

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 – Інформаційні технології \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_

на тему «Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей)»

КвРКІП. 180148.22.02.01 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2М-22-2

Керівник доктор техн. наук, професор  
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.  
Т.О. Говорущенко  
19 04 2024 р.

  
Підпис Алексеєв В.О.  
Ініціали, прізвище

  
Підпис Говорущенко Т.О.  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Алексею Віталію Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІюМТ (Інтернету медичних речей)

Керівник проекту (роботи) Говорущенко Т.О., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.01.2024 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Аналіз відомих методів машинного навчання для задачі класифікації

Моделювання процесу оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

Метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними





захворюваннями

Система оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними

захворюваннями

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КІС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2024р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз наукових джерел, відомих моделей; постановка задачі	01.11.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – аналіз технічних рішень, підбір приладів	01.12.2023	виконано
5	Робота над науковою статтею	01.02.204	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.2024	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2024	виконано
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2024	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2024	

Студент

  
Підпис  
Алексеєво В.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис  
Говорущенко Т.О.  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей)

Автор роботи: Алексейко Віталій Олександрович

Керівник роботи: д.т.н., проф. Говорущенко Тетяна Олександрівна

Пояснювальна записка: 81 с., 22 рис., 7 табл., 6 дод., 87 джерел.

Ключові слова: Інтернет медичних речей (ІоМТ), респіраторні захворювання, математична модель, машинне навчання, штучний інтелект, система.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ.

Предметом дослідження є система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є проведення моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу шляхом розроблення власної системи моніторингу з використанням технологій ІоМТ та штучного інтелекту.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи синтезу, аналізу, моделювання, експерименту, порівняння.

Наукова новизна отриманих результатів:

– набув подальшого розвитку метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання;

– набула подальшого розвитку система моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (ІоМТ).

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення для мобільного застосунку, для моніторингу стану

здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (ІоМТ).

Практична значимість отриманих результатів полягає у застосуванні методів машинного навчання для більш якісної оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

У першому розділі проведено огляд наукових джерел, проаналізовано існуючі технічні рішення та засоби моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

У другому розділі проаналізовано технічні рішення, розглянуто вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань, здійснено підбір приладів для системи.

У третьому розділі розглянуто методи машинного навчання для оцінки стану здоров'я пацієнтів, проведено порівняння роботи методів та здійснено вибір методів з найбільшою точністю для імплементації у систему.

У четвертому розділі здійснено опис реалізації системи, наведено інструкцію користувача та виконано детальний опис усіх функцій системи.

## ЗМІСТ

<b>СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ</b> .....	6
<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ</b> .....	10
1.1 Тенденції розвитку Інтернету речей .....	10
1.2 Роль ІоМТ у досягненні цілей сталого розвитку .....	11
1.3 Аналіз досліджень і публікацій .....	13
1.4 Відомі засоби моніторингу стану здоров'я .....	14
1.5 Дослідження засобів моніторингу стану здоров'я хворих на гострі респіраторні захворювання .....	21
1.6 Постановка задачі .....	24
1.7 Висновки .....	25
<b>2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ</b> .....	26
2.1 Стейкхолдери системи моніторингу респіраторних захворювань .....	26
2.2 Вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань .....	29
2.3 Оцінка альтернативних рішень .....	34
2.4 Вибір приладів .....	39
2.5 Висновки .....	43
<b>3 МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ З РЕСПІРАТОРНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ</b> .....	44
3.1 Математична модель процесу оцінювання стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями .....	44
3.2 Побудова моделі на основі методів машинного навчання .....	46
3.3 Огляд методів машинного навчання, що можуть бути використані для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями .....	51
3.3.1 Древа рішень і випадковий ліс .....	51

3.3.2	Метод опорних векторів .....	52
3.3.4	Метод К-найближчих сусідів .....	54
3.3.5	Лінійна та логістична регресія .....	54
3.3.6	Наївний Байєсів класифікатор .....	55
3.3.7	Порівняння роботи методів та вибір моделі .....	56
3.4	Побудова нейронної мережі .....	62
3.5	Висновки .....	64
<b>4</b>	<b>СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я</b> .....	<b>65</b>
4.1	Вибір типу архітектури та зразків проектування .....	65
4.2	Розробка архітектури програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями .....	70
4.2.1	Діаграма варіантів використання для програмного забезпечення .....	70
4.2.2	Діаграма класів програмного забезпечення .....	71
4.2.3	Діаграма послідовності програмного забезпечення .....	73
4.2.4	Діаграма станів програмного забезпечення .....	75
4.2.5	Контекстна діаграма .....	76
4.3	Розробка модулів програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями .....	79
4.5	Висновки .....	85
	<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>86</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	<b>89</b>
	<b>ДОДАТОК А</b> Лістинг програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями .....	<b>99</b>
	<b>ДОДАТОК Б</b> Декомпозиція системи у вигляді дерева .....	<b>103</b>
	<b>ДОДАТОК В</b> Стаття у фаховому науковому виданні .....	<b>104</b>

<b>ДОДАТОК Г</b> Тези науково-теоретичної конференції .....	112
<b>ДОДАТОК Д</b> Сертифікат учасника науково-теоретичної конференції .....	114
<b>ДОДАТОК Е</b> Презентаційний матеріал .....	115

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- БД – база даних
- ГРЗ – гострі респіраторні захворювання
- ЕКГ – електрокардіографія
- КВРМ – кваліфікаційна робота магістра
- ООН – організація об'єднаних націй
- ОС – операційна система
- ПЗ – програмне забезпечення
- ХОЗЛ – хронічне обструктивне захворювання легень
- ЦСР – цілі сталого розвитку
- ШІ – штучний інтелект
- ANN (ШНМ) – artificial neural network (штучна нейронна мережа)
- CoAP – Constrained Application Protocol (протокол обмеженого застосування)
- DBP (Diastolic blood pressure) – діастолічний кров'яний тиск.
- DNN – deep neural network (глибока нейронна мережа)
- HR – Heart Rate (частота серцевих скорочень)
- IoMT – Internet of Medical Things (Інтернет медичних речей)
- IoT – Internet of Things (Інтернет речей)
- KNN – The k-nearest neighbors (метод k найближчих сусідів)
- ML – Machine learning (машинне навчання)
- MQTT – Message Queuing Telemetry Transport (транспорт телеметрії черги повідомлень)
- PI – Perfusion index (індекс перфузії (індекс імпульсної модуляції))
- ReLU – Rectified Linear Unit (випрямлена лінійна одиниця)
- RR – Respiratory Rate (частота дихальних рухів)
- SBP – Systolic blood pressure (сistolічний кров'яний тиск)
- SpO<sub>2</sub> – сатурація
- t – температура тіла

## ВСТУП

Значні досягнення в області бездротових технологій, мініатюризації та обчислювальної потужності пристроїв стимулюють інновації в медичній техніці, що призводить до розробки великої кількості медичних пристроїв, здатних генерувати, збирати, аналізувати і передавати дані. Такі дані, разом з відповідними пристроями, створюють сферу Інтернету медичних речей (ІоМТ) – під'єднану інфраструктуру медичних пристроїв, програмних додатків, систем та послуг охорони здоров'я. ІоМТ стрімко трансформує роль медичних технологій у сфері охорони здоров'я. Зокрема, взаємодія між давачами та пристроями обробки інформації, дозволяє медичним закладам оптимізувати свої клінічні операції та керування робочими процесами, а також покращувати догляд за пацієнтами на відстані.

Галузь охорони здоров'я є однією з найбільш перспективних та ключових сфер для конвергенції новітніх технологій, наприклад, Великих Даних, Інтернету Речей, штучного інтелекту тощо [47].

Технології Інтернету медичних речей дозволяють здійснювати цілодобовий моніторинг стану пацієнта, незалежно від місця перебування: на стаціонарному лікуванні у закладі охорони здоров'я або вдома. Єдиною необхідною умовою є наявність доступу до мережі Інтернет.

Актуальність роботи полягає в розробці мобільного застосунку для моніторингу та оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є проведення моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу шляхом розроблення власної системи моніторингу з використанням технологій ІоМТ та штучного інтелекту.

