

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруливого контролю**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка»**

**на тему: «Автоматизована система оцінювання ефективності серцево-
легеневої реанімації»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ПМ-341мп
Маркова Єлізавета Дмитрівна _____

Науковий керівник:

д.т.н., проф.,
Черепанська Ірина Юр'ївна _____

Консультант з розробки стартап-проєкту:

зав. кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф,
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

д.т.н., доцент,
Шевченко Костянтин Леонідович _____

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

Київ – 2025 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 – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Марковій Єлізаветі Дмитрівній

1. Тема дисертації «Автоматизована система оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації», науковий керівник дисертації Черепанська Ірина Юр'ївна, д.т.н., проф., затверджені наказом по університету від «08» листопада 2023 р. № 5188-с

2. Термін подання студентом дисертації: _____

3. Об'єкт дослідження: процес оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналіз сучасного стану проблеми оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Розробка структурної схеми та алгоритму роботи автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Вибір матеріалів та методів реалізації автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Розробка макету системи автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Розробка стартап проєкту.

5. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Формат А1 – Структурна схема автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації (1 арк.), А1 – блок-схема алгоритму роботи автоматизованої

системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації, А1 – схема електрична принципова автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації

6. Орієнтовний перелік публікацій: Маркова Є. Д. Алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації / Є. Д. Маркова, І. Ю. Черепанська // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія: Приладобудування. – 2025. – Вип. 70(2).

Маркова Є. Д. Автоматизована система оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації / Є. Д. Маркова, І. Ю. Черепанська // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2025. – Т. 36 (75), № 6.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проєкту	Бояринова К.О., д.е.н., професор		

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою.	28.09.2025	
2	Розгляд матеріалів та методів розробки АСЯ СЛР.	20.10.2025	
3	Розробка алгоритму роботи системи АСЯ СЛР.	30.10.2025	
4	Розробка схеми електричної принципової АСЯ СЛР.	06.11.2025	
5	Виготовлення макету системи АСЯ СЛР.	08.11.2025	
6	Оформлення текстової та графічної частини МД.	20.11.2025	
7	Передача матеріалів МД на перевірку науковому керівнику.	02.12.2025	
8	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості.	10.12.2025	
9	Представити МД на рецензію.	10.12.2025	
10	Розробка презентації та узгодження її з керівником МД.	11.12.2025	
11	Подання оригіналів документів до захисту.	20.12.2025	
12	Представити МД на затвердження зав. кафедри.	22.12.2025	
13	Представити МД до екзаменаційної комісії.	22.12.2025	

Студент
Науковий керівник

Єлізавета, МАРКОВА
Ірина, ЧЕРЕПАНСЬКА

РЕФЕРАТ

У магістерській дисертації розроблено автоматизовану систему оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації. Пояснювальна записка містить наступні складові частини: список умовних позначень та скорочень, вступ, чотири розділи основного матеріалу, розробка стартап-проєкту, висновки та список посилань на використані джерела. Загалом магістерська дисертація містить 102 сторінок, 18 рисунків, 30 таблиць та 30 посилань.

Мета та задачі. Розробка автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації призначеної для допомоги непрофесійним рятівникам, які вимушені проводити реанімаційні заходи безпосередньо на місці пригоди, до прибуття медичних працівників.

Задачі дисертації:

1. Аналіз сучасного стану проблеми оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
2. Аналіз існуючих систем оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, визначення принципу їх роботи, переваг та недоліків
3. Розробка структурної схеми автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
4. Розробка алгоритму роботи системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
5. Розгляд можливостей технічної реалізації системи, вибір матеріалів та методів розробки
6. Розробка схеми електричної автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
7. Розробка макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Об'єкт дослідження. Процес оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. дослідження.

Предмет дослідження. Автоматизована система оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації.

Практичне значення отриманих результатів роботи:

1. Розроблено структурну схему автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації, блок-схему алгоритму роботи автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності СЛР
2. Розроблено схему електричну принципову автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації
3. Розроблено блок-схему алгоритму роботи автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації
4. Розроблено макет автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності СЛР

Ключові слова: серцево-легенева реанімація, автоматизація оцінювання якості, MEMS акселерометр, пульсоксиметр, мікроконтролери.

ABSTRACT

The master's thesis developed an automated system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation. The explanatory note contains the following components: a list of symbols and abbreviations, an introduction, four sections of the main material, the development of a startup project, conclusions and a list of references to the sources used. In total, the master's thesis contains 102 pages, 18 figures, 30 tables and 30 references.

Purpose and objectives. Development of an automated system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation designed to help lay rescuers who are forced to perform resuscitation measures directly at the scene of an accident, before the arrival of medical workers.

Thesis objectives:

1. Analysis of the current state of the problem of assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation
2. Analysis of existing systems for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation, determining the principle of their operation, advantages and disadvantages
3. Development of a structural diagram of an automated system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation
4. Development of an algorithm for the operation of the system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation
5. Consideration of the possibilities of technical implementation of the system, selection of materials and development methods
6. Development of a circuit diagram of an electrical automated system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation
7. Development of a mock-up of an automated system for assessing the quality and effectiveness of cardiopulmonary resuscitation

Object of the study. The process of assessing the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation. research.

Subject of the study. Automated system for assessing the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation.

Practical significance of the obtained results:

1. A structural diagram of an automated system for assessing the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation has been developed, a block diagram of the algorithm of the automated system for assessing the quality and effectiveness of CPR has been developed

2. An electrical schematic diagram of an automated system for assessing the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation has been developed

3. A block diagram of the algorithm of the automated system for assessing the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation has been developed

4. A model of an automated system for assessing the quality and effectiveness of CPR has been developed

Keywords: cardiopulmonary resuscitation, automation of quality assessment, MEMS accelerometer, pulse oximeter, microcontrollers.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ	13
1.1. Аналіз особливостей процесу проведення серцево-легеневої реанімації 13	
1.1.1. Визначення показників ефективності серцево-легеневої реанімації .	14
1.1.2. Особливість вимірювання сатурації під час серцево-легеневої реанімації	16
1.2. Аналіз принципів вимірювання даних при проведенні серцево-легеневої реанімації	17
1.2.1. Аналіз принципів вимірювання прискорення.....	17
1.2.2. Аналіз принципів вимірювання частоти серцевих скорочень та сатурації крові	19
1.3. Огляд відомих систем оцінки якості серцево-легеневої реанімації	20
1.3.1. Загальний опис	29
1.3.2. Розташування датчиків.....	30
1.4. Мета та завдання роботи.....	31
Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2.РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ	35
2.1. Структурна схема автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації.....	35
2.2. Підсистеми автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації	37
2.2.1. Підсистема вимірювання даних	37
2.2.2. Підсистема попередньої обробки даних.....	37
2.2.3. Підсистема попередньої обробки даних.....	38
2.3. Принцип обробки даних стосовно компресій грудної клітки.....	38
2.4. Формування та подання оцінки якості СЛР	40
Висновки до розділу 2	40

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ 42

3.1. Елементна база схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 42

3.1.1. Головний мікроконтролер для автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 42

3.1.2. Акселерометр для моніторингу параметрів компресій грудної клітки
44

3.1.3. Датчик частоти серцевих скорочень та сатурації крові для моніторингу параметрів життєдіяльності постраждалого 45

3.1.1. Світлодіод для зворотного зв'язку щодо оцінювання якості та ефективності виконання серцево-легеневої реанімації 46

3.2. Розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 48

3.2.1. Розрахунок елементної бази схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 48

3.2.2. Підключення виводів елементів схеми електричної принципової 49

3.3. Схема електрична принципова автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 51

3.4. Розробка специфікації схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 52

Висновки до розділу 3 53

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ 55

4.1. Розробка алгоритму оцінки якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 55

4.2. Алгоритм оцінки якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 59

4.3. Розробка значень інтегральна оцінка якості та ефективності серцево-легеневої реанімації 61

4.4. Інтегральна оцінка якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
61

Висновки до розділу 4 63

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МАКЕТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ	64
5.1. Розробка макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації.....	64
5.2. Методика проведення експериментальних досліджень працездатності макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації	67
5.3. Експериментальні дослідження працездатності попередньої версії макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації	67
5.4. Результати експериментальних досліджень працездатності попередньої версії макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації	69
Висновки до розділу 5	70
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	72
6.1. Опис ідеї проєкту.....	72
6.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	77
6.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту	84
6.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	87
Висновок до розділу 6.....	92
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	96
ДОДАТОК А. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА.....	100
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ	101
ДОДАТОК В. ДОВІДКИ ПРО ПУБЛІКАЦІЇ	102

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

СЛР – серцево-легенева реанімація

АСЯ СЛР – автоматизована система оцінювання якості та ефективності СЛР

ОСРЧ – операційна система реального часу

MEMS – мікро-електромеханічні системи (Micro-electromechanical systems)

ЧСС – частота серцевих скорочень (пульс)

ROSC – повернення спонтанного кровообігу (Return of Spontaneous Circulation)

Гц – герц, одиниця вимірювання частоти

КГц – кілогерц, одиниця вимірювання частоти

ПК – персональний комп'ютер

ВСТУП

Щодня люди стикаються з численними ризиками, серед яких найбільш ймовірними є ризики, пов'язані із необхідністю надання невідкладної домедичної допомоги, зокрема виконання дій пов'язаних із серцево-легеневою реанімацією (СЛР). Наприклад, при ураженні електричним струмом, блискавкою, утопленні, отруєнні, виникненні різних травм, нещасних випадків тощо, що супроводжуються втратою свідомості. Відомо, що більшість постраждалих, які потребують невідкладної допомоги, гине від того, що домедична (первинна) допомога була надана несвоєчасно або некоректно [1, 2]. Відсутність допомоги тяжко постраждалим протягом 1 години після ушкодження збільшує кількість смертельних наслідків на 30%, до 3 годин – на 60%, до 6 годин – на 90% [3]. У той же час, за статистикою у результаті вчасно та правильно проведених реанімаційних заходів в медичних закладах до життя повертають близько 70% постраждалих і лише 5% – при проведенні реанімаційних дій непрофесійними рятувальниками в позалікарняних умовах [4, 6] безпосередньо на місці пригоди до прибуття лікарів. Це обумовлюється не завжди правильними та адекватними діями непрофесійних рятувальників, які діють в стресових умовах.

Саме тому, для рятувальників, які хоча б один раз пройшли навчання з домедичної (первинної) допомоги та знають найпростіші термінові заходи для порятунку життя і здоров'я потерпілих, а також мають початкові навички проведення СЛР, надзвичайно важливим є зовнішній контроль за правильністю та адекватністю їх дій, а також оцінювання якості та ефективності СЛР.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ

Контроль якості СЛР, зокрема на першій базовій стадії, передбачає високоточне автоматизоване вимірювання множини різних за значенням та фізичною природою параметрів, високоточну та швидкодійну автоматизовану обробку множини вимірювальних даних, та представлення результату у зручному для користувача вигляді в режимі реального часу.

На сьогодні відома низка зарубіжних наукових робіт присвячених завданню розробки автоматизованих систем оцінювання якості проведення СЛР. Всі вони передбачають застосування різних засобів, методів та алгоритмів. При цьому відрізняються переліком вимірюваних параметрів, точністю та швидкодією вимірювання і обробки інформації.

1.1. Аналіз особливостей процесу проведення серцево-легеневої реанімації

Процедура СЛР, у тому числі, яка виконується безпосередньо на місці пригоди до прибуття лікарів непрофесійними рятувальниками та медичними працівниками при відсутності регламентованих медичних засобів та ліків, має багаторічну практику застосування, а послідовність, правильність та ефективність дій суворо регламентується відповідними нормативними документами [4, 5]. Так, наприклад, на першій стадії проведення базової СЛР, яка у переважній більшості випадків здійснюється на місці пригоди непрофесійними рятувальниками до прибуття лікарів, необхідно здійснювати контроль і відновлення прохідності дихальних шляхів, штучну підтримку кровообігу та дихання. Для цього виконується, у тому числі, непрямий масаж серця, ефективність якого залежить від багатьох факторів. Зокрема, від правильного вибору місця розташування точки компресії на груднині, рук рятівника, сили натискання та частоти компресій. Зокрема, регламентовано, що сила натискання

повинна бути такою, щоб зміщення груднини потерпілого у напрямку до хребта було не менше 4–5 см, а частота компресій повинна становити 100-120 натискань за хвилину [3, 4, 7, 8]. СЛР на місці події проводиться до прибуття служби екстреної медичної допомоги або до появи ознак біологічної смерті [3].

Критеріями якісного проведення СЛР є поява у постраждалого дихання, серцебиття та пульсу, нормалізація насиченості крові киснем. При початку проведення реанімаційних заходів показник сатурації крові дорівнює 80%, а правильному проведенні СЛР це значення повинно сягати не менше 90% [5]. Також, непрямими ознаками успішно виконаного СЛР є звуження зіниць, нормалізація забарвлення шкіри, виявлення артеріальної пульсації синхронної з масажем серця, а також пасивні рухи грудної клітки при виконанні штучної вентиляції легень.

Очевидно, що СЛР є досить трудомістким процесом, що вимагає правильних та скоординованих дій, значних енергетичних витрат рятувальників та обмежених витрат часу. Саме тому автоматизація процесу оцінювання якості та ефективності СЛР шляхом високоточного вимірювання її параметрів та показників життєдіяльності постраждалого, обробки результатів в режимі реального часу, та визначення показників якості СЛР, особливо на першій базовій стадії, є надзвичайно важливим та актуальним завданням. В цьому контексті розробка новітньої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації (АСЯ СЛР) здатної працювати в автоматизованому режимі та режимі реального часу з високою точністю та швидкодією є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої забезпечить у значній мірі вирішення існуючої проблеми.

1.1.1. Визначення показників ефективності серцево-легеневої реанімації

Головна мета проведення СЛР – повернути самостійний кровообіг постраждалого. Внаслідок втрати тими, органи постраждалого, зокрема мозок,

можуть бути в умовах поганої перфузії. Недостатній кровообіг може спричинити безповоротні зміни у головному мозку постраждалого, спричинити деменцію або втрату функцій інших органів, тому вкрай важливо підтримувати кровообіг постраждалого за допомогою непрямого масажу серця та штучної вентиляції легень. У той же час, одразу при появі самостійного дихання, необхідно припинити реанімаційні дії, щоб не нашкодити самостійному диханню людини зовнішніми компресіями грудної клітки. Тому, оцінка ефективності СЛР при його проведенні, особливо автоматизованими методами, є вкрай важливою.

ROSC (Return of Spontaneous Circulation) – це повернення спонтанного кровообігу після зупинки серця, момент, коли серце постраждалого починає бути здатним самостійно функціонувати, без зовнішніх компресій. Це – прямий показник ефективно виконаного СЛР.

Американська серцева асоціація дає наступне визначення ознак ROSC у своїх офіційних документах [8]:

- Самостійне дихання, кашель
- Рухи, відкриття очей
- Пульс, який можна виявити при пальпації
- Артеріальний тиск, який можна виміряти

Наукова спільнота доповнює це визначення іншими ознаками ROSC, які можна визначити за допомогою певних пристроїв:

- Різке підвищення показника EtCO₂ (енд-тідального CO₂) [10]
- Підвищення значення регіональної церебральної сатурації (rSO₂) [11]
- Поява адекватної пульсової хвилі на пульсоксиметрі [12]
- Тенденція на зріст сатурації крові (SpO₂) [12]

У клінічних умовах проведення СЛР, для визначення ефективності реанімаційних дій на наближення пацієнта до ROSC, найбільша перевага надається вимірюванню значення регіональної церебральної (мозкової) сатурації (rSO₂). Її підвищення асоціюється із вищими шансами повернення самостійного спонтанного кровообігу у постраждалого. Дослідження [11] зазначає, що в

пацієнтів, які досягли ROSC у результаті СЛР, середній rSO_2 був вищим (41 %) порівняно з тими, хто не мав ROSC (30 %).

Проте, з зазначеного вище переліку, поза умова стаціонару можливо об'єктивно виміряти та оцінити лише пульсову хвилю та сатурацію крові. Для оцінки ефективності проведення СЛР в критичних умовах, цього може бути цілком достатньо для оцінки стану постраждалого та якості реанімації.

Було проведено дослідження на свинях [12], де було доведено, що форма пульсової кривої пульсоксиметру корелює з якістю компресій: при глибших і кращих компресіях (4-5 см згідно методичних вказівок до проведення СЛР [3, 4, 7, 8]) амплітуда та площа під пульсовою кривою були значно вищими, ніж при низькій якості компресій.

Аналіз пульсової кривої є комплексною технічною задачею, натомість сатурація крові (SpO_2) є більш доступним прямим показником ефективності проведення СЛР.

1.1.2. Особливість вимірювання сатурації під час серцево-легеневої реанімації

Моніторинг сатурації крові (SpO_2) під час СЛР є надважливим фактором для розуміння ефективності процедури та поточного стану постраждалого. Вимірювання сатурації є показником якості компресій грудної клітки та непрямим джерелом інформації про те, наскільки добре тканини органів отримують кисень у результаті реанімаційних заходів.

Поступове підвищення значення безпосередньо сатурації (SpO_2) може сигналізувати, що вентиляція ефективна. Зростання значення SpO_2 може означати, що легені вентилюються ефективно й кисень доходить до кровотоку, який створюють компресії. У той же час, відсутність зміни значення SpO_2 свідчить про вкрай низьку ефективність компресій, недостатню перфузію (кисень не надходить у кров), обструкцію дихальних шляхів [12].

Окрім цього, моніторинг значення SpO_2 є важливим показником реаресту (повторної зупинки серця) – якщо SpO_2 різко знижується, необхідно негайно розпочати повторну СЛР.

1.2. Аналіз принципів вимірювання даних при проведенні серцево-легеневої реанімації

Під час проведення процедури СЛР, АСЯ СЛР у режимі реального часу за допомогою акселерометру та датчику пульсу і сатурації крові (SpO_2) знімає показники з двох різних джерел. АСЯ СЛР реєструє прискорення, що відбувається під час натискань на грудну клітку постраждалого. Це дає змогу оцінити частоту натискань, їх силу, та опосередковано обчислити глибину продавлення грудної клітини під час компресії. АСЯ СЛР також знімає показники частоти серцевих скорочень (ЧСС) та процент насиченості крові киснем з тіла постраждалого. Це дозволяє оцінити ефективність проведення реанімаційних заходів, адже сатурація крові є показником того, що штучний масаж серця та вентиляція легень допомагає насиченню крові постраждалого киснем.

