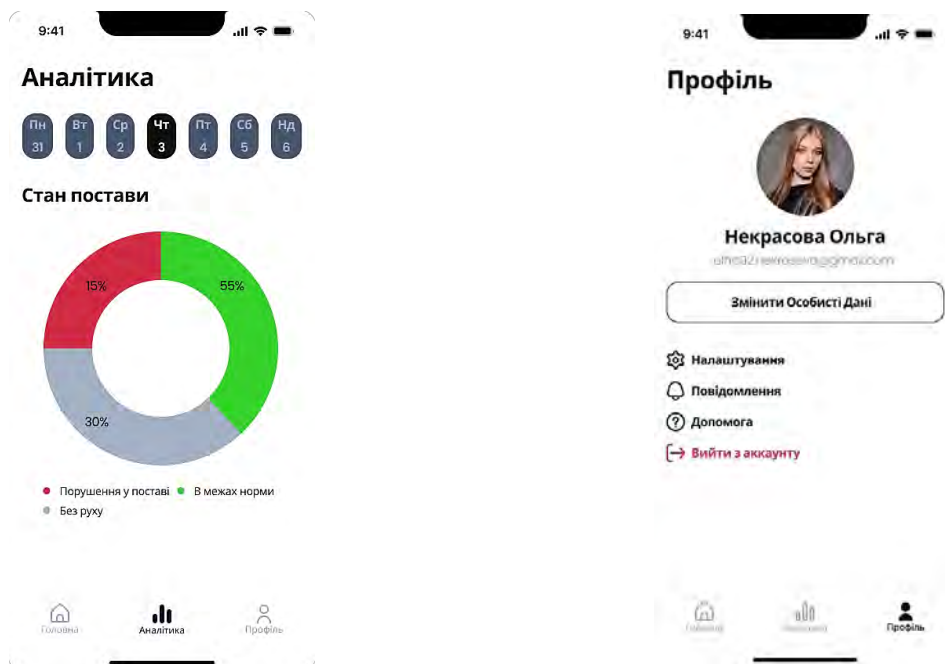


Рисунок 3.3.7 — Екрани «Аналітика» та «Профіль»

## ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

У цьому розділі було розглянуто ключові етапи розробки та функціоналу автоматизованого реабілітаційного засобу. Починаючи з розробки алгоритму роботи мікросхеми на основі мікроконтролера ESP32-C3. Розглянуто алгоритм роботи мікросхеми при різних рівнях заряду акумулятору пристрою, при різних навантаженнях, коли ці показники в нормі, запускається опитування всіх шести тензорезисторів, внутрішнього сенсора температури і сенсора напруги. Після цього активується модем для обміну даними з мобільним застосунком, а після завершення обміну модем вимикається.

Далі, у контексті розробки роботи мобільного застосунку, визначено ключові завдання, які включають авторизацію користувача, підключення по Bluetooth, введення та відображення особистих даних та показань датчиків. Виділено можливості подальшого розвитку застосунку через інтеграцію нових датчиків, які можуть служити додатковими джерелами інформації.

Завершуючи розділ, приділено увагу створенню дизайн-проекту для мобільного застосунку, ретельно розглянуто етап створення ефективного та привабливого інтерфейсу, який грає ключову роль у взаємодії користувача з продуктом.

Розглянуто процес розробки дизайну застосунку у програмному забезпеченні Figma у веб-версії, зокрема, визначено просту та легко запам'ятовувану назву застосунку — "WalkFit". Детально розглянуто створення заставки застосунку, в якій врахована необхідність простоти та зрозумілості для користувачів. Створено три екрани, але більшість дій зосереджено на головному. Дизайн-проект визначає важливі аспекти не лише ефективності та зручності користування, але й привабливості та естетичності застосунку "WalkFit", що сприяє його успішному впровадженню та прийняттю користувачами.



## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНИЙ РЕАБІЛІТАЦІЙНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ»

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

Розглянувши в попередніх розділах вплив плоскостопісті на життя людини та актуальність створення нового засобу для реабілітації людей. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап-проєкту присвяченому розробці автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки.

Ідея проєкту полягає у впровадженні комплексу ідей, що буде наведено в табл. 4.1.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизований реабілітаційний засіб	Реабілітація нижньої кінцівки	Правильна не травмуюча ходьба
	Профілактика плоскостопісті	Досягнення результату шляхом самовихованням правильності постави ноги
	Виявлення проблеми на ранніх стадіях	Швидке виявлення даної проблеми

Отже, пропонується новий спосіб реабілітації нижньої кінцівки, що буде ефективним та комфортним у користуванні. Дана розробка дає змогу користувачеві самостійно провести реабілітацію плоскостопісті, шляхом запам'ятовування та вироблення звички правильності постави положення ноги, а саме проаналізувати через дані надані засобом рівномірного або навпаки натиску на ступню.