Виходячи з поставленої мети, в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути теоретичні аспекти використання пристроїв ІоМТ;

- розглянути технології, які можуть бути використані при розробці системи моніторингу стану здоров'я та перспективи їх використання;

- розглянути математичні методи, за допомогою яких можна провести оцінку стану здоров'я пацієнта;

- розробити систему з використанням технологій ІоМТ та штучного інтелекту.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ

Предметом дослідження є система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи синтезу, аналізу, моделювання, експерименту, порівняння.

З метою більш ефективної оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями проведено дослідження з використанням наступних методів машинного навчання:

- дерева рішень;
- випадковий ліс;
- опорних векторів;
- посилення градієнта;
- К-найближчих сусідів;
- лінійна регресія;
- логістична регресія;
- наївний Байєсів класифікатор.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набув подальшого розвитку метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання;

- набула подальшого розвитку система моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (ІоМТ).

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення для мобільного застосунку, для моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (IoMT).

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями із застосуванням технологій Інтернету медичних речей та штучного інтелекту, на основі виконаного наукового дослідження що дозволяє проводити більш якісну оцінку стану здоров'я пацієнтів.

У даній роботі викладено вимоги до методології моніторингу та оцінювання стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна стаття «Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей» у фаховому науковому виданні «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1» [2] та тези «Впровадження технологій інтернету медичних речей як засіб досягнення цілей сталого розвитку» Міжнародної науково-теоретичної конференції «V International Scientific and Theoretical Conference. Scientific forum: theory and practice of research. Valencia, Kingdom of Spain. 2024» [1].

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

## 1.1 Тенденції розвитку Інтернету речей

Інтенсивна цифровізація усіх сфер та аспектів людської діяльності призвела до стрімкого зростання інтересу до концепції «ІоТ». Сьогодні «Інтернет речей» вважається проривною технологією, що здатна здійснювати суттєвий вплив на індустрію, бізнес, економіку, а також на охорону здоров'я. Особливо ефективним є застосування технології «ІоТ» в аспекті профілактики та раннього виявлення захворювань [32].

Кількість підключень до інтернету речей у світі за 2022 рік зросло на 18% порівняно з 2021 роком і досягло 14,3 млрд пристроїв. Про це свідчать дані аналітичної компанії IoT Analytics, оприлюднені 24 травня 2023 року.

Згідно з дослідженням, п'ять найбільших у світі телекомунікаційних операторів – China Mobile, China Telecom, China Unicom, Vodafone та AT&T керували 84% усіх глобальних стільникових ІоТ-підключень. Частка лідируючої China Mobile у 2022 році склала 15,3%. На другому місці розташувалася AT&T з результатом 13,6%.

Серед трендів ринку інтернету речей у IoT Analytics відзначили об'єднання бездротових технологій LPWAN та зростання супутникових ІоТ-підключень, які більш стійкі та забезпечують постійний зв'язок навіть під час стихійних лих.

Аналітики вважають, що зростанню світового ринку інтернету речей сприяє кілька факторів, серед яких інтенсивне впровадження хмарних обчислень, а також дешевизна та низьке енергоспоживання ІоТ-сенсорів. Крім того, концепція інтернету речей передбачає високошвидкісні мережеві комунікації, що також є додатковим позитивним фактором розвитку ринку. Ще однією перевагою розвитку ІоТ-ринку є реалізація проєктів розумних міст по всьому світу та розповсюдження 5G-мереж.

Сьогодні найбільш очікувані прориви очікуються у динамічних напрямках, зокрема до них відносять Інтернет медичних речей (ІоМТ, Internet of Medical Things). Глобальний ринок рішень на базі цієї технології зріс з 2017 року майже

вчетверо (до 158 млрд дол. у 2022 р.). Контури розвитку напряду почали формуватися під час пандемії COVID-19. Все більш популярними стають такі ІоМТ-рішення, як діагностичні пристрої, обладнання для моніторингу стану пацієнтів, системи обліку запасів медикаментів тощо.

## 1.2 Роль ІоМТ у досягненні цілей сталого розвитку

Досягнення цілей сталого розвитку (ЦСР), проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй, є важливим аспектом розвитку суспільства, адже вони є орієнтиром для трансформації світу на шляху до миру та процвітання. Впровадження цілей сталого розвитку спрямоване на реалізацію прав людини, забезпечення рівності та захисту планети [84].

Згідно з Указом Президента України, підтримуючи проголошені резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй, цілі сталого розвитку України на період до 2030 року є орієнтирами для розроблення проєктів прогнозних і програмних документів, проєктів нормативно-правових актів з метою забезпечення збалансованості економічного, соціального та екологічного вимірів сталого розвитку України [13].

Технології ІоМТ сприяють досягненню та практичній реалізації цілей сталого розвитку в сферах охорони здоров'я (ЦСР 3), якісної освіти (ЦСР 5), чистої води та належних санітарних умов (ЦСР 6), інновацій та інфраструктури (ЦСР 9), сталих міст та спільнот (ЦСР 11).

Досягнення ЦСР 3 відбувається шляхом впровадження технологій ІоМТ в закладах охорони здоров'я. Такі інновації сприятимуть покращенню результатів медичної допомоги, забезпечать дистанційний моніторинг пацієнтів в режимі реального часу, сприятимуть своєчасному виявленню аномалій та попередженню небезпечних станів.

Надзвичайно актуальним є досягнення ЦСР 5, адже якісна освіта є запорукою стабільності та процвітання у майбутньому. Використання цифрових технологій в освіті сприятиме кращій підготовці фахівців в різних галузях,

зокрема і в медицині. Слід відзначити, що технології ІоМТ відіграють важливу роль у навчанні спеціалістів, адже дозволяють моделювати різноманітні ситуації та опановувати новітні технології.

Досягнення ЦСР 6 дозволить суттєво покращити якість життя людей та знизити ризики інфікування. Це стосується як регіонів з нестачею питної води, так і інших територій, оскільки забруднення навколишнього середовища зростає швидкими темпами. Встановлення спеціальних сенсорів для контролю якості води дозволить попередити можливість інфікування людей та знизити ризик поширення збудників небезпечних хвороб.

Не менш важливим є питання дотримання норм санітарії, що реалізується за допомогою спеціальних ІоТ-пристроїв закріплених на бейджах медичних працівників і диспенсерах із дезінфікуючим засобом. Давачі ідентифікують співробітників і контролюють їх переміщення. Як тільки лікар або медсестра перетинає чергову палату, міні-пристрій дає сигнал і починає відлік часу, протягом якого необхідно виконати санацію. Давачі фіксують кожну дезінфекцію рук і прив'язують цю інформацію до конкретного співробітника. Завдяки системі CHSH кількість внутрішньолікарняних інфекцій у медичних закладах США знизилась на 66% [30].

Бурхливий розвиток ІоМТ сприяє інноваціям у сфері охорони здоров'я, зокрема розробці нових медичних пристроїв, діагностичних інструментів та методів лікування. ЦСР 9 передбачає модернізацію інфраструктури у відповідності до майбутніх викликів, адже функціонуюча та стійка інфраструктура є основою кожної успішної спільноти.

Для процвітання, створення робочих місць та забезпечення побудови стабільних і процвітаючих суспільств у всьому світі передбачено сприяння інноваційним стійким технологіям і забезпеченню рівного і універсального доступу до інформації та фінансових ринків [84].

Застосування ІоМТ забезпечує створення інтелектуальних систем охорони здоров'я в міських районах, що сприяє досягненню ЦСР 11. У рамках принципів електронної охорони здоров'я формується кіберфізичне середовище «розумної»

лікарні, що передбачає цифровізацію усіх процесів функціонування медичного закладу та персоналізовану цифровізацію життєзабезпечення та моніторингу процесів життєдіяльності організму пацієнтів, а також повномасштабну цифровізацію діяльності медичного персоналу. Це дозволить відслідковувати поставки медичних препаратів з контролем забезпечення належних умов транспортування, зменшить перевантаженість закладів охорони здоров'я та сприятиме покращенню результатів лікування.