1.2.1. Аналіз принципів вимірювання прискорення

Фізична реалізація АСЯ СЛР передбачає використання мікро-електромеханічного (MEMS) акселерометру. Ключовим елементом MEMS-акселерометру, який забезпечує вимірювання прискорення, є невелика маса, розташована всередині корпусу акселерометру, підвішена на пружині.

Прискорення можуть бути викликані силою тяжіння, рухом, або нахилом датчику. Коли акселерометр рухається якимось чином, маса всередині нього зсувається вздовж напрямку осі вимірювання (зазвичай позначаються відповідно абсолютній декартовій системі координат x , y , або z). Величина зміщення маси всередині датчика пропорційна прискоренню, що виникає при його русі [13].

Окрім рухомої маси, побудова MEMS акселерометру зазвичай складається з диференціальних конденсаторів та електродів [13]. Схематична ілюстрація побудови MEMS акселерометра наведена на рис. 1.1. За відсутності прискорення, дистанції d_1 та d_2 між рухомою масою та фіксованими у просторі електродами рівні, і відповідно ємності пари диференціальних конденсаторів теж є рівними. Зміна прискорення призведе до зміщення рухомої маси ближче до одного з нерухомих електродів, а це, в свою чергу, призведе до зміни генерованої ємності диференціальних конденсаторів. Різниця у ємності конденсаторів використовується для створення напруги, що пропорційна прискоренню, яке діє на датчик.

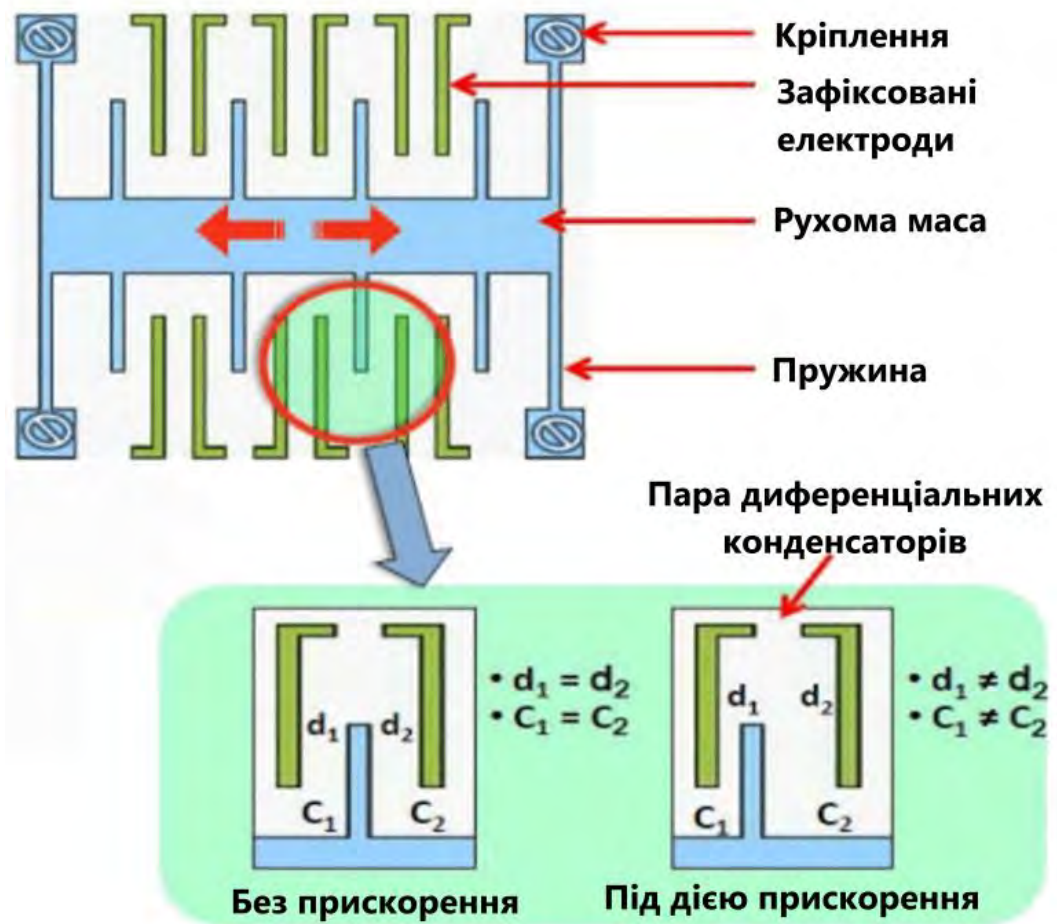


Рис. 1.1. Схематичне зображення принципу роботи MEMS-акселерометру

1.2.2. Аналіз принципів вимірювання частоти серцевих скорочень та сатурації крові

Червоні тільца крові (еритроцити) містять білок гемоглобін (Hb), який переносить кисень до тканин та організмів. Гемоглобін, з'єднаний з молекулою кисню та здатний її переносити має назву оксигемоглобін (O_2Hb). В свою чергу, гемоглобін без молекули кисню має назву дезоксигемоглобін (dHb).

Вимірювання сатурації крові базується на різниці у поглинанні червоного та інфрачервоного світла між оксигемоглобіном (O_2Hb) та дезоксигемоглобіном (Hb). Оксигемоглобін поглинає більше інфрачервоного світла та менше червоного світла, порівняно із дезоксигемоглобіном [14]. На цьому факті оснований принцип побудови датчику сатурації крові. Він випромінює дві різні хвилі світла – червону на 660 нм та інфрачервону на 940 нм з двох окремих світлодіодів, розташованих таким чином, щоб просвічувати скрізь шкіру на пальці людини.

Насиченість крові киснем прийнято вимірювати саме з пальця через низку факторів:

- Палець має велику кількість дрібних кровоносних судин (капілярів)
- Палець має тонкий шар епідермісу, який дозволяє світлу безперешкодно пройти крізь нього, без завад для вимірювання на кшталт товстих стінок артерій, м'язів, тощо.
- Палець є найдоступнішим з місць, оптимальних для вимірювання сатурації крові. Це забезпечує зручність розташування датчику для вимірювання.

Схематичне зображення принципу побудови пристрою для вимірювання ЧСС та сатурації крові зображено на рис. 1.2.

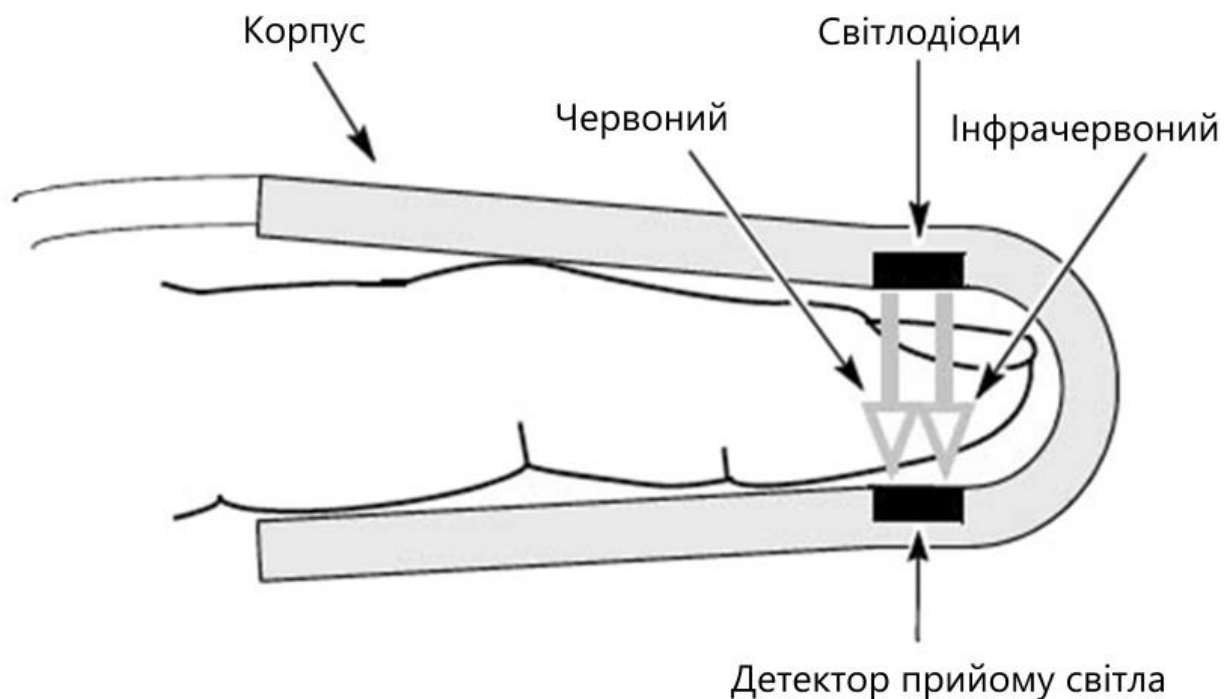


Рис. 1.2. Схематичне зображення принципу побудови пристрою для вимірювання сатурації

ЧСС також вимірюється за допомогою червоного та інфрачервоного світлодіодів. Об'єм крові в кровоносних судинах змінюється під час серцевих скорочень, світловий сигнал пульсує, та датчик ЧСС зчитує кількість таких пульсацій, що дозволяє обрахувати частоту пульсу.

1.3. Огляд відомих систем оцінки якості серцево-легеневої реанімації

Іноземною науковою спільнотою створено багато досліджень щодо розробки автоматизованих систем оцінювання якості СЛР, або систем для автоматизованого виконання СЛР, які містять у собі підсистему оцінки ефективності реанімаційних заходів. Так у роботі [15] представлено огляд низки відомих рішень та класифікацію засобів оцінювання якості СЛР, розглянуто принципи їх роботи, переваги та недоліки, наведено різні сценарії застосування. Наведена низка засобів для оцінювання СЛР, що можуть бути інтегровані в спеціалізоване медичне обладнання, наприклад, дефібрилятори. Інші

використовуються в якості самостійної діагностичної одиниці для індивідуального оцінювання фізіологічних параметрів постраждалого. Переважна більшість наведених у роботі [15] засобів для оцінювання якості СЛР використовують основні регламентовані нормативними документами параметри для оцінки якості СЛР – частоту та глибину компресій, повне повернення грудної клітки до вихідного положення після компресії, час максимальної паузи між компресіями. Крім того, низка описаних в роботі [15] засобів для оцінювання якості СЛР, використовують такі додаткові параметри як артеріальний тиск, насичення крові киснем, зменшення якості компресій залежно від часу виконання реанімації. Проте робота [15] має оглядовий характер та не містить конкретних результатів розробок. Наведені відомості є неповними та мають декларативний характер, що обмежує можливості їх повноцінного використання. Зокрема залишається незрозумілим, чи здатні засоби для оцінювання якості СЛР, опис яких наведено в роботі [15], працювати у режимі реального часу, невідомою є ступінь автоматизації, точність вимірювання та швидкість обробки інформації. Таким чином проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією залишилась не вирішеною.

В роботі [16] наводяться результати порівняння показників частоти виживання постраждалих, яким була надана перша домедична допомога у вигляді СЛР звичайним способом, тобто непрофесійними рятувальниками без застосування засобів автоматизованого контролю якості СЛР, та з використанням таких засобів. Показано, що виживаність постраждалих при проведенні СЛР непрофесійними рятувальниками зі застосуванням засобів автоматизованого контролю якості СЛР є більшою. Зокрема в роботі [16] наводяться результати застосуванням автоматизованого пристрою для проведення СЛР AutoPulse [17], який призначений для автоматизації компресії грудної клітини з частковою участю рятувальників. Пристрій AutoPulse проілюстровано на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Пристрій AutoPulse на манекені [16]

Пристрій AutoPulse складається з регульованого ремінця, що охоплює грудну клітку постраждалого, та елементів керування. Він автоматично здійснює компресії грудної клітини із частотою 80 разів на хвилину, та може використовуватись виключно медичними працівниками, що професійно володіють навичками СЛР та виконують розширену кардіологічну підтримку із використанням відповідного обладнання.

Очевидним обмеженням щодо застосування AutoPulse є необхідність відповідної медичної освіти у рятувальників та неможливість застосування даного засобу непрофесійними рятувальниками. Крім того у роботі с не наведено інформацію про алгоритм роботи засобу та його функціональні можливості. Зокрема не відомо які власне параметри СЛР та життєдіяльності постраждалих здатен вимірювати AutoPulse та з якою точністю. Вказане є очевидними недоліками та обмеженнями досліджень роботи [16]. Таким чином проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними

рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкістю залишилась не вирішеною.

У роботі [18] представлено засіб для автоматичного виконання СЛР з частковою участю рятувальників. Зокрема засіб призначено для автоматичного виконання компресії грудної клітини шляхом використання колінчастого валу та можливістю регулювання висоти розташування платформи із рухомою частиною. Це забезпечує виконання компресії. Пристрій виконаний на основі мікроконтролера, із застосуванням датчику сили та датчику серцевого ритму. Вказано, що розробка пройшла тестування на манекені. Тестування описаного пристрою проілюстровано на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Приклад системи автоматичного виконання СЛР з частковою участю рятувальників [18]

Пристрій, що описаний у роботі [18] є прикладом окремого класу засобів для виконання СЛР з частковою участю рятувальників. Вони використовуються медичними працівниками в стаціонарних умовах медичних закладів. Даний пристрій автоматичного припиняє СЛР, як тільки у постраждалого з'являється самостійне серцебиття. Крім того, даний пристрій здатний попереджати медичний персонал про загрозу травмування потерпілого при компресіях грудної клітки. Це здійснюється шляхом автоматичного вимірювання сили компресій та генерації попереджувального звукового сигналу при перевищенні гранично допустимих значень. Проте, із роботи [18] залишається незрозумілим, які саме параметри вимірює пристрій окрім серцебиття та прикладеної сили компресій грудної клітки. Невідомо чи контролюється глибина компресій, їх частота, чи існують інші умови зупинки автоматизованого СЛР з використанням цього пристрою. При цьому застосування результатів роботи [18] обмежується стаціонарними умовами медичних закладів та необхідністю спеціальної медичної освіти рятувальників. Наведений в роботі [18] матеріал потребує додаткового доопрацювання для можливості застосування розробки непрофесійними рятувальниками при СЛР. Отже проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією залишилась не вирішеною.

У роботі [19] описано додаток для смартфона, який використовує вбудований акселерометр смартфона для надання допомоги непрофесійним рятувальникам при виконанні СЛР в критичних умовах. Завдяки акселерометру, додаток вимірює частоту та глибину компресій грудної клітки, надає аудіо-, вібро- та візуальний зворотній зв'язок щодо правильності виконання реанімаційної процедури. Використання смартфона із вже вбудованим акселерометром в якості пристрою для оцінювання СЛР є досить цікавою ідеєю, яка, проте, потребує доопрацювання. Так, недоліком даної розробки можна вважати те, що точність вимірювання залежить від правильного положення

телефону на грудній клітці, яке повинно відповідати вертикальній осі вимірювання вбудованого акселерометра смартфону. При цьому, під час проведення реанімації, є висока ймовірність зміщення смартфона із заданого місця розташування, що призведе до необхідності постійного контролю його місцеположення та втрати дорогоцінного часу. Отже проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією у роботі [19] повністю не вирішена.

У роботі [20] представлено комплект обладнання для екстреного виконання СЛР. Комплект складається з елемента одягу, що надівається на грудну клітку постраждалого. В одяг вбудований тензодатчик, аналоговий детектор серцебиття, та пристрій, який надає аудіо- та візуальні підказки щодо правильності виконання компресій. Описану систему проілюстровано на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Приклад системи автоматизованої оцінки СЛР у вигляді комплекту одягу для постраждалого

У роботі [20] наводяться результати тестування ефективності застосування даного комплекту обладнання серед експериментальної групи, яка використовувала обладнання при виконанні контрольованого тестового СЛР, та контрольної групи, яка не використовувала його. Середня глибина компресій в експериментальній групі становила $51,5 \pm 1,3$ мм, що значно краще, ніж в контрольній групі ($50,2 \pm 2,2$ мм). Середня частота компресій в експериментальній групі ($110,1 \pm 6,2$ разів/хв) виявилася більш близької до рекомендованої, ніж в контрольній групі ($100,4 \pm 6,6$ разів/хв). Дане обладнання значно покращує якість проведення реанімаційних заходів серед непрофесіоналів. Проте, стаття має дещо декларативний характер. У роботі не наводиться методологія використання параметрів та значень з сенсорів для оцінювання глибини та частоти компресій. Комплект обладнання надає можливість комплексного аналізу множини параметрів СЛР, замість одинарного пристрою, але при застосуванні в реальних умовах та обмеженого часу, на припасування цього комплекту на постраждалого будуть витрачатися дорогоцінні хвилини реанімації, що є неприпустимим, адже може суттєво зменшити шанси постраждалих на виживання. Отже проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією у роботі [20] повністю не вирішена.

У роботі [21] обговорюється тестування та результати застосування стороннього додатку для смарт-годиннику у якості механізму зворотного зв'язку та допомоги при виконанні СЛР. Додаток на екрані смарт-годиннику відображає вимірювану частоту виконання компресій та глибину продавлення грудної клітки, а також дає оцінку правильності виконання реанімаційної процедури. У результаті тестування пристрою було виявлено значне покращення точності глибини натискання на грудну клітку ($64.6 \pm 7.8\%$ для групи, яка використовувала смарт-годинник, проти $43.1 \pm 28.3\%$ для тієї групи, яка виконувала класичну процедуру СЛР). Середня частота та сила компресій не відрізняється суттєво між двома групами. Ця робота в деталях описує методологію тестування такого типу

пристроїв, проте зовсім не фокусується на розробці додатку та алгоритмах оцінювання. Крім цього, дослідження основане лише на тестуванні із тренувальним манекеном, і потребує доопрацювання із результатами або клінічного впровадження, або застосувань у реальних умовах. Таким чином, проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією у роботі [21] повністю не вирішена.

