

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Виконав: студент IV курсу, групи СНС-42

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Крицишин В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони праці	Гурик О.Я., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання 25 січня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	25.01.2021	<i>Виконано</i>
2.	Підбір джерел про мобільні застосунки для діагностування серцевих захворювань	26.01.2021-01.02.2021	<i>Виконано</i>
3.	Переклад та опрацювання джерел про мобільні застосунки для діагностування серцевих захворювань	02.02.2021-08.02.2021	<i>Виконано</i>
4.	Виконання дослідження щодо мобільних застосунків для діагностування серцевих захворювань	09.02.2021-13.02.2021	<i>Виконано</i>
5.	Розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань	14.02.2021-19.02.2021	
6.	Оформлення розділу «Предметна область, методи, інструменти та набір даних»	20.02.2021-24.02.2021	<i>Виконано</i>
7.	Оформлення розділу «Розробка та тестування мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань»	07.06.2021-08.06.2021	<i>Виконано</i>
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	07.06.2021-08.06.2021	<i>Виконано</i>
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи хорони праці»	07.06.2021-08.06.2021	<i>Виконано</i>
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	07.06.2021-08.06.2021	<i>Виконано</i>
11.	Нормоконтроль	08.06.2021	<i>Виконано</i>
12.	Перевірка на плагіат	08.06.2021	<i>Виконано</i>
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	09.06.2021	<i>Виконано</i>
14.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2021	

Студент

(підпис)

Крицишин В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розробка мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Крицишин Василь Володимирович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНс-42 // Тернопіль, 2021 // С. 40, рис. – 17, табл. – 3, кресл. – 14, додат. – 0, бібліогр. – 26.

Ключові слова: аускультация, дизайн, машинне навчання, мобільне здоров'я, телемедицина, серцеві захворювання, серцево-судинні події, скринінг, цифровий стетоскоп.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.

Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення рівня поінформованості громадян та медичного персоналу щодо стану їхнього серця за рахунок реалізації функціональних можливостей автоматизованого розпізнавання серцевих захворювань.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» проведено аналіз предметної області. Виконано постановку завдання розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань. Описано використовувані в процесі розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань методи та інструменти і набір даних.

В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» розроблено алгоритм роботи мобільного застосунку. Запропоновано опис процедури навчання та спостереження з розробленням відповідних діаграм.

ANNOTATION

Mobile application development for heart diseases diagnostics // Qualification work of the educational level "Bachelor" // Kryshchyn Vasyl Volodymyrovych // Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, Group SNs-42 // Ternopil, 2021 // C. 40, fig. – 17, tables – 3, chair. – 14, annexes - 0, ref. – 26.

Key words: auscultation, design, machine learning, mobile health, telemedicine, heart disease, cardiovascular events, screening, digital stethoscope.

Qualification work is devoted to the development of a mobile application for diagnosing heart disease.

The purpose of this qualification work of the educational level "Bachelor" is to increase the level of awareness of citizens and medical staff about the condition of their heart through the implementation of functional capabilities of automated recognition of heart disease.

In the first section of the qualification work of the educational level "Bachelor" the analysis of the subject area is carried out. The task of developing a mobile application for diagnosing heart disease has been completed. The methods and tools and data set used in the process of developing a mobile application for diagnosing heart disease are described.

In the second section of the qualification work of the educational level "Bachelor" the algorithm of work of the mobile application is developed. A description of the training and observation procedure with the development of appropriate diagrams is offered.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ISH (англ. International Society of Hypertension) – Міжнародне товариство гіпертонії.

MFFC (англ. Mel Frequency Cepstral Coefficients) – Частотні коефіцієнти мел-частоти.

SUS (англ. System Usability Scale) – Шкала юзабіліті системи.

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я.

БД – База даних.

ШІ – Штучний інтелект.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ, МЕТОДИ, ІНСТРУМЕНТИ ТА НАБІР ДАНИХ	8
1.1 Аналіз предметної області.....	8
1.2 Постановка завдання.....	11
1.3 Методи та інструменти	14
1.4 Набір даних	17
1.5 Висновок до першого розділу	18
2 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СЕРЦЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ.....	19
2.1 Алгоритм роботи мобільного застосунку	19
2.2 Опис процедури навчання та спостереження.....	22
2.3 Результати роботи мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань	29
2.4 Тестування юзабіліті мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань	31
2.5 Аналіз результатів проведеної розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань	32
2.6 Висновок до другого розділу	33
3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	34
3.1 Природне середовище і його забруднення	34
3.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок	36
3.3 Висновок до третього розділу	37
ВИСНОВКИ.....	38
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	39

ВСТУП

Актуальність теми. Лікарі без спеціальної аускультативної підготовки не можуть добре виявити шум. Точність педіатрів при виявленні серцевих шумів становить 24% [1]. В іншому дослідженні зазначається, що терапевти загальної практики можуть діагностувати значні захворювання клапанів серця із чутливістю 43% та специфічністю 69%, проте кардіологи можуть передбачити чутливість до 81% [2]. Незважаючи на те, що деякі кваліфіковані кардіологи можуть добре працювати, клініцисти мають різну ефективність аускультативної [3]. Отже, і кардіологам, і некардіологам потрібен попередній діагностичний інструмент для підвищення точності їх аускультативної.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення рівня поінформованості громадян та медичного персоналу щодо стану їхнього серця за рахунок реалізації функціональних можливостей автоматизованого розпізнавання серцевих захворювань. Для досягнення поставленої мети потребують вирішення ряд наступних завдань:

- Проаналізувати стан досліджень галузі мобільних застосунків для діагностики серцевих захворювань.
- Розробити програмно-алгоритмічні засоби для реалізації мобільного застосунку.
- Інтегрувати в мобільний застосунок аналітичні засоби для діагностування серцевих захворювань.
- Провести тестування мобільного застосунку.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено мобільний застосунок для діагностування серцевих захворювань з використанням аналітичних методів машинного навчання.

1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ, МЕТОДИ, ІНСТРУМЕНТИ ТА НАБІР ДАНИХ

1.1 Аналіз предметної області

Одним з найдавніших і найпоширеніших методів діагностики серцевих аномалій є аускультация (див. рисунок 1.1).

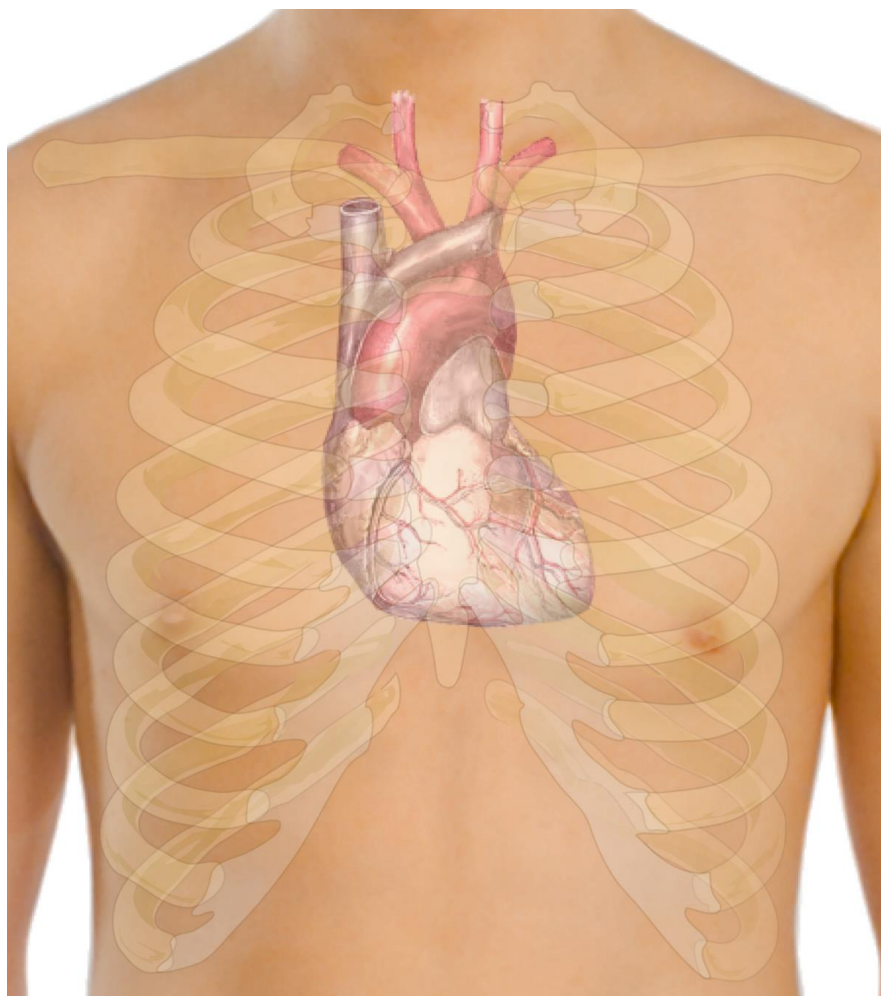


Рисунок 1.1 – Серце – аускультация

Навіть для досвідчених лікарів виявити ненормальні закономірності в серцевих тонах є непростим завданням. Більшість цифрових стетоскопів тепер здатні записувати і передавати серцеві звуки. Доведено, що записи

аускультатії можна класифікувати як здорові чи шкідливі за допомогою методів штучного інтелекту.