### 1.3 Аналіз досліджень і публікацій

Питанням використання цифрових технологій у сфері охорони здоров'я присвячували свої праці Д. Борковський, Т. Гряділь, В. Журавель, М. Макаренко, Т. Ткачук [3]. Однак, незважаючи на наявність значної кількості наукових публікацій за цією тематикою та враховуючи стрімкий розвиток цифровізації усіх сфер життєдіяльності суспільства, потребують подальшого аналізу питання особливостей впровадження технологій інтернету речей в галузі охорони здоров'я.

У 2005 році Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) була прийнята концепція e-Health. ВООЗ визначає eHealth як безпечне та економічно обґрунтоване використання інформаційних та комунікаційних технологій у сфері охорони здоров'я, включаючи надання медичної допомоги, організацію нагляду за здоров'ям населення, медичну освіту, поширення знань, навичок та результатів досліджень [36].

Згідно з Концепцією розвитку електронної охорони здоров'я, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України: «Охорона здоров'я є складною системою з багатьма чинниками та детермінантами, які охоплюють усе суспільство, а її трансформація стосується кожного» [12].

Сьогодні Україна перебуває на другому етапі розвитку електронної охорони здоров'я, який згідно з відповідною Концепцією охоплює період 2023 – 2025 років. Цією Концепцією передбачено зокрема: «посилений розвиток систем підтримки клінічних рішень, персоналізованої медицини, телемедицини, систем

для обробки великих даних, штучного інтелекту – інженерної обробки, використання та здобуття нових знань» [12].

Технології IoT в медичній сфері розвиваються надзвичайно швидко. Відповідно до звіту Grand View Research, Inc. (дослідницька і консалтингова компанія з Індії та США), глобальний обсяг ринку Інтернету речей в сфері охорони здоров'я до 2025 року досягне 534,3 мільярда доларів США, збільшившись в середньому на 19,9%. Забезпечуючи технологічні перетворення у галузі медицини, сектор IoMT дозволяє впроваджувати сучасні технологічні рішення в операційну діяльність охорони здоров'я і сприяє цифровим трансформаціям у цій галузі [75].

#### 1.4 Відомі засоби моніторингу стану здоров'я

Інтернет речей (IoT) формує велику мережу інтелектуальних пристроїв, які взаємопов'язані один з одним через мережу Інтернет. Ці пристрої, такі як телефон або інтелектуальний термостат, мають спеціальні функції, що дають їм змогу обмінюватися інформацією. Ідея полягає в тому, щоб змусити ці пристрої працювати разом, роблячи роботу зручнішою та ефективнішою. Наприклад, розумні термостати можуть регулювати температуру відповідно до уподобань користувача, а фітнес-трекери – передавати дані про активність на смартфон. Інтернет речей – це об'єднання повсякденних речей, щоб зробити їх розумнішими і кориснішими в повсякденному житті.

Термін «Інтернет речей» вперше ввів у 1999 році Кевін Ештон, директор Auto-ID Labs Массачусетського технологічного інституту та один із піонерів технології радіочастотної ідентифікації (RFID). Ештон описав IoT як підключену систему, де датчики збирають і передають дані через Інтернет для різних цілей [72].

У сфері охорони здоров'я Інтернет речей означає спільну роботу пристроїв, пов'язаних зі здоров'ям. До таких приладів належать розумні годинники, давачі та інші гаджети. Ці пристрої збирають інформацію про здоров'я людини,

відправляють її в центральну систему, а потім експерти використовують отримані дані, щоб зрозуміти, як підтримувати клієнта у хорошій формі. Таким чином, розумні годинники можуть відстежувати кількість зроблених кроків, а медичні гаджети – передавати важливу медичну інформацію лікарю.

Пристрої Інтернету медичних речей (IoMT) включають все: від персональних переносних пристроїв, таких як Apple Watch, до спеціалізованих пристроїв медичного класу, які контролюють роботу кардіостимуляторів та інших імплантованих медичних пристроїв. До найпопулярніших споживчих пристроїв, які збирають дані про здоров'я, належать:

- трекери фітнесу та активності;
- пульсоксиметри;
- манжети для вимірювання артеріального тиску;
- прилади ЕКГ;
- ваги;
- пристрої відстеження циклу;
- трекери сну.

Отже, Інтернет речей допомагає пристроям об'єднатися заради благополуччя людини.

Архітектура Інтернету речей (IoT) подібна до проекту, який забезпечує безперебійну роботу всіх складових. Прикладом може бути проєкт інтелектуальної системи, яка забезпечує підключення та гармонійну роботу усіх пристроїв.

#### 1. Давачі та пристрої:

В основі Інтернету речей лежать давачі та пристрої. До них відноситься весь спектр сучасних засобів: від давачів температури до розумних годинників. Вони збирають дані з навколишнього середовища або користувача.

#### 2. Зв'язок:

Щойно давачі зберуть інформацію, їм необхідно здійснити передачу даних. Для обміну даними можуть використовуватись різноманітні протоколи передачі

даних. З'єднання можливе різними способами, залежно від конкретних потреб. Можуть використовуватись такі технології як Інтернет, Wi-Fi, Bluetooth тощо.

### 3. Обробка даних та аналітика:

Зібрані дані обробляються та аналізуються. Відбувається фільтрація даних, пошук закономірностей та ідей, що можуть бути корисними у подальшій роботі.

### 4. Користувацький інтерфейс та додатки:

Усі дані необхідно представити користувачам у доступному їм вигляді. Користувацький інтерфейс та додатки виконують функції відображення інформації системи. Для цієї мети може використовуватись мобільний додаток, що відображає показники, або панель моніторингу, на якій лікар може стежити за здоров'ям пацієнта.

Для ефективного обміну інформацією пристроям Інтернету речей потрібна ефективна система зв'язку. Для цього можуть використовуватись як існуючі, так і спеціально розроблені протоколи зв'язку для IoT:

#### 1. MQTT (транспорт телеметрії черги повідомлень):

MQTT схожий на оптимізований месенджер. Це дає змогу пристроям ефективно надсилати повідомлення і не споживати надто багато енергії. Це вкрай важливо для таких пристроїв, як давачі, які можуть бути обмеженими в енергоресурсах.

#### 2. CoAP (протокол обмеженого застосування):

CoAP – протокол, призначений для роботи з невеликими пристроями з низьким енергоспоживанням. Підходить для пристроїв, які не мають великої обчислювальної потужності.

Інтеграція та сумісність даних є ключем до забезпечення безперервної спільної роботи всієї інформації, зібраної різними пристроями.

Інтеграція даних забезпечує об'єднання даних, отриманих з різних джерел. Це гарантує, що інформація від різних давачів та пристроїв може бути об'єднана задля отримання комплексної картини. Функціональна сумісність гарантує, що різні пристрої, навіть якщо вони виготовлені різними виробниками, зможуть отримувати та використовувати дані один одного.

Носимі фітнес-трекери діють як персональні тренери на зап'ясті. Вони спонукають людину більше рухатися, рахувати кроки та ставити цілі у фітнесі.

Такі трекери забезпечують зворотний зв'язок у режимі реального часу, відзначаючи досягнення і мотивуючи користувача залишатися активними. Це невеликий гаджет, що має великий вплив на повсякденні звички людини

Носимі пристрої виходять далеко за рамки підрахунку кроків; вони стежать за життєво важливими показниками тіла: контролюють частоту серцевих скорочень, режим сну і багато іншого, надаючи користувачу детальну інформацію про його здоров'я.

Людам, що страждають на хронічні захворювання, розумні домашні пристрої зможуть надати суттєву допомогу. Вони дозволяють лікарям уважно стежити за пацієнтами без необхідності регулярного відвідування клініки.

Пристрої моніторингу здатні відстежувати життєво важливі показники та симптоми, безпечно надсилаючи усю необхідну інформацію медичним працівникам, подібно до віртуальної медсестри, яка гарантує, що пацієнт отримає необхідну допомогу, навіть не виходячи з дому.

Клініка Клівленда використовує пристрої з підтримкою Інтернету речей для нагляду за пацієнтами з хронічною серцевою недостатністю. Пристрої збирають дані про життєво важливі показники, вагу та рівень активності пацієнтів. Ця інформація передається команді медичного обслуговування клініки Клівленда, яка використовує їх для моніторингу здоров'я пацієнтів і за необхідності вносить корективи в їхні плани лікування.