У роботі [22] описано обрахунок параметрів для оцінювання проведення СЛР лише за допомогою акселерометру, а також результати тестування даного методу отримання даних на тренувальному манекені. Акселерометр був розміщений між руками людини, що виконує СЛР та грудною кліткою манекену. Було реалізовано три алгоритми, різних за підходами обробки даних з акселерометру – лінійна фільтрація, аналіз швидкості на спектральний аналіз прискорення. Була оцінено та порівняно їх точність, та найвищі показники продемонстрував алгоритм, базований на спектральному аналізі. Дане дослідження є цінним з точки зору опису підходів до реалізації оцінювання параметрів СЛР, проте потребує подальшого доопрацювання із обробкою клінічних даних. Таким чином, питання того, який алгоритм оцінювання даних СЛР є найбільш підходящим для застосування у пристроях, залишається невирішеною у частині статистичного підтвердження отриманих результатів. Отже проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкодією у роботі [22] повністю не вирішена.

У роботі [23] представлено портативний пристрій для допомоги під час виконання СЛР, подібний до метронома. Пристрій орієнтований на аудіальні підказки. Він задає правильний ритм 100 компресій на хвилину, видає метрономічні звуки, що повинні відповідати 30 натисканням на грудну клітку. На 30-те натискання видає особливий звук, після якого слідують два сигнали тривалістю по одній секунді, що нагадують про виконання штучної вентиляції легень. Пристрій також оснащений трьома світлодіодами різних кольорів, проте

вони не використовуються як зворотній зв'язок для оцінки якості, а лише працюють в ритм із звуковими сигналами. З роботи [23] залишається незрозумілим, які саме параметри вимірює пристрій. Таким чином, проблема створення пристрою, що надає зрозумілі підказки для СЛР, але при цьому здатний оцінювати у реальному часі роботу рятівника при реанімації, залишається невирішеною. Отже проблема автоматизованого оцінювання якості та ефективності СЛР непрофесійними рятувальниками в режимі реального часу з високою точністю та швидкістю у роботі [23] повністю не вирішена.

Існує низка комерційно успішних прикладів систем оцінки якості СЛР, які призначені для непрофесійних рятівників та представлені у вигляді компактних портативних пристроїв. Ці системи націлені на надання зворотного зв'язку для рятівника задля забезпечення виконання їм методичних вказівок щодо проведення реанімаційних заходів. Одним з прикладів таких систем можна зазначити Cardio First Angel виробництва SCHILLER (Німеччина) [24]. Пристрій проілюстровано на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Cardio First Angel виробництва SCHILLER [24]

Даний пристрій фігурує в науковому дослідженні [25], у якому описано аналіз випадків надання СЛР непрофесійними рятівниками в умовах стаціонару при серцевому нападі традиційним методом без допомоги пристроїв, та із використанням пристрою Cardio First Angel. Всього було проаналізовано 229 випадків. Порівняно із традиційним методом виконання СЛР, реанімаційні дії проведені за допомогою пристрою покращили дотримання вказівок до виконання СЛР (72% для групи, яка використовувала допоміжний пристрій, та 35% для групи що виконувала СЛР без допоміжних пристроїв) [25].

За інструкцією з експлуатації пристрою, наданою розробниками [24], пристрій необхідно покласти на грудну клітку постраждалого та розпочати виконувати штучний масаж серця. Пристрій за допомогою пружини видає звуки, що співпадають із коректною частотою виконання компресій грудної клітини, коли глибина продавлення грудної клітки є правильною. Суттєва перевага Cardio First Angel – відсутність потреби будь-якого живлення або акумуляторної батареї для пристрою, адже він не містить електронних компонентів. Проте, серед недоліків пристрою – його форм-фактор, який сприяє зміщенню пристрою з-під рук рятівника та травмуванню постраждалого, та відсутність зворотного зв'язку для рятівника про ефективність реанімаційних дій, виконуваних ним, адже пристрій не оснащений жодними датчиками, які могли б забезпечити таку інформацію.

1.3.1. Загальний опис

Аналіз існуючих відомих систем оцінки якості серцево-легеневої реанімації надає можливість спроектувати АСЯ СЛР таким чином, щоб врахувати недоліки проаналізованих відомих рішень. Реалізація АСЯ СЛР можлива у вигляді двох портативних пристроїв, які є взаємопов'язаними компонентами автоматизованої системи. Перший пристрій призначений для рятувальника. Пристрій рятувальника містить всередині акселерометр для оцінювання компресій грудної клітини, та компоненти що забезпечують зворотній зв'язок із

рятувальником щодо оцінки його дій – двоколірний світлодіод, динамік і генератор тактових імпульсів. Таким чином забезпечується аудіо-візуальне надання рятівнику інформації про якість виконання СЛР.

Другий компонент практичної реалізації АСЯ СЛР – портативний пристрій призначений для постраждалого. Пристрій постраждалого містить у собі датчик частоти серцевих скорочень (пульсу) та насиченості крові постраждалого киснем (сатурації крові). Ця інформація буде використовуватися для надання інформації системі про ефективність реанімаційних заходів.

1.3.2. Розташування датчиків

Завдяки проведеному аналізу існуючих методів автоматизації СЛР, було знайдено недолік у принципі фізичного розташування більшості реалізацій пристроїв для оцінки СЛР.

Більшість відомих пристроїв [15, 16, 24] мають форм-фактор невеликої капсули, що підкладається під долоні людини, що проводить СЛР, та на грудну клітку постраждалого. Цей варіант реалізації пристрою для оцінювання та надання зворотного зв'язку при СЛР є неймовірно популярним, адже таке розташування дозволяє більш зручно із програмної точки зору аналізувати силу компресій та переміщення грудної клітки під час натискань, а також забезпечує компактність та портативність пристрою.

Проте, пристрій легко може зміститися з-під рук людини, що виконує СЛР. Це не тільки призводить до хибних обчислень, але і може травмувати постраждалого. Також, існують варіації виконання подібних пристроїв, які передбачають одягання на постраждалого спеціалізованого одягу із датчиками, або поясу [18, 20]. Недолік цієї реалізації полягає у значному впливі на час реанімації – процес вдягання датчиків на постраждалого забирає дорогі хвилини на порятунок та критично зменшує шанси постраждалого на повернення до життя [1, 2].

З цих міркувань, пристрій для АСЯ СЛР, призначений для рятувника, закріплюється на його зап'ясті. Це ускладнює обробку даних з акселерометру, але забезпечує стабільне закріплення пристрою в чітко визначеному місці, та унеможливорює додаткове травмування постраждалого через пристрій.

Пристрій для АСЯ СЛР, призначений для постраждалого, закріплюється на його пальці. Неінвазійне вимірювання сатурації крові частіше всього виконують через палець, адже принцип вимірювання передбачає просвічування інфрачервоним світлодіодом шкіри людини. Пальці руки мають тонкий, легко просвічуваний шар епідермісу і легко доступні для зручного закріплення пульсоксиметру.

Пристрій для АСЯ СЛР, призначений для постраждалого, повинен мати унікальну форму корпусу, яка буде надавати можливість нерухомого закріплення датчиків над пальцем постраждалого. Для цього найкраще підходить форма, яка притаманна пристроям пульсоксиметру – корпус у вигляді затискного механізму, який легко фіксується на пальці.

1.4. Мета та завдання роботи

Метою даної роботи є розробка автоматизованої системи оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації (АСЯ СЛР) здатної працювати в автоматизованому режимі та режимі реального часу з високою точністю та швидкодією та спроможною надавати підказки щодо правильності та ефективності реанімаційних дій. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Аналіз сучасного стану проблеми оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
2. Аналіз існуючих систем оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, визначення принципу їх роботи, переваг та недоліків

3. Розробка структурної схеми автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
4. Розробка алгоритму роботи системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
5. Розгляд можливостей технічної реалізації системи, вибір матеріалів та методів розробки
6. Розробка схеми електричної автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації
7. Розробка макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Припускається, що пропонована АСЯ СЛР орієнтована на використання на першій базовій стадії реанімації потерпілих в позалікарняних умовах непрофесійними рятувальниками. Згідно з цим передбачається, що пропонована АСЯ СЛР повинна бути портативною, компактного розміру та мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Припускається, що реалізація завдань розробки АСЯ СЛР підвищить ефективність дій непрофесійних рятувальників при СЛР на першій базовій стадії. Крім того, АСЯ СЛР може значно підвищити кількість успішно реанімованих постраждалих при проведенні СЛР непрофесійними рятувальниками в позалікарняних умовах.

Крім того забезпечиться соціальний ефект, що полягатиме у підвищенні стресостійкості непрофесійних рятувальників при проведенні реанімаційних дій, скороченні втрат часу на визначення наявності ознак життєдіяльності постраждалого, та підвищенні продуктивності та зменшенні втомлюваності рятувальників при проведенні реанімаційних дій у цілому.

Висновки до розділу 1

1. Було проведено аналіз методології проведення серцево-легеневої реанімації, визначено критерії правильності виконання реанімаційних

дій. Розглянуто методичні вказівки та нормативні документи, що описують критерії якісного виконання СЛР. Оцінювання якості проведення СЛР повинно спиратися на критерії, визначені в нормативних документах щодо проведення реанімаційних дій, а саме – частота та сила компресій грудної клітки, а також глибина натискання на грудну клітку. Описано концепцію ROSC, або повернення самостійного кровообігу. Наведено ознаки ROCS у постраждалого та методи їх визначення. Найдоцільнішим у рамках розробки системи є вимірювання сатурації крові постраждалого (SpO_2) та частоти серцевих скорочень (пульсу). Це дозволило визначити основні параметри, на які повинно спиратися оцінювання якості та ефективності виконання СЛР.

2. Описано принципи вимірювання прискорення та роботу датчика акселерометра, за допомогою якого вимірюються показники якості виконання компресій грудної клітки. Описано принцип роботи пульсоксиметру, який вимірює частоту серцевих скорочень та сатурацію крові (SpO_2). За допомогою цього датчику вимірюються показники ефективності виконання реанімаційних заходів. Це забезпечило розуміння принципів вимірювання показників, необхідних для оцінювання якості та ефективності виконання СЛР.
3. Проведено аналіз існуючих методів оцінювання якості або ефективності СЛР, розглянуто наукові роботи які досліджують автоматизовані системи, що вирішують таку задачу. Визначено переваги та недоліки кожної системи. Це забезпечило розуміння поточного стану проблеми оцінювання якості та ефективності виконання СЛР. Було наведено загальний опис апаратної реалізації АСЯ СЛР. Система складається з двох компонентів – перший призначений для рятівника, та виконує відстеження частоти та глибини компресій грудної клітки, другий компонент призначений для постраждалого, та відстежує ЧСС та сатурацію крові. Опис загального вигляду апаратної реалізації АСЯ СЛР надає розуміння побудови пристрою, що реалізує систему. Було

обґрунтовано розташування датчиків на пристрої, що реалізує АСЯ СЛР. Компонент системи, призначений для рятівника, закріплюється на його зап'ясті. Це унеможлиблює зміщення датчика під час реанімаційних заходів та випадкове травмування постраждалого. Компонент системи, призначений для постраждалого, закріплюється на пальці постраждалого, для ефективного вимірювання ЧСС та сатурації крові. Визначення розташування датчиків допомогло зрозуміти особливості апаратної реалізації АСЯ СЛР.

4. Було визначено мету та задачі розробки АСЯ СЛР. АСЯ СЛР призначена для застосування непрофесійними рятувальниками на початковому етапі реанімації в позалікарняних умовах, що зумовлює вимоги до її портативності, компактності та простоти у використанні. Реалізація такої системи здатна суттєво підвищити ефективність проведення СЛР, збільшуючи кількість успішних випадків відновлення життєдіяльності постраждалих. Крім того, очікується значний соціальний ефект: зниження рівня стресу під час надання допомоги, скорочення часу на оцінювання стану потерпілого, підвищення продуктивності та зменшення втомлюваності рятувальників у процесі виконання реанімаційних заходів

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ

2.1. Структурна схема автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Пропонована АСЯ СЛР розроблена на основі новітніх досягнень науки та техніки в галузях біомедичної інженерії, електроніки, автоматизації та інформаційно-комп'ютерних технологій. Розроблена АСЯ СЛР поєднує такі переваги, як точність та швидкодія вимірювання, простота використання, компактність, надійність, автоматизована обробка вимірювальної інформації в режимі реального часу. АСЯ СЛР орієнтована на використання непрофесійними рятувальниками при проведенні СЛР на першій стадії в позалікарняних умовах безпосередньо на місці пригоди до прибуття лікарів. АСЯ СЛР має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який призначений для формування підказок непрофесійним рятувальникам щодо правильності та ефективності виконуваних ними дій при СЛР. Наприклад, чи з достатньою силою та на достатню глибину рятувальник продавлює грудну клітку при непрямому масажі серця, чи достатньою є частота компресій, чи з'являються у результаті цих дій у постраждалого ознаки життя тощо.

Структура пропонованої АСЯ СЛР представлена на рис. 2.1. АСЯ СЛР являє собою багаторівневу складну систему, у якій взаємодіють функціонально пов'язані сукупності технічних та програмних засобів автоматизації з неоднорідними властивостями. Зокрема до складу АСЯ СЛР входить акселерометр для оцінювання компресій грудної клітки; двоколірний світлодіод і динамік, які призначені для інформування рятувальника про правильність дій. Світлодіод використовується для формування світлового сигналу про якість виконання СЛР. Так вмикання зеленого кольору світлодіоду сигналізує про правильність виконання СЛР, червоного – про некоректність дій рятувальника.

Динамік призначений для подання звукових сигналів, які задають регламентовану медичними нормативними документами частоту виконання натискань на грудну клітку 110 разів у хвилину. Також до складу системи входить генератор тактових імпульсів, який працює одночасно із динаміком, та призначений для дублювання частоти виконання натискань на грудну. Також АСЯ СЛР містить датчик ЧСС та сатурації крові, які дозволяють контролювати наявність ознак життя постраждалого, зокрема дихання та серцебиття.

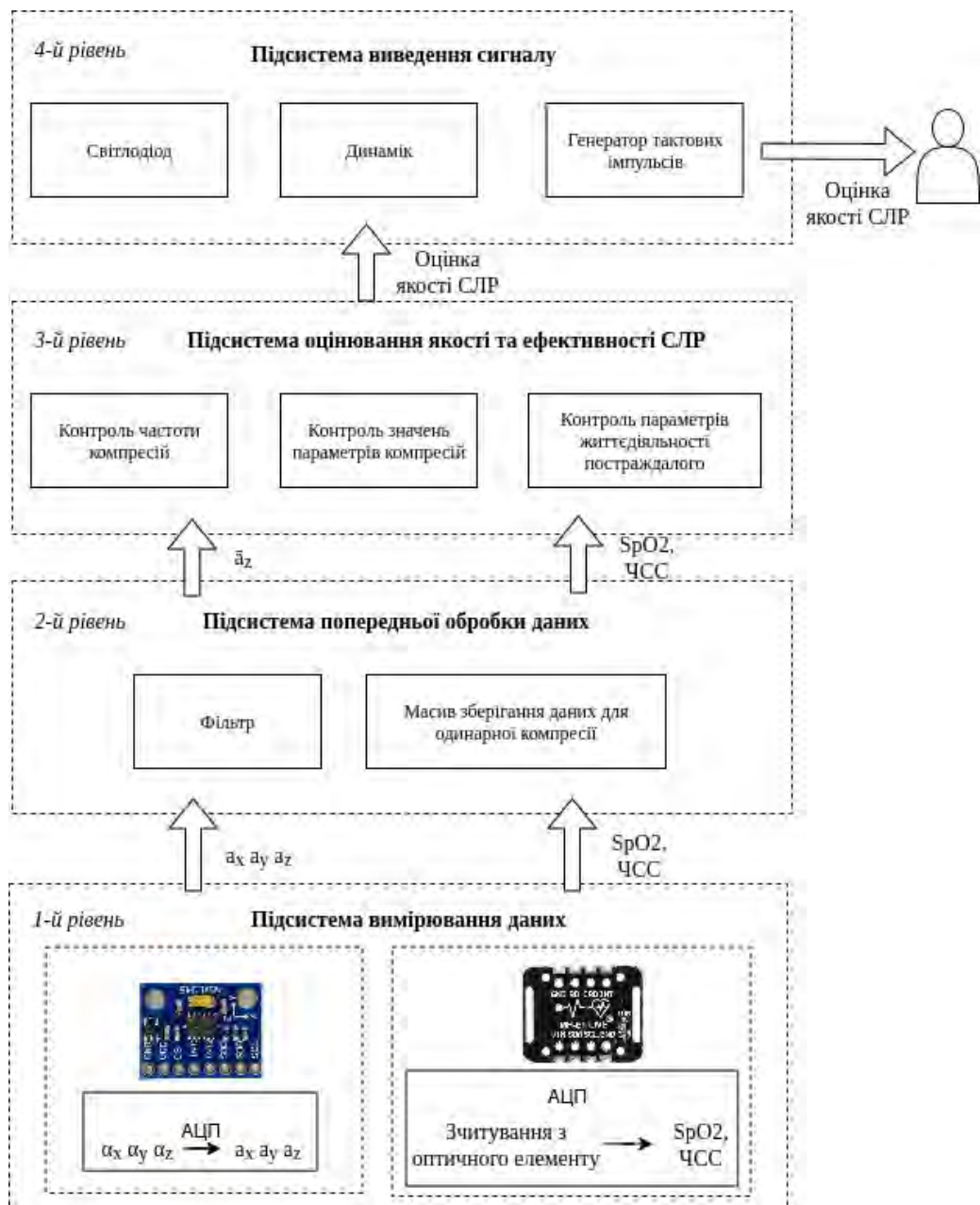


Рис. 2.1. Структурна схема АСЯ СЛР

2.2. Підсистеми автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Загалом пропонована АСЯ СЛР має чотирирівневу структуру. Нижче наведено опис функціоналу кожної з підсистем АСЯ СЛР відповідно до розробленої структурної схеми.

2.2.1. Підсистема вимірювання даних

Нижній (0-й рівень) являє собою підсистему вимірювання даних (ПВД). Вимірювані дані являють собою множину різних за значенням та фізичною природою показників, для оцінки якості виконання СЛР. На цьому рівні формується вхідний вимірювальний сигнал. Засобами вимірювання, а саме акселерометром, датчиком ЧСС та сатурації, зчитуються показники прискорення по осях абсолютної декартової системи координат X, Y та Z та ЧСС, та процент насиченості крові постраждалого киснем (сатурацію крові) та у вигляді цифрового сигналу надаються інформацію для обробки, на наступний рівень.