Хвороби серця (див. рисунок 1.2) є однією з найпоширеніших причин смерті у всьому світі.

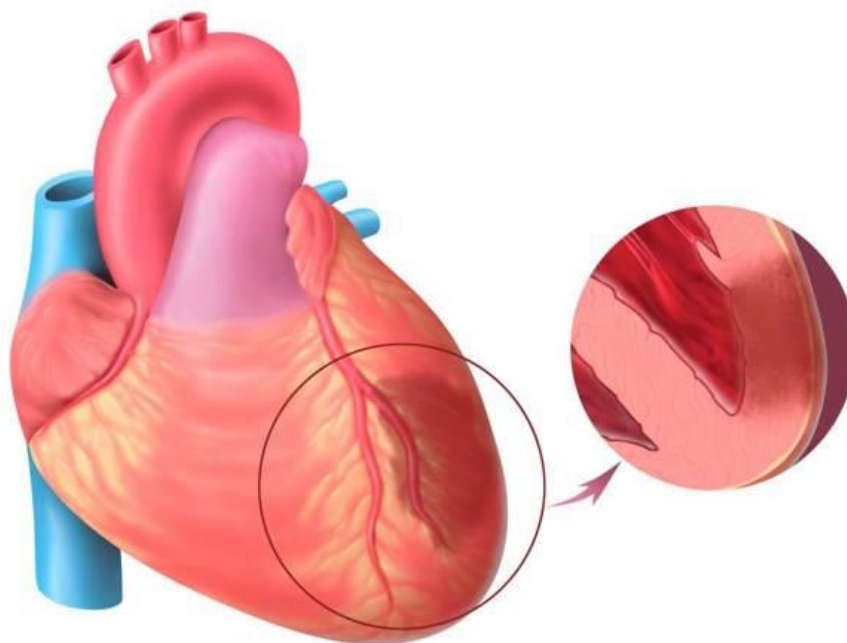


Рисунок 1.2 – Хвороби серця

Навіть у розвинених країнах медичні послуги є дорогими, і огляд у клініці є не лише трудомістким та дорогим завданням, але також є відносно небезпечною справою в сучасних умовах глобальної пандемії COVID-19 [4]. Отже, телемедичні послуги та мобільні застосунки стали популярними та набули великого значення впродовж останнього періоду часу [5]. Існує консенсус щодо того, що можливості телемоніторингу, які включають домашню оцінку різних параметрів здоров'я, зокрема кров'яного тиску, стану серця, ваги тощо, повинні бути розширені та надані у розпорядження пацієнтів [6]. Автоматична діагностика серцевих захворювань (див. рисунок 1.3) вивчалась давно, і запропоновані алгоритми мають прийнятний успіх у найбільшому доступному наборі даних «PhysioNet / CinC Challenge» 2016 [7].

На даний час мало хто може записувати серцевий звук і аналізувати його в хмарному середовищі [8]. У цій роботі представлений мобільний застосунок, який працює на основі алгоритму машинного навчання.

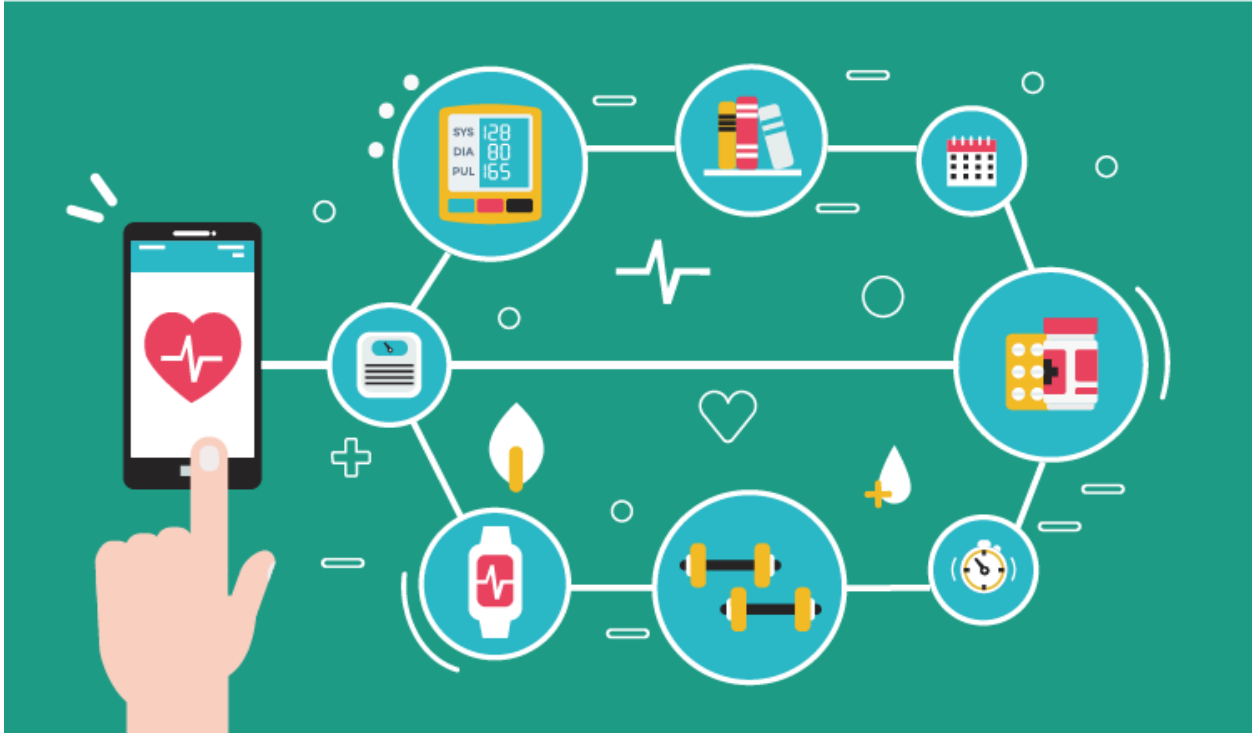


Рисунок 1.3 – Автоматична діагностика серцевих захворювань

Алгоритм був підготовлений та перевірений за допомогою бази даних «PhysioNet / CinC Challenge 2016». Реальний успіх алгоритму був перевірений за допомогою мобільного застосунку. Алгоритм може виявляти ненормальні серцеві звуки у наборі перевірки з точністю до 93%, а мобільне програмне забезпечення, що працює від того самого алгоритму, може виявляти аномальні зразки з майже однаковою швидкістю чутливості. Алгоритм використовує ансамбль класифікатора найближчих сусідів, а також функції, витягнуті як з частотних коефіцієнтів мел-частоти (MFCC), так і із статистичних властивостей основних серцевих звуків.

Алгоритм використовується всередині мобільного програмного забезпечення, яке можна запускати на мобільних пристроях. На відміну від комерційних продуктів [9], програмне забезпечення працює вбудовано і не

потребує підключення до Інтернету для завантаження серцевого звуку в хмару для класифікації. Кожні п'ять секунд програмне забезпечення аналізує серцевий звук і виводить на екран передбачуваний діагноз. Програмне забезпечення, представлене в цій роботі, призначене для використання як в клініках лікарями, так і звичайними людьми вдома. Отже, програмне забезпечення потрібно перевіряти в реальних обставинах. Для цього програмне забезпечення було встановлено на пристрій Android.

1.2 Постановка завдання

Метою дослідження є проєктування мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.

Проєктування мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань відбулося на основі відомостей ВООЗ та Міжнародного товариства з гіпертонії (ISH. Див. рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Логоти ISH

Робочий процес мав чотири етапи, а саме; введення даних, обговорення та обробка, виявлення ризиків та навчання. Процес розробки включав проєктування інтерфейсу, кодування, налагодження та пілотне тестування.

Підхід до пілотного тестування проводився за допомогою шкали зручності використання системи.

Розроблено основні функції мобільного застосунку, а саме категорії піктограм, слоти введення, результати виявлення ризиків та освітні вікна. Застосунок доступний на платформі Android та в автономному режимі, компактно, точно, ефективно та залучає користувачів до навчання. Пілотні результати показали відмінні (60%), прийнятні (95%) та ступінь A + із середнім загальним балом 87. Майже всі компоненти тестування на зручність користування показали позитивні результати з оцінками від 3 до 3,97 (з 4).

Американська асоціація серця (див. рисунок 1.5) повідомила, що 65% хворих на цукровий діабет помирають через серцевий напад та інсульт [10].



Рисунок 1.5 – Логоти Американської асоціації серця

Крім того, люди з діабетом страждають від серцево-судинних нападів [11]. Отже, ініціативи раннього виявлення та зменшення ризику є критично важливими. ВООЗ публікує настанови щодо оцінки та контролю смертності від серцево-судинних захворювань на наступні 10 років. Ризик серцево-судинних подій оцінюється з урахуванням індивідуальних даних, які вказані в таблиці прогнозування ризику [12]. Існуючий інструмент допомагає хворим на діабет та медичним працівникам зрозуміти ризик серцево-судинних інцидентів.