Для комплексного підходу до лікування, пристрої ІоМТ можуть бути інтегровані із системою «розумного будинку». Розумні домашні пристрої здоров'я інтегруються з навколишнім середовищем, перетворюючи житловий простір людини на помічника в забезпеченні гарного самопочуття.

Наприклад, якщо персональний трекер сну помітить, що у користувача була неспокійна ніч, він може дати сигнал розумному термостату відрегулювати температуру в приміщенні для кращого сну наступної ночі. Таким чином,

будинок налаштовується на благополуччя людей, що в ньому проживають, створюючи цілісний підхід до здоров'я.

Іншим прикладом є безперервний монітор глюкози Dexcom G6 (CGM), який являє собою невеликий пристрій, що носиться на тілі та вимірює рівень цукру в крові кожні п'ять хвилин. Dexcom G6 відправляє показники в застосунок для смартфона, який дає змогу пацієнтам бачити рівень цукру в крові в режимі реального часу та відстежувати тенденції з плином часу.

Персоналізована медицина використовує унікальний підхід до здоров'я пацієнта. Замість універсальних методів лікування вона використовує дані про тіло, спосіб життя і генетику, щоб створити персоналізований план.

Пристрої Інтернету речей збирають дані в режимі реального часу, допомагаючи лікарям зрозуміти особливості здоров'я пацієнтів. Ці персоналізовані дані складають основу для планів лікування, адаптованих до конкретних потреб пацієнта, що робить охорону здоров'я більш ефективною і точною.

Для профілактики захворювань може використовуватись аналітика на основі штучного інтелекту та прогнозне моделювання.

Штучний інтелект (ШІ) аналізує значні обсяги даних, зібраних пристроями Інтернету речей, для виявлення тенденцій і потенційних ризиків для здоров'я.

Прогнозне моделювання дає змогу попередити розвиток різних захворювань. Якщо результат прогнозного моделювання припускає ризик розвитку певного захворювання, лікарі мають можливість здійснити профілактичні заходи, нівелюючи гіпотетичні проблеми зі здоров'ям.

Перевагами використання ІоМТ є:

- Прецизійна обробка: індивідуально підібране лікування підвищує ефективність.
- Раннє виявлення: прогнозна аналітика виявляє проблеми до того, як вони загостряться.
- Покращені результати: Краще розуміння проблеми призводить до кращих результатів.

Проте існують деякі недоліки, а саме:

- Безпека даних: Захист конфіденційних даних про здоров'я має вирішальне значення.
- Взаємодія: Забезпечення спільної роботи різних пристроїв і систем.
- Етичні міркування: Баланс між використанням даних і конфіденційністю пацієнтів.

Аналізуючи недоліки використання ІоМТ, можна зробити висновок, що подбавши належним чином про безпеку передачі, обробки та зберігання даних, а також забезпечивши здійснення підбору сумісних приладів, можна нівелювати ймовірність виникнення проблем та мінімізувати ризики. Також про користь технологій ІоМТ свідчить значний позитивний ефект, який на сьогодні може бути у повній мірі забезпечений впровадженням Інтернету медичних речей.

У сфері персоналізованої медицини Інтернет речей змінює правила гри, переводячи охорону здоров'я від загальних підходів до індивідуалізованого, проактивного лікування.

Згідно з визначенням, наведеним у Законі України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини»: телемедицина – комплекс дій, технологій та заходів, що застосовуються для надання пацієнтам медичної та/або реабілітаційної допомоги методами і засобами телемедицини в дистанційний спосіб та є складовою електронної охорони здоров'я [11].

Стрімкий розвиток телемедицини пов'язаний зі зростанням використання цифрових комунікаційних інструментів. Таким чином, пацієнти можуть консультуватися з лікарями, ділитися медичною інформацією і навіть отримувати рецепти без фізичного відвідування клініки. Це особливо вигідно для тих, хто проживає у віддалених районах або для осіб з обмеженою мобільністю.

Хмарні технології, мобільні технології, технології штучного інтелекту, цифрові реєстри, токенизація – це інструменти, які обіцяють прогрес індустрії охорони здоров'я шляхом збільшення участі пацієнтів у всіх процесах, надання

учасникам можливості контролювати їхні дані, усуваючи перешкоди для участі в дослідженнях [46].

Пристрої Інтернету речей відіграють ключову роль у телемедицині, надаючи дані про стан здоров'я пацієнтів у режимі реального часу. Носимі інтелектуальні пристрої та давачі відстежують життєво важливі показники та безпечно передають цю інформацію постачальникам медичних послуг.

Моніторинг у режимі реального часу дозволяє лікарям приймати обґрунтовані рішення під час віртуальних консультацій. Інтернет речей усуває фізичний розрив між пацієнтами та медичними працівниками, роблячи охорону здоров'я більш доступною.

Дані про здоров'я надзвичайно чутливі. Вони включають детальну інформацію про тіло людини, методи лікування та стани. Захист цієї інформації має вирішальне значення не тільки для конфіденційності пацієнта, але й для підтримки довіри до системи охорони здоров'я.

Порушення безпеки медичних даних можуть призвести до крадіжки особистих даних, несанкціонованого доступу до медичних записів та навіть неправомірного використання особистої медичної інформації. Захист медичних даних забезпечує конфіденційність та цілісність історії хвороби пацієнта.

Задля запобігання витоків інформації, слід звернути особливу увагу на наступні аспекти:

- вразливість пристроїв: пристрої Інтернету речей, якщо вони не захищені належним чином, можуть стати відправною точкою для кібератак. Слабкі місця в системі безпеки пристроїв можуть призвести до несанкціонованого доступу до даних про стан здоров'я.

- ризики передачі даних: дані, які генерують і передають пристрої ІоМТ, можуть бути перехоплені, якщо не вжито належних заходів шифрування. Це створює загрозу конфіденційності медичної інформації.

- проблеми інтеграції: під'єднання різних пристроїв та систем ускладнює роботу. Забезпечення відповідності кожного компонента суворим протоколам безпеки є непростим завданням.

Майбутнє Інтернету речей формують нові технології, що стрімко розвиваються.

Периферійні обчислення наближають обробку даних до джерела (пристроїв), скорочуючи затримку. В охороні здоров'я це означає більш швидкий аналіз даних у реальному часі з переносних пристроїв і медичних давачів.

Слід зауважити, що IoT і периферійні мережі часто взаємозамінні. Граничні мережі передбачають наближення обробки та зберігання даних до місця, де вони генеруються, покращуючи швидкість і надійність програм і пристроїв. Датчики та пристрої передають інформацію в центральне розташування, де автоматизовані або людські ресурси використовують дані для моніторингу та керування віддаленими ресурсами [72].

Поява технологій 5G забезпечує більш швидкий і надійний зв'язок між пристроями. Це розширить можливості телемедицини та забезпечить передачу медичних зображень високої роздільної здатності в режимі реального часу.

Блокчейн забезпечує безпечні та прозорі транзакції. В охороні здоров'я його можна використовувати для безпечного обміну даними про пацієнтів [46], що дає змогу медичним працівникам безпечно отримувати доступ до повної історії хвороби пацієнта.

## 1.5 Дослідження засобів моніторингу стану здоров'я хворих на гострі респіраторні захворювання

Сьогодні ШІ стає все більш популярним в медицині завдяки своїй здатності вирішувати складні завдання, аналізувати дані та допомагати лікарям у діагностиці та лікуванні захворювань.

Існує декілька напрямків застосування технологій ШІ в медицині, зокрема для аналізу медичних зображень, таких як рентгенівські знімки або МРТ, та допомоги лікарям у виявленні різноманітних патологій, таких як рак, пневмонія чи інші захворювання.

Роботи-хірурги, керовані ШІ, можуть виконувати складні операції з високою точністю та мінімальним впливом на тканини.

Широкого застосування набуло використання ШІ для моніторингу стану здоров'я, спостереження за станом пацієнтів, наприклад для контролю артеріального тиску або розпізнавання серцевих аритмій.

