

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

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного 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 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Автоматизація процесу розпізнавання захворювань онкології  
на ультразвукових зображеннях»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ПК-11мп  
Троцюк Катерина Миколаївна \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н., доцент  
Галаган Роман Михайлович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проекту:

Завідувач кафедри економічної кібернетики,  
доктор економічних наук, професор  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Ст. викладач, кандидат технічних наук,  
Козир Олег Васильович \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

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

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Троцюк Катерині Миколаївні**

1. Тема дисертації «Автоматизація процесу розпізнавання захворювань онкології на ультразвукових зображеннях», керівник дисертації доцент кафедри АСНК Галаган Роман Михайлович, затверджені наказом по університету від «9» 11.2022 р. № 41410-с

2. Термін подання студентом дисертації: 15.12.22

---

3. Об'єкт дослідження: процес аналізу ультразвукових зображень.

4. Предмет дослідження: методи автоматизованого детектування і класифікації пухлин на ультразвукових зображеннях.

6. Зміст пояснювальної записки: аналітичний огляд, теоретичний огляд, розробка програми, розробка стартап-проекту.

7. Перелік графічного матеріалу (ілюстративного): 3 плакати.

8. Консультанти розділів дисертації\*

---

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., Завідувач кафедри економічної кібернетики, доктор економічних наук, професор КПІ ім. Ігоря Сікорського		

9. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Проаналізувати сучасні підходи діагностики та існуючі системи на основі нейронних мереж.	11.10.2021	Виконано
2	Ознайомитися з існуючими методами автоматизованої діагностики.	20.11.2021	Виконано
3	Обґрунтувати використання нейронних мереж для покращення якості діагностування онкологічних захворювань та вибрати необхідний тип мережі.	18.03.2022	Виконано
4	Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення запропонованої автоматизованої системи аналізу ультразвукових зображень.	25.05.2022	Виконано
5	Провести тестування на реальних даних та отримати кількісні оцінки якості роботи системи.	20.07.2022	Виконано
6	Розробка стартап-проекту	30.09.2022	Виконано
7	Формулювання висновків	15.11.2022	Виконано

Студент

Катерина ТРОЦЮК

Науковий керівник дисертації

Роман ГАЛАГАН

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 4 розділів, 97 сторінок, містить 39 ілюстрацій, 33 таблиць, було опрацьовано 46 джерел.

Мета роботи: автоматизація процесу розпізнавання онкологічних захворювань, що забезпечуватиме підвищення точності та достовірності роботи систем діагностики.

Об'єктом дослідження є пухлинні захворювання.

Предметом дослідження є алгоритми нейронних мереж для виявлення та класифікації захворювань на основі ультразвукових зображень.

Завдання магістерської роботи:

1. Проаналізувати існуючі хвороби та методи їх виявлення, проаналізувати алгоритми лікування з метою виявлення влучного моменту для діагностики, розібратися в існуючих системах та винайти шляхи поліпшення.
2. Ознайомитися з існуючими методами автоматизованої діагностики.
3. Обґрунтувати використання нейронних мереж для покращення якості діагностики
4. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення запропонованої автоматизованої системи діагностики.
5. Проаналізувати точність виявлення захворювання в порівнянні з іншими методами.
6. Експериментально дослідити ефективність методу.

## **ABSTRACT**

The Master's thesis consists of 4 chapters, 97 pages, contains 39 illustrations, 33 tables, 46 sources were processed.

Purpose of the work: automation of the process of recognition of cancer, which will increase the accuracy and reliability of diagnostic systems.

The object of research is tumor diseases.

The subject of research is neural network algorithms for detection and classification of diseases based on ultrasound images.

Tasks of the master's work:

1. To analyze existing diseases and methods of their detection. Analyze treatment algorithms in order to identify the right moment for diagnosis. To scrutinize all existing systems and find ways to improve them.
2. To explore existing methods of automated diagnostics.
3. To justify the use of neural networks for improving the quality of diagnosis
4. To develop algorithmic and software of the proposed automated diagnostic system.
5. To analyze the accuracy of disease detection in comparison with other methods.
6. To investigate the effectiveness of the method.

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	3
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД .....	5
1.1. Огляд захворювань .....	5
1.2. Задачі УЗ діагностики в онкології.....	9
1.3. Огляд існуючих систем .....	12
1.4. Висновки до розділу .....	15
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ .....	16
2.1. Ультразвук як метод неруйнівного контролю .....	16
2.1.1. Типи ультразвуку.....	16
2.1.2. Використання .....	19
2.1.3. УЗ діагностика та отримання зображень .....	21
2.1.4. Переваги та недоліки.....	22
2.2. Загальні відомості про нейронні мережі .....	24
2.2.1. Типи завдань машинного навчання та методи .....	24
2.2.2. Основні алгоритми моделей машинного навчання для виявлення аномалій .....	28
2.2.3. Застосування у реальному житті.....	30
2.2.4. Детальний огляд завдання роботи та методу його вирішення.	32
2.2.5. Переваги та недоліки різних методів.....	34
2.2.6. Перспективи розвитку.....	43
2.3. Висновки до розділу .....	43
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА.....	45

3.1.	Алгоритм роботи системи.....	45
3.2.	Фази розробки життєвого циклу розробки машинного навчання	47
3.3.	Реалізація моделі.....	49
3.3.1.	Опис навчального набору даних .....	49
3.3.2.	Вибір середі розробки .....	50
3.3.3.	Підготовка навчальних даних .....	52
3.3.4.	Transfer learning.....	55
3.3.5.	Тонкі налаштування мережі (fine tuning) .....	58
3.3.6.	Експериментальна перевірка моделі .....	60
3.4.	Висновки до розділу .....	61
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ»		63
4.1.	Опис та технологічний аудит ідеї проєкту .....	63
4.2.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	67
4.3.	Розроблення ринкової стратегії.....	76
4.4.	Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту .....	79
4.5.	Висновки до розділу .....	90
ВИСНОВОК .....		92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		93

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОК	—	об'єкт контролю;
НК	—	неруйнівний контроль
НМ	—	нейронна мережа
МН	—	машинне навчання
ШІ	—	штучний інтелект
ПЗ	—	програмне забезпечення;
ПК	—	персональний комп'ютер;
ЗНМ	—	згортова нейронна мережа;
УЗД	—	ультразвукове дослідження;
ПЕТ	—	позитронно-емісійна томографія;
МРТ	—	магнітно-резонансної томографії
КТ	—	комп'ютерної томографії
ПЕТ	—	позитронно-емісійної томографії
ОФЕКТ	—	однофотонної емісійної томографії
ШНМ	—	штучні нейронні мережі



## ВСТУП

У медичній діагностиці лікар прагне пояснити симптоми пацієнта, визначивши захворювання, що їх викликають. Машинне навчання обіцяє зробити революцію в прийнятті клінічних рішень та діагностиці.

Забезпечення точної та доступної діагностики є фундаментальною проблемою для глобальних систем охорони здоров'я. В останні роки ШІ та МН стали потужними інструментами для вирішення складних завдань у різних галузях. Зокрема, діагностика за допомогою МН кожного дня робить значний розвиток в охороні здоров'я, використовуючи великі обсяги даних про пацієнтів для встановлення точних і персоналізованих діагнозів.

Лікарі ставлять діагноз, обираючи захворювання, які пропонують найкраще причинне пояснення симптомів пацієнта. Дуже часто лікарю не вистачає часу, щоб обробити всю наявну інформацію про пацієнта. А ось у штучного інтелекту такої проблеми немає - він може "думати" про конкретного пацієнта 24/7. Варто звернути увагу на застосування машинного навчання у сфері медичної діагностики з метою автоматизації процесу, що в результаті збереже час та життя пацієнтів. Алгоритми покладаються на асоціативний висновок - вони ідентифікують захворювання на основі того, наскільки вони корелюють із симптомами, історією хвороби пацієнта, наявністю даних про пацієнта та схожими ознаками між ними.

Використання машинного навчання в медичній діагностиці є перспективним. У першу чергу це зумовлено тим, що при відносно невеликих затратах можна отримати при цьому достатньо продуктивну систему для використання навченої моделі у розпізнаванні зображень. Разом з тим впровадження методів машинного навчання в діагностику зменшить витрати ресурсів на саму діагностику, полегшить роботу спеціалістів та допоможе обрати правильний курс для лікування.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1.Огляд захворювань

Однією з основних завдань у медицині є діагностика. Постановка діагнозу часто є складним завданням і залежить від великої кількості факторів, зокрема від наявних даних про симптоми та ознаки захворювання, повноти та результатів лабораторних досліджень, загального обсягу медичної інформації про передбачуване захворювання, від досвіду та кваліфікації лікаря-діагноста.

Діагностична медична сонографія – це складний метод візуалізації, який використовує височастотні звукові хвилі, а не іонізуюче випромінювання, для оцінки структур тіла. На відміну від комп'ютерної або магнітно-резонансної томографії, де для інтерпретації отримують статичні зображення поперечного перерізу; ультразвукове обстеження є динамічним, тобто внутрішні структури можна спостерігати в русі. Це особливо важливо під час оцінки серця на скоротливість і функцію клапана або визначення життєздатності плода під час акушерської сонограми шляхом спостереження за рухами. [3]

Ультразвукові дослідження використовують для оцінки таких внутрішніх органів:

- нирок;
- печінки;
- підшлункової залози;
- серця;
- кровоносних судин та багато іншого.

Статичні зображення використовуються при діагностиці стану м'язів, сухожилків, суглобів та багатьох внутрішніх органів. Для візуалізації руху крові в судинах, серця людського зародка розшифровка картин розсіяного ультразвуку ґрунтується на використанні ефекту Доплера (рис.1).

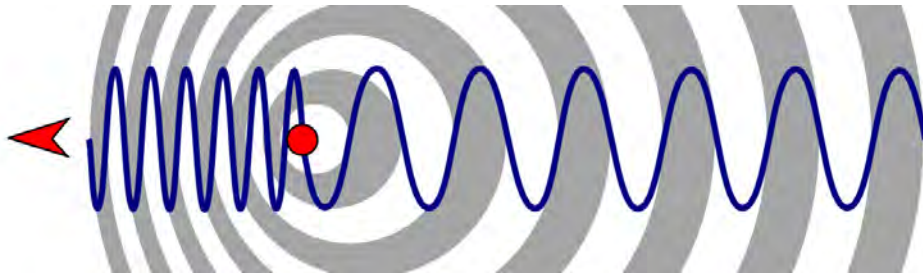


Рисунок 1. Ефект Доплера

Це явище зміни частоти хвилі, яку реєструє приймач, викликане переміщенням джерела або приймача.

Важливою перевагою методу ультразвукової діагностики є швидкість обстеження, візуалізація в режимі реального часу, простота підготовки до діагностичної процедури. [1]

Передбачувана система повинна вміти розпізнавати зображення захворювання з конкретного напрямку. Щоб краще розібратися в можливостях і проблемах, розглянемо більш детально деякі хвороби, які підвладні ультразвуковим дослідженням.

Ультразвукове дослідження печінки є досить високоінформативним. Лікарем оцінюються розміри печінки, її структура та однорідність, наявність осередкових змін, а також стан кровотоку.

УЗД дозволяє з досить високою чутливістю та специфічністю виявити як дифузні зміни печінки (жировий гепатоз, хронічний гепатит та цироз), так і вогнищеві (рідинні та пухлинні утворення). Обов'язково слід додати, що будь-які ультразвукові висновки дослідження як печінки, так і інших органів необхідно оцінювати лише разом з клінічними, анамнестичними даними, а також даними додаткових обстежень. [18]

Крім самої печінки оцінюється стан жовчного міхура і жовчних проток - досліджуються їх розміри, товщина стінок, прохідність, наявність конкрементів, стан оточуючих тканин. УЗД дозволяє в більшості випадків визначити наявність конкрементів у порожнині жовчного міхура.

Під час дослідження підшлункової залози оцінюються її розміри, форма, контури, однорідність паренхіми, наявність утворень. Якісне УЗД підшлункової

залози часто досить важко, тому що вона може частково або повністю перекриватися газами, що знаходяться в шлунку, тонкому та товстому кишечнику. Найчастіше виноситься лікарями ультразвукової діагностики висновок «дифузні зміни у підшлунковій залозі» може відбивати як вікові зміни (склеротичні, жирова інфільтрація), і можливі зміни внаслідок хронічних запальних процесів. Дослідження заочеревинного простору, нирок та надниркових залоз є досить важким для лікаря через особливості їх розташування, складності будови та багатогранності та неоднозначності трактування ультразвукової картини цих органів. [5]

При дослідженні нирок оцінюється їхня кількість, розташування, розмір, форма, контури, структура паренхіми та чашечно-милкової системи. УЗД дозволяє виявити аномалії нирок, наявність конкрементів, рідинних та пухлинних утворень, а також зміни внаслідок хронічних та гострих патологічних процесів нирок.

У дослідженні щитовидної залози ультразвукове дослідження є провідним і дозволяє визначити наявність вузлів, кіст, зміни розміру та структури залози.

Як приклад можна навести захворювання лімфовузлів. Основними методами, що дають право на формулювання діагнозу «лімфому», є морфологічне та імунологічне дослідження субстрату пухлини. Роль та місце УЗ-методу в діагностиці лімфом визначаються первинною локалізацією пухлини та закономірностями поширення пухлинного процесу.

Також користується популярністю проблема виявлення злоякісних пухлин на ультразвукових зображеннях печінки.

Рак шийки матки за частотою займає перше місце у структурі злоякісних пухлин жіночих статевих органів. В основному рак шийки матки розвивається з її піхвової частини, а саме в області зовнішнього зіву – на межі циліндричного та плоского епітелію, іноді в цервікальному каналі. Пухлина має, як правило, видиму локалізацію, помітну при огляді в дзеркалах і кольпоскопії, доступна для пальпаторного дослідження.[13] Тому ехографія, у хворих на рак шийки матки

носить уточнюючий характер, проте отримані дані можуть істотно вплинути на тактику лікувальних заходів.

Велика цінність ехографії для діагностики раку яєчників. В основному це визначається особливостями клінічного перебігу раку яєчників, а саме, відсутністю будь-яких симптомів на ранніх стадіях захворювання, на відміну від інших злоякісних пухлин жіночих статевих органів.

Сьогодні в розвинених країнах спостерігається стрімке зростання захворюваності на онкологічні патології товстої кишки. У 60-80% хворих на пухлини виявляються на III-IV стадії.

Велике значення для успішного лікування є обстеження на доопераційному етапі. В останні роки для діагностики раку застосовують УЗД. Цей метод дозволяє оцінити рівень інвазії кишкової стінки, виявити проростання пухлини в клітковину або навколишні органи. Завдяки ультразвуку виявляють метастази в регіональних та віддалених лімфовузлах печінці. Діагностика раку за допомогою УЗД дозволяє визначити лікувальну тактику та обсяг хірургічного втручання.

У ряді випадків онкологічні хворі гинуть не від пухлини, як від супутніх хвороб різних органів та систем організму (легких, серця, судин тощо.). Це потребує діагностики не тільки пухлини та її поширеності, а й супутньої патології. Наприклад, дуже типова для онкологічних хворих наявність тромбозу вен нижніх кінцівок. Нерідко тромбоз протікає зі стертою клінічною симптоматикою. Своєчасна діагностика з допомогою ультразвукового дослідження цієї патології дозволяє призначити ефективне лікування. Якщо захворювання не діагностовано, дуже висока ймовірність такого небезпечного, нерідко – смертельного ускладнення, як тромбоемболія легеневої артерії або її гілок, особливо у післяопераційному періоді. [13]

У діагностиці раку ендометрію найбільшу інформативність має трансвагінальна ехографія. На ехограмах форма пухлини буває кругла, рідше овальна чи неправильна. Ехогенність невеликих утворень, зазвичай, підвищена, а внутрішня структура однорідна. У міру зростання пухлини у ній з'являються ділянки зниженої ехогенності. Контур освіти може бути як рівним, так і нерівним.

Наявність нерівного контуру свідчить про інфільтративне зростання пухлини. Звукопровідність пухлини часто буває підвищеною, у зв'язку з чим виникає акустичний ефект посилення ехосигналу. Однією з характерних ознак пухлини є її збільшення при динамічному спостереженні. [5] Для раку ендометрію найбільш характерні наступні ехографічні ознаки: неоднорідність внутрішньої структури освіти, нерівність контурів, більш висока ехогенність порівняно з міометрієм, великі розміри освіти (половина або більш передньозаднього розміру тіла матки), дещо підвищена звукопровідність, утворення у разі некрозу пухлини порожнин різних розмірів з нерівними контурами; відсутність чіткого зображення контурів матки при переході пухлинного процесу на суміжні органи.

Слід зазначити, що іноді рак ендометрію за своїми акустичними характеристиками не відрізняється від міометрію. У таких випадках єдиною ознакою, на підставі якої можна запідозрити рак, є зображення серединної луни.

## **1.2. Задачі УЗ діагностики в онкології**

Часто вирішальну інформацію можна отримати на перших етапах діагностичного обстеження, яких належить ультразвукове дослідження (УЗД). Під час обстеження необхідно виявити факт наявності патологічного процесу та вихідної локалізації процесу. Далі визначити характер поточного процесу: пухлина - не пухлина і визначити морфологічну природу пухлини, якщо вона є. Після цього виявляється місцева поширеність пухлини. Виявляються метастатичні поразки лімфатичних вузлів і віддалених органів. Необхідно визначити, чи є рідини в серозних порожнинах, діагностувати ускладнення пухлинного процесу. Виявлення супутніх захворювань, уточнення їх стадії та впливу протягом процесу. У процесі та після лікування важливим є визначення динаміки пухлинного процесу. [1]

Для пухлин різної первинної локалізації ці завдання мають особливості. Лікар-діагност повинен знати ці особливості, можливості свого методу у вирішенні діагностичних завдань та його місце у комплексі методів променевої діагностики. Чим детальніше обстежено хворого, тим простіше виробити план

лікування. Для пухлин низки локалізацій (нирок, сечового міхура, підшлункової залози, печінки, яєчок, яєчників, молочних залоз, щитовидної залози, м'яких тканин тощо) УЗД є одним із провідних методів їх візуалізації. Використання частот ультразвуку зображене на рисунку 2.

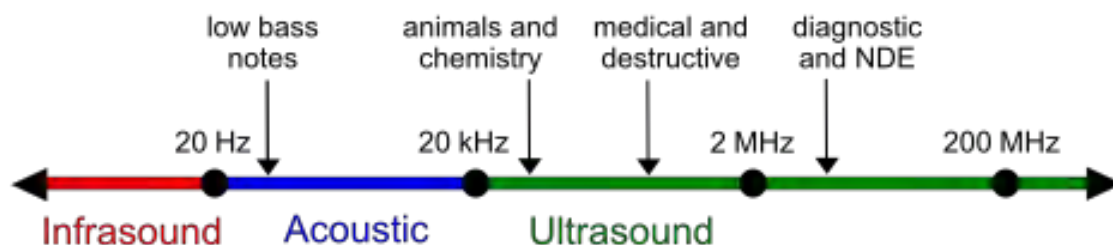


Рисунок 2. Смуга частот для ультразвуку

Але на сьогодні, практично весь частотний діапазон, до декількох МГц, використовують в медичній акустиці.

Для діагностики раку часто потрібні візуалізаційні дослідження, які в багатьох випадках використовують невелику кількість радіації. Такі процедури, як рентген; комп'ютерна томографія (КТ); магнітно-резонансна томографія (МРТ); позитронно-емісійна томографія (ПЕТ) і однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (SPECT) важливі для прийняття клінічних рішень, включаючи терапію та подальше спостереження.