Прогнозування ризику пропонується для закладів первинної медичної допомоги та лікарень, а діаграма доступна у простій формі. Ідентифікація ризику значно вирішується само собою, займає багато часу і може заплутати. Тому більшість лікарів ігнорують виявлення через обмежений час, і мало хто з діабетом оцінює свій ризик. Незнання рівня серцево-судинного ризику (див. рисунок 1.6) може сприяти подальшому розвитку інсульту та інфаркту [12]. Людям із діабетом слід зосередити увагу на конкретному рівні ризику та вжити заходів для зменшення ризику.

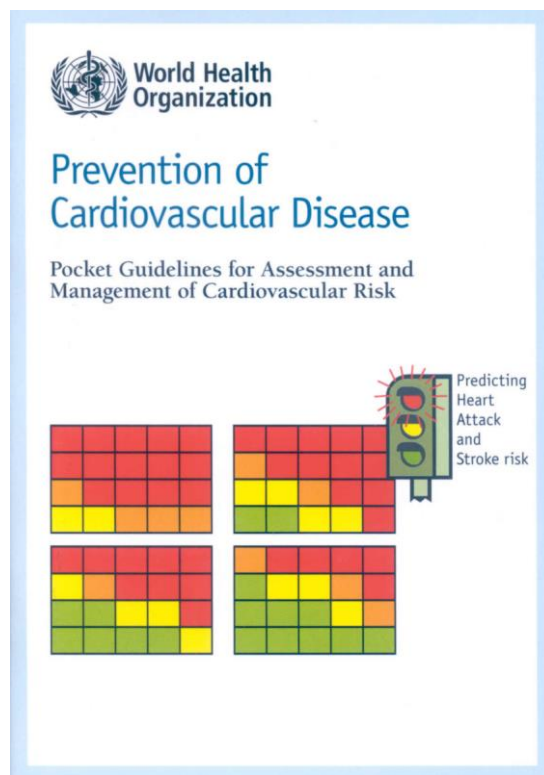


Рисунок 1.6 – Профілактика серцево-судинних захворювань

Вказівки щодо ризику серцево-судинних подій доступні в англійському варіанті. Крім того, є рекомендації щодо зменшення ризику, але вони написані складними та медичними мовами, що може бути непридатним для діабетиків [9]. Тому настанова повинна бути спрощена. Людям, хворим на діабет, та серцево судинні захворювання потрібен ефективний, але зрозумілий інструмент для оцінки ризику серцево-судинних подій. Розробка

мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань може бути відповідним рішенням. Тому було прийнято рішення розробити мобільний застосунок для розрахунку рівня серцево-судинного ризику. Крім того, очікується, що програма сприятиме здоровому способу життя.

1.3 Методи та інструменти

Процес розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань почато з аналізу наукової літератури щодо оцінки рівня серцево-судинного ризику. Був проведений всебічний пошук із використанням проксі та академічних баз даних. Було встановлено доступні та застосовні інструменти та адаптовано широко використовувану модель приладів від ВООЗ «ISH» [9].

Розробка мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань базувалася на діаграмі прогнозування ризиків ВООЗ «ISH» (див.рисунок 1.7). Для проведення тестування на зручність використання було застосовано шкалу юзабіліті системи «SUS».

Потім був визначений рівень ризику серцево-судинних інцидентів на основі таблиці прогнозів ризику ВООЗ «ISH». Це широко використовуваний інструмент для оцінки летальних або нелетальних наслідків серцево-судинних подій (серцевий напад та інсульт) протягом останніх десяти років. Рівень прогнозування ризику базується на віці, статі, СБП, стані куріння, холестерині в крові не натошак та наявності або відсутності діабету [12].

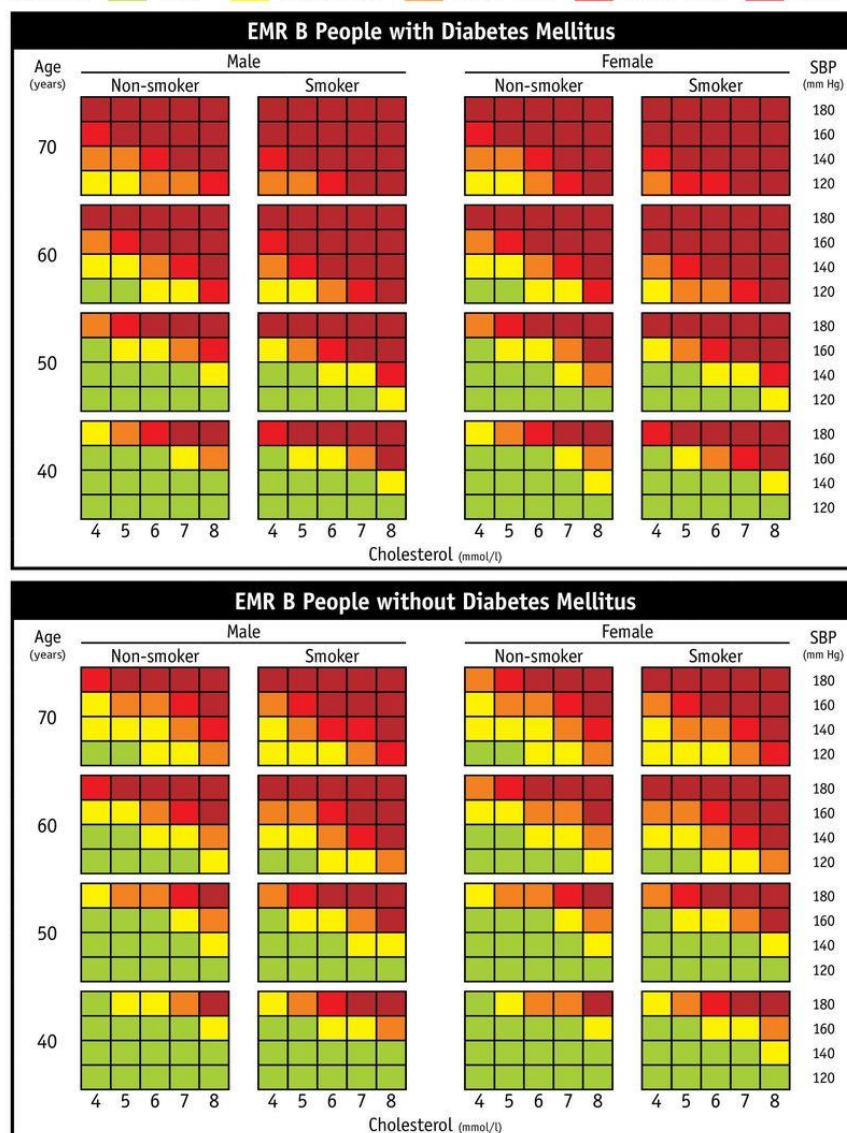
Таблиця прогнозування ризику ВООЗ «ISH» доступна у чотирнадцяти епідеміологічних субрегіонах із даними про холестерин у крові та без них, а також з діабетом та без нього [13]. За допомогою мобільного застосунку можна оцінити рівень серцево-судинного ризику серед груп населення з високим ризиком. Інструмент також рекомендується під час оцінки рівня ризику в діагностичних центрах або лікарнях. Графік використовує п'ять

кольорів для чотирьох стратифікацій ризику; зелений для низького (<10%), жовтий для помірного (10% –19%), оранжевий для високого (20% –29%) та червоний або темно-червоний для дуже високого ризику ($\geq 30\%$). Щоб розробити застосунок, використано діаграму «SEAR B» для діабетиків із даними про холестерин [12].

19 **WHO/ISH Risk prediction charts**
for 14 WHO epidemiological sub-regions

Figure 11. WHO/ISH risk prediction chart for EMR B. 10-year risk of a fatal or non-fatal cardiovascular event by gender, age, systolic blood pressure, total blood cholesterol, smoking status and presence or absence of diabetes mellitus.

Risk Level ■ <10% ■ 10% to <20% ■ 20% to <30% ■ 30% to <40% ■ $\geq 40\%$



This chart can only be used for countries of the WHO Region of Eastern Mediterranean, sub-region B, in settings where blood cholesterol can be measured (see Table 1).

Рисунок 1.7 – Діаграма «SEAR B» для діабетиків із даними про холестерин

«SUS» (див. рисунок 1.8) було використано для ідентифікації суб'єктивних випробувань на придатність для використання продуктів. «SUS» широко використовується для тестування різних систем та програм за відносно короткий час, включаючи програмне забезпечення, обладнання, веб-сайти та мобільні платформи.



Рисунок 1.8 – Логотип SUS англ. System Usability Scale

«SUS» – це простий інструмент, який складається з 10 запитань із п'ятибальною шкалою відповідей:

- категорично не згоден – 0;
- повністю погоджуюсь – 4.

Для обчислення балів пункти 1, 3, 5, 7 та 9 повинні мати мінус один, тоді як решта пунктів повинні мати 5 мінус бал. Підсумовуючи 10 балів і помноживши їх на 2,5, отриманий загальний бал. «SUS» має від 0 до 100 балів, а 67 вважається середнім балом.