2.2.2. Підсистема попередньої обробки даних

На наступному рівні у підсистемі попередньої обробки даних (ППОД) відбувається фільтрація сигналів від датчиків для усунення шумів їх підсилення та нормування. У ППОД визначаються відмітки часу початку та кінця одинарної компресії, і дані, що відповідають одинарній компресії, збираються у масив та передаються на наступний рівень до підсистеми оцінювання якості та ефективності СЛР (ПОЯ СЛР). З підсистеми попередньої обробки даних множина цифрових сигналів (значення прискорення, ЧСС та сатурації) передається на наступний рівень системи.

2.2.3. Підсистема обробки та виведення сигналу

На наступному рівні у підсистемі обробки та виведення сигналу (ПВС) здійснюється оцінювання якості та ефективності СЛР шляхом обчислення поточних значень параметрів що стосуються компресій і життєдіяльності постраждалого та порівняння отриманих результатів з нормованими значеннями, що регламентовані медичними нормативними документами.

2.3. Принцип обробки даних стосовно компресій грудної клітки

Так, визначення частоти компресій грудної клітки та сили її продавлення здійснюється за допомогою трьохосового акселерометру. Частота компресій грудної клітки визначається шляхом виявлення пікових значень сигналу при прискореннях по вертикальній осі абсолютної декартової системи координат XYZ (рис. 2) та проміжками часу їх виникнення. Сила продавлення грудної клітки визначається як величина прискорення, знятого з акселерометра.

Глибину продавлення грудної клітки при натисканні на неї можна також обчислити завдяки значенням прискорення, а також часу виконання одинарного натискання на грудну клітку. Так, глибина натискання на грудну клітку під час виконання одинарного натискання на грудну клітку може характеризуватися зміщенням рук рятувника у просторі вздовж вертикальної осі Z абсолютної системи координат XYZ (рис. 2.2).

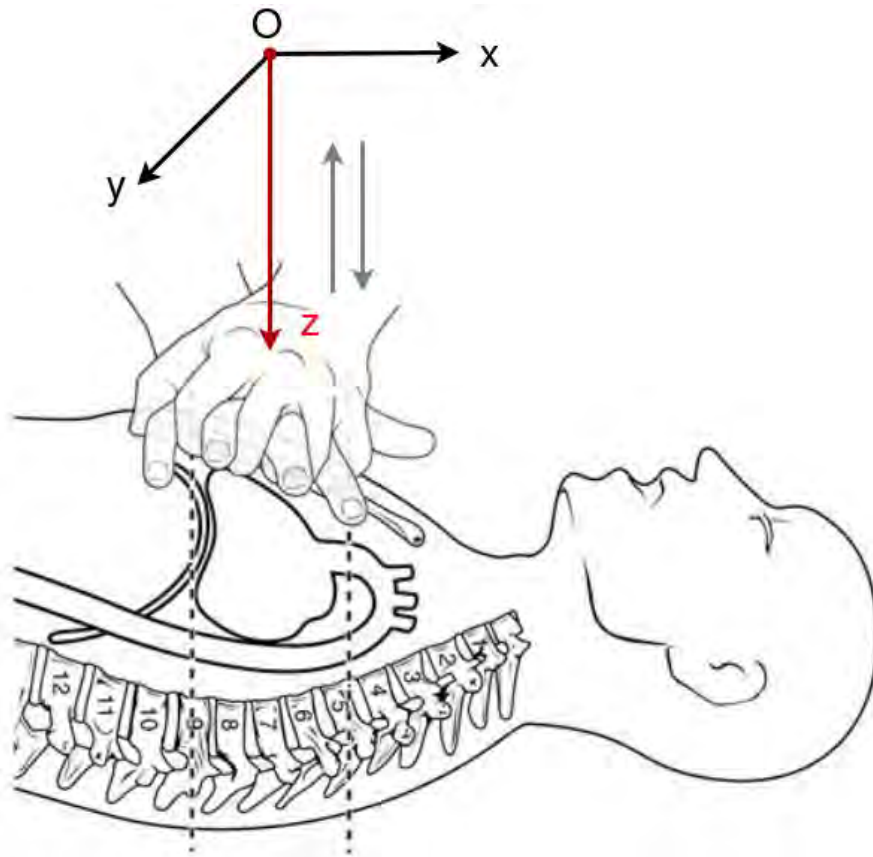


Рис. 2.2. Схематичне зображення визначення глибини натискання на грудну клітку постраждалого при СЛР

Глибину продавлення грудної клітки при СЛР можна обчислити як величину зміщення чутливого елементу акселерометру по вертикальній осі за відомою формулою (1) наступним чином:

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \quad (1)$$

де S – величина зміщення чутливого елементу акселерометру по вертикальній осі Z , м;

V_0 – початкова швидкість руху грудної клітки відносно вертикальної осі Z , м/с;

t – час руху грудної клітки відносно вертикальної Z осі при компресії, с;

a – прискорення виміряне акселерометром під час натискання на грудну клітку при компресії, м/с².

При виконанні одинарної компресії грудної клітки постраждалого, рятувальник здійснює швидке однократне натискання на неї і очікує повернення

грудної клітки у вихідне положення. При поверненні грудної клітки постраждалого у вихідне положення, вона не рухається протягом декількох десятків мілісекунд. Тому початкову швидкість V_0 можна вважати рівною 0 м/с. Тоді величину зміщення чутливого елементу акселерометру S можна обчислити за виразом (2) наступним чином за відомою формулою:

$$S = \frac{1}{2}at^2. \quad (2)$$

2.4. Формування та подання оцінки якості СЛР

На виході з ПВС формується оцінка якості СЛР, інформація про яку надається користувачеві за допомогою двокольорового світлодіоду, динаміку та генератор тактових імпульсів. Крім того, динамік та генератор тактових імпульсів формують метрономічні звукові та тактильні сигнали, які задають правильний ритм виконання СЛР, який становить 110 натискань на хвилину.

Висновки до розділу 2

1. Було розроблено структурну схему автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, сформовано основну логіку роботи системи та взаємодію рятівника із нею. Розробка структурної схеми АСЯ СЛР дозволяє візуалізувати будову системи, надає комплексне розуміння функціонування системи, та є базою для подальшого проєктування системи.
2. Описано підсистеми структурної схеми АСЯ СЛР. Система складається з підсистеми вимірювання, яка отримує дані з акселерометра та датчика ЧСС та сатурації (SpO_2). Далі підсистема попередньої обробки фільтрує сигнали та формує масиви даних для аналізу окремих компресій. Підсистема оцінювання визначає якість компресій та ефективність СЛР за параметрами руху й життєвими показниками постраждалого. Опис

підсистем структурної схеми потрібен для детального розуміння функціонування системи.

3. Описано принцип обробки даних стосовно компресій грудної клітки, наведено формули розрахунку окремих параметрів з отриманих даних прискорення з акселерометру. Окрема увага виділена на розрахунок глибини натискання на грудну клітку. Опис принципу обробки даних стосовно компресій грудної клітки необхідний для розуміння процесів що відбуваються із даними, які використовуються для оцінки якості та ефективності СЛР.
4. Описано формування та подання оцінки користувачу АСЯ СЛР. Оцінка якості та ефективності реанімаційних заходів надається рятівнику візуальним та аудіальним методом за допомогою засвічування різних кольорів світлодіоду та роботи динаміка або генератора тактових імпульсів. Опис подання оцінки системою необхідний для розуміння результату роботи системи та засобів її зворотного зв'язку з користувачем.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ

Розробка схеми електричної принципової на основі обраних технічних методів реалізації необхідна для розробки макету АСЯ СЛР, який дозволить дослідити роботу системи оцінювання реанімаційних заходів.

3.1. Елементна база схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

3.1.1. Головний мікроконтролер для автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

За вхідних умов завдання, які виконує практична реалізація АСЯ СЛР та вимог до їх виконання, у якості головного обчислювального мікроконтролера було обрано STM32F103 виробництва компанії ST (Тайвань) [26].

Він використовує 32-бітну архітектуру ARM Cortex M3, його максимальна тактова частота – 72 МГц, він має 20 Кб оперативної пам'яті та 64 Кб постійної пам'яті. Цей мікроконтролер має 3 UART-інтерфейси, 2 SPI, 2 I2C, 1 CAN, 1 USB. Такі характеристики мікроконтролера є оптимальними, адже забезпечують достатню частоту виконання, для того щоб система вважалася такою яка працює у реальному часі, але у той же час не є надлишковими з точки зору функціоналу. Така кількість апаратних інтерфейсів є цілком достатньою для використання декількох зовнішніх датчиків, яких потребує система.

На основі цього мікроконтролеру існує багато різноманітних плат розробки, що реалізують та демонструють його функціонал. Найуживанішою з них є плата розробки Blue Pill виробництва компанії ST (Тайвань) [27], зображена на рис. 3.1. Технічні характеристики плати розробки Blue Pill наведені у табл. 3.1.

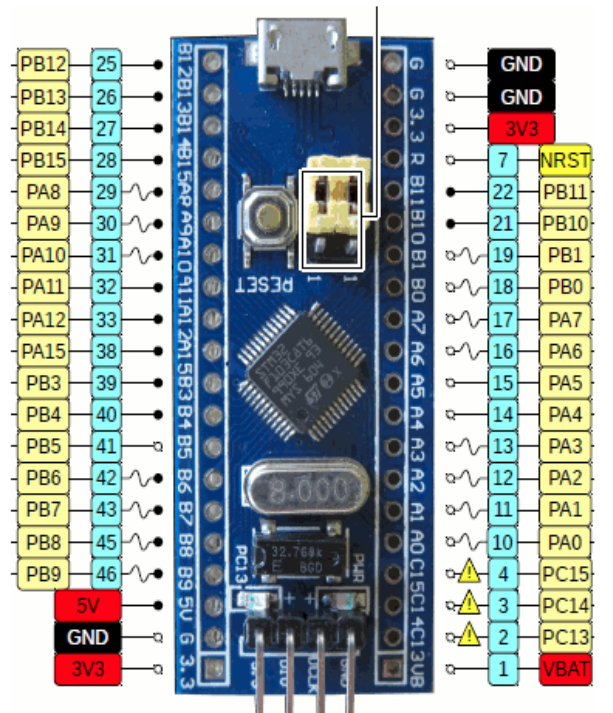


Рис. 3.1. Загальний вигляд та схема розташування виходів плати розробки Blue Pill на основі STM32F103C8T6

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики плати розробки Blue Pill

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	STM32F103C8T6
Процесор	Одноядерний ARM Cortex-M3
Виводи	37
Вбудовані інтерфейси	CAN, I2C, SPI, UART, USART, USB
Живлення	3.3 - 5 В
Споживання	300 мА
Максимальна частота процесора	72 МГц
Обсяг оперативної пам'яті	20 кБ
Обсяг флеш-пам'яті	64 кБ
Розміри	23 x 53 x 10 мм
Вага	8 г

Плата розробки Blue Pill на основі такого самого мікроконтролеру використовується через зручність відлагодження та через те, що містить усі виводи мікроконтролеру, та компоненти які демонструють його можливості. Дана плата розробки може бути використана для практичної реалізації макету системи для проведення експериментальних досліджень. В подальшій розробці макету має бути замінена на окрему друковану плату, яка буде містити лише мікроконтролер STM32F103C8T6 із мінімальними потрібними супровідними компонентами. Технічні характеристики плати розробки дозволяють практичну реалізацію АСЯ СЛР у зручному для розробки, відлагодження та дослідження працездатності системи. Після проведення необхідних тестувань, мікроконтролер STM32F103, на якому заснована ця плата розробки, може бути розміщений на печатній платі власної розробки для забезпечення компактності та ергономічності практичної реалізації АСЯ СЛР.

3.1.2. Акселерометр для моніторингу параметрів компресій грудної клітки

Згідно з поставленими задачами, методичними рекомендаціями до виконання СЛР, та розробленим алгоритмом функціонування АСЯ СЛР, необхідно обрати два різних сенсори – акселерометр, та датчик частоти серцевих скорочень та сатурації крові.

В якості основного вимірювального сенсору було обрано трьохосьовий MEMS-акселерометр ADXL345 виробництва компанії Analog Devices (США) [28]. Він працює із інтерфейсами комунікації SPI та I2C, має налаштовуваний діапазон вимірювання від $\pm 2g$ до $\pm 16g$ та здатний видавати дані прискорення із частотою до 3.2 кГц, яка забезпечує достатню частоту обробки даних для систем даного типу. Із мікроконтролером, здатним працювати із достатньою тактовою частотою, така частота виклику обробки даних забезпечить якісний та точний аналіз параметрів компресій грудної клітини. Акселерометр ADXL345

зображений на рис. 3.2. Технічні характеристики акселерометру ADXL345 наведені у табл. 3.2.

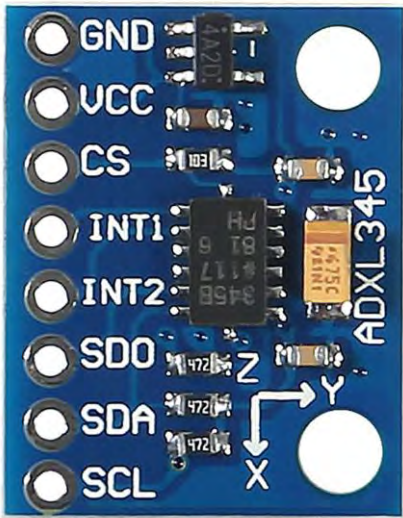


Рис. 3.2. Загальний вигляд акселерометру ADXL345

Таблиця 3.2.

Технічні характеристики акселерометру ADXL345

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювань	$\pm 2g$ / $\pm 4g$ / $\pm 8g$ / $\pm 16g$
Інтерфейс комунікації	SPI, I2C
Живлення	3.3 - 5 В
Споживання	400 мкА
Максимальна частота процесора	3.2 кГц
Розміри	20 x 15 мм
Вага	8 г

3.1.3. Датчик частоти серцевих скорочень та сатурації крові для моніторингу параметрів життєдіяльності постраждалого

У якості датчику частоти серцевих скорочень та сатурації крові було обрано MAX30102 виробництва компанії Analog Devices (США) [29]. Цей сенсор

використовує інтерфейс комунікації I2C, максимальна частота видачі даних – 400 КГц. У цьому датчику об’єднано два оптичних пристрої – світлодіоди червоного та інфрачервоного спектра. Таке виконання даного сенсору дозволяє використовувати його одночасно для вимірювання насиченості крові киснем та ЧСС. Датчик ЧСС та сатурації крові MAX30102 зображений на рис. 3.3. Технічні характеристики датчику ЧСС та сатурації крові MAX30102 наведені у табл. 3.3.



Рис. 3.3. Загальний вигляд датчику ЧСС та сатурації крові MAX30102

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики датчику ЧСС та сатурації крові MAX30102

Характеристика	Значення
Інтерфейс комунікації	I2C
Живлення	2.5 – 5.5 В
Споживання	1.2 мА
Максимальна частота процесора	400 кГц
Розміри	19 x 15 мм
Вага	5 г

3.1.1. Світлодіод для зворотного зв’язку щодо оцінювання якості та ефективності виконання серцево-легеневої реанімації

У якості основного інформаційного джерела для рятівника щодо оцінювання якості та ефективності виконання серцево-легеневої реанімації було обрано двоколірний світлодіод замість двох окремих світлодіодів різного кольору заради спрощення схеми підключення та зменшення розмірів макету пристрою. Двоколірні світлодіоди наявні на ринку у варіантах реалізації з загальним анодом та загальним катодом. Було обрано світлодіод з загальним анодом через доступність на ринку. Двоколірний світлодіод зображений на рис. 3.4. Технічні характеристики двоколірного світлодіоду наведені у табл. 3.4.



Рис. 3.4. Загальний вигляд двоколірного світлодіоду L-59EGW-CA

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики двоколірного світлодіоду

Характеристика	Значення
Тип підключення	З загальним анодом
Номінальна напруга (червоний колір)	2.0 – 2.2 В
Номінальна напруга (зелений колір)	2.8 – 3.0 В

3.2. Розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

3.2.1. Розрахунок елементної бази схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Серед елементної бази схеми електричної принципової додаткових розрахунків потребує лише двоколірний світлодіод. Двоколірні світлодіоди мають певну особливість – доволі часто зустрічаються виконання цього компоненту, які вимагають різної напруги живлення на виводі для адекватного засвічування різних кольорів.

Через це, номінали резисторів, що використані у якості супровідних елементів при підключенні таких світлодіодів до мікроконтролера, можуть бути змінені в залежності від конкретної варіації двоколірного світлодіоду.

Для коректного підключення двоколірного світлодіоду до мікроконтролера, а саме забезпечення правильного засвічення червоного та зеленого кольорів, необхідно розрахувати номінали резисторів для під'єднання до виводів світлодіоду що відповідають за засвічування двох різних кольорів.

Номінали резисторів обираються відповідно до доступної варіації двоколірового світлодіоду. Розрахуємо номінали резисторів R1 та R2 для світлодіоду із потрібною напругою для засвічування зеленого кольору 2.8-3.0 В, та 2.0-2.2 В для червоного, за умови що номінальний струм споживання такого світлодіоду дорівнює 20 мА (тобто 0.02 А), та вхідна напруга з основного мікроконтролера дорівнює 3.3 В.

Для виконання розрахунків, скористаємося загальновідомою формулою (3) закону Ома:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (3)$$

де R – електричний опір провідника, Ом;

U – прикладена напруга, В;

I — сила струму, А.

У випадку для засвічування зеленого кольору світлодіоду, де до відповідного виводу під'єднаний резистор $R1$, є справедливим такий вираз (4):

$$R1 = \frac{3.3-2.9}{0.02} = 20 \quad (4)$$

Тобто, потрібний електричний опір резистору $R1$ дорівнює 20 Ом.

У випадку для засвічування червоного кольору світлодіоду, де до відповідного виводу під'єднаний резистор $R2$, є справедливим такий вираз (5):

$$R2 = \frac{3.3-2.1}{0.02} \approx 60 \quad (5)$$

Тобто, потрібний електричний опір резистору $R2$ дорівнює 60 Ом.