Наведемо розширену інформаційну карту проекту у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Інформаційна карта проекту

Назва блоку	Характеристика
<b>Загальна характеристика стартап-проєкту</b>	
Назва стартап проєкту	Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки
Проблематика, яку вирішує стартап проєкт	Спрямований на реабілітацію нижньої кінцівки
Головні цілі та завдання проєкту	Повна або часткова реабілітація нижньої кінцівки
Головні цільові групи, на які спрямований проєкт	Цільова аудиторія люди із діагнозом плоскостопість
<b>Автори та команда стартап-проєкту</b>	
Автори стартап проєкту	Некрасова Ольга; Нечай Сергій
Команда стартап проєкту	Студентка 6 курсу; к.т.н, доцент кафедри АСНК
<b>Опис продукту стартап-проєкту</b>	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	Український стартап «Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки» – спрямований на реабілітацію нижньої кінцівки. Засіб вам повідомить через мобільний додаток, що у вас правильна або не правильна постава ноги і дасть рекомендації, які це виправити.
Сфера застосування та функціональне призначення продукту	Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки – це система засобу та зв'язаним з ним мобільного додатку, що виконує функцію розпізнавання правильності ходи.
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Засіб працюють в зв'язці з спеціальним мобільним додатком, який дає можливість користувачеві відслідковувати стан його ходьби та прогрес у реабілітації плоскостопості
Стадія розробки продукту стартапу	Конструкторське та технологічне розроблення продукту
Технічні характеристики	Плівкові тензодатчики, батарея, плівкова антена для бездротової зарядки батареї, мікроконтролер, система зарядки акумулятору, система стабілізації напруги та мобільний додаток.
Супровід продукту	Встановити додаток на смартфон, та отримувати повідомлення вразі не правильної ходьби

Продовження таблиці 4.2.

<b>Забезпечення стартап-проєкту</b>	
Необхідні ресурси	Як мінімум для запуску виробництва біля 500 000 грн.
Потреба в інвестиціях	Завжди потрібні
Інтелектуальна власність	Реєстрація патенту у майбутньому
<b>Результати стартап-проєкту</b>	
Термін реалізації стартап-проєкту	Запланований до 2025 року
Плановані кількісні показники стартап проєкту	Розробка сайту та додатків для слідкування, електронна система засобу
Якісні показники стартап-проєкту	Зменшити кількість випадків плоскостопості українців
Загальні очікувані результати	Реабілітація повна або часткова за допомогою автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки

Складемо морфологічну карту ідеї стартап-продукту (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Морфологічна карта

<b>Основні параметри</b>	<b>Проміжні рішення</b>				
	<b>1-ше</b>	<b>2-ше</b>	<b>3-ше</b>	<b>4-ше</b>	<b>5-ше</b>
Неправильна постава	Самостійно проаналізувати чому є дана проблема	З'ясувати чи є плоскостопість народними методами	Сходити на прийом до профільного спеціаліста	Піти на обстеження на плантографію	Застосувати автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки
Зворотній зв'язок	Використати дисплей з показами датчиків	Додати вібровідгук при неправильній поставі ноги	Розробити зберігання даних про експеримент носки засобу на карту пам'яті	Розробити мобільний додаток, який буде зв'язаний по мережі WI-FI з засобом	Застосувати автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки
Зарядка засобу	Використати звичайні одноразові батареї	Використати акумуляторні батареї	Використовувати дротову зарядку	Використовувати бездротову зарядку	Застосувати автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів [20]:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.4).

Серед представлених товарів немає конкурентів тому, що розроблений засіб буде унікальний. Тому орієнтуємось на виробників, які створюють товар з схожою дією:

Конкурент 1 — Подоскоп PODO;

Конкурент 2 — Плантограф ПЗ-01М;

Конкурент 3 — Плантограф Koordynacja.

Таблиця 4.4. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	PODO	ПЗ-01М	Koordynacja			
1.	Вартість програмного забезпечення	Дешева	Найдорожча на ринку	Дорога	Помірна			+
2.	Вартість виробництва	Низька	Дорога	Дорога	Помірна			+
3.	Ліквідність	Постійно зростаюча	Стабільна	Поступово падає	Стабільна		+	+

Продовження таблиці 4.4.

№ п/ п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	PODO	ПЗ-01М	Koordynacj a			
4.	Собівартість виготовлення продукції	Низька	Дорога	Дорога	Помірна			+
5.	ВВП	Постійно зростаюча	Стабільна	Поступово падає	Стабільна		+	
6.	Торгова марка	Потребує реклами	Найвідоміша	Відома в вузьких колах	Потребує реклами	+		

Як бачимо, мій проект має як сильні так і поки що слабкі сторони, пов'язані з унікальністю засобу на даний час.

Незважаючи на це, техніко-економічні характеристики проекту дозволять підприємству в найкоротший термін досягти високого рівня прибутку.

Перед тим, як розпочати фазу впровадження проекту, вважаю за необхідне ретельно вивчити його реальні перспективи. Для цього проведемо аналіз технологічної реалізованості концепції проекту. Основна мета цього етапу — визначити, наскільки ефективно та життєздатно може бути впровадження задуманого підприємства по виробництву автоматизованих реабілітаційних засобів для нижньої кінцівки.