Бали «SUS» також можна перекласти на літерні оцінки, які корисні для презентації та спілкування [14]. Бангор [15] та Брук [16] запропонували

перетворити оцінки «SUS» на показники прикметників, зокрема «добре», «погано» тощо, та встановити діапазони прийнятності.

1.4 Набір даних

Для навчання та перевірки алгоритму мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань використовується база даних «PhysioNet 2016» (див. рисунок 1.9), яка складається з 2430 позначених серцевих звуків.

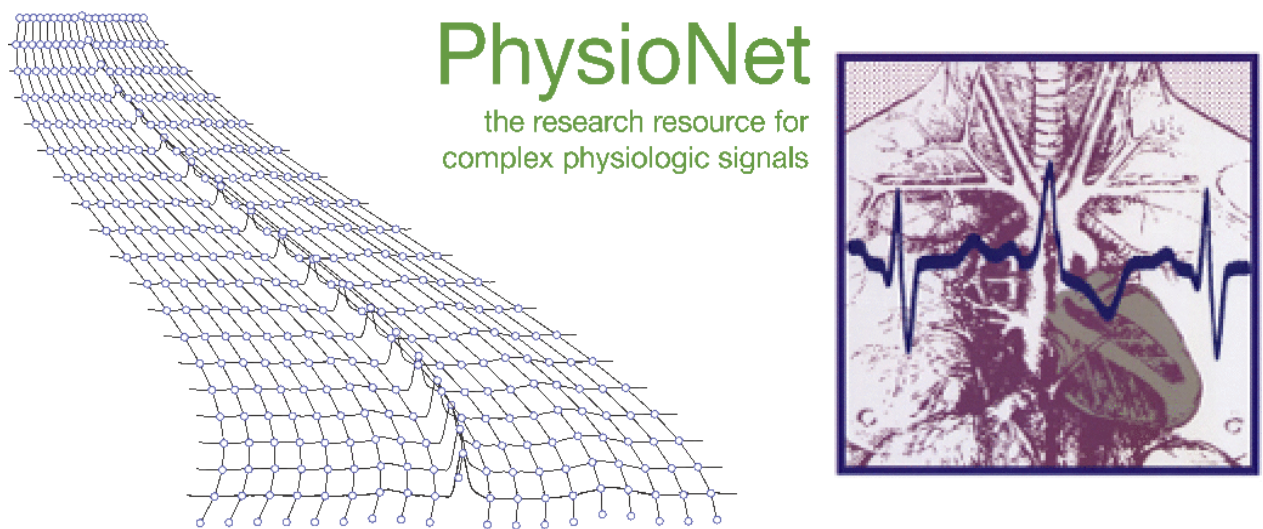


Рисунок 1.9 – БД «PhysioNet 2016»

Цей набір даних являє собою комбінацію з дев'яти баз даних звуків серця, зібраних незалежними дослідницькими групами в різний час та на різних пристроях. Отже, якість звуків, положення запису та профіль пацієнта відрізняється. Усі записи позначені як нормальні та ненормальні. Оскільки ця база даних складається майже з усіх доступних баз даних, вона широко використовується і приймається як еталонний набір для завдань класифікації звуків серця [17]. Під час перевірочних тестів мобільний застосунок для діагностування серцевих захворювань було використано для 163 рази. Цей

набір даних перевірки складається з 87 нормальних та 76 ненормальних зразків серцевого звуку.

1.5 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» проведено аналіз предметної області. Виконано постановку завдання розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань. Описано використовувані в процесі розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань методи та інструменти і набір даних.

2 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СЕРЦЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

2.1 Алгоритм роботи мобільного застосунку

Мобільний застосунок для діагностування серцевих захворювань розробляється з використанням платформи Android. Вперше було встановлено допоміжне програмне забезпечення для Android, а саме Java Development Kit (див. рисунок 2.1), комплект для розробки програмного забезпечення Android та інтегроване середовище розробки (IDE).



Рисунок 2.1 – Логотип Java Development Kit

В якості IDE було обрано Android Studio (див. рисунок 2.2), який має повні функції.

Потім було визначено специфікацію та робочий процес мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.



Рисунок 2.2 – Логотип Android Studio

Було створено чотири етапи робочого циклу мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань (див. рисунок :2.2):

- введення даних;
- перетворення та обробка;
- ідентифікація рівня ризику;
- навчання.

Робочий процес мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань починається з введення в програму даних пацієнтів. Зокрема вік, рівень холестерину, стать та відомості щодо куріння тощо. Дані пацієнтів можуть визначати конкретні рівні серцево-судинного ризику, обробляючи алгоритм, як орієнтир із таблиці прогнозування ризику ВООЗ «ISH» [12]. За короткий час результат фази обробки може показати рівень серцево-судинного ризику. Чотири класи: низький, помірний, високий та дуже високий ризик, вказують на рівні ризику відповідно до рекомендацій. Залежно від рівня ризику користувачів, вони спрямовуються до навчальних вікон, що містять інформацію про рекомендовані дії щодо зниження рівня ризику та запобігання серцево-судинним захворюванням.

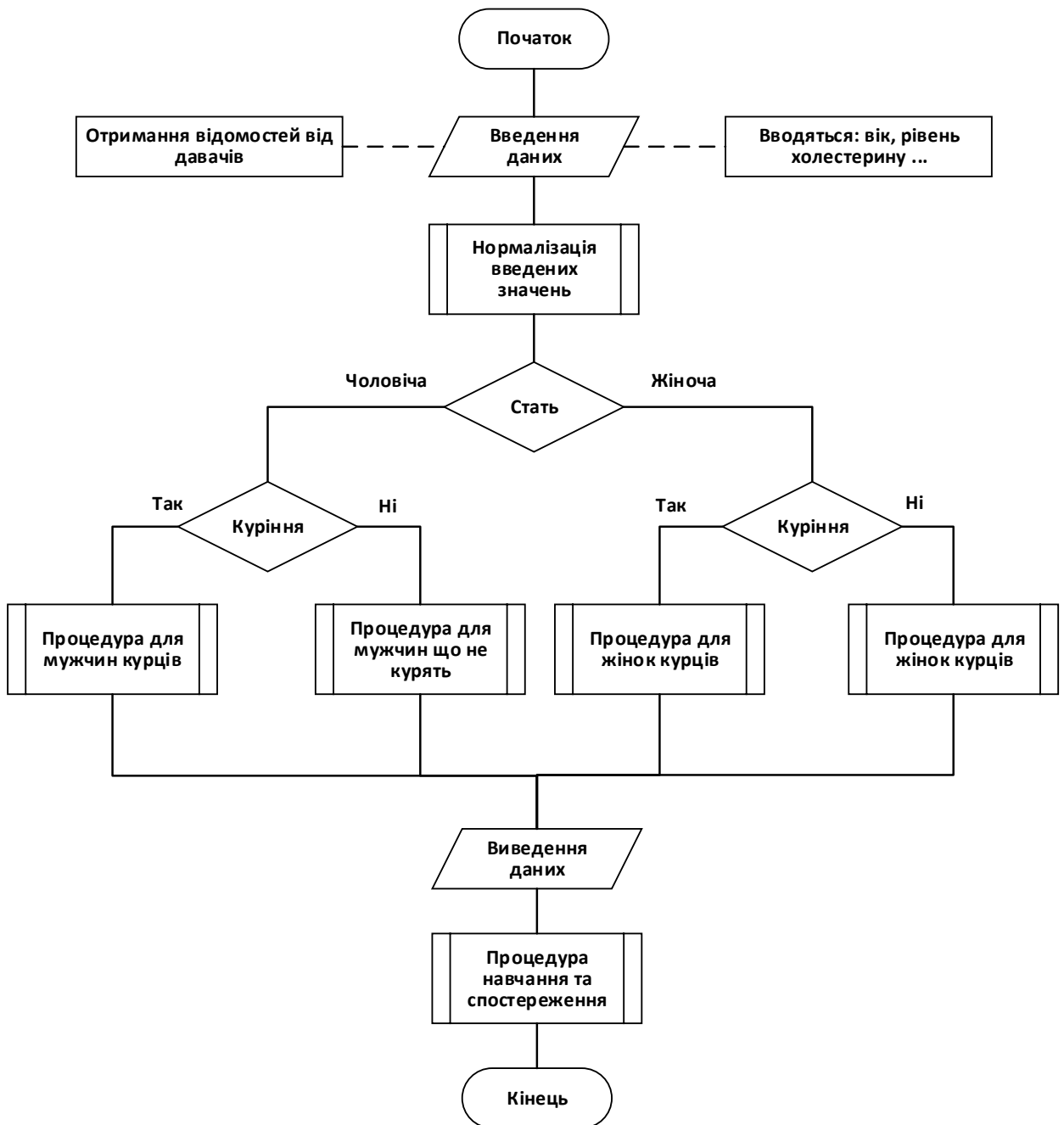


Рисунок 2.3 – Блок-схема робочого процесу мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Процес розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань складається з чотирьох фаз:

- проектування інтерфейсу;
- кодування;
- налагодження;

- пілотного тестування.