3.2.2. Підключення виводів елементів схеми електричної принципової

Згідно з архітектурою плати розробки Blue Pill, мікроконтролера STM32F103, на якому вона базується, та обраних компонентів системи, запропоновано підключення різних компонентів таким чином, який відображений у табл. 3.2-3.4.

Таблиця 3.2.

**Підключення виводів мікроконтролера STM32F103 до датчику
акселерометру ADXL345**

ADXL345	STM32F103	Коментар
GND	GND	Земля
VCC	3V3	Живлення
SDA	PB6	Передача даних з ADXL345; Вхід
SCL	PB7	Передача даних до ADXL345; Вихід
INT1	PB5	Сигнал переривання; Вхід
INT2	-	Не підключається

Таблиця 3.3.

**Підключення виводів мікроконтролера STM32F103 до датчику пульсу
та сатурації MAX30102**

MAX30102	STM32F103	Коментар
GND	GND	Земля
VIN	3V3	Живлення
SDA	PA	Передача даних з MAX30102; Вхід
SCL	PA	Передача даних до MAX30102; Вихід
INT	PB0	Сигнал переривання; Вхід
IRD	-	Не підключається
RD	-	Не підключається

Таблиця 3.4.

Підключення виводів мікроконтролера STM32F103 до другорядних компонентів

Компонент, вивід	STM32F103	Коментар
Світлодіод двоколірний, анод	GND	Земля
Світлодіод двоколірний, зелений колір	PA0	Через резистор 20 Ом
Світлодіод двоколірний, червоний колір	PA1	Через резистор 60 Ом
Динамік або генератор тактових імпульсів, земля	GND	Земля
Динамік або генератор тактових імпульсів, вхід	PA2	Підключення напряму

3.3. Схема електрична принципова автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

На рис. 3.5 зображена схема електрична принципова АСЯ СЛР згідно обраних технічних методів реалізації та компонентів системи, разом із супровідними елементами.

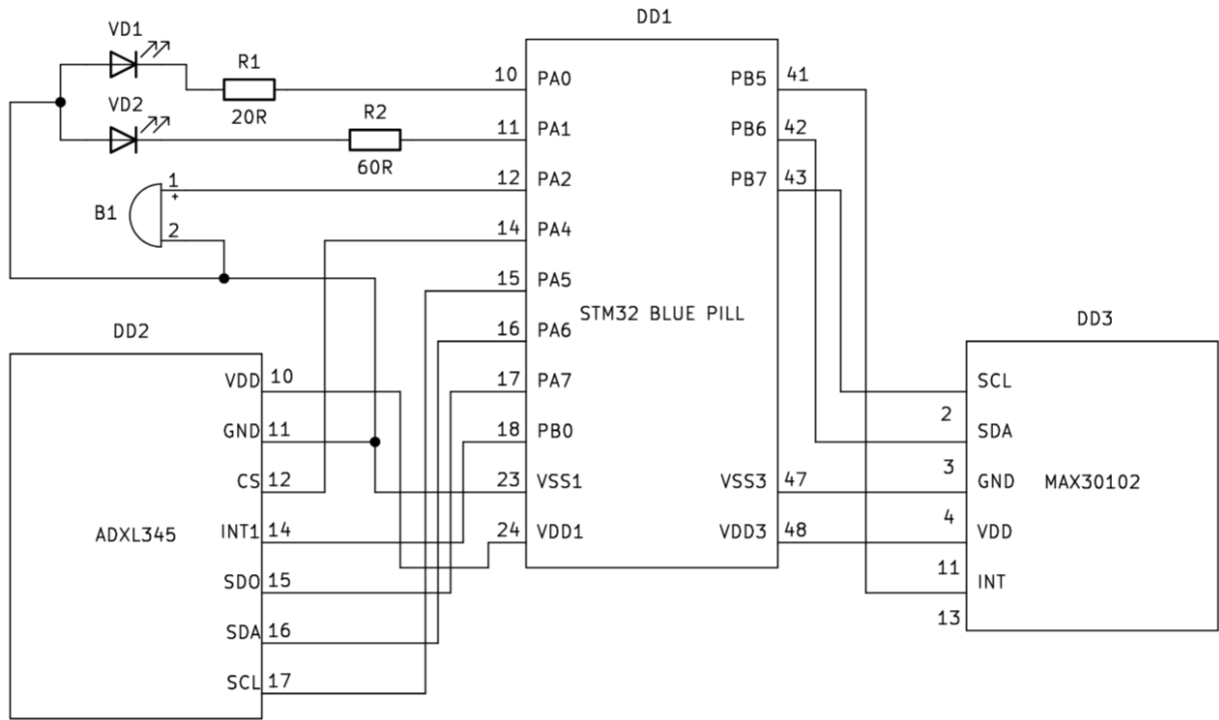


Рис. 3.5. Схема електрична принципова АСЯ СЛР

Розроблена схема електрична принципова забезпечує роботу усіх компонентів АСЯ СЛР згідно із визначеними вимогами та дозволяє розробку макета системи.

3.4. Розробка специфікації схеми електричної принципової автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Для ідентифікування елементів, присутніх на схемі електричній принциповій АСЯ СЛР, використовується специфікація до схеми електричної принципової (табл. 3.5). Позиційне позначення кожного елемента наведено на схемі електричній принциповій поряд із схематичним зображенням елемента.

Таблиця 3.5.

Специфікація до схеми електричної принципової

Поз. Позн	Найменування	Кільк.	Примітка
DD1	Модуль STM32 Blue Pill	1	
DD2	Модуль ADXL345	1	
DD3	Модуль MAX30102	1	
R1	Резистор SFR16S 20 Ом 5% 0,5 Вт ТКО100	1	
R2	Резистор MFR0W4 60,4 Ом 0,1% 0,25 Вт ТКО15	1	
B1	Динамік MH-FMD	1	
VD1, VD2	Світлодіод L-59EGW-CA	2	

Висновки до розділу 3

1. Обрано елементу базу схеми електричної принципової АСЯ СЛР. Було описано обрані компоненти системи, наведено їх технічні характеристики. Було обрано наступну елементу базу:

1. Основний мікроконтролер: STM32F103C8T6 у складі плати розробки Blue Pill
2. Акселерометр ADXL345
3. Датчик ЧСС та сатурації крові (пульсоксиметр) MAX30102.
4. Двоколірний світлодіод L-59EGW-CA

У якості елементів системи, що забезпечують зворотній зв'язок із рятівником та повідомляють йому про оцінку якості та ефективності СЛР, було обрано двоколірний світлодіод та динамік, із опцією заміни на тактовий генератор імпульсів. Вибір матеріалів та методів реалізації АСЯ СЛР необхідний для подальшої розробки схеми електричної принципової, та реалізації макету, який допоможе дослідити роботу системи. Визначення

компонентів системи дозволяє подальшу розробку схеми електричної принципової для АСЯ СЛР.

2. У ході розробки схеми електричної принципової було розроблено схему підключення компонентів у вигляді таблиці. Розраховано номінали супровідних елементів, а саме резисторів для двокольорового світлодіоду. Схема підключення компонентів допоможе розробити схему електричну принципову, а також створити макет АСЯ СЛР для відлагодження та тестування роботи системи.
3. Було розроблено схему електричну принципову АСЯ СЛР. Схема електрична принципова складена з урахуванням обраних компонентів для реалізації системи, і містить основні елементи системи, а саме основний мікроконтролер (STM32F103), акселерометр (ADXL345) та датчик ЧСС та сатурації (MAX30102), та другорядні компоненти системи, а саме двоколірний світлодіод та динамік або генератор тактових імпульсів, разом із необхідними супровідними елементами. Було розраховано номінали супровідних елементів другорядних компонентів системи, а саме, резисторів що забезпечують коректне засвічування різних кольорів двоколірного світлодіоду.
4. Було розроблено специфікацію схеми електричної принципової АСЯ СЛР. Було складено перелік елементів схеми електричної принципової, що відповідає обраній елементній базі та розробленій схемі електричній принциповій. Це дозволяє ідентифікувати елементну базу за найменуванням та позиційним позначенням на схемі електричній принциповій.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ

4.1. Розробка алгоритму оцінки якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Алгоритм роботи АСЯ СЛР представлений блок-схемою на рис. 2.3. Його реалізація передбачає виконання 28 кроків у відповідних блоках.

Умовно алгоритм роботи АСЯ СЛР можна розділити на процес оцінювання якості процедури, процес оцінювання ефективності процедури, та формування і надання оцінки рятувнику.

Алгоритм розроблений з урахуванням розробленої структурної схеми АСЯ СЛР. Граничні значення за якими система приймає рішення щодо якості або ефективності виконання реанімаційних дій сформовані згідно методичних вказівок до проведення СЛР [3, 4, 7, 8].

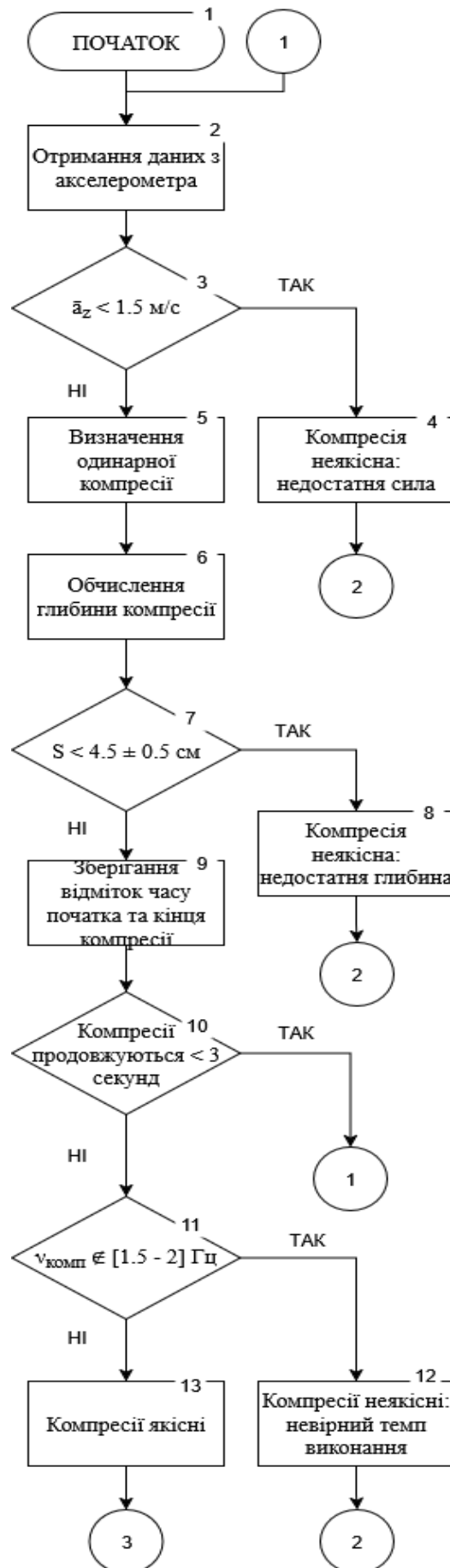


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритму роботи АСЯ СЛР



Рис. 2.3. Блок-схема алгоритму роботи АСЯ СЛР (продовження)

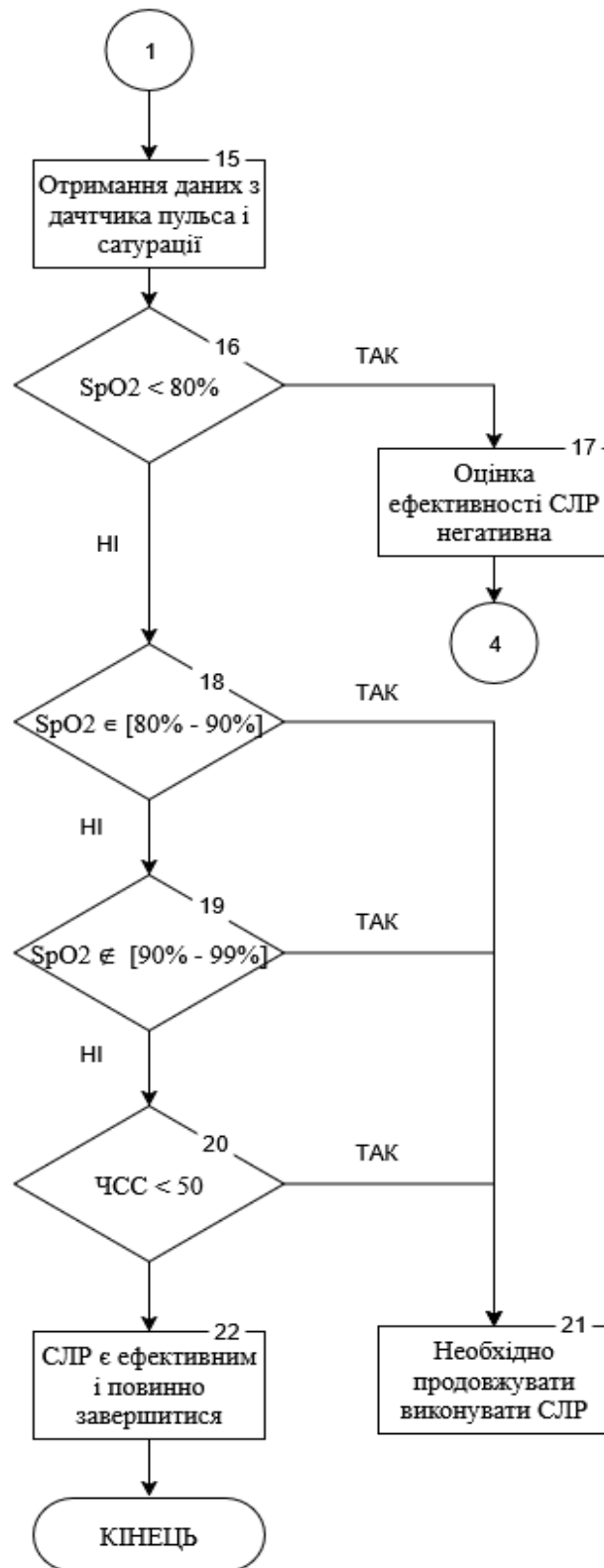


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритму роботи АСЯ СЛР (закінчення)

4.2. Алгоритм оцінки якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Блок 1 – початок алгоритму. У блоці 2 виконується отримання даних прискорення по трьох осях з акселерометра, після чого у блоці 3 здійснюється перевірка на відповідність умові сили компресії. Сила компресії корелює із перевантаженням, яке корелює із прискоренням, яке діє в момент компресії, та може бути виражена переведенням отриманого значення прискорення з м/с² у одиниці g.

При виконанні натискань на грудну клітку, середнє перевантаження по вертикальній осі повинно бути вищим за 0.153 g. Таке порогове значення сили натискань при компресії було отриманий у ході експериментальних досліджень [18]. Якщо дана умова не виконується (блок 4) – сила компресій недостатня, величина оцінки виконання СЛР знижується та підсвічується червоний світлодіод (блоки 23-24). В іншому випадку, продовжується виконання алгоритму і у блоці 5 визначаються відмітки часу початку та кінця компресії.

У блоці 6 здійснюється обчислення глибини компресії за формулою (2). У блоці 7 перевіряється умова відповідності глибини компресії 4.5 см із допуском 0.5 см, при рекомендованих медичними нормативними документами значеннях 4 – 5 см. Якщо умова блока 7 не виконується (блок 8), компресія вважається неякісною через недостатню глибину компресії і оцінка СЛР знижується та системою підсвічується червоний світлодіод (блоки 23-24).

У блоці 9 здійснюється зберігання відміток часу початку та кінця одинарної компресії. Для точного визначення частоти виконання компресій, відмітки часу початку та кінця компресій відстежуються протягом 3 секунд паралельно із оцінкою СЛР по інших параметрах (блок 10). Після накопичення достатньої кількості відміток часу, у блоці 11 оцінюється частота виконання СЛР. Якщо вона становить близько 1.5-2 Гц, частота виконання компресій вважається правильною (блок 13) і відповідає рекомендованим 100-120 разів у хвилину [3, 4, 7, 8], оцінка якості СЛР підвищується та системою підсвічується зелений

світлодіод (блоки 25-26). У зворотному випадку (блок 12), системою знижується оцінка виконання СЛР та підсвічується червоний світлодіод (блоки 23-24).

Паралельно із обробкою даних компресій для оцінювання якості виконання СЛР, постійно виконується оцінювання ефективності СЛР у блоках 15-22. Системою отримуються дані з датчика ЧСС та сатурації крові (блок 15), та перш за все у блоці 16 перевіряється умова відповідності проценту насиченості крові киснем значенню 80%, яке відповідає значенню сатурації крові постраждалого, щодо якого тільки почали проводити реанімаційні заходи [5].

Якщо умова блоку 16 не виконується, оцінка СЛР вважається наднизькою (блок 17) – це велика загроза для життя постраждалого і показник того що реанімаційні заходи або не виконуються зовсім, або є вкрай неефективними. У такому випадку знижується оцінка виконання СЛР та підсвічується червоний світлодіод (блоки 23 – 24).

Якщо процент сатурації крові більше, ніж 80%, у блоці 18 перевіряється, чи знаходиться значення проценту сатурації крові постраждалого у межах 80% – 90%. Якщо ця умова виконується, рятувнику необхідно продовжувати виконувати СЛР, оцінка процедури не змінюється (блок 21). У блоці 19 перевіряється, чи входить значення проценту сатурації крові у межі 90 – 99%, які відповідають значенням сатурації крові для людини що починає проявляти ознаки життя, або повноцінну життєдіяльність [5].

Якщо ця умова не виконується, рятувнику необхідно продовжувати виконувати СЛР. У такому випадку оцінка процедури не змінюється (блок 21).

Якщо умова блоку 19 виконується, у блоці 20 перевіряється, чи є частота серцевих скорочень або ЧСС постраждалого більшою від 50 ударів в хвилину, що відповідає значенню ЧСС людини, яка починає проявляти ознаки життя. Якщо ця умова не виконується, рятувнику необхідно продовжувати виконувати СЛР, оцінка якості процедури не змінюється (блок 21).

Якщо умова блоку 22 виконується, СЛР оцінюється як недефективна і видає попереджувальний сигнал про необхідність припинення реанімаційних

дій, адже у постраждалого з'явилися усталені ознаки життя та самостійне дихання (блоки 27 – 28).