Аналіз технологічної реалізованості включатиме в себе ретельне дослідження параметрів, які визначені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Виробництво автоматизованих реабілітаційних засобів для нижньої кінцівки	Створення програмного забезпечення	Конструктори, CAD та Simulation програми	Більшість програмних комплексів для вирішення поставлених задач безкоштовні
		Збір комплектуючих	Створення та реалізація по збору електронних схем	Легко впроваджується за рахунок сучасних технологій
		Налагодження ринку збуту	Висока потреба цивільного населення в таких засобах	Впровадження рекламних проєктів в соц. мережах, телебаченні та ін

Після ретельного аналізу отриманих даних в таблиці можна зробити висновок, що впровадження проєкту не зіткнеться з жодними суттєвими перешкодами, які могли б суттєво вплинути на досягнення визначеної мети.

#### 4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє уникнути визначених ризиків та легше впровадити продукт на ринок.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	Близько 5 фірм на ринку України
2.	Загальний обсяг продаж, грн	до 10 млн.
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростаючий попит цивільного ринку

Продовження таблиці 4.6.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Унікальний продукт
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує сертифікації МОН та МОЗ
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Від 50-80 в залежності від регіону

Аналіз вказує на те, що ринок демонструє зростаючу динаміку, а попит на наш запропонований продукт є значущим. Ці позитивні тенденції свідчать про обґрунтованість введення продукції на ринок. Надійна динаміка ринку створює сприятливі умови для успішного впровадження проєкту та досягнення поставлених цілей.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.7).

Таблиця 4.7. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Модернізація та автоматизація технічних засобів для реабілітації	Медичні установи та люди, які мають в цьому потребу	Закупка малими партіями або поштучно	Практичність, надійність, легкість у користуванні

З таблиці очевидно, що ми маємо лише одну цільову групу споживачів, для якої ми можемо повністю задовольнити потреби.

При застосуванні даної технології існують певні загрози (таблиця 4.8).

Ринкові можливості представляють собою сприятливі умови, які підприємство може використовувати для отримання конкурентних переваг. Наприклад, це може бути погіршення позицій конкурентів, раптовий зріст попиту, впровадження нових технологій у виробництво, зростання рівня доходів населення та інші фактори. Важливо відзначити, що можливості, які враховуються у SWOT-аналізі, не охоплюють всі існуючі на ринку можливості, а лише ті, які можуть бути успішно використані.

Ринкові загрози є подіями, які можуть має несприятливий вплив на функціонування підприємства. Наприклад, це може включати виходження нових конкурентів на ринок, збільшення податків, зміну смаків споживачів, зменшення народжуваності та інші чинники.

Таблиця 4.8. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Якість	Незадоволення очікувань клієнтів	Покращення продукту
2.	Політичний	Підвищення податків	Податкові канікули
3.	Економічний	Неліквідність виробництва впродовж тривалого часу	Підвищення автоматизації та збільшення обсягів продажу
4.	Випадковість	Пожежі, землетруси, крадіжка та ін.	Страховання компанії
5.	Торговий	Монополізація з боку існуючих компаній	Демпінг
6.	Інформаційний	Розповсюдження негативних відгуків з боку конкурентів	Рекламні компанії в соц. мережах та ін

Фактори загроз можуть внести негативний вплив та викликати труднощі під час впровадження виробництва, але якщо врахувати їх на



початковому етапі розробки, це дозволить зменшити їхні негативні наслідки та спростити процес впровадження.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Збільшення попиту	Збільшення зацікавлених клієнтів дослідженнями	Можливість отримання інвестицій
2.	Обслуговування	Потреба в обслуговуванні	Підтримка програмного забезпечення та сервісний центр
3.	Інвестиції	Залучення нових інвестицій	Збільшення витрат на маркетинг
4.	Сумісність з різними операційними системами	Використання різних операційних систем створює проблему конфліктності у використанні однієї платформи	Написання прошивки під роботу з різними операційними системами
5.	Впровадження нових технологій	Якісне впровадження нових технологій, модернізація застарілих рішень	Підвищення вартості

Фактор підвищення попиту є найбільш реалізованим, оскільки пристрій відповідає вимогам потенційних клієнтів, забезпечуючи точність, діапазон вимірювань та автоматизовану передачу даних. Залучення значних інвестицій

допомагає значно підвищити рівень бізнесу, тому важливо залучати нових інвесторів до співпраці.

Після проведення аналізу загроз і можливостей можна зробити висновок, що ринок технічних засобів для реабілітації нижніх кінцівок є перспективним для входу нових компаній.

Далі розглянемо аналіз та визначимо основні риси конкуренції на ринку (таблиця 4.10).

Конкуренція — це змагання між суб'єктами ринкової економіки за найкращі умови виробництва та вигідні позиції на ринку.

Конкуренти — це компанії, які діють на тому ж ринку, з однаковою цільовою аудиторією і пропонують схожі продукти або послуги.