Візуалізаційні тести – фотографування внутрішньої частини тіла – мають ключове значення в діагностиці та лікуванні хворих на рак. Використання діагностичних зображень є одним із перших кроків у клінічному лікуванні раку. Діагностичні радіологічні та ядерно-медичні дослідження відіграють важливу роль у скринінгу, постановці стадії (з'ясування ступеня раку, наприклад, наскільки велика пухлина та чи вона поширилася за межі основного осередку), подальшого спостереження, планування терапії, оцінка відповіді на терапію та тривале спостереження за пацієнтами. [5]

Надійний діагноз необхідний для визначення місця первинної пухлини та оцінки її розміру та поширення на навколишні тканини та інші органи та структури в організмі. Відповідний діагноз має першочергове значення для визначення терапевтичного підходу та встановлення прогнозу.

Шанс на одужання хворого на рак сильно залежить від стадії захворювання на момент встановлення діагнозу. Якщо пухлину діагностовано на ранній стадії – до того, як вона стала занадто великою або поширилася – є ймовірність успішного лікування пухлини. Раннє виявлення раку залежить від багатьох факторів: скринінг групи ризику; здатність пацієнтів і медичних працівників розпізнавати тривожні ознаки; використання діагностичних методів для диференціації раку від інших процесів, а також для точного визначення локалізації та поширення пухлини. Сучасні технології діагностичної візуалізації дають можливість розрізняти тканини з точністю до міліметра за допомогою МРТ і рентгенівської КТ, а спектр ПЕТ і ОФЕКТ становлять кілька міліметрів.

Діагностичну візуалізацію можна розділити на дві великі категорії: методи, які дуже точно визначають анатомічні деталі, і ті, які створюють функціональні або молекулярні зображення. [18]

Перший метод (з використанням КТ та МРТ) може надати детальну інформацію про локалізацію ураження, розмір, морфологію та структурні зміни навколишніх тканин, але надає лише обмежену інформацію щодо функціонування пухлини.

Другий метод (з використанням ПЕТ та ОФЕКТ) може дати уявлення про фізіологію пухлини аж до молекулярного рівня, але не може надати анатомічних деталей.

Поєднання цих двох методів дозволяє об'єднати анатомію та функції в єдиний підхід. Запровадження такої «гібридної» візуалізації дозволило охарактеризувати пухлини на всіх стадіях.

Використання різних діагностичних методів візуалізації, які використовують різні форми випромінювання, такі як рентген (КТ і рентгенографія) і гамма-промені (ПЕТ і ОФЕКТ), зробило революцію в лікуванні онкологічних пацієнтів. Такі технології, як позитронно-емісійна томографія (ПЕТ), які базуються на використанні радіофармацевтичних препаратів, є проривом у медичній практиці завдяки їхній здатності розшифровувати, не відкриваючи людське тіло, що відбувається на молекулярному рівні в певній



клітині чи тканині. Інформація, отримана за допомогою цих методів, дозволила значно покращити лікування пацієнтів і правильний розподіл ресурсів охорони здоров'я.

### 1.3. Огляд існуючих систем

Я розглядала декілька існуючих робіт щодо розпізнавання хвороб на ультразвукових зображеннях, але хотіла б навести як приклад статтю про розпізнавання пухлин на УЗ зображеннях печінки з використанням вирішальних правил. Мені здалося це модифікаційним рішенням, яке сприятливо впливає на результат дослідження.

У статті автор каже, що не завжди простір параметрів, що описують стан пацієнта, є метричним, коли основою прийняття рішень може бути певна міра близькості у цьому просторі. Відомі зв'язки та закономірності можуть бути неповними, ситуативними, логічними та приватними, а дані про пацієнта – розпливчастими, якісними. У таких ситуаціях при розробці комп'ютерних діагностичних систем найчастіше використовується підхід, що базується на правилах. [48, 49]

Однією з важливих переваг методів, заснованих на правилах, є їхня близькість до схеми прийняття рішень експертом-лікарем, який у процесі прийняття рішень може керуватися не лише своїм особистим досвідом, а й так званими клінічними вирішальними правилами, викладеними у відповідних інструкціях, керівництвах тощо. [25]

Ефективність програмної реалізації експертних правил, які використовуються лікарями, залежить від низки факторів.

Основними з них є:

- Спосіб отримання вхідних даних про пацієнта
- Складність процедури застосування (виконання) правил.

Існують декілька вимог:

- Області інтересу на зображенні повинна бути простою. Область інтересу, що підлягає аналізу, повинна мати прямокутну форму, яка легко

задається користувачем за допомогою будь-якого сучасного пристрою інтерактивної взаємодії з комп'ютером.

- Ручне "окреслення" (сегментація) країв передбачуваної пухлини або іншого об'єкта на зображенні не потрібно.
- Довільний зміст галузі інтересу.
- Високий рівень автоматизації процесу аналізу.
- Простота інтерпретації результатів.

Розробка запропонованого методу розпізнавання злоякісних пухлин на ультра звукових зображеннях печінки була виконана в три етапи:

1. Відбір ознак ультразвукових зображень, які є потенційно корисними для вирішення задачі розпізнавання пухлин. (рис. 3)

2. Вибір діагностичної шкали для представлення результатів та формування вирішальних правил

3. Програмна реалізація вирішальних правил та комплексне тестування

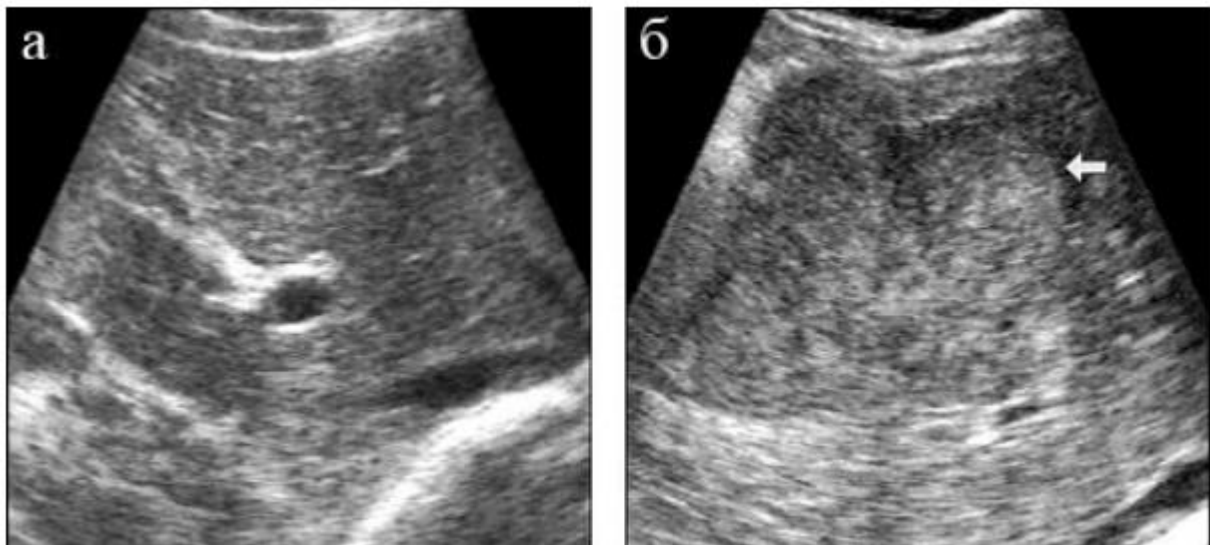


Рисунок 3. Приклади вихідних зображень нормальної печінки (а) і печінки з пухлиною (б)

Як кількісний параметр, що характеризує ступінь анізотропії, використовували коефіцієнт анізотропії  $k_a \geq 1$ , який визначали за формулою 1.

$$k_a = \frac{\max_i(w_i)}{\min_i(w_i)} \quad [1]$$

Крім того, з огляду на характерну витягнутість орієнтаційних гістограм ультразвукових зображень, корисним виявився також параметр, що кількісно виражає її вертикальну складову, який було умовно названо коефіцієнтом вертикальності.

Для  $N = 6$  цей коефіцієнт природним чином визначається за формулою 2.

$$k_v = \frac{w_3 + w_4}{w_1 + w_6} \quad [2]$$

Експериментальна оцінка дискримінаційної здатності коефіцієнта анізотропії ка показала, що його використання забезпечує від 80 до 90% коректних віднесень ділянки до пухлини або норми. Слід зазначити, що зазначений рівень коректності досягався лише за умови відсутності в полі зору таких шумових факторів, як великі кровоносні судини, краї органу, специфічні структури у верхній ділянці сектора сканування та ін. [48, 50]

За результатами статті можна зробити висновок, що для набору УЗД запропонований метод розпізнавання довільних областей інтересу на основі набору правил дозволяє досягти задовільної якості розпізнавання пухлин для 96,8% тестових областей інтересу розміром  $64 \times 64$  пікселя. Проте відносно мала кількість використаних тестових зображень не дозволяє стверджувати, що отримані результати є стійкими. Необхідно провести комплекс додаткових досліджень, перш ніж запропонований метод може бути рекомендований для використання у реальному діагностичному процесі.

#### **1.4. Висновки до розділу**

Вивчаючи літературу, можна з упевненістю сказати, що тема визначення захворювання за УЗ зображенням є актуальною, тому що виявити проблему на ранніх стадіях, а також діагностувати поширення пухлини на інших органах досить важливо, так як це може викликати серйозні наслідки.

В останні десятиліття завдяки розвитку і застосуванню сучасних методів діагностики, появленню нової діагностичної апаратури, розвитку інформаційних технологій істотно збільшилися можливості постановки правильного діагнозу. Серед основних проблем, які виникають при спробах автоматизації процесу діагностики, можна відзначити вибір параметрів, для постановки достовірного діагнозу, і побудову надійного алгоритму, необхідного для роботи в умовах значної проблеми та зміни вхідних даних.

При розробці приладу варто звернути увагу на особливості тієї чи іншої хвороби для більш точного діагнозу.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

### **2.1. Ультразвук як метод неруйнівного контролю**

Ультразвукове дослідження є неінвазійним методом візуалізації. Ультразвукове зображення називається сонограмою. Ультразвук використовує високочастотні звукові хвилі для створення в реальному часі зображень або відео внутрішніх органів або інших м'яких тканин, наприклад кровоносних судин. [5]

Ультразвук дозволяє медичним працівникам «бачити» деталі м'яких тканин усередині вашого тіла, не роблячи жодних розрізів (порізів). І на відміну від рентгену, ультразвук не використовує випромінювання.

Під час ультразвукового дослідження медичний працівник проводить пристрій, який називається датчиком або зондом, над ділянкою вашого тіла або всередині отвору тіла. Лікар наносить тонкий шар гелю на вашу шкіру, щоб ультразвукові хвилі передавалися від датчика через гель у ваше тіло.

Зонд перетворює електричний струм у високочастотні звукові хвилі та надсилає хвилі в тканини вашого тіла. Ви не чуєте звукових хвиль.

Звукові хвилі відбиваються від структур усередині вашого тіла та повертаються до зонда, який перетворює хвилі на електричні сигнали. Потім комп'ютер перетворює схему електричних сигналів у зображення чи відео в реальному часі, які відображаються на екрані комп'ютера поруч.

#### **2.1.1. Типи ультразвуку**

Для різних станів існують різні методи ультразвукового дослідження. [18]

- Соногістерографія

Гістеросонографія, яку також називають соногістерографією, використовує звукові хвилі для отримання зображень внутрішньої частини матки жінки та допомагає діагностувати багато проблем, включаючи незрозумілі вагінальні кровотечі, безпліддя та повторні викидні. Гістеросонографія проводиться дуже схоже на гінекологічне обстеження. Ваш лікар вставить дзеркало у вашу піхву та вставить катетер у порожнину матки. Ультразвук не використовує іонізуюче

випромінювання, не має відомих шкідливих ефектів і забезпечує чітке зображення м'яких тканин, які погано видно на рентгенівських променях.

- Акушерське УЗД

Акушерське ультразвукове дослідження використовує звукові хвилі для отримання зображень дитини (ембріона або плоду) у вагітної жінки, а також матки та яєчників матері. Він не використовує іонізуюче випромінювання, не має відомих шкідливих ефектів і є кращим методом спостереження за вагітними жінками та їхніми ненародженими дітьми.

- УЗД черевної порожнини

Ультразвукове зображення черевної порожнини використовує звукові хвилі для отримання зображень структур у верхній частині черевної порожнини. Він використовується, щоб допомогти діагностувати біль або розширення (збільшення) і оцінити нирки, печінку, жовчний міхур, жовчні протоки, підшлункову залозу, селезінку та черевну аорту. УЗД є безпечним, неінвазивним і не використовує іонізуюче випромінювання.

- Педіатричне УЗД - черевна порожнина

Дитяче (педіатричне) ультразвукове зображення живота використовує звукові хвилі для отримання зображень внутрішньої частини тіла. Він не використовує радіацію та не має відомих шкідливих наслідків. Це дуже корисно для оцінки причин болю в животі, тазі або мошонці у дітей.

- УЗД молочних залоз

Ультразвукове зображення молочної залози використовує звукові хвилі для отримання зображень внутрішніх структур грудей. Він використовується для діагностики ущільнень у грудях або інших аномалій, виявлених під час фізичного огляду, мамографії чи МРТ молочної залози. Ультразвукове дослідження є безпечним, неінвазивним і не використовує радіацію.

- УЗД сонних артерій

Ультразвукове дослідження сонних артерій використовує звукові хвилі для отримання зображень сонних артерій шиї, які несуть кров від серця до мозку. Ультразвукове доплерівське дослідження – метод, який оцінює кровотік через

кровоносну судину – зазвичай є частиною цього обстеження. Його найчастіше використовують для обстеження пацієнтів на закупорку або звуження сонних артерій, стан, що називається стенозом, який може збільшити ризик інсульту.

- Загальне УЗД

Ультразвукове зображення використовує звукові хвилі для отримання зображень внутрішньої частини тіла. Це допомагає діагностувати причини болю, набряку та інфекції у внутрішніх органах тіла та обстежити ненароджену дитину (плід) у вагітних. У немовлят лікарі зазвичай використовують ультразвук для оцінки мозку, стегон і хребта. [13] Це також допомагає скерувати біопсію, діагностувати захворювання серця та оцінити пошкодження після серцевого нападу. Ультразвукове дослідження є безпечним, неінвазивним і не використовує радіацію.

- УЗД малого тазу

Ультразвукове зображення малого тазу використовує звукові хвилі для отримання зображень структур і органів у нижній частині живота та тазу. Існує три види УЗД органів малого тазу: черевна порожнина, вагінальна (для жінок) і ректальна (для чоловіків). Ці обстеження часто використовуються для оцінки репродуктивної та сечовидільної систем. УЗД є безпечним, неінвазивним і не використовує іонізуюче випромінювання.

- УЗД простати

Ультразвукове дослідження передміхурової залози використовує звукові хвилі, щоб створити зображення передміхурової залози чоловіка та допомогти діагностувати такі симптоми, як утруднене сечовипускання або підвищений результат аналізу крові. Він також використовується для дослідження вузла, виявленого під час ректального обстеження, виявлення аномалій і визначення того, чи збільшена залоза. УЗД є безпечним, неінвазивним і не використовує іонізуюче випромінювання.

- УЗД мошонки

Ультразвукове зображення мошонки використовує звукові хвилі для отримання зображень яєчок чоловіка та навколишніх тканин. Це основний метод,

який використовується для оцінки захворювань яєчок, придатків яєчок (трубок, розташованих безпосередньо біля яєчок, які збирають сперму) і мошонки.

- УЗД щитовидної залози

УЗД щитовидної залози використовує звукові хвилі для отримання зображень щитовидної залози всередині шиї. Він не використовує іонізуюче випромінювання та зазвичай використовується для оцінки грудок або вузликів, виявлених під час звичайного фізичного або іншого візуалізації.

- УЗД вен

Ультразвукове дослідження вен використовує звукові хвилі для створення зображень вен тіла. Його зазвичай використовують для пошуку тромбів, особливо у венах ніг – стан, який часто називають тромбозом глибоких вен. Ультразвук не використовує іонізуюче випромінювання та не має шкідливих наслідків.

- Біопсія молочної залози під контролем УЗД

Біопсія молочної залози під контролем ультразвуку використовує звукові хвилі, щоб допомогти знайти ущільнення або аномалію та взяти зразок тканини для дослідження під мікроскопом. Вона менш інвазивна, ніж хірургічна біопсія, не залишає рубців або не залишає шрамів і не передбачає впливу іонізуючого випромінювання.

### **2.1.2. Використання**

Ультразвукове дослідження може допомогти діагностувати різноманітні стани та оцінити пошкодження органів після хвороби.[13]

Ультразвук є корисним способом обстеження багатьох внутрішніх органів тіла, включаючи, але не обмежуючись:

- серце і кровоносні судини, включаючи черевну аорту та її основні гілки
- печінка
- жовчний міхур
- селезінка
- підшлункової залози
- нирки



- сечовий міхур
- матка, яєчники та ненароджена дитина (плід) у вагітних
- очі
- щитовидної та паращитовидної залоз
- мошонка (яєчка)
- мозок у немовлят
- стегна у немовлят
- хребет у немовлят
- Ультразвук також використовується для:
- керування такими процедурами, як пункційна біопсія, під час якої голками видаляють клітини з аномальної ділянки для лабораторного дослідження.
- знімок грудей і проведення біопсії раку молочної залози (див. сторінку Біопсія молочної залози під контролем УЗД.
- діагностування різноманітних захворювання серця, включаючи проблеми з клапанами та застійну серцеву недостатність, а також оцінити пошкодження після серцевого нападу. УЗД серця зазвичай називають «ехокардіограмою» або скорочено «луною».

Ультразвуковий доплер допомагає лікарю побачити та оцінити:

- закупорки кровотоку (наприклад, згустки)
- звуження судин
- пухлини і вроджені вади розвитку судин
- знижений або відсутній приплив крові до різних органів, таких як яєчка або яєчники
- посилення кровотоку, що може бути ознакою інфекції

Маючи знання про швидкість і об'єм кровотоку, отримані за допомогою ультразвукового доплерівського зображення, лікар часто може визначити, чи є пацієнт хорошим кандидатом на таку процедуру, як ангіопластика.

### 2.1.3. УЗ діагностика та отримання зображень

Ультразвукове зображення використовує звукові хвилі для отримання зображень внутрішньої частини тіла. Це допомагає діагностувати причини болю, набряку та інфекції у внутрішніх органах тіла та обстежити ненароджену дитину (плід) у вагітних. У немовлят лікарі зазвичай використовують ультразвук для оцінки мозку, стегон і хребта. Це також допомагає скерувати біопсію, діагностувати захворювання серця та оцінити пошкодження після серцевого нападу. Ультразвукове дослідження є безпечним, неінвазивним і не використовує радіацію.[1]

Звичайне ультразвукове дослідження відображає зображення на тонких плоских ділянках тіла. Удосконалення ультразвукової технології включає тривимірний (3-D) ультразвук, який форматує дані звукової хвилі в 3-D зображення.

Допплерівське ультразвукове дослідження може бути частиною ультразвукового дослідження.

Ультразвукова доплерографія - це спеціальна ультразвукова техніка, яка оцінює рух матеріалів в організмі. Це дозволяє лікарю побачити та оцінити кровотік через артерії та вени в тілі. [1]

Існує три типи ультразвукового доплера:

- Кольоровий доплер використовує комп'ютер для перетворення доплерівських вимірювань у масив кольорів, щоб показати швидкість і напрямок кровотоку через кровоносну судину.
- Енергетичний доплер — це новітній метод, який є більш чутливим, ніж кольоровий доплер, і здатний забезпечити більш детальну картину кровотоку, особливо коли кровотік невеликий або мінімальний. Проте енергетичний доплер не допомагає рентгенологу визначити напрямок кровотоку, що може бути важливим у деяких ситуаціях.
- Спектральний доплер відображає вимірювання кровотоку графічно, в термінах пройденої відстані за одиницю часу, а не як кольорове

зображення. Він також може перетворювати інформацію про кровотік у характерний звук, який можна почути з кожним ударом серця.