Користувацький інтерфейс розробляється для реалізації функцій мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань, зокрема:

- обкладинка;
- інформаційна панель;
- форми введення відомостей;
- виведення рівня класифікації ризиків;
- навчальні та діалогові вікна.

Користувацький інтерфейс розробляється з використанням досвіду дизайну Adobe. Для спрощення користувачі вводять лише свій вік та рівень холестерину. Стать та статус куріння будуть доступні як додаткові значки. Таким чином, користувачі можуть безпосередньо вибрати піктограму відповідно до свого стану. На наступному етапі відбулося програмне кодування за допомогою Android Studio для забезпечення алгоритму визначення рівня серцево-судинного ризику за допомогою діаграми прогнозування ризиків ВООЗ «ISH». Налаштування проводилось для перевірки наявності помилок чи багів. Коли їх виявляли, то процес кодування повторювався до повного усунення всіх виявлених недоліків. В повній мірі відбулося пілотне тестування.

2.2 Опис процедури навчання та спостереження

Мобільний застосунок для діагностування серцевих захворювань забезпечення приймає поточні дані з цифрового стетоскопа. Кожні п'ять секунд програмне забезпечення витягує деякі функції, потім одночасно прогнозує та відображає результат. Оскільки застосунок розроблений для роботи на смартфоні без обов'язкового мобільного зв'язку, то всі обчислення виконуються на пристрої. Процес роботи розробленого програмного забезпечення поданий на рисунку 2.4 у формі діаграми потоків

даних (DFD). Спочатку дані передаються з цифрового стетоскопа на мобільний пристрій, потім алгоритм класифікації передбачає діагностику, і результат відображається одночасно на екрані.

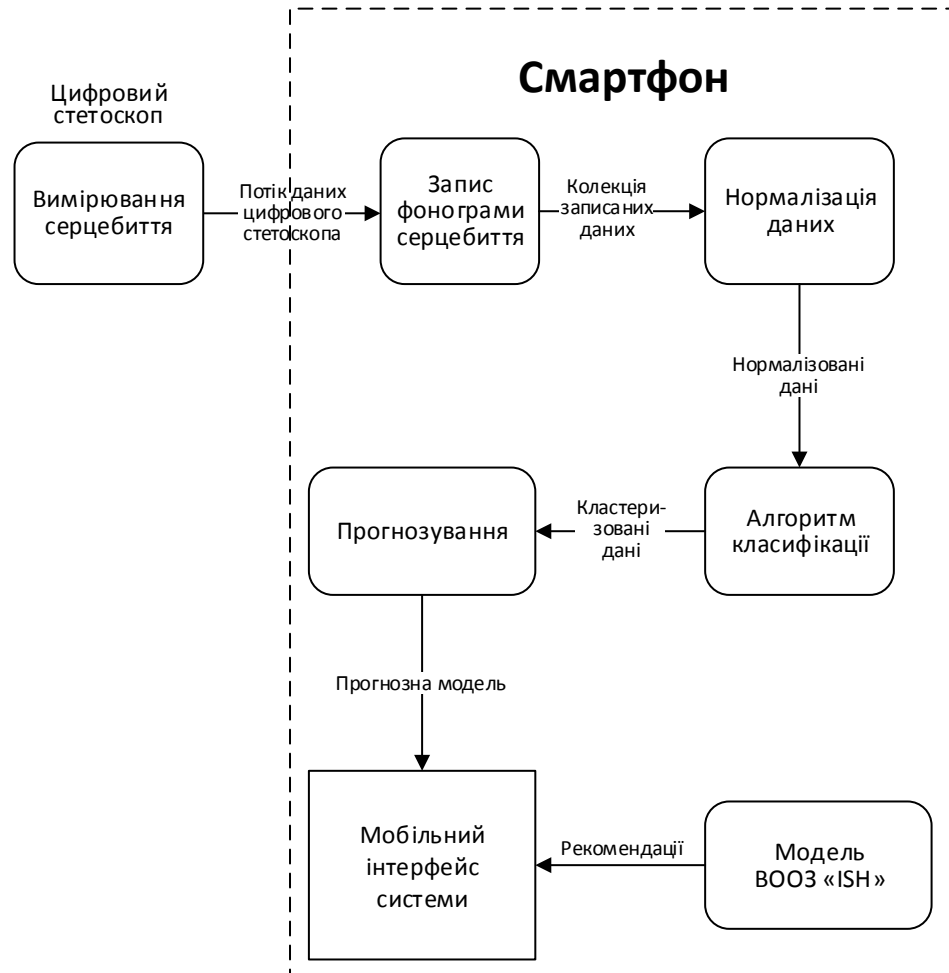


Рисунок 2.4 – Робочий процес мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Програмне забезпечення розроблено в MATLAB (див. рисунок 2.5) за допомогою пакету підтримки Simulink для мобільних пристроїв [18]. Пакет підтримки має всі необхідні блоки для використання давачів мобільних пристроїв. Більше того, можливо використовувати функції MATLAB та навчений алгоритм в рамках блок-схеми проектів. Для використання навченого алгоритму його слід заздалегідь перетворити у файл Java, після чого його можна буде викликати назад у проекті.

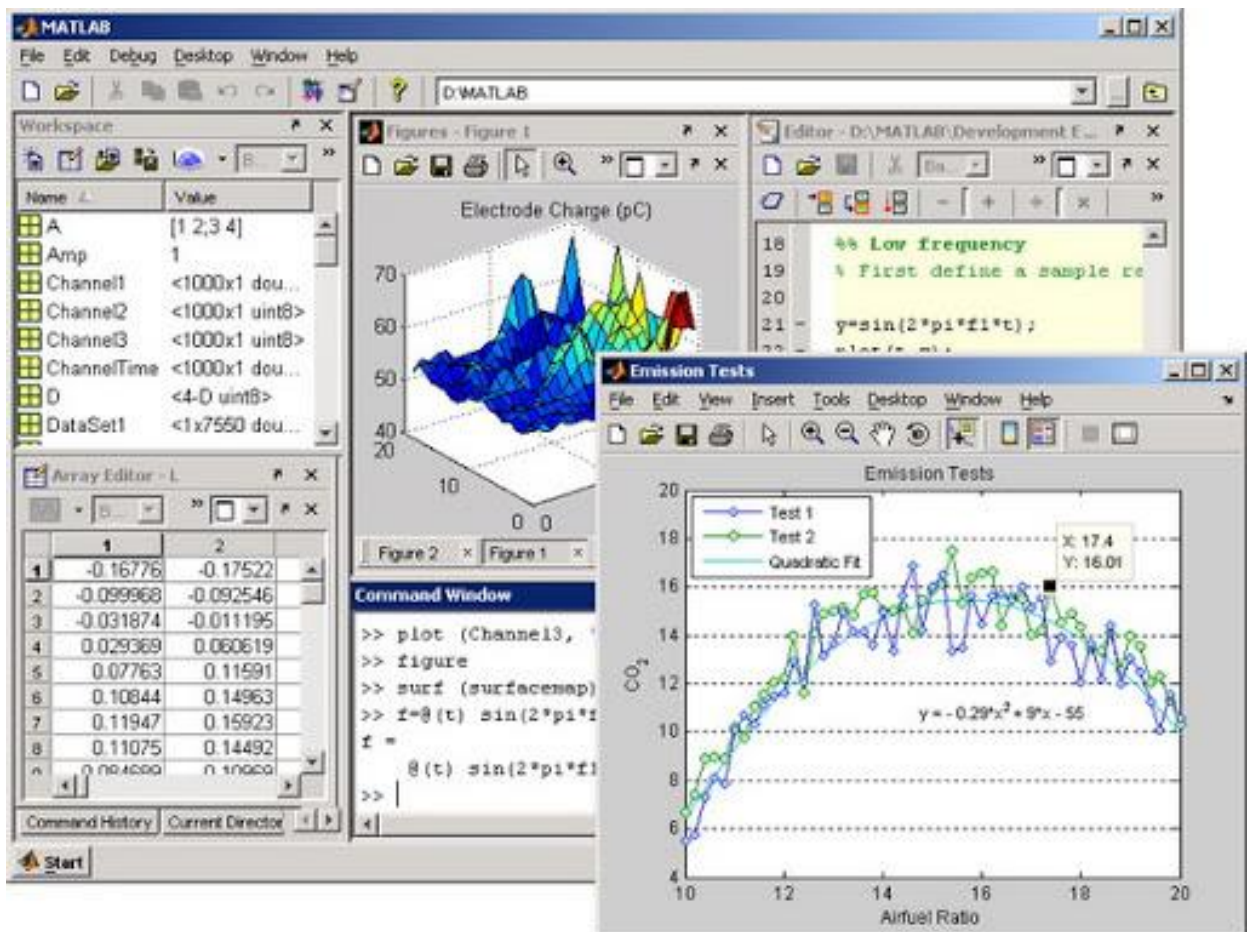


Рисунок 2.5 – MATLAB за пакетом підтримки Simulink

Генерування Java-коду із навченого алгоритму може бути здійснено за допомогою кодера MATLAB або шляхом реалізації коду [19].

Модель мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань використовує блок захоплення звуку, який використовується для отримання звукового сигналу як вхідного сигналу. Цей блок дозволяє отримувати стереозвук від мікрофона мобільного пристрою.