Крім того, технології ШІ надають допомогу у розшифровці аналізів та допомагають лікарям інтерпретувати результати, що прискорює процес діагностики.

Більшість сучасних досліджень у сфері моніторингу та оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями стосуються вивчення хронічного обструктивного захворювання легень (ХОЗЛ), комп'ютерної томографії грудної клітки, інтерпретації тестів легеневої функції, загострень і лікування. Іншою сферою інтересу є застосування ШІ та машинного навчання для діагностики інтерстиціального захворювання легень, а також дослідження у сферах механічної вентиляції легень, інтерпретації зображень на рентгенограмі грудної клітини та діагностики бронхіальної астми [60].

Штучні нейронні мережі (ANN, ШНМ), змодельовані на основі роботи людського мозку і складаються з декількох шарів «нейронів», які послідовно обробляють вхідні дані до тих пір, поки не буде досягнутий вихідний шар. Глибокі нейронні мережі (DNN) – це нещодавно розроблений варіант ШНМ. Вони мають велику кількість проміжних шарів (часто більше 10) і обробляють вхідні дані в ієрархічному порядку, причому перші кілька шарів реагують на прості низькорівневі характеристики, а наступні шари реагують на більш абстрактні високорівневі дані.

Глибокі нейронні мережі зазвичай використовуються для класифікації вхідних даних за кількома категоріями. Наприклад, зображення рентгенограми грудної клітки можна класифікувати як «нормальне» або «аномальне». Поява DNN супроводжувалася зміною парадигми штучного інтелекту. [42]

На думку експертів, машинне навчання може допомогти в прийнятті клінічних рішень, але не замінить лікаря повністю. Людські помилки в медицині

пов'язані з великими фінансовими витратами, і багатьом із них можна було б запобігти за допомогою використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання. ШІ особливо корисний за відсутності переконливих доказів прийняття рішень [60].

Однак, незважаючи на безсумнівні переваги, впровадження ШІ в медицину також викликає питання етики та безпеки. Важливо дотримуватись принципів і прав людини при розробці та використанні застосунків з технологіями ШІ у сфері охорони здоров'я.

Багато алгоритмів ШІ, наприклад нейронні мережі та машинне навчання, можуть бути складними та непрозорими. Лікарі та пацієнти повинні розуміти, які дані використовувалися для прийняття рішень та які фактори вплинули на результати. У разі помилок чи неправильних рішень, зроблених ШІ, виникає питання про відповідальність та як встановити, чи була помилка наслідком недостатньої навченості алгоритму або неправильного введення чи інтерпретування даних.

Слід зауважити, що алгоритми ШІ можуть бути упередженими, тобто заснованими на нерепрезентативних даних. Важливо забезпечувати справедливість та рівноправність при розробці та використанні ШІ в медицині.

Також впровадження ШІ може призвести до автоматизації деяких завдань, які раніше виконували лікарі. Це може вплинути на кількість робочих місць та роль медичного персоналу.

Сьогодні надзвичайно актуальними є питання відповідального використання штучного інтелекту, особливо в такій чутливій сфері як медицина. Тому розробка інформаційних систем потребує врахування етичних та правових аспектів. При використанні технологій ШІ під час лікування, пацієнти повинні бути поінформовані про те, що їх дані можуть бути оброблені за допомогою ШІ, та давати згоду на це.

Слід зазначити, що питанням використання інформаційних технологій підтримки прийняття клінічних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав присвячують свої праці науковці Т. Говорущенко, Є. Гнатчук, О. Павлова [46].

Незважаючи на виклики, ШІ обіцяє революційні зміни в медичній практиці та покращення якості охорони здоров'я в майбутньому.

Сьогодні науковці продовжують працювати над вирішенням етичних питань, щоб забезпечити безпечне та ефективне використання ШІ в медицині.

## 1.6 Постановка задачі

Метою системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей) є контроль за показниками життєво важливих функцій пацієнтів. Відповідно до поставленої мети, побудуємо «дерево цілей»:

1. Збір та збереження показників стану здоров'я.

1.1 Забезпечити зчитування показників стану здоров'я.

1.2 Забезпечити збереження показників стану здоров'я.

1.3 Забезпечити редагування інформації користувача.

1.4 Забезпечити видалення інформації.

1.5 Забезпечити перегляд показників стану здоров'я.

1.6 Забезпечити можливість відстежування змін показників стану здоров'я в режимі реального часу.

2. Аналіз показників стану здоров'я.

2.1 Забезпечити формування звітів, щодо показників стану здоров'я.

2.2 Забезпечити фільтрацію та сортування інформації.

2.3 Забезпечити можливість експортувати звіти у різні формати (наприклад, PDF, Excel).

2.4 Забезпечити можливість генерувати графіки та діаграми для візуалізації даних про показники стану здоров'я.

3. Підтримка та розвиток:

3.1 Забезпечити можливість редагування інформації про користувачів та під'єднані давачі.

3.2 Забезпечити можливість додавання нових показників стану здоров'я та під'єднання відповідних давачів.

3.3 Забезпечити можливість оновлення програмної системи для виправлення помилок та вдосконалення функціоналу.

## 1.7 Висновки

Застосування технологій ІоМТ в галузі охорони здоров'я передбачає не лише лікування при діагностуванні захворювань, а дозволяє побудувати превентивну систему охорони здоров'я, яка зосереджена на профілактиці, задля того, щоб люди не страждали від важких наслідків хвороб.

Інтелектуальні системи моніторингу допомагають швидко виявити симптоми і вчасно їх лікувати. Це чудово підходить як для лікарів, так і для пацієнтів, оскільки значно знижується рівень стресу. Більш того, пацієнти можуть отримувати індивідуальне лікування за допомогою пристроїв з підтримкою технології Інтернету-речей, оскільки лікарі можуть отримати чітке уявлення про спосіб життя та історію хвороби пацієнта.

Застосування ІоМТ дозволяє перейти на новий рівень діагностики захворювань, точності лікування та відстежування стану здоров'я пацієнтів за допомогою мікро- та нанодавачів, а також інших «розумних пристроїв». Як наслідок, підвищиться ефективність роботи медичних закладів. Зокрема, дистанційний моніторинг дозволяє знизити ризики позапланових госпіталізацій та зменшити навантаження на стаціонари, а взаємодія між лікарями та пацієнтами на відстані спрощується.

Отже, впровадження технології Інтернету Медичних Речей (ІоМТ) при лікуванні різноманітних хвороб свідчить про стрімкий розвиток сфери охорони здоров'я. Завдяки сучасним цифровим технологічним розробкам можна суттєво покращити якість життя хворих та надавати ефективну медичну допомогу.

## 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

### 2.1 Стейкхолдери системи моніторингу респіраторних захворювань

Система моніторингу здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв ІоМТ залучає різноманітні зацікавлені сторони, які сприяють її розробці, впровадженню та використанню. Основних стейкхолдерів системи можна поділити на дві групи:

Користувачі – пацієнти з респіраторними захворюваннями, лікарі та інші медичні працівники, залучені до процесу лікування.

До кінцевих користувачів відносяться пацієнти, які страждають на респіраторні захворювання, такі як астма, ХОЗЛ (хронічне обструктивне захворювання легень), апное уві сні або інші респіраторні захворювання, є основними зацікавленими сторонами. Вони використовують пристрої ІоМТ для моніторингу дихальних параметрів, таких як функція легенів, рівень насичення киснем, дихання та симптоми в режимі реального часу. Це дає їм змогу краще керувати своїм станом і вчасно звертатися за медичною допомогою, коли це необхідно.

Вимоги стейкхолдерів-користувачів включають наступні аспекти:

- простота та зрозумілість інтерфейсу користувача;
- можливість швидкого та зручного перегляду показників стану здоров'я;
- наявність зручних та функціональних засобів пошуку, фільтрації та сортування даних;
- наявність можливості генерування звітів та перегляд аналітики щодо конкретних показників стану здоров'я за певний часовий проміжок.

Адміністратори – особи, що відповідають за налагодження та підтримку роботи системи. Вимоги стейкхолдерів-адміністраторів:

- наявність зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу адміністрування;
- можливість забезпечення безпеки та конфіденційності даних;
- наявність засобів моніторингу та контролю роботи системи;

– наявність засобів для усунення можливих проблем та несправностей системи.