Ультразвукове дослідження використовує ті самі принципи, що й ехолот, яким користуються кажани, кораблі та рибалки. Коли звукова хвиля вдаряється об об'єкт, вона відскакує або відбивається луною. Вимірюючи ці ехо-хвилі, можна визначити, наскільки далеко знаходиться об'єкт, а також його розмір, форму та консистенцію. Це стосується того, чи є об'єкт твердим або наповненим рідиною.

Лікарі використовують ультразвук для виявлення змін зовнішнього вигляду органів, тканин і судин, а також для виявлення аномальних утворень, таких як пухлини.

Під час ультразвукового обстеження датчик надсилає звукові хвилі та записує відлуння (повернення). Коли датчик притискається до шкіри, він посилає в тіло невеликі імпульси нечутних високочастотних звукових хвиль.

Коли звукові хвилі відбиваються від внутрішніх органів, рідин і тканин, чутливий приймач у перетворювачі фіксує незначні зміни у висоті та напрямку звуку. Комп'ютер миттєво вимірює ці характерні хвилі та відображає їх у вигляді зображень у реальному часі на моніторі. Технолог зазвичай фіксує один або кілька кадрів рухомих зображень як нерухомі зображення. Вони також можуть зберігати короткі цикли відео із зображеннями.[18]

Ультразвукова доплерографія, спеціальна ультразвукова техніка, вимірює напрямок і швидкість клітин крові під час їх руху по судинах. Рух клітин крові викликає зміну висоти відбитих звукових хвиль (так званий ефект Доплера). Комп'ютер збирає та обробляє звуки та створює графіки або кольорові зображення, які представляють потік крові через кровоносні судини.

#### **2.1.4. Переваги та недоліки**

До переваг ультразвукового дослідження відносяться наступні пункти:

- Більшість ультразвукових сканувань є неінвазивними (без голоч чи ін'єкцій).

- Іноді ультразвукове дослідження може бути тимчасово незручним, але воно не повинно бути болісним.
- Ультразвукове дослідження широко доступне, просте у використанні та дешевше, ніж більшість інших методів візуалізації.
- Ультразвукове дослідження є надзвичайно безпечним і не використовує випромінювання.
- Ультразвукове сканування дає чітке зображення м'яких тканин, які погано видно на рентгенівських знімках.
- Ультразвукове дослідження є кращим методом візуалізації для діагностики та спостереження за вагітними жінками та їхніми ненародженими дітьми.
- УЗД забезпечує зображення в режимі реального часу. Це робить його хорошим інструментом для проведення мінімально інвазивних процедур, таких як голкова біопсія та аспірація рідини.

Стандартне діагностичне ультразвукове дослідження не має шкідливого впливу на людину.[13]

Варто пам'ятати, що існують деякі обмеження:

Ультразвукові хвилі порушуються повітрям або газом. Тому ультразвукове дослідження не є ідеальним методом візуалізації заповненого повітрям кишечника або органів, закритих кишечником. Ультразвук не настільки корисний для зображення заповнених повітрям легень, але його можна використовувати для виявлення рідини навколо або всередині легень. Подібним чином ультразвук не може проникнути крізь кістку, але може використовуватися для візуалізації переломів кісток або інфекції, що оточує кістку.

Більш габаритних пацієнтів важче відобразити за допомогою ультразвуку, оскільки більша кількість тканини послаблює звукові хвилі, коли вони проходять глибше в тіло, і їх потрібно повертати до датчика для аналізу.[13]

Ультразвук важко проникає в кістку, тому може бачити лише зовнішню поверхню кісткових структур, а не те, що знаходиться всередині (за винятком немовлят, у яких у скелеті більше хрящів, ніж у старших дітей або дорослих).

Лікарі зазвичай використовують інші методи візуалізації, такі як МРТ, щоб візуалізувати внутрішню структуру кісток або певних суглобів.

## **2.2. Загальні відомості про нейронні мережі**

### **2.2.1. Типи завдань машинного навчання та методи**

Нижче наведено деякі з ключових завдань, які можна виконати за допомогою моделей машинного навчання:

#### **1. Регресія**

Завдання регресії в основному мають справу з оцінкою числових значень (безперервних змінних). Деякі з прикладів включають оцінку ціни житла, ціни продукту, ціни акцій тощо. [2]

Деякі з наведених нижче методів можна використовувати для вирішення проблем регресії:

- Ядерна регресія (вища точність)
- Регресія процесу Гауса (вища точність)
- Дерева регресії
- Лінійна регресія
- Підтримка векторної регресії
- Глибоке навчання
- Випадкові ліси

#### **2. Класифікація**

Завдання класифікації пов'язані з прогнозуванням категорії даних. Одним із найпоширеніших прикладів є визначення того, чи спамом є електронний лист чи ні. Деякі типові випадки використання можна знайти в галузі охорони здоров'я, наприклад, чи страждає людина певною хворобою чи ні. Його також можна застосувати у фінансових випадках, таких як визначення того, чи є транзакція шахрайством чи ні. [4]

Для вирішення завдань класифікації можна застосувати такі методи, як наведені нижче:

- Дискримінантний аналіз ядра (вища точність)
- К-найближчі сусіди (вища точність)
- Штучні нейронні мережі (ШНМ) (вища точність)
- Машина опорних векторів (SVM) (вища точність)
- Випадкові ліси (вища точність)
- Деревя рішень
- Підвищені дерева
- Логістична регресія
- наївний Байєс
- Глибоке навчання

### 3. Кластеризація

Завдання кластеризації стосуються пошуку природних груп даних і мітки, пов'язаної з кожною з цих груп (кластерів). Деякі з поширених прикладів включають сегментацію клієнтів і ідентифікацію характеристик продукту для дорожньої карти продукту. [6]

Для вирішення завдань кластеризації можна застосувати такі методи, як наведені нижче:

- Деякі з наведених нижче методів ML:
- Середній зсув (вища точність)
- Ієрархічна кластеризація
- К-означає
- Тематичні моделі

### 4. Багатоваріантний запит

Багатоваріантний запит стосується запитів або пошуку схожих об'єктів. Методи, які можуть бути використані для вирішення задачі:

- Найближчі сусіди
- Пошук діапазону
- Найдальші сусіди

### 5. Оцінка щільності ймовірності та функції маси

Проблеми оцінювання функції щільності ймовірності пов'язані з визначенням ймовірності або частоти об'єктів. У ймовірності та статистиці оцінка щільності — це побудова оцінки на основі спостережених даних неспостережуваної основної функції щільності ймовірності. [7]

Перелічені методи можна використовувати для вирішення завдань оцінки щільності:

- Оцінка щільності ядра (вища точність)
- Суміш гаусів
- Дерево оцінки щільності

#### 6. Машинний переклад

Машинний переклад — це процес перекладу тексту з однієї мови на іншу за допомогою алгоритмів машинного навчання. Існує багато різних завдань машинного перекладу, наприклад машинний переклад документів, машинний переклад мови та машинний переклад веб-сторінок. Моделі глибокого навчання досягли найсучасніших результатів у багатьох завданнях машинного перекладу. Наприклад, моделі глибокого навчання використовувалися для машинного перекладу веб-сторінок з англійської на китайську з точністю, близькою до людського рівня. Крім того, моделі глибокого навчання використовувалися для машинного перекладу мовлення з англійської на французьку з точністю, близькою до людського рівня. Машинний переклад є важливим застосуванням машинного навчання, яке може змінити спосіб спілкування людей один з одним.

#### 7. Виявлення аномалій:

Виявлення аномалій – це процес виявлення незвичайних моделей у даних, які не відповідають очікуваній поведінці. Він часто використовується в широкому діапазоні додатків, таких як виявлення шахрайської діяльності у фінансових даних, виявлення зловмисної поведінки в даних мережевого трафіку та виявлення несправностей обладнання в даних датчиків. Виявлення аномалій можна виконувати за допомогою різноманітних моделей машинного навчання, наприклад, методів на основі щільності, методів на основі кластерів і методів на основі правил. Кожен із цих методів має свої сильні та слабкі сторони, тому

важливо вибрати правильну модель для конкретного застосування. Виявлення аномалій за допомогою машинного навчання є складним процесом, але він може бути надзвичайно ефективним у виявленні рідкісних подій, які інакше були б пропущені.[29]

## 8. Синтез і вибірка

Синтез і вибірка є важливими завданнями глибокого та машинного навчання. Вони використовуються для створення нових даних із наявних даних або для вибору репрезентативної підмножини даних для подальшого аналізу. Синтез і вибірка часто використовуються разом, щоб створити більш різноманітний і репрезентативний набір даних. Синтез можна використовувати для створення нових точок даних шляхом екстраполяції існуючих точок даних. Наприклад, якщо у нас є набір даних із зображеннями тварин, ми можемо використовувати синтез для створення нових зображень тварин, подібних до зображень у наборі даних. Вибірку можна використовувати для вибору підмножини даних, яка є репрезентативною для всього набору даних. Наприклад, якщо у нас є набір даних із зображеннями тварин, ми можемо використовувати вибірку, щоб вибрати підмножину зображень, яка представляє всі різні типи тварин у наборі даних.[35]

## 9. Транскрипція

Завдання транскрипції передбачають перетворення аудіо- чи відеозаписів або зображень із текстом у письмовий текст. Вони зазвичай використовуються в таких сферах, як журналістика, наука та медицина. В останні роки завдання транскрипції були певною мірою автоматизовані за допомогою алгоритмів машинного навчання. Моделі глибокого навчання можна навчити транскрибувати аудіозаписи з високим ступенем точності. Однак ці моделі вимагають великої кількості даних для навчання, і вони часто мають проблеми з фоновим шумом і акцентами. Як наслідок, транскрипція все ще залишається переважно ручним завданням. Професійні транскрипціоністи використовують свої знання мови та увагу до деталей, щоб надавати точні послуги транскрипції. [27]



## 2.2.2. Основні алгоритми моделей машинного навчання для виявлення аномалій

Тепер розглянемо деякі з конкретних алгоритмів машинного навчання для виявлення аномалій.

### 1. Модель ізольованого лісу

Алгоритм машинного навчання виявлення аномалій використовує деревоподібний підхід для ізоляції аномалій після моделювання на «звичайних» даних у неконтрольований спосіб. Подібно до випадкових лісів, цей алгоритм ініціалізує дерева рішень випадковим чином і продовжує розбивати вузли на гілки, доки всі зразки не будуть на листках. Крім того, оскільки аномалії, як правило, відрізняються від решти даних, вони з меншою ймовірністю проникнуть глибше в дерево і виростуть в окрему гілку раніше, ніж решта. Ця ізоляція зазвичай ізолює аномалії від регулярних екземплярів у всіх деревах рішень. [11]

### 2. DBSCAN

DBSCAN або просторова кластеризація додатків із шумом на основі щільності — це алгоритм машинного навчання кластеризації на основі щільності для кластеризації нормальних даних і виявлення викидів у неконтрольований спосіб. Він кластеризує точки даних на основі безперервних областей із високою щільністю точок і визначає ідеальну кількість кластерів, які потрібно сформувати. При такому підході, що базується на щільності, викиди залишаються без кластерів і, таким чином, їх легко помітити. [12]

Алгоритм роботи наступний:

- Поки немає невідвіданої точки, нова точка вибирається випадковим чином.
- Усі точки на відстані  $\epsilon$  від поточної точки належать до одного кластера.
- Алгоритм рекурсивно продовжує кожну з цих останніх відвіданих точок, щоб знайти інші точки, які знаходяться на відстані  $\epsilon$  від них самих.

- Якщо набрані бали  $\text{minPts}$ , кластер формується офіційно.
- Коли кластер сформовано, і більше точок не можна додавати, алгоритм випадковим чином вибирає іншу точку з тих, які ще не були відвідані.

Оскільки відстань тут є ключовим показником кластеризації, набір даних машинного навчання для виявлення аномалій має бути чистим і нормалізованим.

### 3. Support Vector Machine (SVM)

Модель SVM — це модель навчання під наглядом, яка в основному використовується для класифікації. Її здатність створювати підплощини шляхом проектування даних в альтернативні векторні простори зробила машинне навчання ефективною моделлю класифікації. SVM працює лише з двома класами для виявлення аномалій і навчає модель максимізувати різницю або відстань між двома групами даних у своєму прогнозованому векторному просторі. Він також може працювати з багатокласовими методами. [14]

Тим не менш, аномалії визначаються шляхом перевірки точок, що лежать за межами діапазону категорії. Однак у найпростішому випадку широко використовується однокласова SVM. Він використовує SVM, щоб визначити, чи належить точка даних до «нормального» класу чи ні – бінарна класифікація.

### 4. Local Outlier Factor (LOF)

LOF — ще один алгоритм кластеризації на основі щільності, який знайшов таку ж популярність і використання, як DBSCAN. Однак, на відміну від методу глобальної кластеризації, LOF розглядає околиці даної точки та вирішує її достовірність на основі того, наскільки добре вона вписується в щільність місцевості. LOF працює добре, оскільки враховує, що щільність дійсного кластера може не бути однаковою в усьому наборі даних. [16]

Таким чином, алгоритм дотримується інтуїтивно зрозумілої послідовності: точка може бути на невеликій відстані від дуже щільно упакованого кластера.

### 5. Autoencoders

Моделі глибокого навчання, особливо автокодері, ідеально підходять для напівконтрольованого навчання. Як правило, ці моделі мають велику кількість параметрів, які можна навчити, для правильного налаштування яких потрібна

велика кількість даних. Таким чином, попередня підготовка є чудовою відправною точкою для вирішення різноманітних завдань. Моделі глибоких нейронних мереж вправно охоплюють простір даних і моделюють розподіл даних як структурованих, так і неструктурованих наборів даних. Попереднє навчання цих моделей без нагляду означає просто «показати» моделі, як виглядає наш світ даних. Наприклад, моделі класифікації зображень, попередньо навчені на ImageNet і налаштовані на меншому наборі даних для конкретної області, більш практичні та ефективніші, ніж моделі, навчені лише на наборах даних для конкретної області (навіть якщо вони великі).

Таким чином, для виявлення аномалій ми можемо просто попередньо навчити автокодер, щоб навчити його, як виглядає світ даних (або як виглядає «нормальний»). А потім ми можемо налаштувати його за допомогою позначеного набору даних, який навчить модель розуміти, як виглядає «ненормальне». [20]

Під час навчання автокодер навчається, стискаючи (або кодуючи) вхідні дані в простір нижчої розмірності, таким чином вилучаючи з даних лише важливі характеристики (подібно до зменшення розмірності). Потім він дізнається, як використовувати ці мінімальні дані для реконструкції (або декодування) вихідних даних з якомога меншою помилкою реконструкції (або різницею). Перша частина автокодувальника називається кодувальником, який зменшує розміри, а друга половина називається декодером, який реконструює закодовані дані. [4]

Таким чином, коли цей автокодер попередньо навчений на «нормальному» наборі даних, він точно налаштований для класифікації між нормальним і аномальним.

### **2.2.3. Застосування у реальному житті**

У реальному світі популярні програми для виявлення аномалій у глибокому навчанні включають виявлення спаму або шахрайських банківських транзакцій. Системи вже діють у більшості великих банків, і органи влади отримують сповіщення про незвичайно високі витрати або кредитну діяльність на чийомусь рахунку. Термін «незвичайно високий» може бути визначений на основі кожного

користувача або сукупно на основі типу облікового запису. У промисловості програми виявлення аномалій, підключені до обладнання, можуть допомогти помітити нерегулярні або небезпечні рівні температури або рухи деталей або відфільтрувати дефектні матеріали (наприклад, відфільтрувати дивні на вигляд харчові інгредієнти перед їх обробкою та упаковкою). З огляду на те, що дані можуть підтвердити рішення та доступні достатньо надійні дані, виявлення аномалії може потенційно врятувати життя.[18]

В іншому випадку використання алгоритми машинного навчання виявлення аномалій також можна використовувати для завдань класифікації, коли дисбаланс класів у навчальних даних високий. Наприклад, можна зібрати зображення різних видів квітів і рослин для завдання класифікації за кількома класами. Однак для одного конкретного виду, ймовірно, доступно недостатньо даних, що призведе до дисбалансу в наборі даних. У такому випадку модель може розглядати цей клас як аномалію та класифікувати види по-іншому. Це особливо актуально для медичної діагностики, де є лише кілька зразків (зображень або звітів про тестування), де присутня хвороба, причому більшість із них є доброякісними. У цих випадках виявлення аномалії знову може стати порятунком життя.

Більше випадків використання:

- Банківська справа, страхування та фінанси

Регулярні платіжні звички та статистику витрат за профілями користувачів можна покласти в основу моделей шахрайства з кредитними картками та виявлення несанкціонованого доступу.

- Охорона здоров'я

Спеціалізовані алгоритми можуть допомогти ефективніше виявити аномалії, наприклад, на рентгенівських знімках, поставити точніший діагноз і зменшити кількість медичних помилок. У сфері запліднення *in vitro* алгоритми ML також допомагають аналізувати дані, зібрані за допомогою цифрового мікроскопа, щоб передбачити якість ембріонів без або з мінімальним людським фактором і вибрати найбільш життєздатні. [9]

- Виробництво

Наприклад, датчики, встановлені на різних елементах апаратного забезпечення, можуть відстежувати та збирати дані про загальний робочий стан, передбачаючи можливі технічні проблеми, яких слід уникати, і своєчасно повідомляти про відключення обладнання та промислові пошкодження.

- **Безпека**

Алгоритми машинного навчання можна використовувати для аналізу даних спостереження для більш ретельного розслідування матеріалів справи, тоді як алгоритми перевірки авторизації можуть допомогти посилити захист доступу до даних. Таким чином, спроби несанкціонованого доступу, підозрілі дії (наприклад, незвичайні типи запитів) та інші випадки можна ідентифікувати швидше та точніше, посилюючи загальну кібербезпеку. [10]

- **Електронна комерція**

З точки зору комерційної діяльності виявлення аномалій за допомогою машинного навчання допомагає запобігати витoku конфіденційних даних, виявляти помилки людського фактору, відбивати спроби кіберввторгнення, керувати правами доступу користувачів тощо.

#### **2.2.4. Детальний огляд завдання роботи та методу його вирішення**

Машинне навчання особливо добре у пошуку шаблонів у даних. Одним із застосувань для цього є навчання моделі пошуку аномалій, які є точками даних, які не відповідають виявленій моделі. Це має значення для багатьох галузей, таких як фінанси, інформаційна безпека та медицина. На жаль, більшість аномалій є рідкісними, тому кількість прикладів для них дуже мала порівняно зі звичайними даними.

Аномалія — те, що відрізняється від норми: відхилення, виняток. У розробці програмного забезпечення під аномалією ми розуміємо рідкісний випадок або подію, яка не вписується в шаблон і, отже, здається підозрілою. Виявлення та ідентифікація аномалій — це те, що ми називаємо виявленням аномалій або викидів.

Існують різні види методів виявлення аномалій за допомогою машинного навчання.

## 1. Під наглядом

Для контрольованого виявлення аномалій інженеру з машинного навчання потрібен навчальний набір даних. Елементи в наборі даних поділяються на дві категорії: нормальні та ненормальні. У випадку мого дослідження використовуються три наступні категорії: злоякісні пухлини, доброякісні та їх відсутність. Модель використовуватиме ці приклади для вилучення шаблонів і зможе виявити ненормальні шаблони в раніше невидимих даних.

У навчанні під наглядом якість набору навчальних даних є дуже важливою. Потрібно багато ручної роботи, оскільки хтось має зібрати та позначити приклади.

Примітка: хоча ви можете позначити деякі аномалії та спробувати їх класифікувати (отже, це завдання класифікації), основною метою виявлення аномалій є визначення «точок нормальних даних», а не «точок аномальних даних». Тож у реальних додатках із дуже малою кількістю позначених зразків аномалій це майже ніколи не розглядається як контрольоване завдання.