По-перше, блок захоплення звуку використовується для отримання звукового сигналу як вхідного сигналу. Цей блок дозволяє отримувати стереозвук від мікрофона.

В Bubble_1 є кнопка для запису стереосигналу (див. рисунок 2.6). Якщо цю кнопку ввімкнено, на екрані відображається час запису, а блок запису файлу записує аудіодані у файл типу .wav на мобільному пристрої.

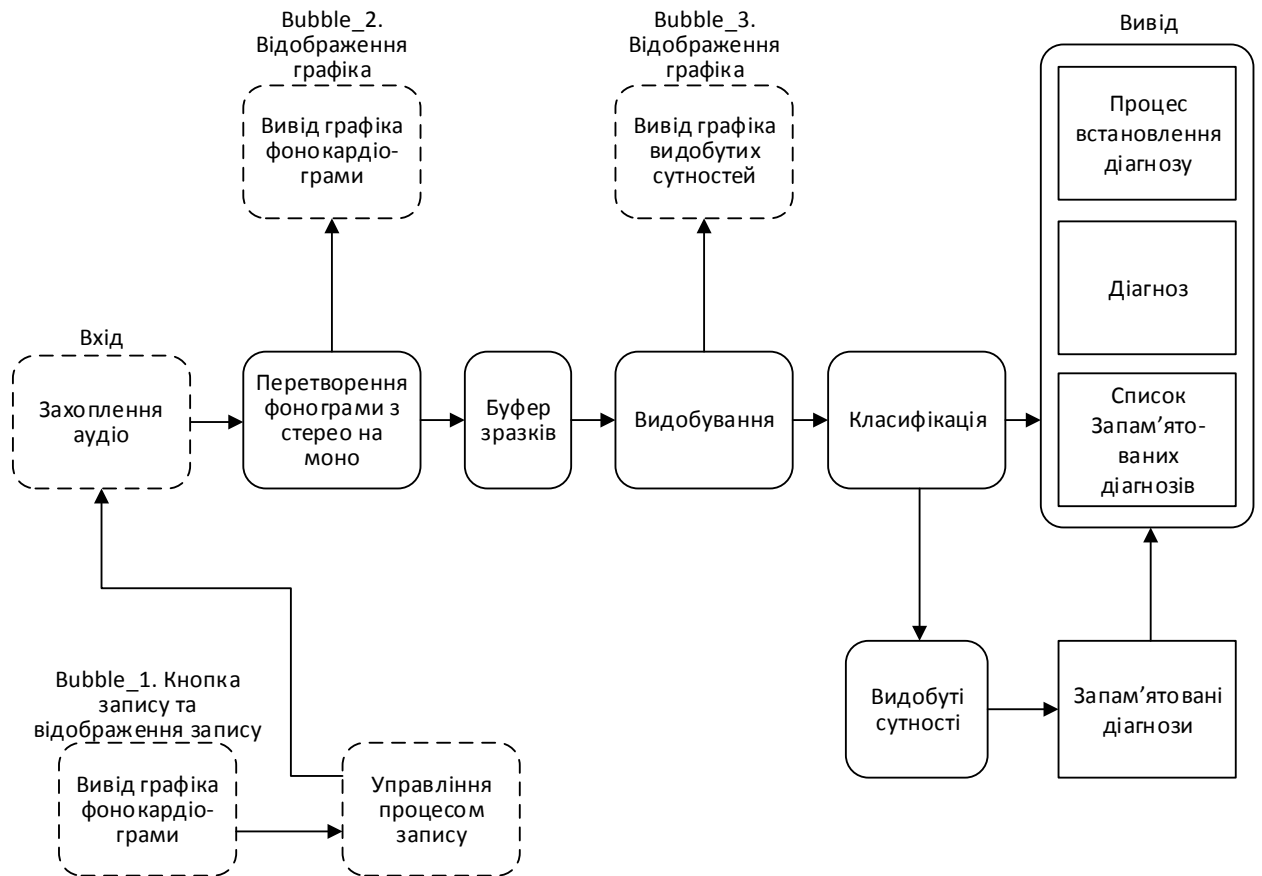


Рисунок 2.6 – Модель мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Для подальших кроків стереодані перетворюються у моносигнал за допомогою функціонального файлу MATLAB. Перетворений сигнал відображається у вигляді графіку в Bubble_2.

Для накопичення поточних даних використовується буфер. Цей буфер збирає 220-500 зразків з джерела потоку, у нашому випадку цифрового стетоскопа, який має частоту дискретизації 44 100 зразків на секунду. Потім, на виході буфера, п'ятисекундний сигнал передається в блок видобування ознак. Більшість функцій набуваються за допомогою коефіцієнтів Мель-частоти, що є загальноживаною технікою в завданнях розпізнавання мови [20]. Ця техніка імітує здатність людських вух масштабувати звуки за допомогою функції логарифмічної шкали та фільтра. Решта ознак виділено як із статистичних властивостей, так і з спектру потужності сигналу.

Зокрема видобуватимуться ознаки:

- стандартне відхилення;
- ексцентричність;
- спектральна ентропія;
- максимальна частота.

Усі витягнуті функції відображаються на екрані в Bubble_3.

Видобуті ознаки передаються як вхідні дані для алгоритму класифікації. Показники точності експериментальних алгоритмів представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ефективність алгоритмів, використаних в експериментах

Алгоритми	Набір даних	Предиктори	Валідність	Точність
Класифікатори логістичної регресії	«PhysioNet»	15	30%	79.8%
Наївні класифікатори Байєса	«PhysioNet»	15	30%	80.4%
Дискримінантний аналіз	«PhysioNet»	15	30%	82.3%
Дерева рішень	«PhysioNet»	15	30%	86.7%
Підтримка векторних машин	«PhysioNet»	15	30%	89.7%
Найближчі класифікатори сусідів	«PhysioNet»	15	30%	92.0%
Класифікатори ансамблю	«PhysioNet»	15	30%	93.1%

Алгоритм класифікації передбачає позначення п'ятисекундних даних про звуки серця, чи це здоровий чи нездоровий зразок. Щоб визначити найкращий алгоритм класифікації, добре відомі методи оцінювали за допомогою БД «PhysioNet».

Під час цих експериментів для навчальних та перевірочних завдань дані «PhysioNet» були розділені на дві частини. Перша – це записи, що використовуються для навчання і не використовувались для перевірки.

Детальні метрики класифікації найбільш успішного алгоритму подані на рисунку 2.7.

Захворювання	83,7%	16,3%
Здоров'я	4%	96%
	Позитивний діагноз	Негативний діагноз

Рисунок 2.4 – Детальна класифікація метрик моделі ансамблю

Серед кількох алгоритмів найбільш успішною є ансамблева модель, тип якої навчається – найближчі сусіди, кількість тих, хто навчається дорівнює 30, а розмір підпростору – восьмий. Ця модель зберігається як алгоритм класифікації і викликається всередині функціонального блоку «predict_Class». Результатом цього блоку є двійкове ціле число, де нульове вихідне значення означає здорові вибірки, а одне вихідне значення означає нездорові вибірки.

Функція виводу на рис. 2.6 призначена для відображення прогнозованого результату діагностики на екрані як цілого разом з відповідним зображенням результату на екрані.

Інтерфейс мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань подано на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Мобільний інтерфейс застосунку (версія для смартфона)

У верхньому правому куті екрана передбачуваний діагноз відображається у двійковому значенні, а відповідне діагностичне зображення пропонується в лівій половині екрана для опису прогнозування алгоритмів за зображенням. Коли передбачуване діагностичне зображення ковзає вліво, ця частина починає відображати графіки фонокардіограми в режимі реального часу.

Під дисплеєм прогнозованої діагностики у верхньому правому куті екрана відображається час запису в секундах. Час запису відображається відповідно до виходів функції лічильника, яка ініціюється логічним значенням кнопки запуску запису, розташованої під відображенням часу на екрані. Коли цю кнопку ввімкнено, серцевий звук також зберігається в

пам'яті пристрою. У нижній правій частині екрана витягнуті функції відображаються кожні п'ять секунд.

Аналіз даних був зосереджений на презентації результатів дослідження. Були представлені середній бал SUS, оціночний лист, діапазон прийнятності та рейтинг застосунку.

2.3 Результати роботи мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Як зазначено у попередніх параграфах, алгоритм класифікації підготовлений та перевірений за допомогою загальнодоступної бази даних «PhysioNet 2016». Для перевірки використовувався розроблений мобільний застосунок. Кардіологічні експерти протестували алгоритм та мобільний застосунок для 17 осіб. Потенційні нездоровим особам було порекомендовано пройти подальші діагностичні тести, під час яких було підтверджено, що всі нездорові діагностовані особи мають серцеві аномалії.

Записи, використані на етапі перевірки, збираються розробленим мобільним застосунком. Ці записи мають життєво важливе значення, оскільки вони представляють якість даних, для порівняння у клінічній практиці. Результати верифікації, представлені в таблиці 2.2, показують, що мобільний застосунок може виявляти нормальні серцеві звуки вище 92% специфічності та 81% чутливості, що дуже близько до результатів перевірки в Таблиці 1. Цей результат показує надійність застосованого алгоритму класифікації, оскільки він може нормально працювати на мобільному пристрої під управлінням ОС Android.