4.3. Розробка значень інтегральної оцінки якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Для оцінки правильності та ефективності дій непрофесійних рятувальників при СЛР використовується комплексний підхід.

Вибір методів та засобів для автоматизованого визначення показників правильності СЛР та її ефективності шляхом виявлення ознак життя постраждалих здійснювався з огляду на їх доступність та можливість практичної реалізації.

Для оцінки якості СЛР у цілому використовувався порівняльний аналіз, який дозволяє здійснити оцінку за декількома параметрами. Зокрема оцінюється процент сатурації крові та ЧСС постраждалого, параметри одинарної компресії – прискорення по вертикальній осі та зміщення по вертикальній осі, яке виражає глибину продавлення грудної клітки. Після аналізу параметрів одинарних компресій, на основі декількох компресій здійснюється оцінка частоти компресій.

Інтегральна оцінка якості СЛР здійснюється в інтервалі значень $[0; 1]$. На основі отриманої оцінки якості СЛР формується загальний висновок про правильність дій рятувальника та ефективність СЛР у цілому.

4.4. Інтегральна оцінка якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Значення інтегральної оцінки якості СЛР та відповідну індикацію, яка надається рятувнику, наведено у табл. 2.4.

Інтегральні оцінки якості СЛР

Індикаційні значення інтегральної оцінки рівня загроз	Якість СЛР	Коментар
Червоний світлодіод, попереджувачий звуковий сигнал	Низька	Висока загроза смерті постраждалого. Необхідно збільшити силу та частоту компресій
Червоний світлодіод	Середня	Необхідно збільшити або силу або частоту компресій.
Жовтий світлодіод	Вище середнього	Необхідно підтримувати силу та частоту компресій.
Зелений світлодіод	Висока	Постраждалий може скоро проявити ознаки життя. Необхідно підтримувати силу та частоту компресій.
Зелений світлодіод, попереджувачий звуковий сигнал	Надвисока	Постраждалий проявляє ознаки життя. Необхідно зупинити виконання СЛР.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено алгоритм роботи АСЯ СЛР у вигляді блок-схеми. Алгоритм роботи АСЯ СЛР відповідає розробленій структурній схемі АСЯ СЛР. Умови, за якими оцінюється якість та ефективність СЛР, сформовані із дотриманням методичних вказівок до проведення СЛР. Розробка блок-схеми алгоритму АСЯ СЛР надає графічне представлення станів, в яких може перебувати система, та результати роботи системи.
2. Детально розглянуто алгоритм роботи АСЯ СЛР у покроковому вигляді, описані різні дії АСЯ СЛР внаслідок отримання тієї чи іншої інформації з датчиків. Алгоритм контролює якість виконання серцево-легеневої реанімації (СЛР) за двома джерелами даних, серед яких акселерометр, що надає дані для аналізу параметрів компресій грудної клітки, та пульсоксиметр, за допомогою якого система аналізує SpO2 та ЧСС. Опис алгоритму роботи АСЯ СЛР забезпечив розуміння процесу оцінювання якості та ефективності СЛР та зворотного зв'язку із рятівником.
3. Описано інтегральну оцінку якості та ефективності СЛР. Вказано параметри, за якими формується оцінка якості та ефективності СЛР. Наведено індикаційні значення, які АСЯ СЛР надає рятівнику у результаті оцінювання реанімаційних дій. Опис індикаційних значень оцінки СЛР є представленням результату роботи алгоритму системи.
4. Наведено таблицю значень інтегральної оцінки якості та ефективності СЛР відповідно до індикації, яку система надає користувачу. У результаті роботи алгоритму, система вказує користувачу на правильність, недостатню правильність чи неправильність дій за допомогою світлодіодної індикації та звукових сповіщень, а також сигналізує про небезпеку, якщо процес реанімації зовсім неефективний, або навпаки завершився появою ROSC у постраждалого. Таблиця значень оцінки СЛР є представленням результату роботи системи у відповідності із індикацією, яку надає система, надає розуміння про метод зворотного зв'язку системи із користувачем.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МАКЕТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЦЕВО-ЛЕГЕНЕВОЇ РЕАНІМАЦІЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

5.1. Розробка макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

На основі обраних компонентів було розроблено макету АСЯ СЛР, яка дозволяє дослідити працездатність системи, відлагодити алгоритм оцінювання, перш ніж виготовляти власну друковану плату та корпус для готового пристрою.

Макети такого характеру є необхідним першим етапом для створення фізичної реалізації працюючої системи. Основний етап розробки та тестування системи здійснюється саме на макеті, адже він дозволяє гнучкість заміни компонентів, простір для виправлення помилок та тестування працездатності концепції роботи системи загалом.

Розроблений макет АСЯ СЛР відповідає розробленій схемі електричній принциповій та обраній елементній базі.

Загальний вигляд макету АСЯ СЛР із позначеними компонентами системи наведений на рис. 5.1.

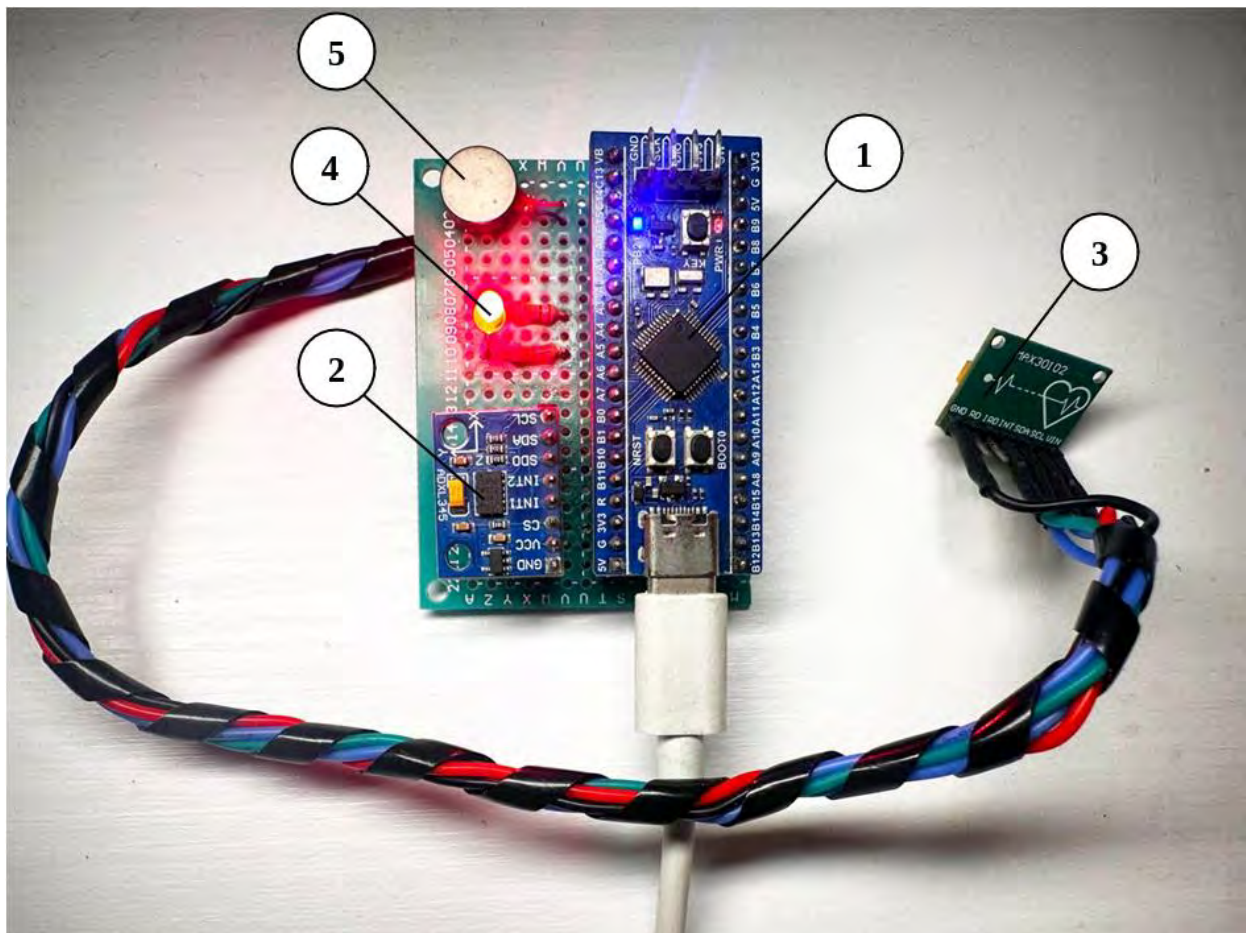


Рис. 5.1. Макет АСЯ СЛР

На рис. 5.1 показані: 1 – плата розробки Blue Pill на основі мікроконтролеру STM32F103C8T6, 2 – трьохосьовий MEMS-акселерометр ADXL345, 3 – датчик ЧСС та сатурації крові MAX30102, 4 – двоколірний світлодіод із загальним анодом та 5 – генератор тактових імпульсів. Додатково у системі передбачається встановлення динаміка (на рис. 7 не показаний).

Даний макет АСЯ СЛР має реалізовану попередню версію без датчику ЧСС та сатурації крові та пов'язаного з ним алгоритмічного забезпечення [30]. Загальний вигляд попередньої версії реалізації макету системи зображений на рис. 5.2.

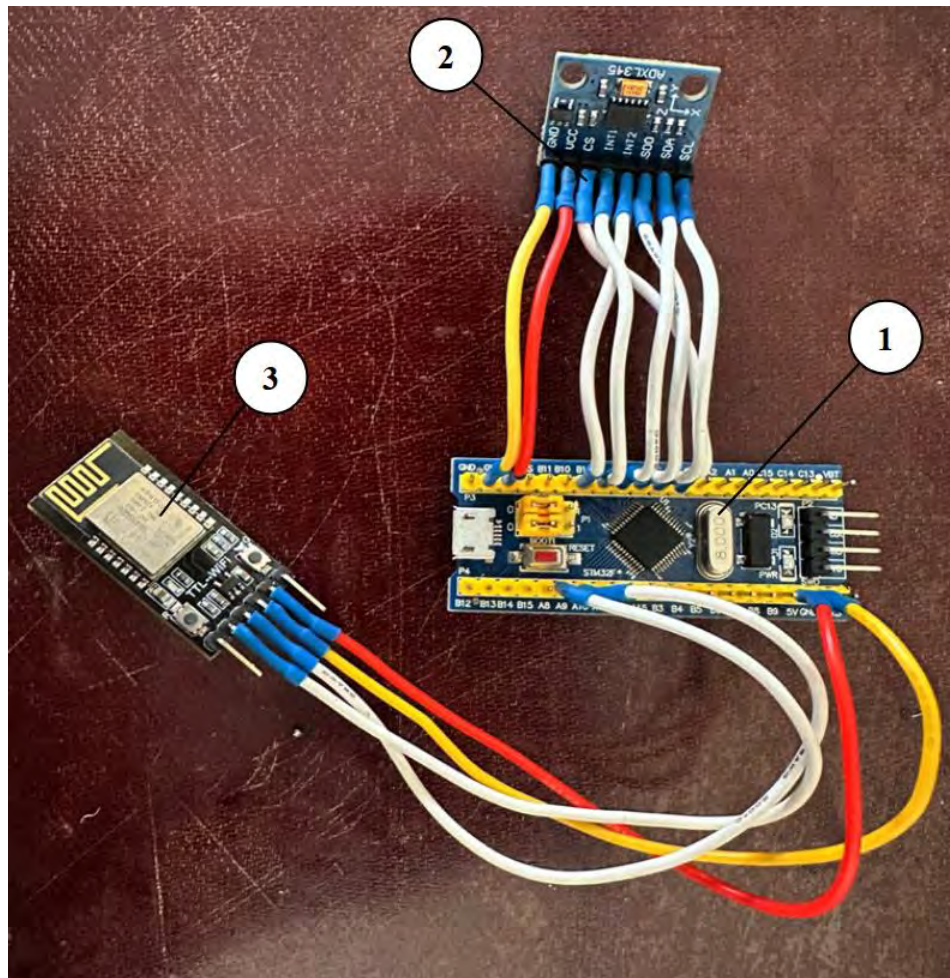


Рис. 5.2. Попередня версія реалізації макету АСЯ СЛР [31]

На рис. 5.2 показані: 1 – плата розробки Blue Pill на основі мікроконтролеру STM32F103C8T6, 2 – трьохосьовий MEMS-акселерометр ADXL345, 3 – WiFi модуль DT-06.

Основні відмінності розробленого макету АСЯ СЛР від попередньої реалізації [30] включають відсутність прив'язки до програми для ПК для передачі даних про статус оцінювання СЛР, відсутність у конструкції пристрою WiFi-модулю, та націленість на надання зворотного зв'язку про оцінку СЛР та допомоги рятівнику не візуальним чином за допомогою програми, а за допомогою самого пристрою – через світлодіод, динамік та генератор тактових імпульсів. Окремою важливою відмінністю є наявність датчику ЧСС та сатурації крові, що дає змогу оцінити стан пацієнта під час виконання СЛР та визначити ефективність реанімаційних заходів.

5.2. Методика проведення експериментальних досліджень працездатності макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

Для повноцінного проведення тестування оновленої АСЯ СЛР, необхідно вжити заходи для тестування частини системи, призначеної для пацієнта. Тестування на людях не є прийнятною мірою у даному випадку, а тестування на тваринах, яке є розповсюдженим методом для тестування систем такого призначення, може бути складно реалізованим.

Найбільш прийнятним та можливим для втілення варіантом проведення тестування макету АСЯ СЛР є забезпечення програмної емуляції даних з датчику ЧСС та сатурації крові. Таким чином, можна буде наближено до реальних умов, але без залучення людей або тварин, дослідити реакцію системи на різні дані ЧСС та сатурації – наприклад, різке підвищення SpO_2 , різке пониження SpO_2 , пришвидшення ЧСС, спонтанне зникнення інформації з датчиків, тощо.

Експериментальні дослідження працездатності попередньої версії макету АСЯ СЛР [30], без компоненту системи призначеного для постраждалого, проводились в позалікарняних умовах із використанням тренувального манекену ТАРАС-М української компанії HEALTH&SO.

5.3. Експериментальні дослідження працездатності попередньої версії макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

В дослідженнях приймав участь спеціаліст із медичною освітою, який виконував якісне СЛР для отримання експериментальних даних. У результаті тестування розробленої АСЯ СЛР було отримано статичну вибірку з 6 тестових сесій СЛР. Під час кожної з сесій, система записувала дані прискорення, а також значення, отриманні з них – швидкість натискання на грудну клітку у м/с, глибину продавлення грудної клітки у м, та оцінку одинарної компресії.

На основі аналізу статистичної вибірки результатів тестування розроблюваної АСЯ СЛР було встановлено, що середнє прискорення по вертикальній осі під час компресій становить близько $1,5 \text{ м/с}^2$, середня глибина продавлення грудної клітки становить близько 2-2,5 см замість рекомендованих 4-5 см [30].

Графічне представлення отриманих даних стосовно середнього прискорення під час виконання компресій та глибини продавлення грудної клітини зображено для двох тестових сесій СЛР на рис. 5.3 та 5.4.

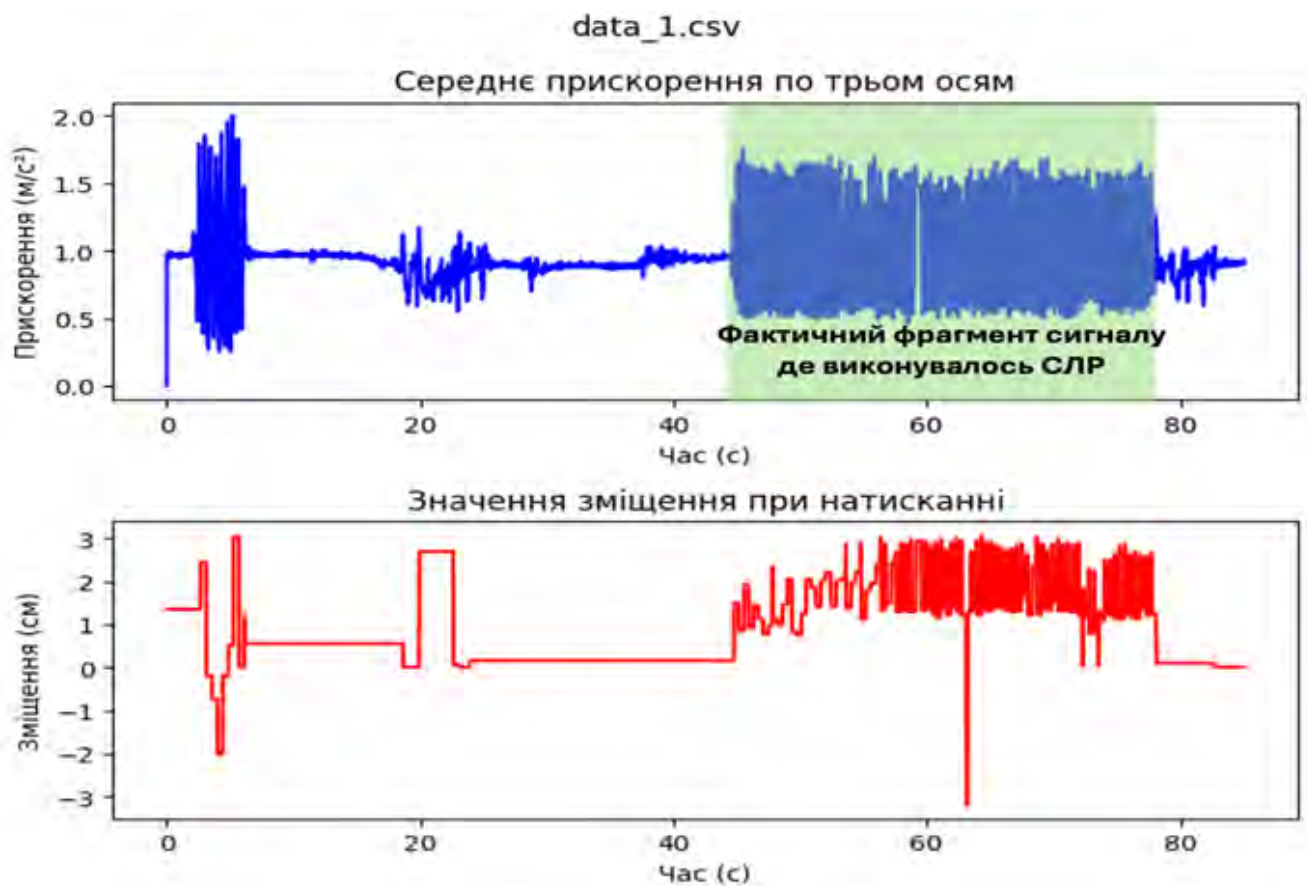


Рис. 5.3. Середнє прискорення та значення глибини продавлення при компресіях на першій тестовій сесії СЛР