## 2. Без нагляду

Цей тип виявлення аномалій є найпоширенішим, а найвідомішим представником неконтрольованих алгоритмів є нейронні мережі. [37]

Штучні нейронні мережі дозволяють зменшити кількість ручної роботи, необхідної для попередньої обробки прикладів: не потрібно ручне маркування. Нейронні мережі можна застосовувати навіть до неструктурованих даних. Нейронні мережі можуть виявляти аномалії в немаркованих даних і використовувати отримані знання під час роботи з новими даними.

Перевагою цього методу є те, що він дозволяє зменшити ручну роботу при виявленні аномалій. Крім того, досить часто неможливо передбачити всі аномалії, які можуть виникнути в наборі даних. [40]

Слід пам'ятати, що архітектура нейронних мереж - чорний ящик. Ми часто не знаємо, які саме події нейронні мережі позначатимуть як аномалії, більш того, вони можуть легко засвоїти неправильні правила, які не так легко виправити. Ось

чому неконтрольовані методи виявлення аномалій часто менш надійні, ніж контрольовані.

### 3. Напівнаглядний

Напівконтрольовані методи виявлення аномалій поєднують переваги попередніх двох методів. Інженери можуть застосовувати методи неконтрольованого навчання для автоматизації вивчення функцій і роботи з неструктурованими даними. Однак, поєднуючи це з наглядом людини, вони мають можливість відстежувати та контролювати, які шаблони вивчає модель. Зазвичай це допомагає зробити прогнози моделі більш точними.

Зважаючи на те, що від результату дослідження залежить подальше лікування хвороби, вкрай важливо зробити точний висновок, тому напівнаглядний метод є найбільш доречним, тому що вирішальне слово буде за експертом-лікарем, який у процесі прийняття рішень може керуватися не лише своїм особистим досвідом, а й так званими клінічними вирішальними правилами, викладеними у відповідних інструкціях, керівництвах тощо. [42]

## 2.2.5. Переваги та недоліки різних методів

### 1. Метод k-найближчих сусідів

Метод k-найближчих сусідів — скромний і звичайний непараметричний метод класифікації вибірок.(рис.4) Він обчислює приблизні відстані між точками на вхідних векторах, а потім призначає непозначену точку класу K-найближчих сусідів.

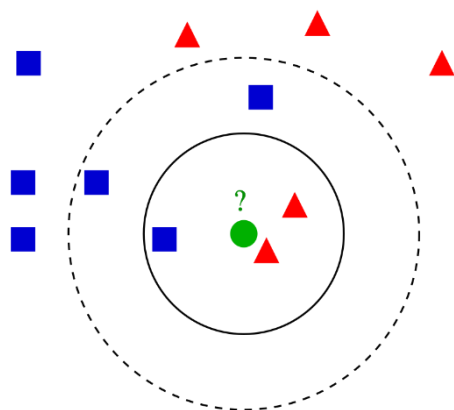


Рисунок 4. Приклад k -NN класифікації

Тестовий зразок (зелене коло) повинен бути класифікований як синій квадрат або як червоний трикутник. Якщо  $k = 3$ , то класифікується як червоний трикутник, тому що всередині меншого кола 2 трикутника і тільки 1 квадрат. Якщо  $k = 5$ , то він буде класифікований як синій квадрат (3 квадрата проти 2-ох трикутників всередині більшого кола).

Найбільш інтуїтивно зрозумілим класифікатором типу найближчого сусіда є той класифікатор найближчого сусіда, який призначає точці  $x$  клас свого найближчого сусіда в просторі ознак. Класифікатор 1-найближчого сусіда наведений у формулі 3.

$$C_n^{lnn} = (x) = Y_{(1)} \quad [3]$$

Переваги:

- Легко зрозуміти, коли прогностичних змінних небагато.
- Корисно для створення моделей, які містять нестандартні типи даних, наприклад текст.

Недоліки:

- Мають великі вимоги до зберігання.
- Він чутливий до вибору функції подібності, яка використовується для порівняння екземплярів.
- У ньому відсутній принциповий спосіб вибору  $k$ , окрім перехресної перевірки чи подібного.
- Велика вартість обчислювальної техніки.

## 2. Контрольована нейронна мережа [4]

Багатошаровий персептрон (MLP) і радіальна базисна функція (RBF) є найбільш часто використовуваними керованими нейронними мережами. (рис.5) Оскільки вони виконують класифікацію шляхом вимірювання відстані між входами та центрами прихованих нейронів RBF, мережі RBF є набагато швидшими, ніж зворотне поширення, що потребує багато часу, і найбільше підходять для проблем із великим розміром вибірки.



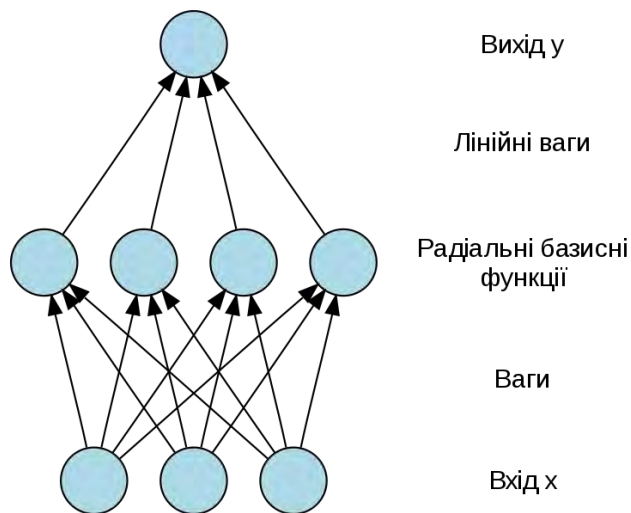


Рисунок 5. Архітектура мережі радіальних базисних функцій.

Вхідний вектор використовується як вхід для всіх радіальних базисних функцій, кожна з яких має різні параметри. Вихід мережі являє собою лінійну комбінацію виходів з радіальних базисних функцій.

Мережі радіально базисних функцій зазвичай мають три шари: вхідний шар, прихований шар з нелінійною RBF функцією активації та лінійний вихідний рівень. Вихід мережі є скалярною функцією вхідного вектора (формула 4).

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^N a_i \rho(\|x - c_i\|) \quad [4]$$

де  $N$  — кількість нейронів у прихованому шарі,  $c_i$  є центральним вектором для нейрона  $i$ , та  $a_i$  — це вага нейрона  $i$  в лінійному виході нейронів.

Переваги:

- Нейронна мережа може виконувати завдання, які не може виконувати лінійна програма.
- Може ефективно вирішувати багато проблем, з якими стикаються підходи на основі правил.
- Коли елемент нейронної мережі виходить з ладу, він може продовжувати роботу без паралельної природи.
- Має високу толерантність до неточних даних і невизначеної інформації
- Має здатність робити висновки на основі даних, не маючи попередніх знань про закономірності в даних.

- Нейронна мережа навчається і її не потрібно перепрограмувати.
- Можна реалізувати в будь-якій програмі.

Недоліки:

- Нейронна мережа потребує навчання для роботи.
- Архітектура нейронної мережі відрізняється від архітектури мікропроцесора; отже, його потрібно наслідувати.
- Вимагає великого часу обробки для великих нейронних мереж.

### 3. Дерево рішень

Дерево рішень є потужним і поширеним інструментом для класифікації та прогнозування. (рис. 6) Це дерево з трьома основними компонентами: вузлами, дугами та листям. Кожен вузол позначено атрибутом функції, який є найбільш інформативним серед атрибутів, які ще не враховані в кореневому шляху. [26]

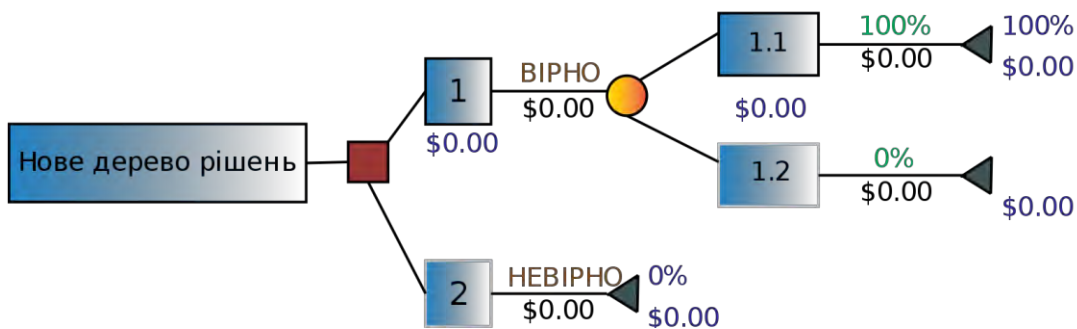


Рисунок 6. Дерево рішень

В інтелектуальному аналізі даних, дерева рішень можуть бути використані як математичні та обчислювальні методи, щоб допомогти описати, класифікувати і узагальнити набір даних. Формат запису набору даних зазначений у формулі 5.

$$(x, Y) = (x_1, x_1, x_1, \dots, x_k, Y) \quad [5]$$

Переваги:

- Простий для розуміння та інтерпретації.
- Може обробляти як числові, так і категоріальні дані.
- Вимагає невеликої підготовки даних.
- Використовує модель білого ящика.
- Добре працює з великими даними за короткий час.
- Перевірити модель можна за допомогою статистичних тестів.

Недоліки:

- Ті, хто вивчає дерево рішень, створюють надскладні дерева, які погано узагальнюють дані.
- Відомо, що вивчення оптимального дерева рішень є NP-повним за кількома аспектами оптимальності та простими концепціями.
- Деякі поняття важко вивчити, оскільки дерева рішень нелегко їх виразити.

#### 4. Метод опорних векторів (SVM) [26]

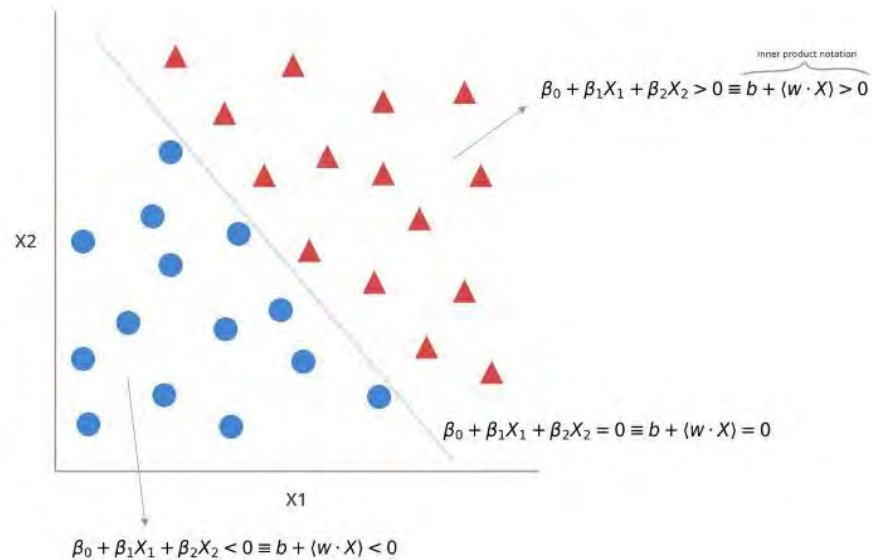


Рисунок 7. Гіперплощина, яка повністю розділяє точки на два класи.

У методах опорних векторів (SVM) вхідний вектор спочатку відображається у просторі ознак більшої розмірності. Розділова гіперплощина, або межа рішення, визначається опорними векторами, а не всією навчальною вибіркою, і є надзвичайно стійкою до викидів.

Переваги:

- Може знайти оптимальну роздільну гіперплощину.
- Може працювати з даними дуже великої розмірності.
- Деякі ядра можуть вивчати дуже складні концепції.

Недоліки:

- Потребує як позитивних, так і негативних прикладів.
- Вимагає багато пам'яті та процесорного часу.

- Необхідно вибрати хорошу функцію ядра.
- Має деякі проблеми чисельної стабільності при розв'язанні обмеження QR.

## 5. Самоорганізаційна Карта Кохонена (SOM) [24]

Самоорганізаційна Карта Кохонена (SOM) навчається за алгоритмом неконтрольованого конкурентного навчання, щоб зменшити візуалізацію даних. (рис. 8)

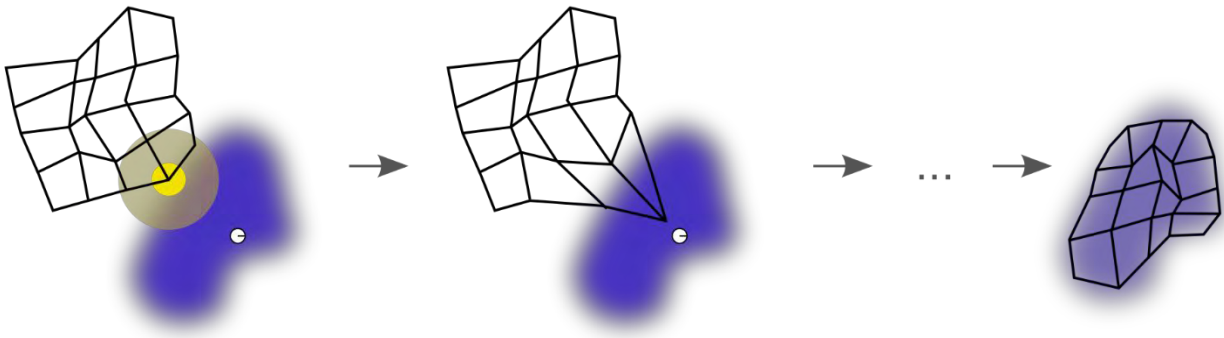


Рисунок 8. Ілюстрація навчання самоорганізаційної карти.

Переваги:

Синя область — це розподіл тренувальних даних, а маленький білий диск — поточна навчальна вибірка, отримана з цих даних. Спочатку (ліворуч) вузли карти довільно розташовані в просторі даних. Вибирається вузол, найближчий до тренувального вузла (виділений жовтим кольором), та переміщується у напрямку тренувальних даних, оскільки  $\epsilon$  (меншою мірою) її сусідами на сітці. Після багатьох ітерацій сітка має тенденцію наближатися до розподілу даних (праворуч).

- Простий і зрозумілий алгоритм, який працює.
- Це неконтрольований алгоритм топологічної кластеризації, який працює з нелінійним набором даних.
- Чудова здатність візуалізувати багатовимірні дані в 1 або 2-вимірному просторі робить його унікальним, особливо для зменшення розмірності.

Недоліки:

- Трудомісткий алгоритм.

## 6. К-середні

Алгоритм К-середні — це традиційний алгоритм кластеризації, який поділяє дані на k кластерів і гарантує, що дані одного кластера подібні. Навпаки, дані в різних кластерах мають низьку схожість. (рис.9)

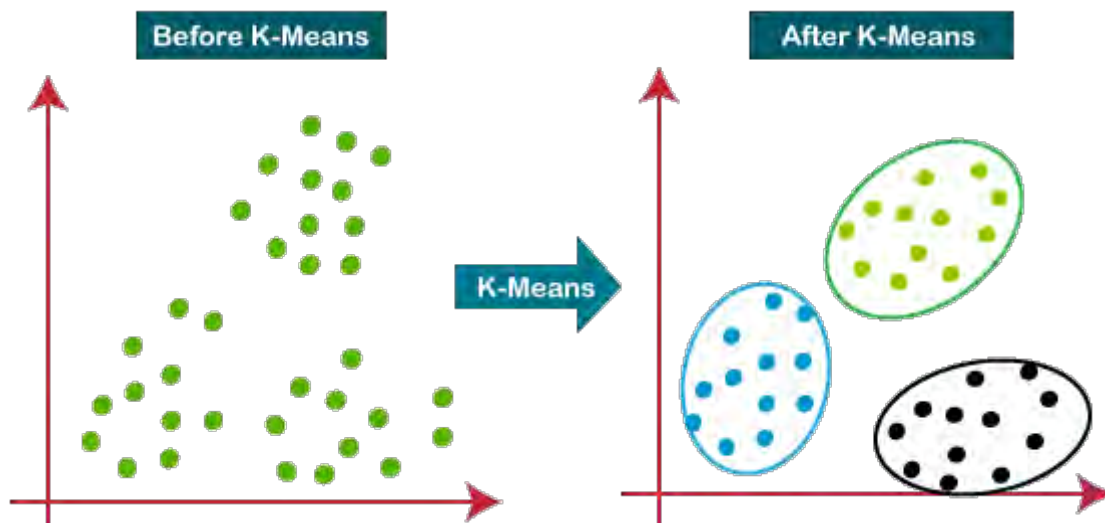


Рисунок 9. Робота алгоритму кластеризації К-середніх.

Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера. Функція наведена у формулі 6.

$$\sum_{i=1}^N d(x_i, m_j(x_i))^2 \quad [6]$$

де  $d$  — метрика,  $x_i$  — об'єкт даних, а  $m_j(x_i)$  — центр кластера, якому на  $j$ -ій ітерації приписаний елемент  $x_i$ .

Переваги:

- Кращий ефект виявлення завдяки чутливості до викидів.
- Низька складність.
- Має високий рівень виявлення.

Недоліки:

- Необхідність зазначення  $k$ .
- Чутливий до шуму та викидів даних.
- Кластери чутливі до початкового призначення центроїдів.

## 7. Нечіткі С-середніх

Нечіткі С-середніх – це метод кластеризації, який дозволяє одній частині даних належати до двох або більше кластерів.(рис.10) Алгоритм С-середніх

подібний до К- середніх, за винятком того, що приналежність кожної точки визначається нечіткою функцією. Виходячи з їх нечіткої приналежності до цього кластера, усі точки сприяють переміщенню центроїда кластера. [33]

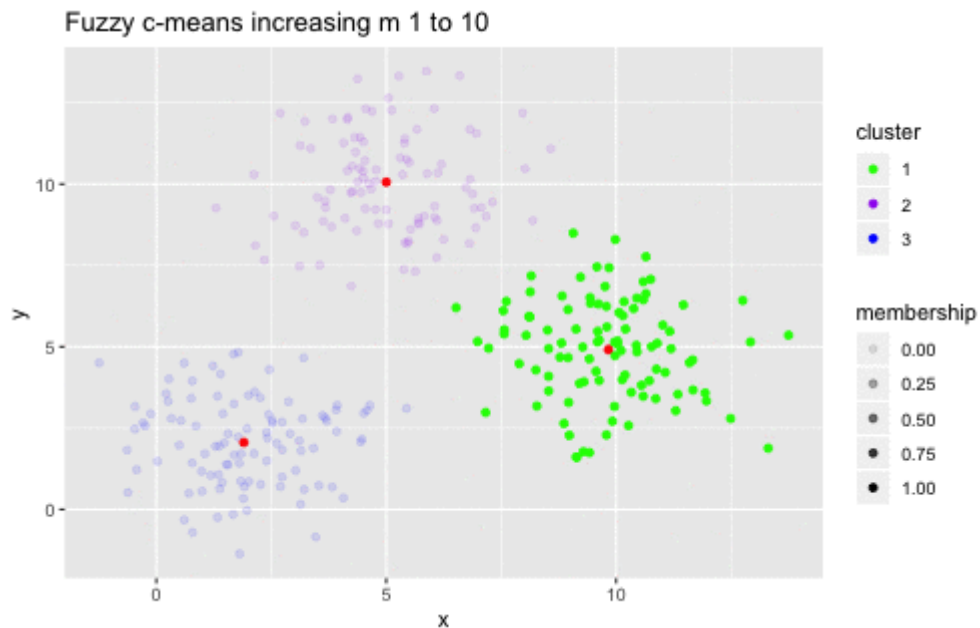


Рисунок 10. Метод нечіткі С-середніх

Розрахунок центроїд кластера як зважений центроїд з урахуванням ймовірностей належності всіх точок даних  $x_i$  наведено у формулі 7.

$$\mu_k(n + 1) = \frac{\sum_{x_i \in k} x_i * P(\mu_k | x_i)^b}{\sum_{x_i \in k} P(\mu_k | x_i)^b} \quad [7]$$

Випадковим чином ініціалізується k-середнє  $\mu_k$ , пов'язане з кластерами, потім обчислюється ймовірність того, що кожна точка даних  $x_i$  є членом заданого кластера k,  $P(\text{точка } x_i \text{ має мітку } k | x_i, k)$ .