У тестах перевірки використовувався планшет з ОС Android, а результат прогнозування програми визначався на дисплеї діагностики, що збільшився в пам'яті.

Таблиця 2.2 – Порівняння ефективності мобільного застосунку з БД перевірки та верифікації

Продуктивність	Дані перевірки	Дані верифікації
Метричні	96.0%	92.0%
Специфічні	83.7%	81,0%

Відображення пам'яті викликається функцією, яка накопичує останні п'ять діагнозів у буфері і намагається отримати чотири або більше однакових результатів. Протягом 25 секунд застосунок генерує п'ять діагностичних результатів, якщо отримано чотири або п'ять послідовних діагнозів, визначається запам'ятоване рішення алгоритму, і цей результат приймається як остаточне рішення програми.

На обкладинці мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань відображається логотип з серцем та кнопка запуску. Він показує рівень прогнозування ризику серцево-судинних захворювань. Основними особливостями мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань є категорії значків, елементи введення форм, зокрема вік, рівень холестерину, класифікація ризиків в залежності від віку та освіти.

Застосунок також доступний в автономному режимі. Щоб використовувати цю програму, користувачі повинні завантажити та встановити її з Google Play за допомогою смартфона з мінімальною серією 4.0.3 або вище. Потім користувачі повинні відкрити програму, вибрати категорію, ввести поточні дані та натиснути кнопку «APP», щоб отримати рівень ризику серцево-судинних подій. Діалогові вікна містять рекомендації для користувачів.

Застосунок зосереджений на прогнозуванні рівня ризику серцево-судинних подій. Ця програма також надає діалогові вікна для людей з діабетом. Це дає можливість пацієнтам знижувати та підтримувати рівень ризику. Особливо це стосується людей з діабетом.

2.4 Тестування юзабіліті мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Тестування на зручність використання проводили протягом місяця. Середній бал – 87, що вказує на „відмінний” прикметник і прийнятний результат. Для шкали оцінок оцінка 87 дорівнює оцінці В [21]. Нещодавно Сауро та Льюїс представили нову шкалу оцінки на основі перцентиля набору даних та зробили ще один варіант деталізації шкали оцінки [22]. Використовуючи цей стандарт, результат пілотного дослідження вказав ступінь А + (84,1–100). Серед усіх учасників більшість респондентів вказали прийнятні (95%) та відмінні (60%), що підтверджує загальну оцінку сприйнятливості мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань (див. таблицю 2.3).

Для кожного компонента було вказано детальну оцінку тестування на суб’єктивну придатність. Оригінальна оцінка, близька до цифри 4, показала найвищий бал серед усіх компонентів.. Серед усіх компонентів найвищий та найнижчий бали були відповідно 3,95 з 4 та добре інтегрованими 3 з 4 відповідно.

Таблиця 2.3 – Розподіл оцінок мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань (n = 20)

Діапазон прийнятності			Прикметниковий рейтинг		
Категорія	n	%	Категорія	n	%
Неприйнятно (0–50)	0	0	Добре (52–72)	1	5
Граничний (51–70)	1	5	Добре (73–84)	7	35
Прийнятно (71–100)	19	95	Відмінно (85–99)	12	60

2.5 Аналіз результатів проведеної розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань

Некваліфіковані медики мають низький рівень точності з даними електрокардіограми, і лише кардіологи можуть успішно діагностувати [23]. Більше того, моделі штучного інтелекту, засновані на електрокардіограмі, такі як програмне забезпечення «KardiaMobile» та «Еко AI», можуть працювати як кардіологи [24]. Програмне забезпечення «Еко AI» вимагає від користувачів завантажувати свої дані в хмару для обчислення. На відміну від цих комерційних продуктів, розроблений мобільний застосунок для діагностування серцевих захворювань може працювати лише на апаратному забезпеченні мобільного пристрою завдяки своїм інформативним характеристикам та надійному алгоритму класифікації. Незалежно від підключення до Інтернету, миттєво можна оцінити стан свого серця за допомогою звукозаписувача, бажано за допомогою звичайного цифрового стетоскопа. Як результат, користувачам не потрібно завантажувати записи на сервер або хмару для оцінки. Ця функція забезпечує конфіденційність даних та гнучкість для користувачів. Найближчим часом із розповсюдженням програм штучного інтелекту для цілей телемедицини питання конфіденційності даних будуть більш важливими [24].

Ще однією ключовою особливістю мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань є те, що вона приймає дані з самого початку, і вона постійно видає прогнозований результат діагностики протягом п'яти секунд. Для майбутніх робіт ця властивість може бути передана в реанімаційні відділення для спрацьовування тривоги при виявленні відхилення від норми. Серцеві події відстежують контрольні сигнали електрокардіограми, щоб вирішити, чи продовжує функціонувати серце пацієнтів чи ні. Ці системи спостереження за пацієнтами не надають жодної інформації про миттєві порушення серцевої діяльності. Якщо цей

процес можна перетворити на прослуховування серця та постійний аналіз його стану, ефективність систем моніторингу пацієнтів зростає.

Враховуючи те, що ми маємо глобальну пандемію, медична система знаходиться під тиском, і лікарі вражені збільшенням кількості пацієнтів, інфікованих COVID19. Подані в цьому дослідженні інструменти телемедицини можуть зменшити кількість здорових людей, які відвідують лікарні, і як результат, зняти навантаження з медичної системи. Оскільки мобільний застосунок призначений для використання не тільки для експертів, але й для користувачів, які не мають медичної освіти, дані перевірки повинні складатися із звуків, які записуються звичайними користувачами. Щоб імітувати поведінку користувачів, які не мають медичного досвіду, під час перевірочних тестів цифровий стетоскоп наводили у випадкові місця на грудях біля серця. Результати верифікації є успішними, але це частково пов'язано з властивістю фільтра цифрового стетоскопа на рівні пристрою, яке може усунути небажані звуки, що виробляються з інших органів, таких як легені тощо. Для компенсації шумового ефекту в подальшому бажано додати блок попередньої обробки.

2.6 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» розроблено алгоритм роботи мобільного застосунку. Запропоновано опис процедури навчання та спостереження з розробленням відповідних діаграм. Проаналізовано результати роботи мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань. Виконано тестування юзабіліті мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань. Проаналізовано результати розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.

3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Природне середовище і його забруднення

Всесвітній день навколишнього середовища, який щорічно визначається 5 червня, є для Організації Об'єднаних Націй одним з основних способів привернути увагу світової громадськості до проблем навколишнього середовища, а також стимулювати політичний інтерес і відповідні дії. Такий захід, як святкування цього Дня, розрахований і на те, щоб привнести людський чинник в питання охорони навколишнього середовища [25]

За науковим визначенням – довкілля (навколишнє природне середовище) це всі живі і неживі об'єкти, що природно існують на Землі або в деякій її частині (наприклад довкілля країни, регіону і т.і.). Тобто основними складовими навколишнього середовища є природне та соціальне середовище. Основними природними складовими довкілля є:

Повітря – один з найважливіших продуктів у житті людини. Без повітря людина може обходитись лише 5 хвилин без наслідків для здоров'я. Погіршення якості повітря порушує право на життя і на стан фізичного і психічного здоров'я.

Вода – наступна важлива складова для життєдіяльності людини. Без води людина може обходитись 5 днів. Запаси питної води вичерпуються, аби задовольнити потреби зростаючої кількості населення не лише для пиття, санітарних умов але й виробничих процесів та рекреаційної діяльності. За підрахунками ВООЗ значна частина людей – кожен сьомий, не мають доступу до безпечного і достатнього водопостачання. Питання безпеки людини все більше загострюється із зменшенням кількості питної води.

Земля – близько однієї третьої поверхні використовується для землеробства. Важлива ланка для життя людини – без їжі людина може вижити лише п'ять тижнів.

На земній кулі, яка є скінченою по своїй природі, але все пов'язане одне з одним, наприклад через харчові ланцюги і кругообіг води та геологічні цикли. Природа має здатність до відновлення, але серйозні порушення через надмірні забруднення, руйнування, втручання дестабілізують природній процес.

Вчені прогнозують, що внаслідок цих глобальних порушень вже існують та очікуються найближчим часом зміни, які можуть негативно вплинути на життєдіяльність людства:

Зміна рівня моря – затопить деякі невеликі, низько розташовані островні держави. Солоня вода негативно вплине на сільськогосподарські землі. І це вже відчувається на південно –східних тихоокеанських островах та в Південно – Східній Азії.

Погодні катаклізми – повені, засухи та урагани будуть відбуватися частіше та з більшою силою. Вимирання – з підвищенням глобальної температури на два градуси Цельсія виникне загроза вимирання 30% всіх видів, які живуть на землі. Брак продуктів харчування – врожаї зменшаться із зростанням температури, зменшенням або перерозподілом опадів в першу чергу в таких регіонах як Африка, Близький Схід та Індія.

Брак води – зміна кількості опадів приведе до засухи або повеней. Зменшиться кількість доступної води.