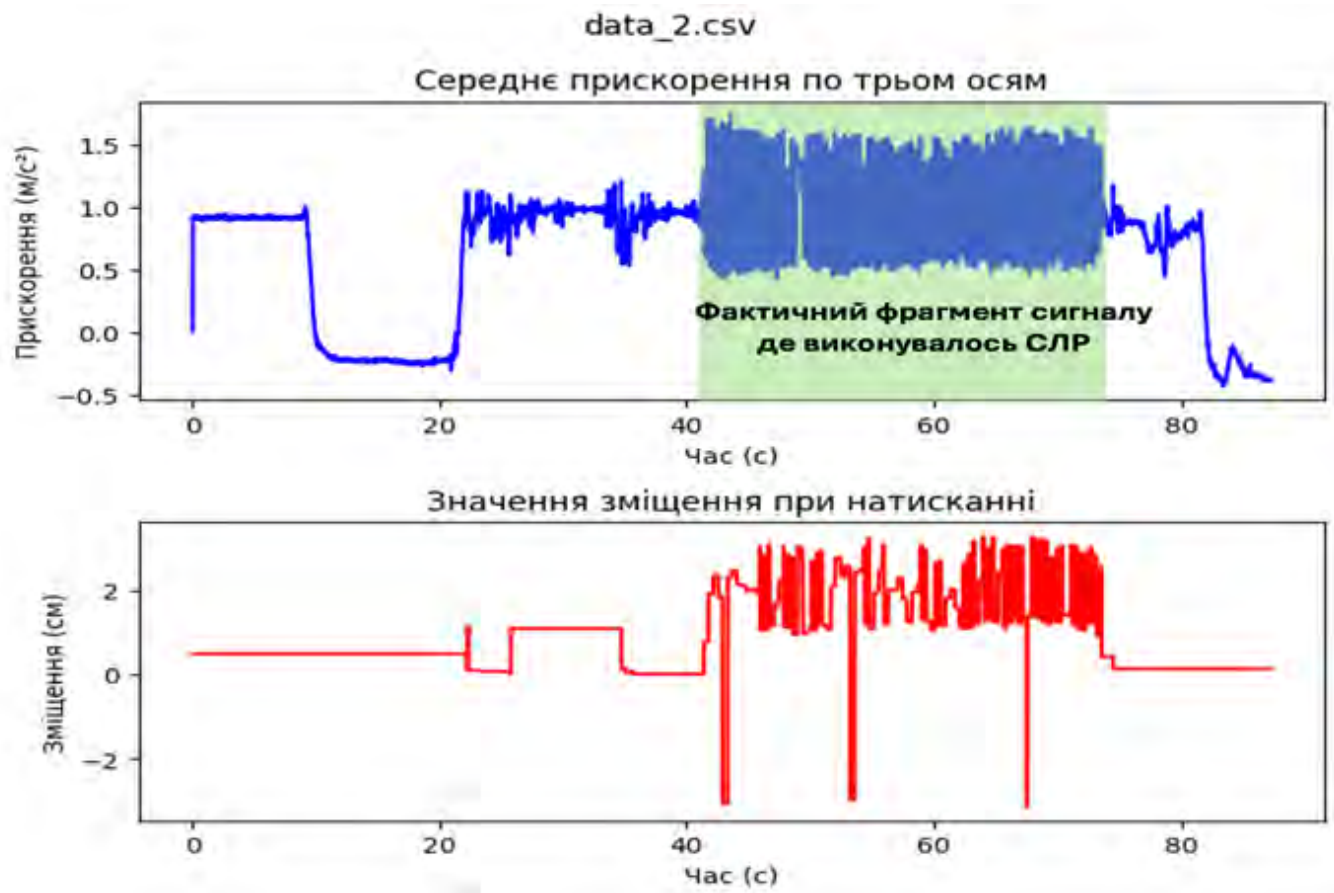


Рис. 5.4. Середнє прискорення та значення глибини продавлення при компресіях на другій тестовій сесії СЛР

5.4. Результати експериментальних досліджень працездатності попередньої версії макету автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

У ході аналізу отриманих результатів дослідження було виявлено, що можливо покращити розрахунок середнього значення прискорення під час виконання компресій грудної клітки. Розрахунки виконуються на основі середнього значення прискорення по всіх трьох осях, а не лише по вертикальній. Таке усереднення може бути менш точним, ніж використання даних з однієї конкретної осі.

Проте, використовувати вертикальну вісь у чистому вигляді теж неможливо, адже портативний пристрій, закріплений на зап'ясті, не завжди перебуває у строго вертикальному положенні. Як можливий напрямок

подальшого розвитку АСЯ СЛР, можлива зміна алгоритму обчислення середнього прискорення на алгоритм обчислення зваженого середнього, де більша вага надається тій осі, на якій спостерігається рух із більшою амплітудою.

Висновки до розділу 5

1. У цьому розділі описано та продемонстровано макет АСЯ СЛР, описано його компоненти, та його відмінності від попередньої версії реалізації макету АСЯ СЛР [30]. Розроблений макет відрізняється від попередньої версії наявністю датчику ЧСС та сатурації крові та відсутністю WiFi модулю. Розробка макету АСЯ СЛР дозволяє відлагодження роботи системи, проведення тестування, доопрацювання алгоритму роботи системи.
2. Описано методологію проведення експериментальних досліджень працездатності макету АСЯ СЛР, з урахуванням відмінностей розробленого макету від його попередньої версії [30]. Запропоновано оновлену методологію тестування для поточного макету АСЯ СЛР, з урахуванням внесених змін, порівняно із попередньою версією системи. Опис методології проведення експериментальних досліджень працездатності макету системи дозволяє визначити подальший напрямок розвитку і дослідження АСЯ СЛР.
3. Описано експериментальні дослідження працездатності попередньої версії макету АСЯ СЛР [30]. Дослідження працездатності макету системи проводилося в позалікарняних умовах за участі спеціаліста із медичною освітою та застосуванням тренувального манекена для СЛР. Дослідження працездатності макету системи дозволило дізнатися значення середнього прискорення, що визначає система під час виконання компресій грудної клітки, та значення глибини натискання на грудну клітку.
4. Проведено аналіз результатів експериментальних досліджень працездатності макету АСЯ СЛР. Пристрій здатний фіксувати прискорення

під час компресій, проте отримані значення глибини натискань суттєво не відповідають встановленим медичним рекомендаціям. Середня глибина компресій становить лише половину від необхідних 4–5 см, що свідчить про недостатню ефективність поточного алгоритму оцінювання руху.

Поточний підхід до обчислення середнього прискорення з усіх трьох осей може знижувати точність фіксації натискань через нерівномірне позиціонування пристрою на руці. Використання зваженого середнього, яке надає пріоритет осі з найбільш вираженими змінами прискорення, може підвищити точність визначення натискань. Це вказує на потребу вдосконалення методів вимірювання та перерахунку глибини натискань для забезпечення більшої точності та відповідності методичним вказівкам до виконання СЛР.

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

6.1. Опис ідеї проєкту

Ідея проєкту полягає у розробці системи оцінювання якості та ефективності виконання СЛР для непрофесійних рятівників у критичних ситуаціях безпосередньо на місці пригоди.

Проєкт націлений на потребу у пристрої, який допоможе будь-якій людині без навичок проведення СЛР, виконати її на місці бойових дій або надзвичайних ситуацій. Пристрій буде надавати вказівки по проведенню СЛР та автоматично оцінювати правильність виконання. Пристрій призначений для закріплення на зап'ясті рятівника подібно до браслету, та завдяки компактності та портативності може зберігатися у автомобільній або персональній аптечці. Опис ідеї стартап проєкту наведений в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система оцінювання якості та ефективності виконання СЛР для допомоги непрофесійним рятівникам	Покращення якості надання СЛР у критичних умовах	Підвищення виживаності серед постраждалих
		Покращення розуміння непрофесійних рятівників про якість виконуваного ними СЛР
		Доступність на ринку
	Покращення якості тренувальних сесій СЛР в рамках курсів домедичної допомоги	Підвищення обізнаності про СЛР та вміння проводити СЛР серед пересічних громадян

Даний товар вирішує ключову проблему у виконанні СЛР непрофесійними рятувальниками в критичних умовах – підвищення якості виконання СЛР безпосередньо на місці пригоди до прибуття медичних професіоналів, що сприяє зменшенню летальних випадків серед постраждалих, що потребують реанімаційних заходів внаслідок травмувань отриманих у критичній ситуації, серцевих нападів, втрати свідомості, тощо.

Цей товар може допомогти врятувати життя постраждалого на місці пригоди, або слугувати у якості допоміжного пристрою на курсах домедичної допомоги, адже він надає зворотній зв'язок щодо якості та ефективності реанімації у реальному часі. Даний продукт виконаний у компактному форм-факторі, що забезпечує портативність – зберігання пристрою можливе в автомобільній або персональній аптечці. Пристрій виготовлений із доступних компонентів, тому він повинен бути доступним для користувача.

Проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї. Для цього визначимо:

- Перелік техніко-економічних характеристик та властивостей ідеї власного проєкту;
- Попереднє коло потенційних проєктів-конкурентів або аналогічних товарів, вже існуючих на ринку;
- Перелік техніко-економічних характеристик та властивостей ідей проєктів конкурентів;
- Сильні (S), нейтральні (N), та слабкі (W) характеристики ідеї проєкту.

Проведемо порівняльний аналіз показників ідеї власного проєкту, що мають гірші значення (W, слабкі), аналогічні значення (N, нейтральні), кращі значення (S, сильні) порівняно із проєктами та ідеями конкурентів. Це допоможе у формуванні конкурентоспроможності продукту. Нижче наведена стандартна таблиця для типового WSN аналізу (табл. 5.2).

**Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї
проєкту**

№ п/ п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабк а сторо на)	N (нейт ральн а сторо на)	S (силь на сторо на)
		Мій проєкт	Cardio First Angel	CPR Meter 2			
1	Зворотній відгук про якість СЛР у реальному часі	Наявний	Не наявний	Наявний			+
2	Зворотній відгук про ефективність СЛР у реальному часі	Наявний	Не наявний	Наявний			+
3	Інтерфейс візуалізації або супровідна програма	Не наявна	Не наявна	Наявна	+		
4	Компактність	Так	Так	Так		+	
5	Швидкодія	Так	Так	Так		+	
6	Надійність	Так	Так	Так		+	

Завдяки визначеному переліку слабких, нейтральних та сильних характеристик ідеї проєкту, можна сформувати уявлення про конкурентоспроможність продукту. Особливістю цього продукту є спроможність надавати зворотній зв'язок непрофесійному рятівнику про ефективність

реанімаційних дій, завдяки інформації про насиченість крові постраждалого киснем.

Для технічної реалізації ідеї проєкту необхідно проведення технологічного аудиту проєкту згідно стандартних процедур (табл. 5.3). Основою ідеї проєкту є допомога при виконанні СЛР та корекція виконуваних дій непрофесійних рятувальників, тому найбільшу увагу варто приділити надійності функціонування системи, підвищенню ймовірності безвідмовної роботи, економії живлення для забезпечення довшої роботи.

Таблиця 5.3

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Підвищення економічності пристрою, мінімізація його відмови	Використання компонентів, які мають функціонал входу у режим енергозбереження	Наявні	Доступні
2		Використання спеціалізованих елементів живлення	Наявні	Важкодоступні
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: обрано технологію №1				

Найкращим варіантом є технологія 1, так як ринок електронних компонентів має багато варіантів реалізацій датчиків та мікроконтролерів, які оснащені системою «сплячого режиму», або режимом енергозбереження.

Використання спеціалізованих економічних елементів живлення буде ускладнювати процес їх заміни – їх не можна знайти у звичайних магазинах, а їх

встановлення у пристрій вимагатиме від користувача більшого досвіду. Тому більш доречним є використання технології 1.

Окрім цього, можна значно зменшити енергоспоживання системи. Цей ефект можна додатково підвищити програмними засобами – наприклад, система може активуватися натисканням кнопки на її корпусі, а після закінчення реанімаційних дій автоматично переходити в режим енергозбереження після деякого часу, протягом котрого відсутня реєстрація рухів рятівника. Необхідно скласти морфологічну карту проекту для визначення переліку його функцій із відповідними варіаціями рішень для їх реалізації. Морфологічна карта проекту наведена у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Морфологічна карта

Функції	Проміжні рішення		
	1	2	3
Визначення компресій грудної клітини та виконання обчислень стосовно них	Тензодатчик	Акселерометр	Пружина
Використання мікроконтролеру для виконання обчислень	Arduino	STM32F103	Не передбачається

Було обрано концепцію використання мікроконтролеру для обчислення даних, що стосуються компресій грудної клітини що виконуються рятівником при непрямому масажі серця під час проведення СЛР.

Безпосереднім інструментом обчислення обрано акселерометр, компактний цифровий датчик, що легко поєднується із акселерометром.

6.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Ринкове впровадження проєкту передбачає розрахунок його ринкових можливостей та загроз, які можуть стати перевагами або загрозами при реалізації проєкту.

Попередній опис потенційного ринку проєкту наведено у табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	30000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Необхідність забезпечення вимог по надійності продукту
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація необхідна
6	Середня норма рентабельності в галузі (або ринку), %	30

Ринок пристроїв для зворотного зв'язку або допомоги при реальному або тренувальному виконанні СЛР є суміжним із ринком медичних пристроїв, тому вимагає дотримання вимог якості та надійності продукту. Певна конкуренція серед виробників схожих систем існує, але не є критичною для входу, адже наявних комерційно успішних пристроїв представлено мало та всі з них є іноземними. Необхідно спланувати напрями розвитку проєкту з урахуванням потреб потенційних користувачів, середовища ринку та проєктів-конкурентів. Для цього, потрібно визначити окремі потенційні цільові аудиторії або сегменти

ринку для нашого продукту, розглянути можливі вимоги споживачів та відмінності поведінки споживачів залежно від їх потреб та вимог до цього продукту. Характеристика потенційних користувачів наведена в табл. 5.6.

Таблиця 5.6

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	Зростання кількості критичних ситуацій	Пересічні свідки критичних ситуацій	Недосвідченість про СЛР	Спрощення роботи з товаром
2	Збільшення кількості автомобільних аварій	Водії		Компактність пристрою
3	Популяризація курсів першої допомоги	Викладачі курсів першої допомоги	Інтенсивне щоденне використання пристрою	Надійність роботи
4	Необхідність навчання фельдшерів	Викладачі медичних закладів		Максимальна точність оцінки дій рятівника

Коли визначено основні потреби, що формують ринок, та характеристики потенційних аудиторій відповідно цих потреб, можна скласти характеристику

потенційного цільового покупця. Характеристика цільового покупця наведена в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

Характеристика цільового покупця

Що потрібно покупцеві	Допомога при виконанні СЛР
Хто є покупцем товару	Пересічні громадяни
Для якої цілі купують товар	Можливість впевнено надати першу допомогу у випадку критичних ситуацій
Що повинен забезпечити товар	Стабільність та надійність надання підказок щодо виконання СЛР, точність оцінки дій рятівника
Що повинно бути в товарі, для того щоб його придбали	Компактний форм-фактор, зручність та інтуїтивність користування, доступність на ринку

Зведена характеристика факторів загроз наведена у табл. 5.8.

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загострення конкуренції	Конкуренти отримують перевагу серед покупців	Впровадження нових рішень
2	Нестабільність роботи системи	Виникнення проблем із функціонуванням системи	Модернізація алгоритмів обчислення
3	Швидке виснаження елементів живлення	Непередбачуване вимкнення пристрою	Модернізація живлення системи, зменшення енергоспоживання

Зведена характеристика факторів можливостей наведена у табл. 5.9.

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Впровадження нових методів зворотного зв'язку з рятівником	Покращення інтуїтивності користування пристроєм	Вдосконалення системи, введення нового методу зворотного зв'язку
2	Вдосконалення надійності роботи пристрою	Підвищення якості роботи пристрою, довіри клієнтів	Отримання сертифікації, проведення необхідних модернізацій
3	Вдосконалення алгоритму обчислень	Покращення точності оцінки дій рятівника	Вдосконалення програмного забезпечення

Наступним етапом після розглядання потенційних загроз та можливостей, необхідно виконати аналіз конкуренції на ринку. Це є ключовим фактором для оцінки конкурентного середовища ринку та умов розвитку проєкту.

Аналіз конкуренції на ринку наведений у табл. 5.10

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Монополістична конкуренція	Багато компаній пропонують схожі за функціоналом, але дещо диференційовані пристрої	Застосування досвіду існуючих проєктів, вдосконалення свого продукту відносно недоліків існуючих товарів
Рівень конкурентної боротьби - глобальний	Компанії та частина клієнтів – іноземні	Вхід на глобальний/міжнародний ринок
Конкуренція за галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Використання в межах однієї галузі	Інтенсивні маркетингові кампанії націлені на представників галузі
Конкуренція за видами товарів - товарно-видова	Між проєктами одного виду	Покращення товару відносно конкурентів, фокусування на потребах клієнта
За характером конкурентних переваг - нецінова	Ціна залежить від технологічної вдосконаленості товару	Оптимізація технічних засобів проєкту
За інтенсивністю - марочна	Власна торгова марка продукту	Зростання довіри до продукту компанії, отримання сертифікації

Також виконаємо аналіз умов конкуренції за М. Портером (табл. 5.11)

Аналіз конкуренції у галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти у галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Laerdal Medical ZOLL	Аналоги з подібним функціоналом	Стабільність поставок	Оцінка якості, користувацький досвід	Спрощений аналог
Висновки	Висока конкуренція	Функціональна та технічна перевага є важливою	Впливає на вчасність виготовлення товару	Прийняття до уваги потреб клієнтів та їх відгуків	Створення системи, яку буде складно повністю замінити

Якісно проведений аналіз конкуренції на ринку дозволяє визначити унікальну торгову пропозицію, знайти можливості для зростання та вдосконалення у рамках ринку, стратегічно продумати можливу реакцію компанії на різні події.