Переваги:

- Вирішує проблему та допомагає досягти вищої частоти виявлення, меншої кількості помилкових спрацьовувань і більшої стабільності.
- Дозволяє точці даних бути в кількох кластерах.
- Більш природне уявлення про поведінку генів.
- Використовується в усіх програмах, у яких жорстка класифікація даних не має сенсу і її дуже важко досягти (наприклад, розпізнавання образів).

Недоліки:

- Необхідно визначити номер кластера.
- Необхідно визначити граничне значення членства.
- Кластери чутливі до початкового призначення центроїдів.

#### 8. Алгоритм очікування-максимізації (EM)

EM — це м'який алгоритм кластеризації для знаходження оцінок максимальної ймовірності параметрів у імовірнісних моделях.(рис. 11) Він чергується між обчисленням оцінки ймовірності з використанням поточних параметрів моделі (начебто вони відомі) та обчисленням оцінок максимальної ймовірності параметрів моделі на етапі очікуваного виконання.

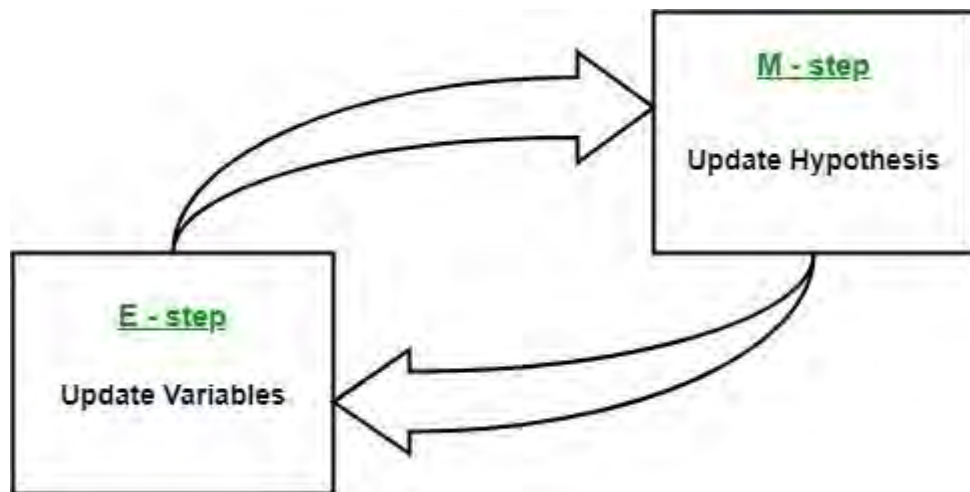


Рисунок 11. Алгоритм очікування-максимізації

Суть алгоритму Expectation-Maximization полягає у використанні наявних спостережених даних набору даних для оцінки відсутніх даних, а потім, використовуючи ці дані, для уточнення значень параметрів.

Переваги:

- Може легко змінити модель для адаптації до іншого розподілу наборів даних.
- Кількість параметрів не збільшується зі збільшенням даних навчання.
- Підвищує швидкість конвергенції процесу кластеризації

Недоліки:

- У деяких випадках повільна конвергенція.

## 2.2.6. Перспективи розвитку

Оскільки машинне навчання є відносно актуальною новою темою, воно все ще значно швидко розвивається, як правило, завдяки розробці нових формалізацій проблем на основі машинного навчання, керованих реальними додатками, такими як системи рекомендацій. Останні тенденції досліджень зосереджені на методах розширення, включаючи вибірку, зменшення розмірності та послаблення класифікатора, щоб досягти масштабованості, зберігаючи статистичний контроль. Основна мета — забезпечити системи на основі машинного навчання часом і простором [31]

Навіть незважаючи на практичний і економічний успіх, машинне навчання залишається відкритою темою для досліджень із великим невивченим дослідницьким потенціалом. Деякі з цих перспектив можна оцінити шляхом порівняння існуючих методів машинного навчання з різними типами навчання. Наприклад, більшість алгоритмів машинного навчання розроблено для вивчення окремої функції. Зокрема, ми, як люди, отримуємо різноманітні навички та знання завдяки багаторічному досвіду навчання. Як контрольоване, так і неконтрольоване навчання в послідовності від базової до просунутої.

Стосовно теми розробки, варто зауважити, що на даному етапі розглядається система для ідентифікації злоякісних пухлин в межах однієї хвороби. Систему можна оптимізувати таким чином, щоб її задача була не тільки виявлення аномалій, а й їх класифікація. Таким чином, можливо захопити декілька напрямків в сфері захворювань.

## 2.3. Висновки до розділу

Діагностичне ультразвукове дослідження є неінвазивною діагностичною технікою, яка використовується для зображення всередині тіла. Ультразвукові зонди, які називаються перетворювачами, створюють звукові хвилі, частота яких перевищує поріг людського слуху (понад 20 кГц), але більшість датчиків, які зараз використовуються, працюють на набагато вищих частотах (у діапазоні мегагерц



(МГЦ)). Функціональне ультразвукове дослідження поєднує таку інформацію, як рух і швидкість тканини або крові, м'якість або твердість тканини та інші фізичні характеристики, з анатомічними зображеннями для створення «інформаційних карт». Ці карти допомагають лікарям візуалізувати зміни/відмінності у функціях у структурі чи органі. [33]

Виявлення аномалій — це ідентифікація точок даних у даних, які не відповідають звичайним шаблонам. Це може бути корисним для вирішення проблем в медичній діагностиці. Методи машинного навчання дозволяють автоматизувати виявлення аномалій і зробити його ефективнішим, особливо коли задіяні великі набори даних.

С огляду ключових складових можна зробити висновок, що поєднання результатів ультразвукового дослідження та можливостей нейронних мереж можна досягнути великого прогресу у сфері медицини. Завжди варто пам'ятати, що не варто покладатися лише на кінцевий результат дослідження з використанням нейронних мереж, тому що людське здоров'я це вагоме питання, до якого слід відноситися дуже відповідально та брати до уваги досвід лікарів та медичні вказівки. [14]

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

### 3.1. Алгоритм роботи системи

Для розробки системи діагностики було побудовано послідовний алгоритм, який представлено на рис 12.

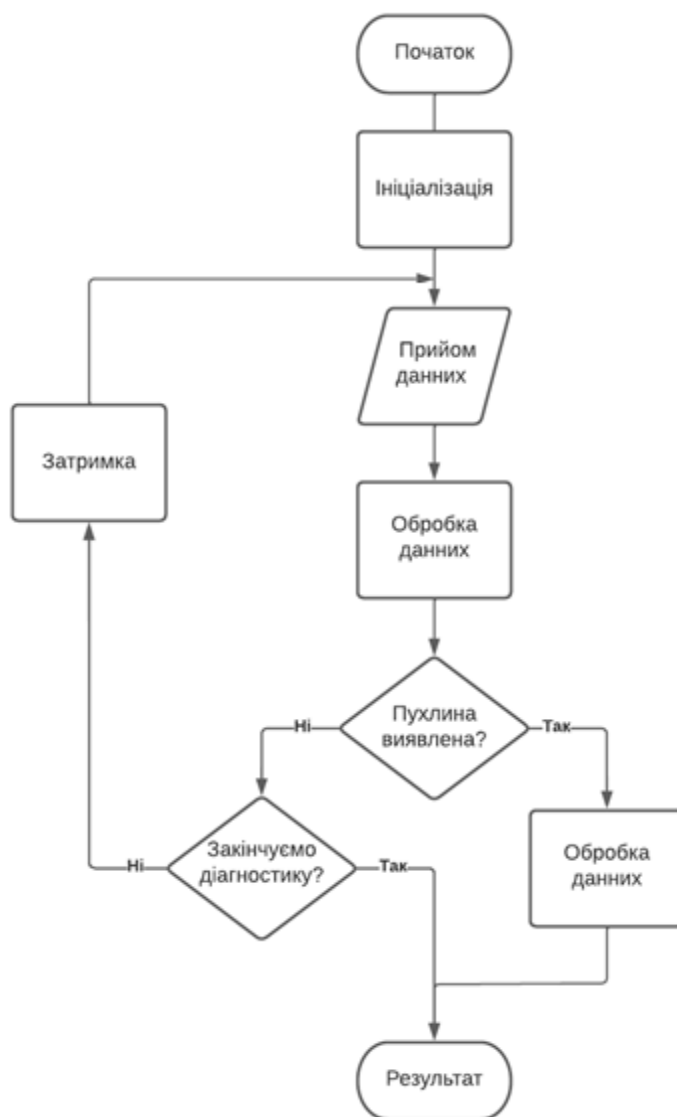


Рисунок 12. Алгоритм роботи системи діагностики

В запропонованому алгоритмі системи діагностики спочатку відбувається ініціалізація всіх змінних для подальшої роботи з ними.

Система розділена на два режими:

Режим очікування – режим при якому, після завершення першої обробки даних, відбувається затримка, яка встановлюється в залежності від поставленого завдання в блоці ініціалізації.

Безперервний режим – режим діагностики. Даний режим автоматично перемикається, коли на ультразвуковому зображенні було виявлено пухлину, після чого йде її розпізнавання. Перехід до режиму з затримкою відбувається тільки після того, як пухлина не буде виявлена на зображенні. [8]

Існує компанія Cleerly, яка виходить за рамки традиційних методів діагностики серцевих захворювань, використовуючи ШІ та хмарні сервіси Amazon Web Services Cloud, щоб забезпечити неінвазивну, всебічну кількісну оцінку та характеристику атеросклерозу, що утворюються в артеріях.

Клініцисти використовують коронарну комп'ютерну томографічну ангиографію як тест першої лінії для оцінки симптомів пацієнтів з підозрою на хворобу серця. Cleerly розробила Cleerly Coronary і Cleerly Labs для вирішення проблеми якісного аналізу ангиограм коронарної комп'ютерної томографії та надання всебічної і кількісної оцінки захворювання коронарних артерій за лічені хвилини способами, які раніше були неможливі.

Cleerly застосовує свої алгоритми штучного інтелекту до неінвазивних ангиограм коронарної комп'ютерної томографії - підхід, який, як показало нещодавнє дослідження в The New England Journal of Medicine, зменшує кількість серцевих нападів на 41 відсоток у стабільних симптоматичних пацієнтів з підозрою на ішемічну хворобу серця. [8]

У робочому процесі Cleerly отримує автоматично завантажені дані ангиограм коронарної комп'ютерної томографії у форматі DICOM з медичного закладу, а потім застосовує низку схвалених програмних продуктів як алгоритми машинного навчання медичного обладнання для кількісної оцінки характеристик та особливостей морфології судин для всіх ідентифікованих артерій у даних ангиограм коронарної комп'ютерної томографії.

### 3.2. Фази розробки життєвого циклу розробки машинного навчання

Нижче наведено найпоширеніші етапи розробки моделей машинного навчання, які найчастіше зустрічаються під час вирішення різних завдань машинного навчання: [29]

#### 1. Збір даних

Будь-яка проблема машинного навчання потребує великої кількості даних для навчання/тестування. Визначення правильних джерел даних і збір даних із цих джерел даних є ключовим.

#### 2. Попередня обробка даних

Перш ніж почати навчання моделей, надзвичайно важливо підготувати дані належним чином. У рамках попередньої обробки даних виконуються такі дії:

- Очищення даних: для очищення даних потрібно ідентифікувати атрибути, у яких недостатньо даних, або атрибути, які не мають відхилень. Ці дані (рядки та стовпці) необхідно видалити з набору навчальних даних.
- Імпутація відсутніх даних: обробка відсутніх даних за допомогою методів імпутації даних, наприклад заміна відсутніх даних середнім значенням, медіаною або модою. Ось мій допис на цю тему: замініть відсутні значення середнім значенням, медіаною або модою

#### 3. Дослідницький аналіз даних (EDA)

Після попередньої обробки даних наступним кроком є проведення дослідницького аналізу даних, щоб зрозуміти розподіл даних і зв'язки між даними/всередині них. Деякі з наступних дій виконуються як частина EDA:

- Кореляційний аналіз
- Аналіз мультиколінеарності
- Аналіз розподілу даних
- Розробка функцій.

Розробка функцій є одним із найважливіших завдань, які будуть використовуватися під час створення моделей машинного навчання. Розробка функцій важлива, тому що вибір правильних функцій допоможе не тільки побудувати моделі вищої точності, але й допоможе досягти цілей, пов'язаних зі створенням простіших моделей, зменшенням переобладнання тощо. Розробка функцій включає такі завдання, як отримання функцій із необроблених функцій, визначення важливих функцій, вилучення функцій і вибір функцій. [43]

Нижче наведено деякі методи, які можна використовувати для вибору функцій:

- Методи фільтрації допомагають вибирати ознаки на основі результатів статистичних перевірок.
  - Кореляція Пірсона
  - Лінійний дискримінантний аналіз (LDA)
  - Дисперсійний аналіз (ANOVA)
  - Тести хі-квадрат
- Методи оболонки допомагають у виборі функцій, використовуючи підмножину функцій і визначаючи точність моделі. [24]
  - Вибір вперед
  - Зворотне усунення
  - Рекурсивне усунення ознак
- Техніки регуляризації штрафують одну або більше функцій належним чином, щоб отримати найважливіші функції.
  - Регуляризація LASSO (L1).
  - Ридж (L2) регуляризація
  - Еластична мережева регуляризація
  - Регуляризація за допомогою алгоритмів класифікації, таких як логістична регресія, SVM тощо.

#### 4. Навчальні моделі

Після визначення деяких функцій з'являються навчальні моделі з даними, пов'язаними з цими функціями. [46]

## 5. Вибір моделі/вибір алгоритму

Часто існує кілька моделей, які навчаються за різними алгоритмами. Одним із важливих завдань є вибір найбільш оптимальних моделей для впровадження їх у виробництво. Налаштування гіперпараметрів є найпоширенішим завданням, яке виконується як частина вибору моделі. Крім того, якщо є дві моделі, навчені з використанням різних алгоритмів, які мають однакову продуктивність, тоді потрібно також виконати вибір алгоритму. [29]

## 6. Тестування та зіставлення

Завдання з тестування та зіставлення стосуються порівняння наборів даних

## 7. Моніторинг моделей

Після того, як моделі навчені та розгорнуті, їх потрібно контролювати через регулярні проміжки часу. Моделі моніторингу вимагають обробки фактичних і прогнозованих значень і вимірювання ефективності моделі на основі відповідних показників.

## 8. Перенавчання моделі

Якщо продуктивність моделі погіршується, моделі потрібно перенавчати. У рамках перенавчання моделі виконується наступне:

- Визначаються нові функції
- Можна використовувати нові алгоритми
- Гіперпараметри можна налаштувати
- Можливе розгортання модельних ансамблів

### **3.3. Реалізація моделі**

#### **3.3.1. Опис навчального набору даних**

Набір даних складається з ультразвукових зображень, пов'язаних з доброякісними та злоякісними формами раку молочної залози. [5]

Рак молочної залози є однією з найпоширеніших причин смерті серед жінок у всьому світі. Раннє виявлення допомагає зменшити кількість ранніх смертей. Дані аналізують медичні зображення раку молочної залози за допомогою

ультразвукового сканування. Набір даних УЗД молочної залози поділяється на два класи: доброякісні та злоякісні зображення. Ультразвукові зображення молочної залози можуть дати чудові результати в класифікації, виявленні та сегментації раку молочної залози в поєднанні з машинним навчанням. Зображення були доповнені обертанням та підвищенням різкості для отримання достатньої кількості зображень.

Дані, зібрані на базовому рівні, включають ультразвукові зображення молочної залози серед жінок у віці від 25 до 75 років. Ці дані були зібрані в 2018 році. Кількість пацієнтів - 1200 пацієток. Набір даних після аугментації складається з 6685 зображень із середнім розміром зображення 500\*500 пікселів. Зображення представлені у форматі PNG та JPG. Зображення розподілені на два класи: доброякісні та злоякісні.

Оскільки зображення Dataset є застарілим, використовувати їх для нових медичних операцій не рекомендується.

### **3.3.2. Вибір середі розробки**

Для розробки моделі використовуємо Colaboratory, який є інструментом аналізу даних та машинного навчання, який дозволяє об'єднувати виконуваний код на мові Python та розширений текст разом з діаграмами, зображеннями, HTML, LaTeX тощо в єдиний документ, що зберігається на Google Диску. Він підключається до потужної хмарної платформи Google Cloud Platform і дозволяє легко ділитися своєю роботою та співпрацювати з іншими.

З технічної точки зору, Colab - це хостинговий сервіс для ноутбуків Jupyter, який не потребує жодних налаштувань для використання і надає безкоштовний доступ до обчислювальних ресурсів, включаючи графічні процесори.

Існує декілька інструментів, що використовуються в середовищах інтерактивного програмування на мові Python. Центральною технологією, що робить взаємодію можливою, є iPython. IPython - це вдосконалена оболонка та цикл читання-обчислення-друку (REPL) для Python.

"iPython Notebook" - це продукт, розроблений за допомогою iPython, доступ до якого здійснюється як до "ноутбука" через веб-браузер. IPython виконує дві фундаментальні ролі: [19]

Jupyter Notebook та його гнучкий інтерфейс розширюють можливості блокнота за межі коду до візуалізації, мультимедіа, спільної роботи та багатьох інших функцій, що створює комфортне середовище для науковців з даних та експертів з машинного навчання.

З іншого боку, як проект з відкритим вихідним кодом, інструменти Jupyter можуть бути інтегровані в різні набори інструментів і пакети. Замість встановлення Jupyter Notebook через термінал (для macOS та Linux) або командний рядок (для Windows) можна скористатися дистрибутивом Anaconda, який також подбає про встановлення середовища на локальних машинах.

Існує кілька причин для використання Google Colab замість звичайного екземпляра Jupyter Notebook:

- Попередньо встановлені бібліотеки

Дистрибутив Anaconda Jupyter Notebook поставляється з декількома попередньо встановленими бібліотеками даних, такими як Pandas, NumPy, Matplotlib, що просто чудово. Google Colab, з іншого боку, надає ще більше попередньо встановлених бібліотек машинного навчання, таких як Keras, TensorFlow та PyTorch.

- Збережені в хмарі

Коли ви вирішили використовувати звичайний ноутбук Jupyter як середовище розробки, все зберігається на вашому локальному комп'ютері. Якщо ви обережно ставитеся до конфіденційності, це може бути кращою функцією для вас. Однак, якщо ви хочете, щоб блокноти були доступні вам з будь-якого пристрою за допомогою простого входу в Google, тоді Google Colab - це те, що вам потрібно. Усі ваші блокноти в Google Colab зберігаються у вашому обліковому записі Google Діску, так само, як і файли Google Документів та Google Таблиць.

- Співпраця



Ще однією чудовою функцією, яку пропонує Google Colab, є функція співпраці. Якщо ви працюєте над проектом з кількома розробниками, дуже зручно використовувати блокнот Google Colab. Так само, як і при роботі над документом Google Docs, ви можете спільно кодувати з декількома розробниками, використовуючи блокнот Google Colab. Крім того, ви також можете ділитися виконаною роботою з іншими розробниками.

- Безкоштовне використання GPU та TPU

Google Research дозволяє використовувати їх виділені графічні та обчислювальні процесори для ваших особистих проектів машинного навчання. Оскільки Google Colab використовує ресурси Google, операції нейромережевої оптимізації не загрузає процесори.

У підсумку маємо, що Google Colab - це спеціалізована версія Jupyter Notebook, яка працює в хмарі і пропонує безкоштовні обчислювальні ресурси.