Таблиця 4.10. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<b>Особливості конкурентного середовища</b>	<b>В чому проявляється дана характеристика</b>	<b>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</b>
Чиста конкуренція	Окремі компанії які виробляють схожий по результату продукт не можуть вплинути на ціну	Концентрації діяльності підприємства на якість товару
За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний	Наявність клієнтів із інших держав	Покращення реклами та залучення нових клієнтів
Конкуренція за галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Використовується в одній галузі	Покращення реклами та залучення нових клієнтів
Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Конкуренція, що виникає між товарами одного виду	Клієнтоорієнтовність та адаптивність до вимог ринку
За характером конкурентних переваг - цінова	Ціна залежить від собівартості виготовлення	Моніторинг цін на ринку
За інтенсивністю - марочна	Зареєстрований бренд, марка має величезний вплив на вибір і думку покупця	Реєстрація марки, покращувати якість товару, знижувати ціну. Створення фірмового стилю компанії та реклама

З таблиці можна висновок, що через малу кількість конкурентів на ринку спостерігається чиста конкуренція. Розробка полягає у створенні абсолютно нового і не схожого товару на ринку серед інших продуктів, які мають схожі на виході результати. Конкурентна боротьба є міжнародною та внутрішньогалузевою.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.11. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<b>Прямі конкуренти в галузі</b>	<b>Потенційні конкуренти</b>	<b>Постачальники</b>	<b>Клієнти</b>	<b>Товари-замінники</b>
<b>Складові аналізу</b>	PODO, ПЗ-01М, Koordynasja	Ціна, габаритність, швидкість роботи	Без дистриб'юторів. Самі ж компанії являються постачальникам и товарів на ринок, щоб уникнути додаткових витрат	Не мають вибору обирати із якихсь альтернатив	Неякісно написані програми- аналоги
<b>Висновки:</b>	Невелика конкуренція	Вихід на ринок через 1 рік	Постачальники продукції для створення продукції встановлюють ціну	Потреби ринку встанов- люють покупці. Тому це завжди є ключовим фактором.	Часті поломки, вихід з ладу компле- туючих

Проаналізувавши отримані дані з попередніх таблиць, на даному етапі ми вже можемо визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.12. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [19]

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1.	Новизна і прогрес	Унікальність продукту та сучасні технології у розробці
2.	Собівартість	Низька собівартість продукції
3.	Ціна	Оптимальна ціна
4.	Інтуїтивний інтерфейс	Засіб простий в освоєнні, що приваблює споживачів
5.	Інтернет ресурс	Засіб поки що буде представлений для споживачів України
6.	Знижка на оптову закупку	При масовій закупці приладів та комплектуючих – знижки залежно від обсягу

Після аналізу конкуренції та основних факторів конкурентоспроможності, які були представлені вище в таблицях, можна зазначити, що всі розглянуті аспекти можуть бути виправлені або вдосконалені шляхом проведення додаткових досліджень та розрахунків. На основі цих факторів будуюмо таблицю сильних та слабких сторін стартап-проєкту.

Таблиця 4.13. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «DUST\_METER»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з PODO						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Новизна і прогрес	18							+
2.	Собівартість	15						+	
3.	Ціна	15					+		
4.	Інтуїтивний інтерфейс	12				+			
5.	Інтернет ресурс	6					+		
6.	Знижка на оптову закупку	7			+				

З таблиць 4.12 та 4.13 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.14. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Вартість програмного забезпечення</li> <li>– Вартість виробництва</li> <li>– Ліквідність</li> <li>– Собівартість виготовлення продукції</li> <li>– ВВП</li> <li>– Новизна і прогрес</li> <li>– Собівартість</li> <li>– Ціна</li> <li>– Інтуїтивний інтерфейс</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Новизна торгівельної марки</li> <li>– Інтернет ресурс</li> <li>– Знижка на оптову закупку</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Збільшення попиту</li> <li>– Обслуговування</li> <li>– Інвестиції</li> <li>– Сумісність з різними операційними системами</li> <li>– Впровадження нових технологій</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Якість</li> <li>– Політичний</li> <li>– Економічний</li> <li>– Випадковість</li> <li>– Торговий</li> <li>– Інформаційний</li> </ul>

На підставі проведеного SWOT-аналізу розробляємо альтернативні стратегії, які може знадобитися впроваджувати у разі зіткнення з не вирішувальними труднощами або форс-мажорними обставинами. Це дозволить

підприємству гнучко реагувати на негативні впливи та швидко адаптуватися до змін в навколишньому середовищі.

На основі SWOT-аналізу описаного в таблиці розробляємо альтернативи для виходу стартап-проєкту на ринок та орієнтовні терміни для їх реалізації (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

<b>№ п/п</b>	<b>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</b>	<b>Ймовірність отримання ресурсів</b>	<b>Строки реалізації</b>
1.	Укласти договір з одним медичним закладом, який буде просувати ідею засобу	60%	3 місяці
2.	Укласти договір про продаж із мережею аптек	80%	4 місяці
3.	Розширити компанії внаслідок збагачення цінними кадрами	90%	6 місяців

В залежності від обставин, зі списку зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу, керуючись ринковими можливостями, що діятимуть на той час.