Захворювання – з підвищенням температури хвороби характерні для країн з теплим кліматом (малярія, різноманітні лихорадки та інші) перемістяться на інші території.

Руйнування уразливих ділянок – пошкоджені території, такі як перетруєні пасовиська, знеліснені гірські схили, і ерозований орний ґрунт, стануть більш вразливими ніж раніше до змін клімату.

3.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

Займання в електроустановках виникає при використанні електричного обладнання. Цей вид пожежі може бути викликаний коротким замиканням або перевантаженими електричними кабелями. Він може бути дуже небезпечним для людини, що не дотримує порядок гасіння пожежі в електроустановках [26].

Зважаючи на наявність високої напруги, речовини, використовувані при гасінні, стають електропровідними і можуть багаторазово розпалюватися. Іншим важливим фактором є ізоляція кабелів. Вони мають високу температуру вогню, горять без кисню, через що полум'я може повторно зайнятися після його ліквідації. Ці фактори впливають на вибір типу вогнегасника, необхідного для боротьби із загорянням.

Палаюча електропроводка в найвищому ступені небезпечна. Тому засоби пожежогасіння для його придушення повинні бути досить ефективними:

- для обладнання до 1000 В – використовується порошок;
- для обладнання до 10 000 В – використовується вуглекислий газ;
- засоби пінного і водяного пожежогасіння підходять для знеструмлених електроустановок. Використовувати їх можна тільки після відключення обладнання від електропостачання.

Якщо неможливо знеструмити мережу, допустимо використання тільки вогнегасників з маркуванням “Е” на корпусі, придатних для усунення аварії на електроустановках.

Вогнегасники, які містять вуглекислий газу, працюють на основі низькотемпературної струменя і відносяться до газового потоку. Після використання такого вогнегасника не залишається ніяких слідів. Однак, не слід використовувати вуглекислотні вогнегасники в замкнутому просторі, так як існує ризик пошкодження шкіри і отруєння.

Гасіння електроустановок під напругою за допомогою порошкового вогнегасника вважається ефективним методом усунення загоряння. Порошок, присутній в складі, запобігає доступу кисню до матеріалу і, отже, перешкоджає поширенню полум'я, усуваючи повторні спроби загоряння. Вогнегасники цього типу з маркуванням “ВП” використовуються при гасінні кабельних ізоляційних матеріалів.

До складу порошкового вогнегасника входять мінеральні солі, змішані з різними хімічними добавками. Для роботи з порошковими засобами пожежогасіння потрібно захисна маска з урахуванням високої концентрації пилу в повітрі, а після їх використання приміщення необхідно очистити від шару порошку.

Для гасіння вогню рекомендується використовувати порошкові вогнегасники, безпечні для активні і неактивні електричних мереж. Порошковий склад блокує надходження кисню, тим самим перешкоджаючи поширенню вогню.

При наявності високої напруги в осередку загоряння, перш за все необхідно повністю відключити електропостачання, і тільки після цього приступити до усунення полум'я. Якщо напругу не відключено, слід використовувати вуглекислотні вогнегасники, ефективні при гасінні палаючих безкисневих металів.

Придбати пожежне обладнання за вигідною ціною можна через представника надійного постачальника пожежного обладнання – компанії “НАІС”. Фірма пропонує оптові та роздрібні поставки, а також проводить індивідуальні консультації для своїх клієнтів.

3.3 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано природне середовище і його забруднення. Розглянуто вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.

ВИСНОВКИ

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Проведено аналіз предметної області.
- Виконано постановку завдання розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.
- Описано використовувані в процесі розроблення мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань методи та інструменти і набір даних.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Розроблено алгоритм роботи мобільного застосунку.
- Запропоновано опис процедури навчання та спостереження з розробленням відповідних діаграм.
- Проаналізовано результати роботи мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.
- Виконано тестування юзабіліті мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.
- Проаналізовано результати розробки мобільного застосунку для діагностування серцевих захворювань.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи хорони праці» описано природне середовище і його забруднення. Розглянуто вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Zewoudie, A.W.; Luque, J.; Hernando, J. The use of long-term features for GMM- and i-vector-based speaker diarization systems. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing* 2018, 2018, 14, doi:10.1186/s13636-018-0140-x.
- 2 Chen, Y.; Wei, S.; Zhang, Y. Classification of heart sounds based on the combination of the modified frequency wavelet transform and convolutional neural network. *Medical & Biological Engineering & Computing* 2020, 58, 2039-2047, doi:10.1007/s11517-020-02218-5.
- 3 Rushmer, R.F.; Sparkman, D.R.; Polley, R.F.; Bryan, E.E.; Bruce, R.R.; Welch, G.B.; Bridges, W.C. Variability in detection and interpretation of heart murmurs; a comparison of auscultation and stethography. *AMA Am J Dis Child* 1952, 83, 740-754, doi:10.1001/archpedi.1952.02040100038003.
- 4 Duda O., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A. (2021) Aggregation, Storing, Multidimensional Representation and Processing of COVID-19 Data. In: Shakhovska N., Medykovskyy M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing V. CSIT 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1293, pp 875-889. Springer, Cham. ISBN978-3-030-63270-0.
- 5 Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Matsiuk, O., Pasichnyk, V., Building secure Urban information systems based on IoT technologies. *CEUR Workshop Proceedings* 2623, pp. 317-328. 2020.
- 6 Oleksii Duda, Oleksandr Matsiuk, Nataliia Kunanets, Volodymyr Pasichnyk, Antonii Rzhеuskyi and Yuriy Bilak, “Formation of Hypercubes Based on Data Obtained from Systems of IoT Devices of Urban Resource Networks”, *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control* (2020) 10: 1. ISSN 2210-3287.

7 Castro, A.; Vinhoza, T.T.V.; Mattos, S.S.; Coimbra, M.T.; Ieee. Heart Sound Segmentation of Pediatric Auscultations Using Wavelet Analysis. In 2013 35th Annual International Conference of the Ieee Engineering in Medicine and Biology Society, 2013; pp. 3909-3912.

8 Duda, O., et al, Selection of Effective Methods of Big Data Analytical Processing in Information Systems of Smart Cities. CEUR Workshop Proceedings 2631, pp. 68-78. 2020.

9 Stethee, AI boosted digital stethoscopes. Available online: <https://www.stethee.com/>.

10 American Heart Association. Cardiovascular Disease and Diabetes. http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/More/Diabetes/WhyDiabetesMatters/Cardiovascular-DisiaseDiabetes_UCM_313865_Article.jsp.

11 Kozakova M, Polombo C. Diabetes mellitus, arterial wall, and cardiovascular risk assessment. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016;13(2):201-214.

12 WHO. Prevention of cardiovascular disease, guideline for assessment and management of cardiovascular risk 1st edition. Geneva: WHO. 2007.

13 Aini FN, Wicaksana AL, Pangastuti HS. Tingkat risiko kejadian kardiovaskular pada penyandang diabetes tipe 2. Journal of Indonesian National Nurses Association. 2019;4(3):182-192.

14 Klug B. An Overview of the system usability scale in library website and system usability testing. Weave: Journal of Library User Experience. 2017;1.

15 Bangor A, Kortum P, Miller J. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. Journal of Usability Studies. 2009;4(3):114-123.

16 Brooke J. SUS: a retrospective. Journal of Usability Studies. 2013;8(2):29-40.

17 Kleyko, D.; Osipov, E.; Wiklund, U. A Comprehensive Study of Complexity and Performance of Automatic Detection of Atrial Fibrillation:

Classification of Long ECG Recordings Based on the PhysioNet Computing in Cardiology Challenge 2017. *Biomedical Physics & Engineering Express* 2020, 6, doi:10.1088/2057-1976/ab6e1e.

18 Android Support from Simulink. Available online: <https://www.mathworks.com/hardwaresupport/android-programming-simulink.html>.

19 Generate C/C++ code for the object functions. Available online: <https://www.mathworks.com/help/stats/savelearnerforcoder.html>.

20 Davis, S.M., P; . Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing* 4, 11, doi: 10.1109/TASSP.1980.1163420.

21 Kucharski, D.; Grochala, D.; Kajor, M.; Kańtoch, E. A Deep Learning Approach for Valve Defect Recognition in Heart Acoustic Signal. Cham; pp. 3-14.

22 Eko Devices, Eko Core Digital Stethoscope. Available online: <https://ekodevices.com/>.

23 Hannun, A.Y.; Rajpurkar, P.; Haghpanahi, M.; Tison, G.H.; Bourn, C.; Turakhia, M.P.; Ng, A.Y. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nature Medicine* 2019, 25, 65-69, doi:10.1038/s41591-018-0268-3.

24 Matsiuk O. Choice method of analytical information-technology platform for projects associated to the smart city class // Bodnarchuk Ihor, Duda Oleksii, Kharchenko Alexander, Kunanets Nataliia, Matsiuk Oleksandr and Pasichnyk Volodymyr/ ICTERI 2020 ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference p.317-330.

25 Проблематика громадського здоров'я. http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_462.html.

26 ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ.
<https://nais.com.ua/ua/articles/tushenie-pozharov-v-elektroustanovkah/>.