### **3.3.3. Підготовка навчальних даних**

Для роботи зі згортковими нейронними мережами доводиться використовувати навчальні набори даних, які складаються з декількох тисяч зображень. Підготовка навчальних даних в такому випадку є відповідальним та затратним етапом. З метою пришвидшення цього процесу, розбиття початкового набору даних на навчальну, валідаційну та тестову множини можна автоматизувати. Необхідно навчити нейронну мережу розпізнавати, чи є на ультразвуковому зображенні пухлина. Початковий набір даних представлений у вигляді базового каталогу, що містить папки із ультразвуковими зображеннями, які відносяться до різних класів. Необхідно на базі цього початкового набору сформуванати навчальну, валідаційну та тестову підмножини даних. Кожна підмножина повинна складатись з основного каталогу, в якому у різних папках будуть розміщені зображення відповідних класів. [2]

Для початку роботи, імпортуємо модулі для роботи з файловою системою.(рис. 13)

```
[ ] import shutil
import os
```

### Рисунок 13. Імпортуємо модулі

Задаємо значення необхідних змінних, долю валідаційної та тестової підмножини відносно початкового набору даних, а також імпортуємо імена класів. (рис. 14) Пам'ятаємо, що папки в кожному головному каталозі повинні мати назву, яка відповідає конкретному класу, зображення якого розміщені всередині папки.

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 14. Задаємо значення необхідних змінних, долю підмножин, імпортуємо імена класів

Оголосимо функцію для створення каталогів.(рис.15) Дана функція створить головний каталог підмножини, а також путі папки для кожного із класів.

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 15. Функція для створення каталогів

Використаємо написану функцію для створення каталогів для навчальної, валідаційної та тестової підмножин.(рис.16)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 16. Створення каталогів

Напишемо функцію для копіювання зображень із початкового набору даних до відповідного каталогу. Функція прийматиме наступні аргументи: (рис.17)

- `start_indexes` - список, який містить номери зображень, починаючи з яких потрібно виконувати копіювання (для кожного класу).
- `end_indexes` - список, який містить номери зображень, якими треба завершити копіювання (для кожного класу);
- `source_dir` - адреса початкового каталогу (з якого копіювати);
- `dest_dir` - адреса каталогу призначення (до якого копіювати).

Наприклад, у деякому початковому каталозі `source` є дві папки (два класи), які містять по 100 зображень. Потрібно сформувати валідаційну підмножину, яка

буде розміщена в каталозі destination. В якості вибірки валідації обираємо 15 останніх зображень із початкового набору (для кожного класу). [2]

Тоді аргументами створюваної функції `copy_images()` будуть:

```
copy_images(start_indexes = [74, 74], [99,99], source, destination)
```

Варто зазначити, що списки із початковими та кінцевими індексами будуть формуватися автоматично за допомогою функції, яку ми напишемо на наступному етапі.

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 17. Функція для формування списків

Тепер створимо функцію для формування підмножин даних. (рис.18) Така функція прийматиме наступні аргументи:

- `source_dir` - адреса початкового каталогу;
- `dest_dir` - адреса каталогу призначення
- `subset` - підмножина (навчальна, валідаційна або тестова / 'train', 'val', 'test').

Всередині функції `create_dataset()` автоматично визначаються індекси початкових та кінцевих зображень (кожного класу) для кожної підмножини, а потім викликається раніше створена функція `copy_images()` для копіювання зображень із початкового набору до відповідного каталогу вказаної підмножини.

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 18. Функція для формування підмножин даних

Застосуємо функцію `create_dataset()` для створення всіх необхідних підмножин даних (навчальна, валідаційна, тестова).(рис.19) В результаті, будуть створені відповідні каталоги, які матимуть структуру, необхідну для подальшої роботи з нейронною мережею. [2]

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 19. Створення всіх необхідних підмножин даних

### 3.3.4. Transfer learning

Навчання глибоких нейронних мереж може займати декілька днів і навіть тижнів. В такому випадку, у разі незадовільного результату, ціна помилки буде дуже великою. Тому що на перенавчання буде витрачено занадто багато часу. У зв'язку з цим, популярним є підхід, який називається transfer learning - перенесення навчання. Він полягає в тому, що вже колись навчена нейронна мережа з відомою архітектурою використовується для вирішення нових задач, тобто не тих, для яких вона навчалась. Це досягається завдяки наступним крокам:

Імпортується навчена мережа з відомою архітектурою. [2]

З мережі видаляються останні прошарки, які відповідають за класифікацію (так звана "вершина" (top, head) мережі).

Замість видалених прошарків створюються нові. Архітектура цих нових прошарків має відповідати новій задачі, яку повинна буде вирішувати нейронна мережа. [46]

Навчена нейронна мережа вже вміє якісно виділяти значущі ознаки із зображення. Тобто немає сенсу знову навчати її знаходити аналоги ознак Хаара - мережа і так вміє це робити, оскільки всі значення синаптичних ваг згорткових прошарків були встановлені під час попереднього навчання. Єдине, що залишається, це навчити мережу правильно класифікувати об'єкти за тим набором ознак, які вона виділить із зображення. Таким чином, у разі використання transfer learning навчається лише та частина мережі, яка відповідає за класифікацію. Це дозволяє значно пришвидшити навчання, а також покращити його якість (оскільки показники ефективності роботи мережі відомі заздалегідь). [2]

Застосуємо підхід transfer learning для навчання нейронної мережі для класифікації ультразвукових зображень. В якості попередньо навченої мережі імпортуємо мережу VGG16 з набором синаптичних ваг, отриманих в результаті навчання на наборі даних ImageNet. Цей набір містить 1000 різних класів об'єктів, і мережа VGG16 вже вміє проводити їх класифікацію з високою достовірністю. Але в даній задачі ми будемо застосовувати мережу VGG16 для класифікації

всього лише 2 типів об'єктів. Більше того, дані об'єкти не зустрічались мережі під час попереднього навчання. Тому прошарки мережі, які відповідають за класифікацію, потрібно буде відкинути, і замість них створити та навчити свої власні.

Для початку, імпортуємо необхідні модулі (рис.20) (серед яких і сама мережа VGG16).

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 20. Необхідні модулі

Задаємо початкові налаштування.(рис.21)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 21. Початкові налаштування

Створимо об'єкт мережі VGG16 з наступними параметрами: (рис.22)

- `weights='imagenet'` - набір попередньо навчених ваг: ImageNet
- `include_top=False` - не завантажувати частину мережі, призначену для класифікації
- `input_shape=input_shape` - форма вхідного зображення (в нашому випадку - (150, 150, 3)).

```
[ ] vgg16_net = VGG16(weights='imagenet', include_top=False, input_shape=input_shape)
```

Рисунок 22. Створення об'єкта мережі VGG16

Заборонимо навчання всіх завантажених прошарків мережі VGG16, встановивши значення атрибуту `vgg16_net.trainable = False`. Після цього переглянемо зведену інформацію щодо мережі (рис.23) і переконаємось, що кількість внутрішніх параметрів, доступних для навчання, дорівнює нулю (Trainable params: 0).

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 23. Забороняємо навчання всіх завантажених прошарків

Створюємо власну нейронну мережу, яка буде складатись з завантаженої частини навченої VGG16 та власного класифікатора. (рис.24)

*Код програми надається за запитом до авторів*

#### Рисунок 24. Створення власної нейронної мережі

Переглянемо інформацію про створену мережу. (рис.25) Як можна побачити, під час навчання доведеться знайти значення лише 2,097,922 параметрів, тоді як загалом наша модель містить 16,812,610 внутрішніх параметрів. Але з них 14,714,688 параметрів вже були попередньо навчені, їх не потрібно модифікувати (що ми і заборонили робити на попередніх етапах). Це значно пришвидшить процес навчання. [2]

*Код програми надається за запитом до авторів*

#### Рисунок 25. Інформація про створену мережу

Компілюємо модель.(рис.26) Оскільки додана частина мережі VGG16 вже була попередньо навчена і вміє гарно виявляти ознаки, необхідно знизити швидкість навчання `learning_rate`. Це зроблено для того, щоб оптимізатор не пропустив мінімум функції втрат. [5]

*Код програми надається за запитом до авторів*

#### Рисунок 26. Компілюємо модель та знижуємо швидкість навчання

Створюємо об'єкт-генератор зображень `ImageDataGenerator()` для автоматичної стандартизації значень пікселів під час імпорту картинки з каталогу.(рис.27)

```
[63] datagen = ImageDataGenerator(rescale=1. / 255)
```

#### Рисунок 27. Об'єкт-генератор зображень `ImageDataGenerator()`

Створюємо та налаштовуємо генератори для навчальної, валідаційної та тестової підмножин. (рис.28)

*Код програми надається за запитом до авторів*

#### Рисунок 28. Генератори для навчальної, валідаційної та тестової підмножин.

Запам'ятовуємо кількість зображень у навчальній та валідаційній мережі (знадобиться для коректного визначення кількості крок за епоху навчання).(рис.29)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 29. Запам'ятовуємо кількість зображень

Навчаємо модель.(рис.30)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 30. Навчання моделі

Перевіряємо модель на тестових даних.(рис.31)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 31. Перевірка моделі та результат

Отже, завдяки застосуванню підходу *transfer learning*, нам вдалось навчити нейронну мережу вирішувати нову задачу з високою ефективністю всього лише за 10-15 епох навчання. Але навіть цей результат не є найкращим. Для його покращення можна застосувати додатковий підхід, який має назву *fine tuning*.

### **3.3.5. Тонкі налаштування мережі (fine tuning)**

Під час використання *transfer learning* використовується попередньо навчена нейронна мережа, в якій замінено прошарки, що відповідають за класифікацію. Прошарки для виділення ознак на зображеннях залишаються і "заморожуються" під час навчання. Тобто синаптичні ваги цих прошарків не змінюються, оскільки вони не доступні для навчання. Однак, якщо нове завдання значно відрізняється від того, на якому була попередньо навчена нейронна мережа, деякі з останніх прошарків для виділення ознак можна активувати для навчання. Чим сильніша різниця між попередньою та новою задачею, тим більше останніх прошарків для виділення ознак рекомендується зробити доступними для навчання. Такий підхід називається тонким налаштуванням мережі, або *fine tuning*. [2]

Застосуємо *fine tuning* для покращення якості мережі, отриманої у попередньому прикладі. Для цього дозволимо навчання останнього згорткового

прошарку мережі VGG16, який називається 'block5\_conv3'. (рис.32) Навчання всіх інших прошарків залишаємо забороненим.

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 32. Дозволимо навчання останнього згорткового прошарку

Перевіряємо кількість параметрів, доступних для навчання. Бачимо, що у порівнянні з попереднім варіантом, їх кількість збільшилась, оскільки прошарок 'block5\_conv3' тепер доступний для навчання.(рис.33)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 33. Інформація про мережу

Заново компілюємо модифіковану модель.(рис.34)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 34. Компілюємо модифіковану модель

Навчаємо модифіковану модель.(рис.35)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 35. Навчання

Перевіряємо якість мережі на тестовій підмножині.(рис.36)

```
[ ] scores = model.evaluate(test_generator)
print(f"Accuracy на тестових даних: {(scores[1]*100):.2f}")

32/32 [=====] - 246s 8s/step - loss: 0.4173 - accuracy: 0.8564
Ассигасу на тестових даних: 85.64
```

Рисунок 36. Перевірка якості

Як видно з результатів, використання fine tuning дозволило покращити якість роботи мережі на тестових даних майже на 5% у порівнянні з попереднім варіантом, коли навчався лише класифікатор.

Побудуємо графік навчання (рис.37)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 37. Графік навчання



### 3.3.6. Експериментальна перевірка моделі

Використаємо навчену нейронну мережу для розпізнавання зображення, яке імпортується з жорсткого диску ПК.(рис.38)

```
[ ] from IPython.display import Image
    from tkinterFileDialog import askopenfilename

[ ] from google.colab import files

[ ] f = files.upload()

Choose Files No file chosen Upload widget is only available when the cell has been executed in the current browser
Saving malignant (1).png to malignant (1).png

[ ] from IPython.display import Image

for img_path in f.keys():
    name=img_path
    Image(img_path, width=256, height=256)
```




Рисунок 38. Імпортуємо зображення

Виконаємо розпізнавання зображення та подивимось точність. (рис.39)

*Код програми надається за запитом до авторів*

Рисунок 39. Результат розпізнавання

У ході навчання спочатку модель підганялась на навчальному наборі даних, що складає 70% загального обсягу зображень. Це набір прикладів, що використовуються для підбору параметрів моделі. Валідаційний та тестовий набори даних складають по 15% кожний від загального обсягу зображень.

За результатами розпізнавання бачимо, що зображення було класифіковано вірно із ймовірністю 76,25%.

Даний результат є достатньо непоганим із урахуванням існуючих обмежень. Ураховуючи той факт, що використання fine tuning покращило нашу модель майже на 5%, можемо припустити, що без покращень базова модель працювала би приблизно з 70% точністю. Навіть декілька відсотків є вагомими.

Завдання дійсно складне, бо ми не маємо у вільному обсязі достатню кількість зображень. Також варто пам'ятати про специфіку зображень: ми не класифікуємо такі об'єкти як люди, тварини, меблі тощо. Перед нами ультразвукові зображення з пухлинами які візуально людина без медичної освіти нездатна відрізнити. Навіть с урахуванням усіх оптимізації перед використанням програми у медичних закладах необхідно заздалегідь провести повторне навчання та тестування.

Даний результат вважається оптимальним для розробки моделі на початковому етапі, але ще вимагає тестувань на оновлених баз даних з подальшим ускладненням архітектури за необхідністю.

### **3.4. Висновки до розділу**

Машинне навчання може виявляти закономірності певних захворювань в електронних медичних картах пацієнтів та інформувати лікарів про будь-які аномалії. У цьому сенсі техніку штучного інтелекту можна порівняти з другою парою очей, яка може оцінити стан здоров'я пацієнта на основі знань, витягнутих з великих масивів даних шляхом узагальнення мільйонів спостережень за захворюваннями, які можуть бути у пацієнта.

Запропонований набір даних складається з декількох випадків пухлин. Пухлини можуть бути доброякісними (нераковими) або злоякісними (раковими). Доброякісні пухлини ростуть локально і не поширюються. Як наслідок, вони не вважаються раковими. Однак вони все одно можуть становити небезпеку, особливо якщо вони тиснуть на життєво важливі органи, такі як головний мозок.

Злоякісні пухлини, навпаки, мають здатність поширюватися і вторгтися в інші тканини. Цей процес, відомий як метастазування, є ключовою особливістю раку.

Вирішення проблеми за допомогою машинного навчання часто передбачає багато ітеративних експериментів, спрямованих на пошук найкращої моделі для вирішення проблеми шляхом подальшого налаштування моделі. Враховуючи, що існує багато алгоритмів машинного навчання та різних архітектур нейронних мереж, дослідник (спираючись на свій досвід, знання та довіряючи своїй інтуїції) обирає найбільш перспективну модель для постановки першого експерименту.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ДІАГНОСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ»

В цьому розділі буде проведено маркетинговий аналіз проекту магістерської дисертації для визначення можливості його ринкового впровадження. Для аналізу використаний алгоритм наведений в [13].

### 4.1. Опис та технологічний аудит ідеї проєкту

Одним із застосувань машинного навчання в контексті охорони здоров'я є цифрова діагностика. Машинне навчання може виявляти моделі певних захворювань в електронних медичних записах пацієнтів і інформувати клініцистів про будь-які аномалії. У цьому сенсі техніку штучного інтелекту можна порівняти з другою парою очей, яка може оцінити здоров'я пацієнта на основі знань, отриманих із великих наборів даних, узагальнюючи мільйони спостережень хвороб, які пацієнт міг мати. Щоб проілюструвати, наскільки корисним може бути машинне навчання як інструмент медичної діагностики, я дослідила його використання для виявлення раку за допомогою загальнодоступного набору даних.

Можливі напрямки використання, зміст ідеї та вигоди для користувача наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Опис ідеї стартап-проєкту [13]

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Система отримує УЗ зображення, яке аналізує нейрона мережа та визначає, чи є пухлина (онкологічне захворювання) у пацієнта чи ні	Медицина	Автоматизована система забезпечує економію часу, підвищення інформативності та достовірності роботи систем розпізнавання зображень

В таблиці 1 наведено головний напрямок використання автоматизованої системи, основними користувачами є лікарі та організації, що займаються лікуванням та діагностикою.

Інформаційна карта стартап проєкту наведена в таблиці 2, вона включає в себе назву та авторів проєкту, термін реалізації, необхідні ресурси, описує проблематику та основні цілі.

Таблиця 2. Інформаційна картка стартап-проєкту [13]

<i>Назва проєкту</i>	Автоматизація процесу розпізнавання захворювань онкології на ультразвукових зображеннях
<i>Автори</i>	Троцюк К.М., Галаган Р. М.
<i>Анотація</i>	Автоматизація процесу аналізу ультразвукових зображень із застосуванням нейромережових технологій, що забезпечуватиме економію часу, підвищення інформативності та достовірності роботи систем діагностування.
<i>Термін реалізації</i>	1 рік
<i>Необхідні ресурси</i>	Людські, фінансові.
<i>Опис проблеми, яку вирішує стартап - проєкт</i>	За допомогою нейронних мереж збільшується швидкість, інформативності та достовірності роботи систем діагностики.
<i>Ціль</i>	Створити автоматизований процес аналізу ультразвукових зображень із застосуванням нейромережових технологій.
<i>Очікуваний результат</i>	Навчання нейронної мережі для швидкої обробки ультразвукових зображень.

За допомогою застосування морфологічних карт слід згенерувати ідею автоматизованої системи аналізу даних ультразвукових зображень, яка б забезпечувала підвищену інформативність та достовірність роботи, ніж існуючі, була б зручною у використанні.

Ідея проєкту генерується відповідно до такого алгоритму (табл. 3):

- 2.3.1. визначити функції, які повинен виконувати проєкт;
- 2.3.2. подання на карті декількох варіантів елементарних рішень, тобто засобів за допомогою яких можна реалізувати кожну функцію;
- 2.3.3. вибір по одному елементарному рішенню для кожної функції.

Таблиця 3. Морфологічна карта [13]

Функції	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-тє	4-тє	5-тє
Методи обробки УЗ зображень	Нейронні мережі	Лінійне усереднення пікселів по сусідах	Медіанна фільтрація	Гаусовськ е розмиття	Фільтри Вінера
Нейронні мережі для виявлення об'єктів на теплових зображеннях	EfficientDet	VGG16	YOLOv3	R-CNN	Інше

Отже, ідея стартап-проєкту: автоматизація процесу аналізу ультразвукових зображень із застосуванням нейромережевих технологій, що забезпечуватиме підвищення інформативності та достовірності роботи систем діагностики.

Визначимо попереднє коло конкурентів, товарів-аналогів або товарів-замінників, що вже впроваджені на ринок. Дослідимо техніко-економічні властивості та характеристики ідеї. Проведемо порівняльний аналіз показників (табл.4).

Таблиця 4. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту [14]

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
			)	a)	)

		Мій проект	Google Cloud Vision API	NEOS			
1.	Критерій Танімото, %	98і	98	92			+
2.	Помилка класифікації температурних профілів, %	2	1	8			+
3.	Кількість виявлених об'єктів (з 100)	98	99	95		+	
4.	Надійність	Висока	Висока	Висока		+	
5.	Ціна	Низька	Висока	Середня			+

З таблиці 4 можемо зробити висновок, що порівняно із головними конкурентами, перевагою проекту є результати критерію Танімото, відсоток помилки класифікації температурних профілів та низька ціна. Ці переваги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Далі необхідно дослідити аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту, для цього визначаємо всі ідеї проекту, за якими технологіями вони будуть реалізовуватись, чи наявні та доступні ці технології (табл. 4) [13].