### **4.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту**

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

Таблиця 4.16. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Особовий склад армії	+	Середній	Високий	Легко
2.	Цивільне населення	+	Високий	Високий	Легко
3.	Державні служби	-	Середній	Середній	Середній

Які цільові групи обрано:  
Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із особовим складом армії та цивільним населенням.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи: особовий склад армії та цивільне населення. Так як серед державних служб є багато перевірок на правильність роботи засобу та є конкуренція між вже перевіреними приладами, і відповідно у цей сегмент буде проблематично швидко увійти.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.17. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні і позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей, а особливо залучення споживачів	Робити ставку на якість продукту та обслуговування споживачів з метою створення стійкого попиту на товар	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами. Оптимальне співвідношення ціни та якості	Удосконалення та розширення

Обираючи основну стратегію розвитку, ми отримаємо можливість працювати в чітких рамках взаємодії між виробником і покупцем, виявити точки зв'язку для удосконалення торговельних відносин, що сприятиме позитивному впливу на попит на нашу продукцію.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.18).

Таблиця 4.18. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так, тому що на даний момент на ринку немає схожих технічних засобів для реабілітації нижньої кінцівки	Залучення нових споживачів відбуватиметься за рахунок встановлення конкурентних цін в порівнянні з приблизними аналогами та якістю відомих брендів	Надійність, дешевизна, після продажна підтримка, гарантія	Поступове присвоєння значної долі ринку в данному сегменті ринку. Стратегія лідера

Оскільки проєкт є першопрохідцем саме таких засобів для реабілітації, то обираємо стратегію лідера. Це можливо завдяки тому, що засіб буде легкий та практичний у застосуванні і має найсучасніші технології.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проєкт.



Таблиця 4.19. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1.	Висока якість	Введення систем стандартизації світового рівня	Оптимальне співвідношення ціни та якості	Висока якість продукту та сервісу та відповідальність
2.	Конкурентна вартість	Моніторинг ринку з ціллю визначення потреб споживачів	Здешевлювання вартості за рахунок вітчизняної розробки та складання засобу	Дешевий і в той же час надійний продукт
3.	Придатність до ремонту	Оновлення технологічної бази виробництва та модернізація	Розробка нових каналів зв'язку та впровадження їх в систему	Надійність та взаємозамінність комплектуючих

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

У заключенні цього підрозділу проведемо бізнес-моделювання реалізації стартап-проєкту. Надійна структура бізнесу спонукає довіру серед інвесторів і сприяє залученню інвестицій.

Бізнес-модель представляє собою систему, що включає такі компоненти, як підприємництво, стратегія, економіка, фінанси, операції, конкурентні стратегії, маркетинг і стратегії розвитку компанії. Це абстрактне уявлення про реальний чи потенційний стартап, що відображає його логіку та основні бізнес-процеси, створене для вирішення різних конкретних завдань.

Бізнес-модель проєкту за шаблоном Canvas наведена на рисунку 4.1.

Бізнес-модель - шаблон Canvas		Для старт-проєкту: Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки	Розробник: Некрасова Ольга ПМ-21мп	Дата: 21.12.2023	Версія: 1.0
<b>Ключові партнери</b> Ключові партнери та постачальники деталей самого засобу буде китайські виробники. У цьому виборі зіграло велику роль ціна на основні деталі засобу, що дає можливість зробити собівартість нижчою, а отже і вартість засобу буде більш доступною для покупців.	<b>Ключові види діяльності</b> Залучити інвесторів, найняти професіоналів для розробки: електричних схем, мобільного додатку, інструкції по використанню засобу; для збору продукції у готовий вигляд. Продаж буде здійснюватись через соц.мережі та сайт, у майбутньому співпраця із аптеками, держ. службами. <b>Категорії:</b> Виробництво; Розв'язання проблем; Планування/встановлення зв'язку з покупцем	<b>Ціннісна пропозиція</b> Власне виробництво; самостійна реабілітація плоскостопості. Ми надаємо засіб із докладною інструкцією щодо застосування, технічна підтримка мобільного додатку, сервісний центр.	<b>Відносини з клієнтами</b> Власні інтернет магазини засобу; Індивідуальний підхід до кожного клієнта; Технічна підтримка мобільного додатку; Сервісний центр із гарантією на товар.	<b>Сегменти користувачів</b> Клієнти, які мають проблеми із поставою і які хочуть самостійно реабілітувати плоскостопість	
<b>Мотивація для партнерства</b> Оптимізація та економія при покупці оптом деталей Отримання конкретних ресурсів та дій з ними	<b>Ключові ресурси</b> Перші покупки та задоволені відгуки; Реклама у соц. мережах; Отримання прибутку та постійне удосконалення засобу. <b>Типи ресурсів:</b> Фізичний Інтелектуальний (патент на засіб)	<b>Характеристики</b> Новизна та унікальність виробу; Ефективність та продуктивність засобу; Підлаштування під клієнта індивідуальними замовленнями; Зрозумілий та легкий дизайн засобу та мобільного додатку для користування; Доступна кожному ціна.	<b>Канали</b> Друзі та знайомі; Інтернет сторінки у соц мережах; Постачання у аптеки та співпраця із держ. службами; У майбутньому продажі за кордон.	<b>Ринок</b> Сегментований	
<b>Структура витрат</b> Закупівля на виробництво засобів деталей для збірки; Заробітна плата співробітникам; Оплата приміщення. <b>Бізнес більше залежить від витрат</b> на розробку унікальних пропозицій для клієнтів, щоб задовольними на максимум їх потреби; <b>Характеристики:</b> більш менш фіксовані витрати; економія на масштабі.		<b>Джерела доходів</b> Плата за використання ідеї засобу; Індивідуальна плата за засіб.			