Іншими зацікавленими сторонами є:

– постачальники медичних послуг: медичні працівники, зокрема пульмонологи, терапевти, медсестри та лікарі загальної практики сімейної медицини. Вони використовують дані, зібрані пристроями ІоМТ, для дистанційного моніторингу здоров'я органів дихання пацієнтів, оцінки прогресування захворювання, оптимізації планів лікування та оперативного втручання у разі загострень або екстрених ситуацій;

– виробники пристроїв ІоМТ. Компанії, які займаються розробкою, виробництвом і обслуговуванням пристроїв ІоМТ, призначених для моніторингу здоров'я органів дихання, є важливими зацікавленими сторонами. Вони розробляють такі пристрої, як спірометри, пульсоксиметри, респіраторні монітори, які можна носити, і розумні інгалятори. Ці виробники несуть відповідальність за забезпечення точності, надійності, сумісності та безпеки своїх пристроїв, а також за дотримання відповідних нормативних стандартів;

– заклади охорони здоров'я: лікарні, клініки та інші медичні заклади є зацікавленими сторонами, які беруть участь у впровадженні та інтеграції систем моніторингу здоров'я органів дихання в режимі реального часу у своїх установах. Вони представляють інфраструктуру, проводять клінічну експертизу та надають послуги підтримки, необхідні для успішного розгортання та використання пристроїв ІоМТ для моніторингу дихання;

– регуляторні органи: державні установи та регуляторні органи, такі як ЕМА (European Medicines Agency), відіграють вирішальну роль у нагляді за безпекою, ефективністю та відповідністю пристроїв ІоМТ. Ними встановлюються правила, інструкції та стандарти, яких повинні дотримуватися виробники та постачальники медичних послуг;

– страхові компанії зацікавлені в системах моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу, оскільки вони потенційно можуть призвести до покращення результатів здоров'я, скорочення госпіталізацій та зниження витрат

на медичне обслуговування. Вони можуть стимулювати прийняття таких систем через політику відшкодування, стимули щодо страхового покриття або моделі догляду;

- аналітики даних, що займаються аналізом даних, медичними дослідженнями та дослідженнями у сфері охорони здоров'я, є зацікавленими сторонами, які використовують величезну кількість даних про здоров'я органів дихання, зібраних системами моніторингу в реальному часі. Вони аналізують тенденції даних, визначають фактори ризику, перевіряють стратегії лікування та сприяють розвитку медичних знань та інноваціям у сфері респіраторної допомоги;

- експерти з конфіденційності та безпеки: враховуючи конфіденційність даних про стан здоров'я пацієнтів, експерти з конфіденційності та безпеки є важливими зацікавленими сторонами. Вони гарантують, що дані пацієнтів захищені від несанкціонованого доступу, порушень і неправильного використання відповідно до нормативних актів щодо захисту даних, таких як HIPAA (Закон про перенесення та підзвітність медичного страхування) у США та GDPR (Загальний регламент захисту даних) у ЄС;

- опікуни пацієнтів із респіраторними захворюваннями стають зацікавленими сторонами, особливо у випадках, коли пацієнти потребують постійного моніторингу та підтримки. Вони можуть мати доступ до даних моніторингу та отримувати сповіщення, що дозволяє їм надавати своєчасну допомогу та втручання, коли це необхідно;

- персонал з технічного обслуговування та підтримки. Окремі особи або групи, відповідальні за технічне обслуговування та підтримку пристроїв ІоМТ та інфраструктури системи моніторингу стану здоров'я, є ключовими зацікавленими сторонами. Вони забезпечують безперервну роботу, надійність і продуктивність системи, а також оперативно усувають будь-які технічні проблеми або несправності, щоб мінімізувати перебої в обслуговуванні пацієнтів.

Співпраця та спілкування між усіма зацікавленими сторонами мають важливе значення для успішної розробки, впровадження та використання систем моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями в режимі

реального часу з використанням пристроїв ІоМТ, що зрештою призводить до покращення результатів респіраторної допомоги та якості життя пацієнтів.

## 2.2 Вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань

Оскільки у Янга особливу увагу приділено процесу реалізації прийнятого рішення, оберемо саме цю методику системного аналізу.

Методика американського дослідника Стенлі Янга охоплює послідовний ряд етапів, які допомагають виробити ефективні рішення для проблем організації:

- визначення цілей;
- виявлення проблем у процесі досягнення цілей: аналіз поточного стану та виявлення перешкод на шляху до досягнення цілей;
- дослідження проблем;
- пошук розв'язання проблеми: розробка альтернативних рішень для подолання виявлених проблем;
- оцінка всіх альтернатив та вибір найкращої з них: порівняння та вибір найбільш відповідного рішення;
- узгодження рішень в організації: забезпечення згоди всіх зацікавлених сторін щодо обраного рішення;
- затвердження рішення: формальне затвердження обраного рішення;
- підготовка до введення рішення: планування та підготовка до реалізації обраного рішення;
- моніторинг та контроль за впровадженням рішення;
- перевірка ефективності рішення: оцінка результатів після впровадження.

Система управління, згідно з Янгом, є нормативною системою типу «людина – людина».

Моніторинг стану здоров'я – процес послідовний, етап слідує за етапом, причому кожен наступний етап використовує результати попередніх етапів, а кожен етап (підсистема) розбивається на підетапи (підсистеми), тому оберемо структуру ієрархічного типу.

V-модель життєвого циклу наведено на рисунку 2.1.

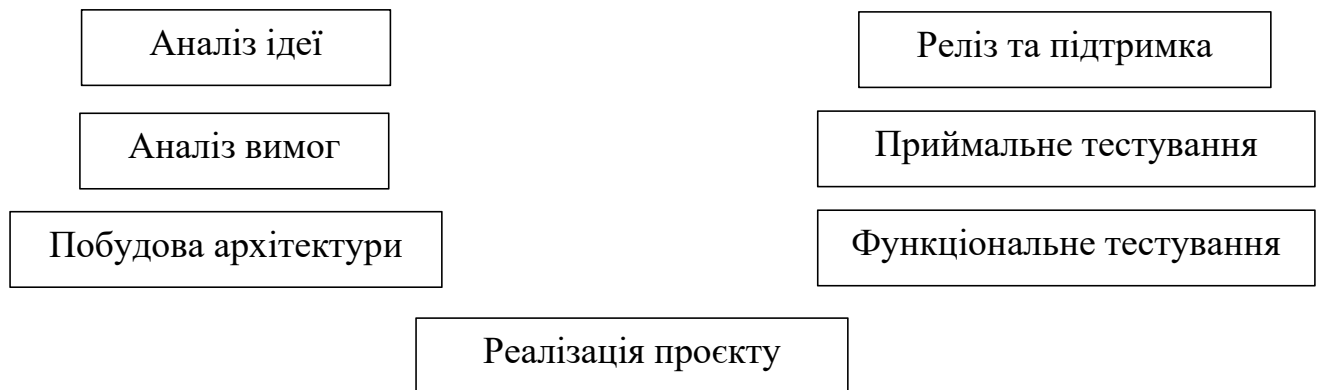


Рисунок 2.1 – V-модель життєвого циклу

Розглянемо початкові, цільові та системні вимоги (за V-моделлю).

Початкові вимоги (вимоги, отримані від замовників та інших стейкхолдерів):

- 1) система повинна забезпечити користувачу можливість переглядати інформацію про показники здоров'я, за якими програмний засіб виконує оцінку загального стану здоров'я людини – функціональна вимога;
- 2) система повинна забезпечити можливість вибору необхідних для моніторингу показників здоров'я людини – функціональна вимога;
- 3) система повинна надати користувачу оцінку стану здоров'я в доступній для користувача формі – функціональна вимога;
- 4) система повинна забезпечувати можливість оцінювання стану здоров'я пацієнта лікарем – функціональна вимога;
- 5) система повинна мати графічний інтерфейс з кольором фону середньої яскравості (колір фону не повинен втомлювати очі користувача або спричиняти подразнення) та з можливістю використання смартфона або планшета – нефункціональна вимога;
- 6) система повинна мати високу надійність функціонування (незалежно від дій користувача) високу продуктивність та високу швидкість відгуку при виконанні будь-якої операції (не більше 2 с) – нефункціональна вимога.