Таблиця 5. Технологічна здійсненність ідеї проекту [13]

<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Виявлення об'єктів на УЗ зображеннях	Розробка нейронної мережі в середовищі Anaconda	Наявні	Технологія доступна

Класифікація об'єктів	Розробка нейронної мережі в середовищі Anaconda	Наявні	Технологія доступна
-----------------------	---	--------	---------------------

Методика реалізації ідеї проєкту базується на розробці нейронних мереж для розпізнавання та класифікації об'єктів. При цьому це не потребує вагомих ресурсів і дає змогу проводити дослідження у широкому спектрі вхідних даних. За даними наведеними в таблиці 5 можемо зробити висновок, що всі ідеї проєкту можна технологічно реалізувати оскільки технології наявні на ринку та доступна для авторів.

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

В цьому підрозділі досліджується можливості та загрози під час виходу на ринок, стан ринкового середовища і потреби цільової аудиторії.

Проведемо попередній аналіз на наявність попиту та динаміку розвитку ринку (табл. 6).

Таблиця 6. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

[15]

<i>№ п/п</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн	5500000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція існуючих компаній
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Загальні технічні умови
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35%



За попереднім оцінюванням та даними занесеними до таблиці 5 робимо висновок, що ринок є привабливим для входження, оскільки динаміка ринку зростає.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів, сформуємо вимоги до товару для кожної цільової групи (табл. 7). Кожен товар має свого потенційного клієнта. Він є представником цільової аудиторії компанії, якими є люди певної статі, віку, зі схожими потребами, інтересами та фінансовими можливостями.

Параметри, які описують потенційного покупця:

2.3.4. є потреба та бажання придбати товар;

2.3.5. є фінансова можливість придбання;

2.3.6. має право приймати рішення щодо покупки.

Таблиця 7. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту [15]

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
<i>Збільшення інформативності та достовірності роботи систем діагностики</i>	<i>Медицина</i>	<i>Особливості, викликані специфікою проведення діагностики</i>	<i>Точність, висока чутливість, швидкість, надійність</i>

Портрет цільової аудиторії - це сукупність різних характеристик потенційних клієнтів. Для того, щоб скласти якісний портрет необхідно більш детально визначити параметри кожної групи споживачів. Дані занесено до таблиці 8.

Таблиця 8. Портрет цільового покупця

<i>Що хочуть купити</i>	<i>Програма</i>
<i>Хто покупець</i>	<i>Організації, які займаються медичною діагностикою</i>

<i>Мета купівлі</i>	Автоматизований аналіз ультразвукових зображень
<i>Коли покупець купує продукт</i>	Коли з'являється необхідність у автоматизованій високоточній системі діагностики, якість розпізнавання якої не залежить від людського фактору
<i>Де покупець бажає придбати продукт</i>	Онлайн
<i>Мета стартапера</i>	Задовольнити потребу клієнта в більш якісному продукті.

З таблиці 8 робимо висновок, що основними клієнтами для нас є компанії з медичної сфери і у яких є потреба у автоматизованій високоточній системі діагностики, якість розпізнавання якої не залежить від людського фактору.

Визначимо можливості та загрози, які можуть виникнути під час входження на ринок (табл. 9, 10).

Ринкові можливості - це сприятливі обставини, які підприємство може використовувати для отримання переваг. Як приклад ринкових можливостей можна привести погіршення позицій конкурентів, різке зростання попиту, появу нових технологій виробництва продукції, зростання рівня доходів населення і т. п. Слід зазначити, що можливостями з погляду SWOT-аналізу є не всі можливості, які існують на ринку, а тільки ті, які можна використовувати.

Ринкові загрози - події, настання яких може несприятливо вплинути на підприємство. Приклади ринкових загроз: вихід на ринок нових конкурентів, зростання податків, зміна смаків покупців, зниження народжуваності й т. п.

Таблиця 9. Фактори загроз [13]

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зріст конкуренції	Нижчі ціни	Покращення конкурентоспроможності

			продукту
2	Відсутність попиту	Немає потреби в покупці товару	Визначення потреб клієнтів
3	Зміни в стандартизації	Зміни в ДСТУ	Модернізація системи відповідно до нових стандартів
4	Вартість досліджень	Висока вартість проведення нових досліджень	Додаткові витрати на проведення дослідження
5	Якість	Не задоволення очікувань клієнтів	Покращення конкурентоспроможності продукту

Основними загрозами є зріст конкуренції та відсутність попиту, адже для проведення нових досліджень необхідні додаткові витрати, щоб уникнути таких наслідків потрібно покращити маркетинг, для того щоб більше потенційних клієнтів дізнались про переваги проєкту.

Таблиця 10. Фактори можливостей [13]

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Збільшення попиту	Збільшення зацікавлення клієнтів дослідженнями	Можливість отримання інвестицій
2	Обслуговування	Потреба в обслуговуванні	Повірка та встановлення обладнання
3	Освоєння нових сфер	Використання системи в нових сферах, що не розглядались раніше	Модернізація системи для покращення її основних параметрів та виконання поставлених вимог

4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту та модернізація раніше існуючих рішень	Підвищення попиту та ціни
5	Інвестиції	Залучення нових інвестицій	Збільшення витрат на дослідження та маркетинг

Фактор збільшення попиту є найбільш реальним, оскільки система задовольняє вимоги потенційних клієнтів, а саме має високу точність та швидкість. Інвестиції в значній мірі допомагають вивести бізнес на новий рівень, тому важливо залучати до співпраці нових інвесторів.

Після аналізу загроз та можливостей можемо зробити висновок, що ринок автоматизованих систем аналізу ультразвукових зображень є перспективним для входу нових компаній.

Далі проведемо аналіз пропозиції та визначимо основні риси конкуренції на ринку (табл. 11).

Конкуренція – це суперництво між суб'єктами ринкової економіки за найкращі умови виробництва, вигідну позицію на ринку тощо.

Конкуренти – це компанії, які працюють на тому ж ринку, з тієї ж цільовою аудиторією і надають аналогічний продукт або послугу.

Таблиця 11. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [14]

<i>№ n/n</i>	<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1	Чиста конкуренція	Окремі компанії можуть вплинути на ціну	Концентрації діяльності підприємства на якість товару
2	За рівнем конкурентної боротьби -	Наявність клієнтів із інших	Вихід на міжнародний ринок

	міжнародний	держав	
3	Конкуренція за галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Використовується в одній галузі	Покращення реклами та залучення нових клієнтів
4	Конкуренція за видами товарів - товарно- видова	Конкуренція, що виникає між товарами одного виду	Клієнтоорієнтовність та адаптивність до вимог ринку
5	За характером конкурентних переваг - нецінова	Ціна залежить від функціоналута методу дослідження	Пошук можливостей збільшення якості товару
6	За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії пропонують подібні продукти	Покращувати якість товару, знижувати ціну. Створення фірмового стилю компанії та реклама.

Проаналізувавши таблицю 11 робимо висновок, що через малу кількість конкурентів на ринку спостерігається чиста конкуренція. Всі конкуренти мають різні методики досліджень. Конкурентна боротьба є міжнародною та внутрішньогалузевою.

Далі проводиться більш детальний аналіз конкуренції в даній галузі за моделлю М. Портера (табл. 12) та обґрунтування факторів конкурентоспроможності (табл. 13) [13].

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

2.3.7. конкурент, що вже є у галузі;

2.3.8. потенційні конкуренти;

2.3.9. наявність товарів-замінників;

2.3.10. постачальники, що конкурують за ринкову владу;

## 2.3.11. споживачі.

Таблиця 12. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером [14]

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Товари-замінники</i>
	Google Cloud Vision API	Невисокий бар'єр на входження на ринок	Наявність ліцензії програмне забезпечення	Аналогічні дослідження конкурентів
<i>Висновки</i>	Невелика конкуренція	Є можливості виходу на ринок. Є великі конкуренти. Строк виходу на ринок 1 рік	Власні умови на ринку	Обмежень для роботи практично немає, оскільки товари-замінники використовують інші методи діагностики

Таблиця 13 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [15]

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)</i>
1	Ціна	Оптимальна ціна при високій якості
2	Точність	Необхідна найменш можлива похибка діагностики
3	Інформативність	Висока інформативність
4	Якість	Висока якість

Після оцінки конкуренції та основних факторів конкурентоспроможності, дані про які наведені в таблицях 12-13, можна сказати, що всі вищезгадані фактори досягаються проведенням додаткових досліджень та розрахунків. За цими факторами будуємо таблицю слабких та сильних сторін стартап-проєкту (табл. 14).

Таблиця 14. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін [15]

№ n/n	Фактор конкурентоспромож- ності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з СРДК						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	15				0			
2	Точність	20						2	
3	Інформативність	19							3
4	Якість	19					1		

Проаналізувавши таблицю 13 робимо висновок, що стартап-проект в підсумку має вищий рейтинг ніж його прямий конкурент. Дана таблиця показує переваги проекту над конкурентами.

На основі виділених раніше сильних та слабких сторін, а також ринкових можливостей та загроз, складемо таблицю SWOT- аналізу (табл. 15).

Таблиця 15. SWOT- аналіз стартап-проекту [13]

<p><i>Сильні сторони:</i></p> <p>Ширший діапазон визначення об'єктів</p> <p>Висока точність</p> <p>Зростання попиту</p> <p>Обслуговування</p> <p>Розширення можливостей</p>	<p><i>Слабкі сторони:</i></p> <p>1. Поява нових технологій</p> <p>2. Збільшення конкуренції на ринку</p> <p>3. Початківець на ринку</p>
<p><i>Можливості:</i></p> <p>1. Збільшення кількості клієнтів</p> <p>2. Закріпитись на ринку</p> <p>3. Збільшення обсягу продажів</p> <p>4. Можливість проведення перевірок</p> <p>5. Покращення характеристик приладу</p> <p>6. Розширення бази даних та</p>	<p><i>Загрози:</i></p> <p>Кращі умови та якість відконкурентів</p> <p>Відсутність клієнтів</p> <p>Зниження доходів потенційних споживачів.</p>

функціоналу	
-------------	--

Потрібно звернути увагу на можливість появи загроз, таких як відсутність клієнтів та покращення якості продукції конкурентів. Необхідно утримати клієнтів за рахунок надання безкоштовних додаткових модифікацій. На основі SWOT-аналізу описаного в таблиці 14 розробляємо альтернативи для виходу стартап-проекту на ринок та орієнтовні терміни для їх реалізації (табл. 16).

Таблиця 16. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту [13]

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Покращення розпізнавання об'єктів	Середня	3 місяці
2	Покращення надійності	Висока	6 місяців

Проаналізувавши дані наведені в таблиці 16 робимо висновок, що найкращою альтернативою є збільшення надійності приладу оскільки така альтернатива має високу ймовірність отримання додаткових ресурсів.

Далі опрацюємо питання для удосконалення продукту (табл. 17).

Таблиця 17. Опрацювання питань для удосконалення продукту. [15]

<i>№ n/n</i>	<i>Запитання</i>	<i>Відповідь</i>
1	Частиною яких систем є продукт?	Систем діагностики



2	Чи можна розділити продукт на частини?	Програма є цільною частиною, яку можна застосовувати у різних системах з тією же метою
3	Яким має бути ідеальний продукт?	Високоточним.
4	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Людськими ресурсами, але будуть витрати у часі та помилки
5	Яким цей продукт був у минулому?	В минулому розпізнавання відбувалися за допомогою лікарів
8	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	На автоматизацію. процесу

Можемо зробити висновок, що продукт є високотехнологічним і покращити його можна попрацювавши над можливостями програми, а саме, розширити базу даних зображень та запрограмувати, щоби програма могла не лише відрізнити зображення с онкологією, а ще й класифікувати їх, але в рамках навчальної роботи виконати це не є можливим через відсутність подібних даних у вільному доступі.

### 4.3. Розроблення ринкової стратегії

Для розроблення ринкової стратегії необхідно почати з визначення цільових груп потенційних споживачів (табл.18)

Таблиця 18. Вибір цільових груп потенційних споживачів [13]

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні медичні	+	+	Висока	+

	організації				
2	Приватні лікарні	+	+	Висока	-

Після опису цільових груп потенційних клієнтів можна обрати ту яка найбільше підходить. В першу чергу до уваги приймається можливість цільової групи придбати продукт, тому переважною групою є приватні лікарні.

Для подальшої роботи з цільовими групами потрібно визначитись з базовою стратегією розвитку (табл.19) [19]

Таблиця 19. Визначення базової стратегії розвитку [19]

<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
Концентрація на потребах цільового сегменту ринку.	Стратегія недиференційованого маркетингу	Використання інновацій та адаптація до вимог ринку	Стратегія спеціалізації

Проаналізувавши таблицю 17 можна зробити висновок, що через існування на ринку сильних конкурентів обираємо стратегію спеціалізації. Необхідно використовувати інновації для забезпечення високої якості продукції.

Далі потрібно визначитись із базовою стратегією конкурентної поведінки (табл. 20). [20]

Таблиця 20. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [14]

<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія а) шукати нових споживачів, або б) забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>

Ні	а) та б)	Конкуренти завжди будуть брати за основу основну ідею та модифікувати її – ідентифікація та класифікація об'єктів.	Стратегія лідера
----	----------	--	------------------

Проаналізувавши таблицю 18 можемо зробити висновок, що оскільки проєкт не є новим, але має суттєві переваги над продуктом-аналогом, можна обрати стратегію лідера. Це можливо оскільки використовується дешевша технологія при кращій якості.

Наступним кроком потрібно визначитись із стратегією позиціонування, яка формується на основі вимог клієнтів (табл. 21).

Таблиця 21. Визначення стратегії позиціонування [13]

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап- проєкту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)</i>
1	Точність	Стратегія спеціалізації	Система з високою точністю	Високоточна
2	Швидкодія	Стратегія спеціалізації	Система з високою швидкістю	Здатність швидко визначати об'єкти на ультразвукових зображеннях
3	Висока якість	Стратегія спеціалізації	Якість	Надійна

Висновок: стартап-проєкт буде працювати за стратегією спеціалізації, оскільки його основною метою є підвищення точності та швидкодії автоматичного визначення об'єктів та їх характеристик на ультразвукових зображеннях.

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

При розробці маркетингової програми слід почати із визначення ключових переваг концепції товару (табл. 22).

Таблиця 22. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару [13]

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Необхідність підвищення швидкості контролю	Відносно дешева методика досліджень, яка дозволить досягти збільшення швидкості	Висока точність та швидкість контролю, можливість розпізнавання об'єктів та їх параметрів
2	Необхідність підвищення точності контролю	Надійна технологія, яка дозволить підвищити точність	
3	Необхідність підвищення точності розпізнавання видів та характеристик об'єктів	Можливість розпізнавання об'єктів та їх параметрів	

З даних наведених в таблиці 22 можна зробити висновок, що перевагами проєкту є точність, швидкість діагностики та можливість розпізнавання об'єктів та їх параметрів.

Наступним кроком необхідно визначити цінові межі, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар (табл. 23).

Таблиця 23. Визначення меж встановлення ціни [13]

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової споживачів групи	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу

≈200000	≈200000	100000-1000000	100000-150000
---------	---------	----------------	---------------

Для стартап-проєкту було обрано середню цінову категорію, оскільки висока ціна може не задовольнити клієнтів.

Важливу роль у реалізації стартапу відіграє ефективна команда. Відомості, які необхідно прояснити, отримуючи завдання на формування проєктної команди для стартапу наведено в таблиці 24 [14].

Опис команди стартапу представлено в таблиці 25.[14]

Таблиця 24. Питання, що потребують відповідей до початку формування команди стартапу [14]

Питання	Пояснення
В які терміни команда повинна бути сформована?	Команду потрібно сформувати за два місяці
Хто ключові люди в створеній команді (тобто співробітники, без яких робота неможлива або неефективна)?	Інженер-технолог Маркетолог, ІТ-спеціаліст
Чи є можливість використовувати для пошуку персоналу додаткові джерела?	Кадрове агентство Рекрутер
Яка роль у кожного члена команди?	Маркетолог - просування продукту інженери – досліди та розрахунки ІТ-спеціаліст – алгоритм розпізнавання об'єктів
Як мотивувати членів команди?	Можливість використання програми для особистих цілей та фінансова винагорода

Таблиця 25. Початкові вкладення у стартап проєкт [14]

Стадія стартапу	Завдання	Члени команди	Освіта	Досвід роботи	Спеціалізовані знання	Витрати, тис.
-----------------	----------	---------------	--------	---------------	-----------------------	---------------

						грн
Передпосівна	Розробка ідеї без розробленого механізму її реалізації Перевірка чи подобається розроблена ідея майбутнім споживачам	Троцюк К.М., Галаган Р.М.	ІТ-спеціаліст, інженер	5 р / 25 р	Знання в сфері ультразвукової діагностики	-
Посівна	Дослідження ринку, опитування потенційних покупців та клієнтів, пошук інвесторів	Троцюк К.М.	ІТ-спеціаліст, інженер	5 років	Знання в сфері ультразвукової діагностики	-
Створення прототипу	Провести нові дослідження для виявлення можливості покращення точності та швидкості визначення об'єктів, розробка програми	Троцюк К.М., Галаган Р.М.	ІТ-спеціаліст, інженер, Інженер-технолог	2 р / 25 р	Знання в сфері ультразвукової діагностики, розробки програмного забезпечення	95000

Закрита бета-версія	Створити готовий, життєздатний продукт, перевірити його якісні показники	Троцюк К.М.	Маркетолог	5 р	Знання в сфері маркетингу	80000
Ведення бізнесу	Збільшити кількість реклами та продажів, залучення нових клієнтів	Троцюк К.М.,	ІТ-спеціаліст інженер з неруйнівного контролю Інженер-технолог, маркетолог	2 р	Знання в сфері: неруйнівного контролю, розробки програмного забезпечення маркетингу, менеджменту	100000

Отже, загальному команду складається з інженера-технолога, інженера з неруйнівного контролю, ІТ-спеціаліста та маркетолога. Більшість членів команди компетентні та мають великий досвід роботи.

Складемо календарний план-графік підготовки стартапу (таблиця 26).

Таблиця 26. Календарний план-графік підготовки стартапу [14]

Стадія стартапу	Період запуску (за місяцями з початку підготовки проекту)					Вартість стадії, грн
	1	2	3	4	5	
Передпосівна	01.01.22 - 01.02.22					-
Посівна		01.02.22				-

		01.03.22				
Прототипування			01.03.22 10.06.22			95000
Закрита бета-версія				20.06.22 01.08.22		80000
Ведення бізнесу					3 01.08.22	100000
Разом						275000

Отже, з таблиці 26 можемо зробити висновок, що на реалізацію проекту знадобиться 8 місяців та 275 тис. грн. Найбільш дорогим етапом є введення бізнесу через його довготривалість.

Розподілимо частки між авторами стартапу на основі запропонованого методу Frank Demmler [13], професором підприємництва в бізнес-школі при Carnegie Mellon University [13]. Визначимо важливість кожного фактора та внесок кожного з авторів (табл. 27).

Таблиця 27. Оцінювання важливості кожного фактора і внеску кожного учасника [13]

Фактор	Вага	Автор 1	Автор 2
Участь у розробленні ідеї	10	10	6
Участь у підготовці бізнес-плану	6	6	6
Компетентність учасника	10	10	10
Залученість і ризики учасника	7	8	9
Обов'язки та відповідальність учасника	10	10	10
Разом (вага * внесок автора)		392	359



Відсоток		78,4 %	21,6 %
----------	--	--------	--------

Можемо зробити висновок що обоє авторів компетентними і приймали активну участь у створенні проєкту. Частка стартапу першого автора складає 78,4 %, частка другого – 21,6 %. Варто зазначити, що перший автор більше впливав на створення продукту.

Далі слід визначити оптимальну систему збуту (табл. 28), це необхідно для того, щоб підвищити ефективність збуту. Канали збуту, виконують ряд функцій, зокрема:

- підвищують ступінь поінформованості споживача про товари і послуги компанії;
- допомагають оцінити ціннісні пропозиції компанії;
- дозволяють споживачеві купувати певні товари та послуги;
- знайомлять споживача з ціннісними пропозиціями;
- забезпечують післяпродажне обслуговування.