Рисунок 4.1. — Бізнес-модель проєкту за шаблоном Canvas

Отже, можна зробити висновок, що характерними ознаками діючої бізнес-моделі для стартап-проєкту «Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки» є:

- наявність унікальної розробки та у майбутньому отримання на неї патент;
- мінімізація початковий затрат на виробництво;
- ефективність та продуктивність засобу;
- індивідуальний підхід до кожного клієнта;
- постійний розвиток.

#### 4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.20 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.20. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Точність	Забезпечує високу точність ставлення діагнозу	Використання якісних комплектуючих та проведення перевірок якості на кожному етапі виготовлення продукту
2.	Доступність	Доступність до покупки кожному бажаному та легкість в освоєнні засобу	Відносно невисока вартість та можливість підбору комплектації відповідно до потреб клієнта індивідуально.
3.	Комфорт	Зручність та інформативність	Підтримка засобу у мобільному додатку, зарядження на бездротовій зарядці.

Проаналізувавши розглянуті концепції потенційного товару, можемо прийти до висновку, що розроблений новий продукт відзначатиметься значними позитивними відмінностями в порівнянні з наявними зразками на ринку. Він буде володіти унікальними характеристиками та стане доступним для широкого спектру користувачів.

Таблиця 4.21. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизований реабілітаційний засіб для нижньої кінцівки, який буде визначати чи є у клієнта плоскостопість та допоможе у реабілітації або профілактиці. Легкий у застосуванні та зручний в експлуатації		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	М	Тх
	2. Різноманітність систем взаємозв'язку з користувачем	Нм	Тх
	3.Зручність	Нм	Тх
	4.Точність	М	Тх
	5.Ліквідність	Нм	Е
6.Підтримка	М	Ор	

Продовження таблиці 4.21.

<b>Рівні товару</b>	<b>Сутність та складові</b>
II. Товар у реальному виконанні	Якість: патент на корисну модель, технічний регламент щодо паркувальних асистентів
	Пакування: відстань до перешкоди в реальному часі.
	Марка: назва організації-розробника + назва товару
III. Товар із підкріпленням	До продажу аналіз потреби споживача
	Після продажу онлайн та офлайн підтримка користувачів
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: права на патент корисної моделі.	

Таким чином, ми отримали опис трьох типів моделей, які можна використовувати для визначення призначення товару. Характеристики, подані на другому рівні, роблять цей технічний засіб унікальним. З метою захисту інновацій, необхідно подати заявку на отримання патенту на корисну модель даного засобу.

Наступним кроком є розробка календарного плану-графіку реалізації стартап-проєкту (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. Календарний план-графік реалізації стартап-проєкту

Стадія стартапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проєкту)					Вартість стадії, дол.
	1	2	3	...	n	
Передпосівна	+					8600
Посівна		+				
Прототипування			+			10000
Ведення бізнесу				+		2000
Разом					+	20600

Опишемо орієнтовні джерела фінансування стартап-проєкту (кредитні ресурси, залучення інвестицій, власні кошти тощо). Та складаємо приблизний план загальних інвестицій стартап-проєкту у таблиці 4.23.

Таблиця 4.23. Планування загальних інвестицій по проєкту

з/п	Група та вид інвестицій	Сума, дол.
<b>1.</b>	<b><i>Першопочаткові інвестиції, в т.ч.:</i></b>	
1.1	Витрати, пов'язані з діяльністю команди	2000
1.2	НДДКР	5000
1.3	Передвиробничі маркетингові дослідження	1000
1.4	Об'єктів інтелектуальної власності	50
1.5	Отримання необхідної документації	50
1.6	Підготовка інвестиційного пакету документів та бізнес-плану	500
<b>2.</b>	<b><i>Інвестиції на стадії підготовки виробництва, в т.ч.:</i></b>	
2.1	Витрати на основні фонди, в т.ч.:	5000
2.2	Витрати на нематеріальні активи, в т.ч.:	3000
2.3	Витрати на запуск виробництва, в т.ч.:	2000
<b>3.</b>	<b><i>Інвестиції на просування старту</i></b>	
3.1	Реклама	1000
3.2	Витрати на збут, в т.ч.:	1000
Разом:		20600

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.24).