Цільові вимоги (вимоги, які визначають контекст, в якому система буде функціонувати, – але не те, що саме вона робить, а її роль, яку вона відіграє в глобальному оточенні):

1) система повинна надати лікарям можливість швидкого оцінювання стану здоров'я пацієнта за відповідними показниками;

2) система повинна надати можливість додавання нових показників та підключення відповідних датчиків.

Системні вимоги (вимоги, які визначають те, що система повинна мати можливість робити):

1) система повинна забезпечити користувачу можливість переглядати інформацію про показники стану здоров'я, динаміку їх змін – функціональна вимога;

2) система повинна проводити аналіз стану здоров'я користувача – функціональна вимога;

3) система повинна надати користувачу оцінку стану здоров'я в доступній для користувача формі: виведення пояснення одержаного результату у лінгвістичній формі, доступній та зрозумілій користувачу (блок результатів оцінювання стану здоров'я) – функціональна вимога;

4) система повинна забезпечувати можливість оцінювання стану здоров'я користувача, забезпечувати можливість збереження даних та захист конфіденційної інформації – функціональна вимога.

Коректні вимоги повинні мати такі атрибути:

1) необхідність та доцільність;

2) верифікованість;

3) досяжність;

4) однозначність;

5) узгодженість;

6) послідовність.

Вимога «система повинна забезпечити користувачу можливість переглядати інформацію про показники стану здоров'я, передані давачами в режимі реального часу»:

1) необхідна та доцільна – в разі невключення цієї вимоги до переліку вимог користувач не зможе контролювати свої показники здоров'я в режимі реального часу, що створить додаткові незручності;

2) верифікована – вимога виконана, якщо в реалізованій системі буде наявний довідковий блок із відповідними відомостями щодо кожного показника, що вимірюється із вказанням меж допустимих значень;

3) досяжна – вимогу дуже легко реалізувати підключенням даних із відомостями щодо кожного показника, що вимірюються;

4) однозначна – вимога чітко вказує, що саме має бути реалізовано;

5) узгоджена – аналіз всіх вимог показує на несуперечливість зазначеної вимоги з іншими вимогами до програмної системи;

6) послідовна – вимога простежується серед вимог всіх рівнів.

Вимога «система повинна надавати користувачу можливість перегляду динаміки зміни параметрів»:

1) необхідна та доцільна – в разі невключення цієї вимоги до переліку вимог користувач не зможе спостерігати динаміку змін показників та не отримуватиме потрібні йому результати для порівняння;

2) верифікована – вимога виконана, якщо в реалізованій системі буде наявний блок перегляду динаміки зміни параметрів у числовому та графічному представленнях;

3) досяжна – вимогу легко реалізувати, шляхом занесення параметрів до бази даних та можливості їх перегляду в табличному або графічному вигляді, використовуючи модуль графічного відображення;

4) однозначна – вимога чітко вказує, що саме має бути реалізовано;

5) узгоджена – аналіз всіх вимог показує на несуперечливість зазначеної вимоги з іншими вимогами до програмної системи;

6) послідовна – вимога простежується серед вимог всіх рівнів.

Вимога «система повинна забезпечити можливість додавання нових показників та під'єднання відповідних давачів, задля більш точної оцінки стану здоров'я конкретного пацієнта»:

1) необхідна та доцільна – в разі невключення цієї вимоги до переліку вимог лікар не зможе провести ефективний аналіз стану здоров'я конкретного пацієнта, і як наслідок не зможе отримати точних результатів;

2) верифікована – вимога виконана, якщо в реалізованій системі буде наявний блок додаткових показників, поряд з основними;

3) досяжна – вимогу дуже легко реалізувати створенням додаткових полів відображення інформації;

4) однозначна – вимога чітко вказує, що саме має бути реалізовано;

5) узгоджена – аналіз всіх вимог показує на несуперечливість зазначеної вимоги з іншими вимогами до програмної системи;

6) послідовна – вимога простежується серед вимог всіх рівнів.

Вимога «система повинна надати користувачу оцінку стану здоров'я доступній для користувача формі»:

1) необхідна та доцільна – в разі невключення цієї вимоги до переліку вимог користувач не зможе отримати результатів оцінювання стану здоров'я, або отримає результати тільки у кількісному вигляді, які будуть важкими для розуміння;

2) верифікована – вимога виконана, якщо в реалізованій системі буде наявний блок підготовки та виведення результатів оцінювання стану здоров'я, який виводитиме на екран значення та назви розрахованих параметрів, а також висновки щодо стану здоров'я природною мовою на основі одержаних значень;

3) досяжна – вимогу дуже легко реалізувати створенням текстових полів виведення значень та назв розрахованих за визначеним алгоритмом параметрів стану здоров'я, а також висновків щодо стану здоров'я пацієнта природною мовою;

4) однозначна – вимога чітко вказує, що саме має бути реалізовано;

5) узгоджена – аналіз всіх вимог показує на несуперечливість зазначеної вимоги з іншими вимогами до програмної системи;

б) послідовна – вимога простежується серед вимог всіх рівнів.

Вимога «система повинна забезпечувати можливість оцінювання стану здоров'я пацієнта обмеженим колом користувачів (пацієнт, лікар, медичний персонал)»:

1) необхідна та доцільна – в разі невключення цієї вимоги до переліку вимог кожен користувач зможе отримати результати оцінювання стану здоров'я пацієнта, що призведе до витоку конфіденційної інформації;

2) верифікована – вимога виконана, якщо реалізована система буде доступна лише вказаним користувачам, тобто кількість користувачів буде обмежена, а реєстрація чи авторизація – обов'язкові;

3) досяжна – вимогу дуже легко реалізувати додаванням функції реєстрації чи авторизації;

4) однозначна – вимога чітко вказує, що саме має бути реалізовано;

5) узгоджена – аналіз всіх вимог показує на несуперечливість зазначеної вимоги з іншими вимогами до програмної системи;

б) послідовна – вимога простежується серед вимог всіх рівнів.

### 2.3 Оцінка альтернативних рішень

Інтернет медичних речей (ІоМТ) пропонує кілька переваг порівняно з традиційними рішеннями в галузі охорони здоров'я та іншими новими технологіями.

Перш за все, ІоМТ дозволяє дистанційно контролювати стан здоров'я пацієнтів у режимі реального часу, дозволяючи постачальникам медичних послуг відстежувати життєво важливі показники, дотримання ліків і прогресування захворювання без необхідності особистих візитів. Це призводить до раннього виявлення проблем зі здоров'ям, проактивного втручання та кращого лікування захворювань.

Технології ІоМТ дозволяють отримати покращений доступ до медичної допомоги, шляхом усунення розривів у доступі до медичної допомоги, надаючи віртуальні консультації, телемедичні послуги та можливості віддаленого моніторингу. Це особливо корисно для пацієнтів у сільській місцевості чи районах із недостатнім обслуговуванням, які можуть мати обмежений доступ до медичних закладів.

ІоМТ широко залучають пацієнтів і дають можливість брати активну участь в управлінні своїм здоров'ям, надаючи доступ до персоналізованих даних про здоров'я, освітніх ресурсів та інструментів самоконтролю. Це сприяє більшій залученості пацієнтів, дотриманню планів лікування та кращим результатам для здоров'я.

Зменшуючи потребу в частих візитах до лікарні, ІоМТ допомагає знизити витрати на охорону здоров'я, пов'язані зі стаціонарним лікуванням, відвідуванням відділення невідкладної допомоги та повторними госпіталізаціями. Крім того, віддалений моніторинг і прогнозна аналітика дозволяють постачальникам медичних послуг ефективніше розподіляти ресурси, оптимізувати плани лікування та запобігати дорогим ускладненням.

ІоМТ дозволяє здійснити раннє виявлення проблем зі здоров'ям шляхом постійного моніторингу життєво важливих ознак, симптомів і біометричних даних. Це дозволяє постачальникам медичних послуг оперативно втручатися, коригувати плани лікування та забезпечувати профілактичні заходи до загострення стану, що призводить до кращих результатів для пацієнтів.