Таблиця 28. Формування системи збуту [13]

<i>№ n/n</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальн а система збуту</i>
1	Замовлення заздалегідь	Налагоджування та тестування	Нульового рівня	Пряма
2	Регулярні поставки	Налагоджування та встановлення, перевірка наявного обладнання, тестування	Нульового рівня	Пряма

За даними наведені в таблиці 28 робимо висновок, що виробник буде продавати товар безпосередньо кінцевому споживачеві, оскільки глибина каналу збуту нульового рівня. Виробник буде контролювати регулярність поставок та контроль обладнання.

Останньою складовою маркетингової програми стартап-проєкту є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо визначену специфіку поведінки клієнтів та обрану основу для позиціонування (табл. 29) [15].

Маркетингові комунікації – це одна з основних і складних елементів комплексу маркетингу організації. Маркетинговими комунікаціями можна назвати повідомлення і засоби масової інформації, спрямовані на передачу інформації про продукт і встановлення зв'язку з цільовою аудиторією, ринком.

Таблиця 29. Концепція маркетингових комунікацій [15]

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Потребують автоматизованого процесу аналізу УЗ зображень при оптимальній ціні, тому порівнюють конкурентні пропозиції	Інтернет, журнали, фахові видання, соціальні мережі, месенджери	Висока якість, точність та швидкість, відносно низька вартість	Показати покупцю перевагу над конкурентами та можливість економії після придбання продукту	Реклама функцій системи та її основних характеристик

Дані занесені до таблиці 29 - це ринкова програма, що складається із концепції товару, просування, збуту та аналіз ціноутворення, базується на цінностях та потребах клієнтів, конкурентних перевагах ідеї, стані ринкового середовища та на відповідній альтернативі ринкової поведінки [14].

Необхідно визначити початкові вкладення для розвитку стартап-проєкту (табл. 30). Початкові інвестиції – це реальна вартість проєкту з урахуванням результатів від продажу старого обладнання та сплати податків.

Таблиця 30. Початкові вкладення на запуск стартап-проєкту [13]

Види витрат	Вартість
НДДКР	5 000
Захист прав на об'єкти інтелектуальної власності	12 000
Створення прототипу, досліді	60 000
Просування	80 000
Витрати на команду	30 000
Закупівля обладнання	40 000
Орієнтована собівартість першого продукту. Проаналізувавши таблицю 30 робимо висновок, що необхідно отримати інвестиції у розмірі 227 000 грн для створення прототипу, просування та оплати роботи працівників. Планові фінансово-економічні показники проекту наведені в таблиці 31, вони потрібні для приблизної оцінки прибутків за рік.	80 000
РАЗОМ	307 000
Витрати, що бере на себе стартапер	80 000
Необхідні інвестиції для запуску стартапу	227 000

Таблиця 31. Планові фінансово-економічні показники

	Показник	Періоди (по місяцях)												Всього за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Обсяг продажу продукції натуральних показниках	2	3	5	5	7	7	8	8	9	9	9	10	82

2	Собівартість одиниці продукції, тис. грн.	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	720
3	Собівартість виробництва продукції, тис. грн. ( $3 = 1 \cdot 2$ )	120	180	300	300	420	420	480	480	540	540	540	600	600	4920
4	Обсяг реалізації продукції в натуральних показниках	4	5	5	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	86
5	Ціна реалізації продукції без ПДВ, тис. грн.	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	1140
6	Виручка від реалізації продукції без ПДВ, тис. грн. ( $6 = 4 \cdot 5$ )	380	475	475	570	665	665	760	760	760	855	855	950	950	8170
7	Податок на додану вартість (ПДВ), тис. грн. ( $7=6/5$ )	4	5	5	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	86
8	Валовий прибуток ( $8 = 6 - 3$ )	260	295	125	220	245	245	280	280	220	315	315	350	350	3147
9	Податок на прибуток ( $9=8*0,20$ (20 %))	52	59	25	44	49	49	56	56	44	63	63	70	70	630
10	Чистий прибуток ( $10 = 8 - 9$ )	208	236	100	176	196	196	224	224	236	252	252	280	280	2517

З таблиці 32 можемо зробити висновок, що при продажі 82 систем діагностики за рік з собівартістю 60 тис. грн. податки на їх продаж складуть 630 тис. грн., а орієнтовний чистий прибуток при цьому складе 2517 тис. грн., що задовольняє потреби стартапу.

Для узгодження кошторису витрат на виробництво за економічними елементами з кошторисом витрат за калькуляційними статтями складається

зведений план витрат на виробництво. Він також дозволяє перевірити правильність розрахунків собівартості продукції (робіт, послуг).

Розглянемо зведений план витрат на запуск виробництва продукції (табл. 32).

Таблиця 32. Зведений план витрат на запуск виробництва продукції

Найменування	Пояснення	Вартість тис. грн.
Витрати на придбання обладнання та устаткування	Витрати на придбання обладнання	150
Комплектуючі	Витрати на комплектуючі продукту	30
Паливо та електроенергія технологічні цілі	Витрати на електроенергію, а також на паливо, необхідні для запуску проектної потужності виробництва	30
Оплата праці промислово-виробничого персоналу	Витрати на заробітну плату та соціальні відрахування	50
Освоєння та запуск виробництва	Витрати на пусконаладжувальні роботи, запуск виробництва	30
Разом:		290

Отже, зведений план витрат на запуск виробництва продукції показує, що для реалізації та випуску продукції необхідно 290 тис. грн.

Далі складемо план маркетингу (табл. 33), він складається з метою опису реальних ринкових можливостей та цілей стартапу, а також для того щоб узгодити варіанти рекламних платформ на яких буде розміщуватись реклама готового продукту.

Маркетинг стартапу – це поєднання інструментів та заходів із ознайомлення цільової аудиторії з ідеєю продукту, просування ідеї та безпосередньо товару на

ринок з метою збільшення зацікавленості та прихильності потенційних клієнтів, залучення споживачів, інвесторів тощо [14].

Таблиця 33. План маркетингу [14]

№ п/п	Назва	Елементи наповнення розділу (в дану колонку слід записати результат)
1.	Цілі і завдання на найближчий рік	Просування продукції, збільшення клієнтської бази
2.	Місія та цінності стартапу	Орієнтація на створення якісного продукту
3.	Цільова аудиторія	Лікарі/підприємці з середнім та високим рівнем доходів, віком 25-50 років.
4.	Аналіз ситуації	Автоматизована система аналізу УЗ зображень із застосуванням нейромережових технологій, що забезпечуватиме підвищення інформативності та достовірності роботи систем діагностування. Просування стартапу здійснюється через фахові видання. Проект є прибутковим оскільки задовольняє потребу клієнтів у якості.
5.	Ціни і стратегія позиціонування	Стартап позиціонує себе як доступну та якісну систему для автоматизованого детектування і розпізнавання об'єктів на УЗ зображеннях.
6.	План просування	Запустити таргетенгову рекламу
7.	Маркетингові активи	1 статті, фейсбук, інстаграм, Веб сайт
8.	Конверсійна стратегія	Конверсія в рекламі
9.	План збільшення продажів	Розширення можливостей функціонала. Запровадити тестові діагностики за програмою лояльності

10.	Фінансові прогнози	Потрібні початкові інвестиції в розмірі 300 тис. грн
-----	--------------------	--

Проаналізувавши таблицю 33 можемо зробити висновок, що просування продукції є важливою та однією з основних цілей стартап-проєкту, необхідно вкладати кошти в рекламу в усіх можливих джерелах та створити програму лояльності для постійних клієнтів. Необхідно позиціонувати проєкт як якісну та більш доступну альтернативу наявним на ринку продуктам.

#### 4.5. Висновки до розділу

Діагностика раку на ранніх стадіях часто дає найкращі шанси на лікування. Дослідження показують, що для деяких видів раку тести можуть врятувати життя шляхом раннього діагностування раку. Дуже важливо оптимізувати процес діагностики та зробити його максимально точним. Запропонована система полягає а автоматичній обробці результатів діагностики, але не виключає необхідності останнього слова лікаря перед висуненням діагнозу та пропонуванням лікування.

Сьогодні є кілька моментів, які перешкоджають швидшій інтеграції машинного навчання в охорону здоров'я. Однією з найбільших проблем є можливість отримати набори даних пацієнтів, які мають необхідний розмір і якість зразків, необхідних для навчання найсучасніших моделей машинного навчання. Оскільки дані пацієнтів захищені суворими правилами конфіденційності та безпеки, дані нелегко збирати, ділитися та поширювати. Крім того, існують проблеми з форматом і якістю даних, які зазвичай вимагають значних зусиль для очищення та підготовки до аналізу машинного навчання.

Ефективність реалізації стартапу залежить від трьох компонентів: ідеї, команди та фінансування. Без інноваційної ідеї стартап, перестає бути стартапом, і має характеристики звичайного бізнесу. Відсутність фінансування може значно затримати реалізацію стартапу, що призводить до появи конкурентів та втрати бажаної частки на ринку. Однак, не меш важливу роль у реалізації стартапу відіграє ефективна команда.

Першим кроком до комерційної реалізації є формування ідеї проєкту та інформаційної та морфологічної карти. Правильне формування ідеї проєкту важливе для наступних етапів розробки.

Важливо дослідити можливості стартапу, також було означено основний ризик для стартапу - конкуренція, та визначено допустиму реакцію компанії - підвищення надійності системи неруйнівного контролю багат шарових матеріалів. Основною можливістю є збільшення попиту, що може допомогти збільшити кількість клієнтів, а для забезпечення цього, необхідно покращувати характеристики системи. Оскільки на ринку спостерігається чиста та невелика конкуренція можна зробити висновок щодо хороших можливостей роботи на ринку.

Проаналізувавши стартап-проєкт можна зробити висновок про хороші можливості для виходу на ринок через наявність великого попиту на продукцію вітчизняних виробників серед споживачів. Також спостерігається позитивна динаміка росту ринку. Обмеженнями для виходу на ринок є відсутність сертифікатів та дозвільних документи, також відсутність достатньої кількості даних пацієнтів для проведення остаточного тестування – це дуже важливо, адже це пов'язано з життям людини .

У реалізації даного стартап-проєкту важливу роль виконає маркетингова складова, яка за рахунок концентрації на перевагах стартап-проєкту дає перевагу над продуктами конкурентів. Вся реклама повинна бути спрямована на подачу потенційним клієнтам інформації, необхідні початкові інвестиції у розмірі 300 тис. грн.

Отже проаналізувавши всі аспекти ринку, можемо зробити висновок, що проєкт можливо реалізувати. Але для цього необхідно мати переваги над продуктами прямих конкурентів, та вмело їх подавати у вигляді рекламної інформації .



## ВИСНОВОК

Алгоритми штучного інтелекту і машинного навчання незабаром стануть критично важливою ланкою, що з'єднає догляд за пацієнтами і технології. Вони можуть відкрити нові шляхи в клінічній медицині, екстраполюючи приховані взаємозв'язки і виходячи за рамки звичайної статистики. ШІ має потенціал для значного розширення діагностичних і прогностичних можливостей в області серцево-судинної візуалізації і поліпшення догляду за пацієнтами. Але, як і у випадку з будь-якою новою науковою розробкою, для досягнення широкого впровадження ШІ в повсякденну клінічну практику необхідно подолати численні фінансові, медичні та соціальні перешкоди.

Технології штучного інтелекту і машинного навчання можуть підвищити продуктивність, кількісний аналіз і точність робочого процесу рентгенолога. Ці технології можуть підвищити якість даних і забезпечити автоматичні інструменти і додатки. Крім того, поліпшення аналізу медичних зображень на основі машинного навчання дозволить медичним фахівцям отримати точну інформацію для діагностики пацієнта і забезпечення належного лікування.

Розроблена модель показала досить непогані результати на базі даних Breast Cancer Data Set. Щоб довіряти моделі, необхідно додатково протестувати її на нових даних і переконатися, що вона все ще дає відмінні результати. Одним з можливих недоліків, пов'язаних з моделлю, є те, що вона не включають ніяких демографічних, расових і генетичних ознак та іншої корисної інформації, яка потенційно могла б зміцнити основу для класифікації. Незважаючи на те, запропонований алгоритм показав переконливий результат, намір полягав у тому, щоб продемонструвати потенціал алгоритмів ШІ, а не для клінічного використання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [2] Momot A. AUTOMATION OF ULTRASOUND BREAST CANCER IMAGES CLASSIFICATION USING DEEP NEURAL NETWORKS / Momot A., Galagan R., Zaboluiieva M.. // Sciences of Europe # 96. – 2022. – С. 38–41.
- [3] R. M. Galagan and A. S. Momot, "The use of ART-2 neural network for processing information signals of non-destructive testing," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 981-985 (doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100395)
- [4] Муравйов О. В. Автоматизація методу термографічної діагностики патологій організму людини / О. В. Муравйов, В. Ф. Петрик, Ю. Ю. Лисенко, Г. А. Богдан, А. В. Наконечная // Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2022. – №1. – С. 47-53.
- [5] Ultrasound Breast Images for Breast Cancer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kaggle.com/datasets/vuppalaadithyasairam/ultrasound-breast-images-for-breast-cancer>.
- [6] Сторожик Д. В. Комплексування мультиспектральних зображень, як метод підвищення їх інформативності при бінарній сегментації / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов, А. Г. Протасов, В. Г. Баженов, Г. А. Богдан // Наукові вісті КПІ. – 2020. № 2. – С. 82-87.
- [7] Сторожик Д. В. Застосування мультиспектрального комплексування зображень у неруйнівному контролі / Д. В. Сторожик, О. В. Муравйов // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 323-326.
- [8] A Practical Application of Machine Learning in Medicine [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.macadamian.com/learn/a-practical->

- application-of-machine-learning-in-medicine/#:~:text=One%20application%20of%20machine%20learning,inform%20clinicians%20of%20any%20anomalies.
- [9] Artificial Intelligence and Machine Learning in Cardiovascular Imaging [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7812848/>.
- [10] Brain contrast-enhanced ultrasonography and elastography in infants [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.e-ultrasonography.org/>.
- [11] Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. New York, NY: Springer.
- [12] Cleerly uses AI-driven heart imaging technology to help save lives with AWS [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aws.amazon.com/blogs/publicsector/cleerly-uses-ai-driven-heart-imaging-technology-to-save-lives-with-aws/>.
- [13] Cortes, C., Vapnik, V.. Support-Vector Networks. Machine Learning 1995;
- [14] Choudhary, R., & Gianey, H. K. (2017). Comprehensive review on supervised machine learning algorithms. Proceedings of the First International Conference on Data Science, E-learning and Information Systems (MLDS), Noida, India, 2017:37–43.
- [15] C. Cortes and V. Vapnik, “Support-vector networks,” Machine Learning, vol. 20, pp. 273–297, 1995.
- [16] D. E. Adkins, “Machine learning and electronic health records: A paradigm shift,” American Journal of Psychiatry, vol. 174, no. 2, pp. 93–94, 2017.
- [17] E. S. Berner and M. L. Graber, “Overconfidence as a cause of diagnostic error in medicine,” American Journal of Medicine, vol. 121, no. 5, pp. S2–S23, 2008.
- [18] Galagan R. Analysis of application of neural networks to improve the reliability of active thermal NDT / R. Galagan, A. Momot. // Scientific information KPI. – 2019. – №1. – С. 7–14.

- [19] Krizhevsky A. Imagenet classification with deep CNNs / A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. Hinton. // Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems. – 2012. – С. 1097–1105.
- [20] Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- [21] Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с. – Назва з екрана.
- [22] Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с. – Назва з екрана.
- [23] General Ultrasound [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.radiologyinfo.org/en/info/genus>.
- [24] Pros And Cons Of Anomaly Detection Techniques [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://roboticsbiz.com/pros-and-cons-of-anomaly-detection-techniques/>.
- [25] Дорофей В. В. USING OF MACHINE LEARNING METHODS IN MEDICAL DIAGNOSTICS / В. В. Дорофей, О. К. Шкодзінський. – 2019. – С. 28.
- [26] Yadav, M., Malhotra, P., Vig, L., Sriram, K., Shroff, G.. ODE - Augmented Training Improves Anomaly Detection in Sensor Data from Machines. arXiv preprint arXiv:160501534 2016;:1–5.

- [27] Lindstrom, J., Larsson, H., Jonsson, M., Lejon, E.. Towards Intelligent and Sustainable Production: Combining and Integrating Online Predictive Maintenance and Continuous Quality Control. In: Procedia CIRP. 2017,.
- [28] Hinton, G.E., Salakhutdinov, R.R.. Reducing the dimensionality of data with neural networks. Science 2006;.
- [29] Machine learning for detection of anomalies in press-hardening: Selection of efficient methods. // 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. – 2018. – С. 1080–1083.
- [30] Drivetrain Approach for Machine Learning [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://vitalflux.com/category/machine-learning/>.
- [31] J&J's Ethicon, CMR Surgical pair up on minimally invasive robotic surgery [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/jjs-ethicon-cmr-surgical-pair-minimally-invasive-robotic-surgery>.
- [32] MACHINE LEARNING FOR ANOMALY DETECTION: IN-DEPTH OVERVIEW [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://nix-united.com/blog/machine-learning-for-anomaly-detection-in-depth-overview/>.
- [33] Zisserman A. VERY DEEP CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR LARGE-SCALE IMAGE RECOGNITION / A. Zisserman, K. Simonyan. – 2015. – С. 7–14.
- [34] Piyush S. Machine learning techniques for medical diagnosis of diabetes using iris images / S. Piyush, A. Ravinder. – 2018. – С. 121–128.
- [35] Jimmy S. Medical diagnosis using machine learning: a statistical review / S. Jimmy, B. Kaustubh Arun. – 2021. – С. 107–125.
- [36] Bradley J. E. Machine Learning for Medical Imaging / J. Erickson Bradley. – 2017. – С. 505–515.
- [37] Kaustubh A. B. A comprehensive review on medical diagnosis using machine learning / A. B. Kaustubh, A. Ahed. – 2021. – С. 1997–2014.
- [38] Heinrichs B. Machine learning algorithms for medical diagnosis and prediction / Bert Heinrichs. – 2019. – С. 1435–1443.
- [39] Vapnik, V., & Izmailov, R. (2016). Synergy of monotonic rules. The Journal of Machine Learning Research, 17, 4722–4754

- [40] ordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349, 255–260.
- [41] Kononenko, I. (2001). Machine learning for medical diagnosis: History, state of the art and perspectives. *Artificial Intelligence in Medicine*, 23, 89–109.
- [42] Moradi, E., Pepe, A., Gaser, C., Huttunen, H., Tohka, J., & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2015). Machine learning framework for early MRI-based Alzheimer's conversion prediction in MCI subjects. *NeuroImage*, 104, 398–412.
- [43] S. Mangrulkar, “Artificial neural systems,” *ISA Transaction*, vol. 29, no. 1, pp. 5–7, 1990.
- [44] I. A. Ozkan, M. Koklu and I. U. Sert, “Diagnosis of urinary tract infection based on artificial intelligence methods,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 166, pp. 51–59, 2018.
- [45] S. L. Chong, N. Liu, S. Barbier and M. E. H. Ong, “Predictive modeling in pediatric traumatic brain injury using machine learning data analysis, statistics and modeling,” *BMC Medical Research Methodology*, vol. 15, no. 1, pp. 1–9, 2015.
- [46] R. Yamashita, M. Nishio, R. K. G. Do and K. Togashi, “Convolutional neural networks: An overview and application in radiology,” *Insights Imaging*, vol. 9, no. 4, pp. 611–629, 2018.
- [47] N. Cristianini and J. Shawe-Taylor, *Support vector machines. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 94–124, 2000.
- [48] Ковальов В. Розпізнавання пухлин на ультразвукових зображеннях печінки з використанням вирішальних правил / Ковальов В.. – 2016. – С. 60–70.
- [49] Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.
- [50] Спеціальні розділи математики. Курс лекцій: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 180 с.