Таблиця 4.24. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Нижня та верхня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	8 000 – 20 000	8 000 – 20 000	8 000 – 20 000 грн.	500 – 2000 грн.

Для стартап-проєкту було обрано низьку цінову категорію, оскільки маємо мінімальну собівартість виготовлення засобу та хочемо задовільнити максимум кількості потенційних клієнтів.

Таблиця 4.25. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Орієнтація на регулярні поставки	Встановлення контактів із споживачами та їх підтримка	Без посередників	Оптова торгівля
2.	Малі обсяги закупівель	Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації. Зменшення витрат в ході збуту продукції	Торгівельна франшиза	Роздрібна торгівля
3.	Державні закупівлі	Формування попиту і стимулювання збуту	Міністерство охорони здоров'я	Тендер

Створивши ефективну систему збуту, адаптовану до особливостей різних сегментів ринку, ми отримаємо можливість більш ефективно співпрацювати з кожним з них. Це дозволить нам надавати індивідуальні знижки та спеціальні пропозиції, враховуючи обсяги їхніх замовлень. Такий підхід покращить наші взаємовідносини з різними клієнтськими групами та сприятиме збільшенню обсягів продажів.

Останнім етапом у маркетинговій програмі стартап-проєкту є розроблення концепції маркетингових комунікацій, яка враховує попередньо визначену поведінку клієнтів та обрану стратегію позиціонування.

Маркетингові комунікації виступають як один із ключових та складних елементів в комплексі маркетингу організації. Цим терміном ми маємо на увазі інформаційні повідомлення та засоби масової інформації, спрямовані на передачу інформації про продукт та встановлення зв'язку з цільовою аудиторією та ринком.

Таблиця 4.26. Концепція маркетингових комунікацій

<b>№ п/п</b>	<b>Специфіка поведінки цільових клієнтів</b>	<b>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</b>	<b>Ключові позиції, обрані для позиціонування</b>	<b>Завдання рекламного повідомлення</b>	<b>Концепція рекламного звернення</b>
1.	Орієнтація на постійні поставки	Особисті канали зв'язку	Надійність, технологічність	Інформування споживачів; Пошук вигідних партнерів	Надійний партнер на постійній основі та у загальній справі
2.	Спроможність відповідати індивідуальним вимогам	Інтернет, соціальні мережі, телебачення	Точність, доступність, зручність, комфорт	Стимуляція продажу	Якість як продукту, так і сервісу
3.	Використання тендерної стратегії	Звернення	Стабільність	Розвиток попиту	Власне прибуткове виробництво

Можна зробити висновок, що просування продукції становить ключовий аспект для стартап-проєкту і є однією з його основних цілей. Для досягнення успіху в цьому напрямку, важливо вкладати кошти в рекламу через різноманітні канали та розробляти програми лояльності для постійних клієнтів. Зокрема, варто акцентувати увагу на позиціонуванні унікальності продукту та його ефективності. Такий підхід сприятиме залученню уваги та вірі споживачів, що важливо для побудови успішного бренду.

## ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ

Підсумовуючи аналіз даного стартап-проєкту, можна визначити, що його реалізація відкриє можливість створення власного унікального засобу та потужного виробництва, сприятиме створенню нових робочих місць та привертає іноземних інвесторів. Засновані на наукових досягненнях існуючих виробників, наш аналіз дозволяє визначити та обґрунтувати фактори конкурентоспроможності. Вироблення базової стратегії розвитку встановлює чіткі рамки взаємодії між виробником та покупцем, що допомагає покращувати торгові відносини.

Дослідження меж вартості продукції конкурентів і покупної спроможності окремих сегментів ринку дозволяє визначити оптимальний принцип ціноутворення для нашої продукції, враховуючи собівартість та обсяги обігу.

У реалізації даного стартап-проєкту важливу роль виконує маркетингова складова, яка за рахунок концентрації на сильних сторонах стартап-проєкту дає перевагу над продуктами конкурентів. Вся реклама повинна приділяти увагу основним перевагам програми — це легкий та зрозумілий у застосуванні засіб, органічний інтерфейс додатку для комунікації із засобом, можливість бездротової зарядки засобу, висока точність та висока якість обслуговування.

Настроюючи маркетингову комунікацію та ефективну систему збуту для кожного сегменту ринку, а також обираючи концепцію роботи з кожним з них, можемо прогнозувати прибутковість виробництва протягом перших років, при умові правильно обраних каналів комунікацій та позиціонування бренду.

Подальший розвиток науки і техніки у даній галузі, у взаємодії з іншими світовими компаніями, дозволить впроваджувати нові розробки у світ реабілітації та автоматизованих систем засобів для реабілітації нижньої кінцівки.

Враховуючи всі ці фактори, можна визначити даний стартап-проєкт як потенційно ефективний та необхідний для впровадження в напрямку проєктування систем вимірювання та автоматизації.