Це забезпечить підтримання конкурентоспроможності серед існуючих комерційно успішних проєктів. Це також дозволяє проаналізувати, які маркетингові тактики використовують конкуренти, і створити власну стратегію розвитку.

Необхідно розглянути SWOT-аналіз проєкту (табл. 5.12).

SWOT- аналіз стартап-проєкту

Сильні (S) сторони: 1. Вирішення важливої актуальної проблеми 2. Простота використання 3. Унікальність системи на локальному ринку	Слабі (W) сторони: 1. Початківець на ринку 2. Необхідність сертифікації та набуття довіри клієнтів
Можливості (O): 1. Вдосконалення надійності пристрою та сертифікація 2. Розширення функціоналу пристрою	Загрози (T): 1. Загострення конкуренції 2. Ризик випадків виснаження елементів живлення системи

Цей стартап проєкт є початківцем на локальному ринку, усі аналогічні продукти є іноземними. Важливо реалізувати технологічну перевагу, водночас із доступною ціною для того, щоб залучити клієнтів на ринку.

6.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Розроблення ринкової стратегії проєкту потребує визначення стратегії охоплення ринку. Проведемо аналіз цільових груп споживачів (табл. 5.13).

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Пересічні громадяни	Так	Високий	Низька	Середня
2	Викладачі медичних закладів	Так	Середній	Середня	Середня
3	Викладачі курсів першої допомоги	Так	Високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: пересічні громадяни та викладачі курсів першої допомоги					

За результатами проведеного аналізу цільових груп споживачів, обрано цільову групу пересічних громадян та викладачів курсів першої домедичної допомоги. Ці групи споживачів формують найбільший попит, та готові сприйняти продукт.

Необхідно сформулювати базову стратегію розвитку для роботи в обраному сегменті ринку (табл. 5.14).

Таблиця 5.14

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Підсилення сильних сторін стартапу	Диференційований маркетинг	Забезпечення надійності, точності роботи товару	Стратегія диференціації

Визначимо стратегію конкурентної поведінки (табл. 5.15).

Таблиця 5.15

Визначення 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	Шукати нових та забирати існуючих	Так, форм-фактор продукту та стратегію маркетингу	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі потреб клієнтів з обраного ринкового сегменту, а також на основі стратегій розвитку та конкурентної поведінки, необхідно розробити стратегію позиціонування (табл. 5.16).

Визначення базової стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Мінімізація проблем користувацького досвіду	Стратегія диференціації	Інтуїтивність користування товаром, зручний форм-фактор, портативність, націленість на простоту роботи	Ціна Дружність до користувача Простота використання
2	Забезпечення надійності	Стратегія диференціації		Ціна Надійність Оптимізація

Результатом даного підрозділу є отримана система рішень, яка описує ринкову поведінку компанії. Ринкова поведінка є ключовим фактором для визначення вектору розвитку компанії на ринку в умовах конкуренції.

6.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розробки маркетингової програми, перш за все необхідно розробити маркетингову концепцію товару. Для цього, необхідно визначити його ключові переваги (табл. 5.17).

Таблиця 5.17

Ключові переваги стартап проєкту

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Автоматизація	Автоматизоване рішення для допомоги при СЛР	Використання сучасних технологій, датчиків та програмних алгоритмів
2	Надійність та безпечність	Мінімізація ризиків травмування постраждалого	Оптимізація системи з урахуванням вимоги безпечності для постраждалого

Розглянуті потреби забезпечені у розробленій автоматизованій системі оцінювання якості та ефективності СЛР. Необхідно визначити цінові межі, які стануть основою для встановлення ціни та продукт (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	8000 - 25000	400 - 5000	10000-40000	500 - 2500

В межах галузі обрана цінова категорія 500-2500 грн. є середньою для схожих продуктів (портативні пристрої для допомоги при СЛР), та не спирається

на товари-аналоги (механізми на основі колінчастого валу, які виконують механічні рухи для виконання СЛР та оцінюють стан постраждалого для миттєвої зупинки механізму у випадку появи самостійного кровообігу). Продукт орієнтований на групу середньостатистичних покупців із доходами до 40 тис. грн. Продукт повинен бути легко доступний до придбання.

Задля формування команди стартапу, потрібно визначитися із основними моментами призначення обов'язків та складу команди. Питання щодо формування команди стартапу сформульовані у табл. 5.19

Таблиця 5.19

Питання щодо формування команди

Питання	Пояснення
У які терміни повинна бути сформована команда	Команда повинна бути сформована протягом двох місяців
Хто є ключовими людьми у команді	Інженер-конструктор, інженер-програміст, інженер-електронік, консультант з медичних питань, маркетолог
Чи є можливість використовувати для пошуку людей в команду через додаткові джерела	Можна використовувати сервіси з пошуку вакансій
Яка роль кожного члена команди	1. Інженер-конструктор – дослідження та створення конструкції пристрою, виготовлення корпусу

Закінчення таблиці 5.19

Питання	Пояснення
---------	-----------

	2. Інженер-програміст – створення програмного забезпечення пристрою, тестування пристрою, технічна підтримка існуючого пристрою 3. Інженер-електронік – створення друкованої плати для пристрою, апаратна підтримка існуючого пристрою 4. Консультант з медичних питань – спеціаліст, який консультує команду з приводу логіки роботи пристрою та тестування 5. Маркетолог – просування проєкту на ринку
--	--

З аналізу потреб для створення команди стартапу виникає необхідність пошуку людей на перелік посад, що дозволить здійснити побудову пристроїв у певній кількості, та просування стартапу.

Розглянемо побудову системи збуту товару (табл 5.20).

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Придбання товару на випадок необхідності	Збирання, поставка інструкції, відправка	Нульового рівня	Пряма

Продукт буде продаватися безпосередньо виробником продукту, у майбутньому можлива дистрибуція продукту через аптеки або магазини медичного обладнання.

Стратегія маркетингових комунікацій наведена у табл. 5.21.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Потребують надійної автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності СЛР, яка надає допомогу при виконанні СЛР у режимі реального часу	Інтернет-магазини, аптеки, магазини медичної техніки	Доступність на ринку, висока точність, надійність, портативність	Зацікавлення потенційного клієнта у придбанні системи	Фокус на важливості виконання СЛР у критичних ситуаціях, які можуть статися несподіванно

Результатом даного аналізу є ринкова стратегія розвитку та концепція маркетингу товару. Це визначає стратегію розвитку стартап-проєкту на ринку.

Висновок до розділу 6

1. У цьому розділі було проведено дослідження перспектив автоматизованої системи оцінки якості та ефективності СЛР у якості стартап-проєкту. Було досліджено послідовність етапів організації стартап-проєкту, оцінено доцільність розвитку такого проєкту, розглянуто напрямки можливого застосування системи.

2. Було проведено техніко-економічний аудит, оцінено характеристики проєкту у порівнянні з аналогічними характеристиками аналогічних проєктів компаній-конкурентів.
3. Визначено орієнтовний сегмент на ринку, який може зайняти система автоматизованої системи оцінки якості та ефективності СЛР. Визначено сильні сторони стартапу, зокрема, на відміну від проєктів-конкурентів, ця система оцінювання СЛР включає оцінку ефективності реанімації, а не лише правильності дій рятувника. Окрім цього, перевагами системи є надійність, зручність у використанні та доступність на ринку.
4. Проаналізовано можливості та загрози для стартапу, здійснено SWOT-аналіз. Описано вибір стратегії розвитку, маркетингу, конкурентної поведінки.
5. Розроблено маркетингову програму, завдання реклами та визначено діапазон цін на товар.
6. Стартап-проєкт у вигляді автоматизованої системи оцінки якості та ефективності СЛР може мати достатній попит в умовах сьогодення. Доступність на ринку, та дружній підхід до користувача разом із інтуїтивністю користування товаром та його портативністю, можуть забезпечити стабільний розвиток проєкту на ринку.

ВИСНОВКИ

У роботі було проведено розгляд розробки автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації із метою допомоги непрофесійним рятівникам при необхідності проведення реанімаційних заходів у критичних ситуаціях безпосередньо на місці пригоди до прибуття медичних працівників. Було розглянуто та описано наступний перелік матеріалів:

- 1) Розглянуто сутність серцево-легеневої реанімації, методичні вказівки до її виконання, що визначають критерії оцінювання якості серцево-легеневої реанімації. Описано явище спонтанного кровообігу, та його основні признаки, що визначають критерії оцінювання ефективності серцево-легеневої реанімації. Описано принципи вимірювання основних даних, які можуть бути використані для оцінювання.
- 2) Проведено огляд існуючих систем оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, описано їх переваги та недоліки, розглянуто їх особливості та загальні питання щодо функціоналу, який передбачається у системі такого призначення.
- 3) Описано обрані матеріали та методи реалізації автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації. Наведено ілюстрації та технічні характеристики обраних компонентів системи.
- 4) Розроблено структурну схему автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації. Розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, визначено індикаційні значення інтегральної оцінки рівня загроз, про які система сповіщає рятівника.

- 5) Розроблено електричну схему автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації. Описано та обгрунтовано розташування датчиків та компонентів системи відносно один одного. Розроблено схему підключення компонентів, яка дозволяє створення макету системи.
- 6) Продемонстровано реалізований макет автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, що дозволяє дослідити та відлагодити її роботу. Описано методологію проведення тестування автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації.
- 7) Розроблено стартап проєкт на тему автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації, у відповідному розділі роботи обгрунтовано можливості конкурентоспроможності проєкту та потребі цільової аудиторії у продукту. Побудовано стратегію маркетингу та розвитку стартапу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сичов О. С. Стандарти надання медичної допомоги хворим із порушеннями ритму та провідності серця (повтор класифікації) / О. С. Сичов, А. О. Бородай, Т. В. Гетьман. – Київ, 2014. – С. 10.
2. Зозуля І. С. Медицина невідкладних станів: швидка і невідкладна медична допомога / І. С. Зозуля, А. В. Вершигора, В. І. Боброва ; за ред. І. С. Зозулі. – Київ : ВСВ «Медицина», 2012. – 728 с.
3. Дудка Ф. Сучасні аспекти проведення серцево-легеневої реанімації / Ф. Дудка, Д. В. Добрянський, О. І. Бодарецька, Л. Б. Петелицька // Астма та алергія. – 2014. – № 1. – С. 56–60. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ifp.kiev.ua/doc/journals/aa/14/pdf14-1/56.pdf>
4. European Resuscitation Council. Bringing resuscitation to the world / European Resuscitation Council. – 2015. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.erc.edu/>
5. Наказ МОЗ України від 17 січня 2005 р. № 24 Про затвердження протоколів надання медичної допомоги за спеціальністю Медицина невідкладних станів / МОЗ України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024282-05#Text>
6. Тіторчук В. С. Реанімаційні заходи: методика та необхідність проведення / В. С. Тіторчук // Медсестринство. – 2020. – № 1. – С. 47–51. – DOI: <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2020.1.11041>
7. American Heart Association. What is CPR? / American Heart Association. – 2025. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cpr.heart.org/en/resources/what-is-cpr>
8. British Heart Foundation. How to do CPR / British Heart Foundation. – 2019. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bhf.org.uk/how-you-can-help/how-to-save-a-life/how-to-do-cpr>
9. Jacobs I. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: Update and simplification of the Utstein templates for resuscitation registries /

- I. Jacobs, V. Nadkarni, ILCOR Task Force on Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcomes // American Heart Association. – 2004. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://urgences-serveur.fr/IMG/pdf/3385.pdf>
10. Lui C. T. Abrupt rise of end tidal carbon dioxide level was a specific but non-sensitive marker of return of spontaneous circulation in patient with out-of-hospital cardiac arrest / C. T. Lui, K. M. Poon, K. L. Tsui // Resuscitation. – 2016. – Vol. 104. – С. 53–58. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.04.018>
11. Schnaubelt S. Regional cerebral oxygen saturation during cardiopulmonary resuscitation as a predictor of return of spontaneous circulation and favourable neurological outcome / S. Schnaubelt, P. Sulzgruber, J. Menger, K. Skhirtladze-Dworschak, F. Sterz, M. Dworschak // Resuscitation. – 2018. – Vol. 125. – С. 39–47. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.028>
12. Xu J. Pulse oximetry: a non-invasive, novel marker for the quality of chest compressions in porcine models of cardiac arrest / J. Xu та ін. // PLOS ONE. – 2015. – Vol. 10, № 10. – е0139707. – DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139707>
13. VectorNav. Learn about MEMS accelerometers, gyroscopes, and magnetometers / VectorNav. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-primer/theory-of-operation/theory-mems>
14. Chan E. D. Pulse oximetry: understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations / E. D. Chan, M. M. Chan, M. M. Chan // Respiratory Medicine. – 2013. – Vol. 107, № 6. – С. 789–799. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2013.02.004>
15. Wang Y. Feedback devices for cardiopulmonary resuscitation: a narrative review / Y. Wang, S. Ma, Z. Chen, B. Fan, S. Hou // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, № 18. – С. 10222. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app131810222>

16. Jennings P. A. An automated CPR device compared with standard chest compressions for out-of-hospital resuscitation / P. A. Jennings та ін. // BMC Emergency Medicine. – 2012. – Vol. 12, № 1. – DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-227x-12-8>
17. ZOLL Medical. AutoPulse Resuscitation System for Emergency Care / ZOLL Medical. – 2025. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.zoll.com/en-us/products/emergency-care/automated-cpr/autopulse-resuscitation-system>
18. Mukhtiar N. Automated cardiopulmonary resuscitation (ACR): enhancing life-saving interventions during cardiac arrest / N. Mukhtiar, U. Memon, F. Talpur, F. Shamim, S. Nasim // – 2025. – Vol. 6, № 2. – С. 188–199. – DOI: <https://doi.org/10.71016/tp/bfzn0c70>
19. Stumpf E. A smartphone application to provide real-time cardiopulmonary resuscitation quality feedback / E. Stumpf, R. T. Ambati, R. Shekhar, S. J. Staffa, D. Zurakowski, P. Sinha // The American Journal of Emergency Medicine. – 2022. – Vol. 60. – С. 34–39. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2022.06.045>
20. Xie J. Design and evaluation of CPR emergency equipment for non-professionals / J. Xie, Q. Wu // Sensors. – 2023. – Vol. 23, № 13. – С. 5948. – DOI: <https://doi.org/10.3390/s23135948>
21. Ahn C. Effectiveness of feedback with a smartwatch for high-quality chest compressions during adult cardiac arrest / C. Ahn та ін. // PLOS ONE. – 2017. – Vol. 12, № 4. – e0169046. – DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169046>
22. Ruiz de Gauna S. Feedback on the rate and depth of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation using only accelerometers / S. Ruiz de Gauna, D. M. González-Otero, J. Ruiz, J. K. Russell // PLOS ONE. – 2016. – Vol. 11, № 3. – e0150139. – DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150139>
23. Kim S. C. A simple audio-visual prompt device can improve CPR performance / S. C. Kim та ін. // The Journal of Emergency Medicine. – 2013. – Vol. 44, № 1. – С. 128–134. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2011.09.033>

24. Cardio First Angel. Cardio First Angel / CFA. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cardiofirstangel.com/en>
25. Vahedian-Azimi A. Effect of the Cardio First Angel device on CPR indices: a randomized controlled clinical trial / A. Vahedian-Azimi та ін. // Critical Care. – 2016. – Vol. 20, № 1. – DOI: <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1296-3>
26. STMicroelectronics. STM32F103C8 / STMicroelectronics. – 2019. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
27. STM32-base Project. STM32F103C8T6 – Blue Pill / STM32-base Project. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>
28. Analog Devices. ADXL345 Datasheet / Analog Devices. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf>
29. Analog Devices. MAX30100 Datasheet / Analog Devices. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max30102.pdf>
30. Маркова Є. Система зворотного зв'язку для оцінки ефективності серцево-легеневої реанімації / Є. Маркова, І. Давидович // Біомедична інженерія і технологія. – 2024. – № 14. – С. 74–84. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2024.14.304140>

ДОДАТОК А. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

Надається за запитом до авторів

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

[illegible]

ДОДАТОК В. ДОВІДКИ ПРО ПУБЛІКАЦІЇ

Д О В І Д К А

Надано авторам: Маркова Є.Д., Черепанська І.Ю.

у тому, що стаття Автоматизована система оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації

знаходиться у редакції збірника наукових праць
«Вісник «КП» серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ» на розгляді.
Статтю буде опубліковано у Випуску 70(2) 2025 року

Відповідальний редактор



Т.Р. Ключко

Рис. В1 – Довідка про прийняття на друк у збірнику наукових праць «Вісник
«КП» серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»



вул. Інглезі, 6/1,
м. Одеса, Україна, 65101
www.helvetica.ua
mailbox@helvetica.ua

Станіонар: 048 709 38 69
Vodafone: 095 934 48 28
Kyivstar: 097 723 06 08

Д О В І Д К А

Видавничий дім «Гельветика» за домовленістю з Таврійським національним університетом імені В. І. Вернадського є офіційним видавцем журналу «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» та займається усіма видавничо-поліграфічними процесами, до яких належать: набір статей до чергового випуску; рецензування; перевірка на плагіат; коректорська вичитка; верстка; присвоєння кожному матеріалу DOI; розміщення електронної версії видання на офіційному сайті журналу; надсилання електронної версії видання до Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського на репозитарне зберігання та представлення на порталі в інформаційному ресурсі «Наукова періодика України»; розсилка обов'язкового безоплатного примірника до наукових установ України.

Цією довідкою повідомляємо, що наукова стаття авторів Маркова Є.Д. та Черепанська І.Ю. «Алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи оцінювання якості та ефективності серцево-легеневої реанімації» прийнята редакцією журналу «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» для розміщення у Томі 36 (75) № 6, 2025.

Директор

Видавничого дому «Гельветика»



Олег ГОЛОВКО

Рис. В2 – Довідка про прийняття на друк у журнал «Вчені записки Таврійського
національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»