## ВИСНОВКИ

У результаті виконаної роботи було проведено детальний аналіз історичного контексту розвитку технічних засобів для реабілітації, визначено актуальність теми, встановлено мету досліджень та розглянуто різноманітні технічні засоби та інші засоби для реабілітації. Розгляд технічних засобів у профілактиці та лікуванні плоскостопості, а також вивчення плівкових тензометричних датчиків для автоматизації засобу стали важливим етапом дослідження.

У другому розділі була проведена проектно-конструкторська частина, яка включала патентний пошук, розробку принципової схеми, вибір елементарної бази засобу, формули для розрахунку тензорезистора та пружного елемента. Використання мікроконтролера ESP32-C3, плівкового тензорезистора BF350-3AA та інших компонентів було обґрунтовано з точки зору їхньої ефективності. Також була проведена розробка принципової електричної схеми та проектування засобу та нижньої кінцівки у SolidWorks, а дослідження в ANSYS дозволило оцінити його функціональність.

У третьому розділі були розроблені алгоритми роботи мікросхеми та мобільного застосунку, а також створено дизайн-проект у Figma для мобільного застосунку, що підкреслило комплексний характер розробки.

У четвертому розділі було виконано розробку стартап-проекту. Проведений технологічний аудит ідеї, аналіз ринкових можливостей та розроблення стратегії, маркетингової програми та бізнес-моделі проекту надали підстави для висновку про перспективність запуску стартапу на ринку.

В цілому, виконана робота визначає наукову та практичну важливість розробки автоматизованого реабілітаційного засобу для нижньої кінцівки, висвітлює ключові етапи проекту, його технічні аспекти та перспективи подальшого дослідження та впровадження. Отже, поставлена мета даної дисертації була досягнута.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Маруніч В. В., Шевчук В. І., Яворовенко О. Б. Методичний посібник з питань реабілітації інвалідів: Посібник. - Вінниця: О. Власюк, 2006. - 212 с.
- [2] In pictures: Prosthetics through time [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.co.uk/news/health-16599006>
- [3] Медична та соціальна реабілітація: Навчальний посібник / За заг. ред. І.Р. Мисули, Л.О. Вакуленко. - Тернопіль: ТДМУ, 2005. - 402 с.
- [4] Цереброваскулярна патологія: мультидисциплінарний підхід до лікування пацієнтів. Український медичний часопис [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://umj.com.ua/uk/publikatsia-164052-tserebrovaskulyarna-patologiya-multidistsiplinarnij-pidhid-do-likuvannya-patsiyentiv>
- [5] Конвенція про права інвалідів, ухвалена Генеральною Асамблеєю ООН 24 січня 2007 р.
- [6] Звіт про підтримку людей з інвалідністю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ffr.org.ua/wp-content/uploads/2022/07/FFR\\_zvit.pdf](https://ffr.org.ua/wp-content/uploads/2022/07/FFR_zvit.pdf)
- [7] Інвалідність внаслідок війни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mipl.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/montazhnaya-oblast-1-27-1024x682.png>
- [8] Замість інвалідності оцінюватимуть втрату функціональності. Що це значить і які наслідки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3770824-zamist-invalidnosti-ocinuvatimut-vtratu-funkcionalnosti-so-ce-znacid-i-aki-naslidki.html>
- [9] Закон України про реабілітацію інвалідів в Україні Стаття 26 чинна з 1 січня 2007 року.
- [10] Каталоги технічних та інших засобів реабілітації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.msp.gov.ua/content/katalog-2018.html>
- [11] Безвесільна О.М. Технічні засоби автоматизації (Перетворюючі пристрої приладів): підручник /О.М. Безвесільна, І.В. Коробійчук. - Житомир: ЖДТУ, 2014. - 904 с.

- [12] Пристрій для визначення умов однакового навантаження стоп людини при різній довжині нижніх кінцівок: пат. 34360 Україна: МПК А61В 5/103 / З. М. Мітелева, В. В. Органов, М. Ю. Карпінський, Д. А. Мітелев, Ю. Я. Кокоровець, З. І. Нікітіна. – № 99063676; заявл. 30.06.1999; опубл. 15.02.2001, Бюл. №1.
- [13] Пристрій для оцінки розподілу навантажень на плантарній поверхні стопи: пат. 102998 Україна: МПК А61В 5/103 / І. А. Лазарев, Д. І. Білоус. – № а200911339; заявл. 09.11.2009; опубл. 10.09.2013, Бюл. №17.
- [14] Пристрій для плантографії: пат. 71296 Україна: МПК А61В 5/107 / А. Д. Салєєва. – № 20031211823; заявл. 18.12.2003; опубл. 15.11.2004, Бюл. №1.
- [15] Сталь AISI 304 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://westa.kiev.ua/ua/standarty/marki-stali/stal-aisi-304>
- [16] Перетворювачі механічних величин в електричні. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, Н.М. Назаренко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 156 с.
- [17] Романчук, Д. О. Розрахунок пружного елемента ваговимірювального датчика / Д. О. Романчук // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 228–231. – Бібліогр.: 4 назви.
- [18] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с
- [19] Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 –

- «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с. – Назва з екрана.
- [20] Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с. – Назва з екрана.