Ключовою перевагою технології є сприяння персоналізованій медичній допомозі, збираючи та аналізуючи величезну кількість даних пацієнтів, включаючи генетичну інформацію, фактори способу життя та вплив навколишнього середовища. Це дає змогу лікарям адаптувати плани лікування, схеми прийому ліків і рекомендації щодо способу життя відповідно до індивідуальних потреб пацієнтів, уподобань і факторів ризику.

Технології ІоМТ генерують багато потоків даних у реальному часі, які можуть бути проаналізованими за допомогою розширеної аналітики та алгоритмів

штучного інтелекту. Це дає змогу приймати рішення на основі отриманих даних, визначати тенденції, прогнозувати результати для пацієнтів і оптимізувати стратегії надання медичної допомоги на основі науково обґрунтованих практик.

Рішення ІоМТ є масштабованими та адаптованими до різноманітних закладів охорони здоров'я, включаючи лікарні, клініки, домашній догляд та догляд у важкодоступних та віддалених регіонах. Системи можуть бути налаштовані відповідно до конкретних клінічних вимог, інтегровані з існуючими системами охорони здоров'я та підтримувати взаємодію з іншими медичними пристроями та джерелами даних.

Загалом ІоМТ пропонує трансформаційний підхід до надання медичної допомоги шляхом використання підключених пристроїв, аналітики даних і цифрових технологій для покращення догляду за пацієнтами, покращення клінічних результатів та оптимізації процесів надання медичної допомоги.

Альтернативними проєктними рішеннями для системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є наступні концепції:

– Мобільний додаток або веб-сервіс із підтримкою пристроїв ІоМТ. Передбачає розробку мобільного додатку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними ІоМТ пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо. Цей застосунок може збирати дані про температуру тіла, пульс, кров'яний тиск, сатурацію, а також інші параметри здоров'я. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта.

Під час використання портативних пристроїв для моніторингу дихання їх розміщення на тілі пацієнта має вирішальне значення для забезпечення точних вимірювань і оптимального комфорту.

Нагрудні лямки або стрічки зазвичай носять навколо грудей або верхньої частини тулуба, трохи нижче пахв. Вони можуть вимірювати частоту дихання, рух грудної клітки та дихальне зусилля. Такі давачі можуть використовувати вбудовані датчики або еластичну тканину з вбудованими електродами для виявлення розширення та звуження грудної клітки під час дихання.

Нагрудні ремені зазвичай використовуються в системах моніторингу сну, респіраторних терапевтичних пристроях і фітнес-трекерах для моніторингу дихання під час відпочинку або фізичної активності.

– Система з «розумними» патчами. «Розумні» патчі – це свого роду переносні давачі, які використовуються в медичній промисловості. Вони наносяться на шкіру пацієнта за допомогою адгезиву та мають пінну частину та вбудовану електроніку для моніторингу фізіологічних ознак пацієнта, таких як його пульс [31].

Клейкі датчики розміщуються на грудях або верхній частині спини, зазвичай над легенями або діафрагмою. Патч-давачі містять мініатюрні електронні компоненти, зокрема акселерометри, гіроскопи та давачі частоти дихання, для моніторингу рухів грудної клітки та виявлення дихальних закономірностей. Вони легкі, непомітні та підходять для тривалого носіння.

Патч-давачі використовуються для амбулаторного моніторингу функції дихання у пацієнтів із хронічними респіраторними захворюваннями, такими як астма, ХОЗЛ або апное уві сні.

– Система зі смарт-одягом. Розробка спеціального смарт-одягу з вбудованими давачами для моніторингу фізіологічних параметрів людини дозволяє здійснювати контроль за станом здоров'я. Такі сенсори мають змогу проводити первинну обробку інформації та здійснювати її передачу на зовнішній пристрій для подальшого аналізу. Смарт-одяг може бути представлений футболкою, штанами або спортивним костюмом із вбудованими сенсорами для вимірювання температури тіла, серцевого ритму, частоти дихальних рухів та інших параметрів.

Елегантні сорочки або одяг із вбудованими датчиками надягають безпосередньо на шкіру, закриваючи груди та верхню частину живота. У такому одязі використовуються сенсори на основі текстилю для моніторингу параметрів дихання, таких як частота, глибина та ритм дихання. Вони також можуть вимірювати пульс, температуру тіла та рівень активності одночасно.

Смарт-сорочки використовуються для безперервного моніторингу дихання в клінічних умовах, у домашніх умовах і для відстеження спортивних результатів.

Також можуть використовуватись інші пристрої, як в комбінації з іншими давачами, так і незалежно від них.

Розумні респіраторні маски надягають на ніс і рот, закриваючи дихальні шляхи. В них інтегрують датчики для вимірювання дихальних параметрів, таких як дихальний об'єм, швидкість вдиху та видиху, а також характер дихання. Такі маски також можуть містити функції для моніторингу тиску в дихальних шляхах і вимірювання насичення киснем крові.

Розумні респіраторні маски використовуються в клінічних умовах для неінвазивної вентиляції легенів, терапії безперервним позитивним тиском у дихальних шляхах і підтримки дихання у пацієнтів із дихальною недостатністю або розладами дихання уві сні.

Також можуть використовуватись носимі спірометри.

Спірометри – це портативні або переносні пристрої, які розміщуються біля рота чи носа.

Переносні спірометри вимірюють параметри функції легенів, включаючи об'єм форсованого видиху (FEV1), форсовану життєву ємність (FVC), пікову швидкість видиху (PEFR) та інші спірометричні показники. Вони дають змогу в режимі реального часу відстежувати показники дихання та функції легенів.

Переносні спірометри використовуються для домашнього моніторингу функції дихання у пацієнтів з астмою, ХОЗЛ, муковісцидозом та іншими хронічними захворюваннями органів дихання.

Використаємо метод витрат для визначення оптимального технічного рішення. Проведемо аналіз витрат на придбання необхідних пристроїв ІоМТ, розробку програмного забезпечення, створення серверної інфраструктури, а також налаштування та підтримку системи. Дослідження витрат допоможе визначити ефективність та стійкість проектних рішень з погляду фінансових витрат, для вибору оптимального технічного рішення. Результати аналізу рівня

визначених факторів для системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати аналізу рівня визначених факторів

Фактор	пристрої	патчі	смарт-одяг
Чіткість початкових вимог	Високий	Низький	Середній
Оцінка витрат і часу на розроблення	Середній	Високий	Високий
Ступінь критичності	Високий	Високий	Високий
Витрати на розроблення	Середній	Високий	Високий
Час на розроблення	Високий	Високий	Високий
Складність проекту	Середній	Високий	Високий
Розмір команди розробників	Низький	Високий	Високий

Отже, провівши відповідний аналіз, отримуємо найкращий варіант – використання пристроїв ІоМТ.

#### 2.4 Вибір приладів

Для моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями можуть бути використані різні пристрої. Оптимальний вибір у співвідношенні ціна-якість напряду залежить від конкретних потреб користувача та його можливостей. Таким чином, для пацієнтів з серйозними респіраторними

захворюваннями та наявними супутніми захворюваннями буде виправданим інвестування у високоякісні, дорогі пристрої, які забезпечують вищу точність та надійність вимірювань. Однак для інших користувачів, які потребують лише базового моніторингу достатнім буде використання більш доступних, бюджетних варіантів.

Оцінюючи оптимальність вибору, слід враховувати такі фактори:

- функціональні можливості;
- точність та надійність;
- досвід використання;
- ціна.

Оскільки основними показниками для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями є температура тіла, пульс, сатурація та частота дихальних рухів, розглянемо їх метрологічні характеристики (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Метрологічні характеристики

Показник	Діапазон вимірювання	Межі допустимої абсолютної похибки
Температура $t$ , °C	25 – 45	$\pm 0,1$
Частота серцевих скорочень (пульс) ЧСС, $\text{хв}^{-1}$	30 – 250	$\pm 2$
Сатурація крові $\text{SpO}_2$ , %	80 – 100	$\pm 2$
	70 – 79	$\pm 3$
Частота дихальних рухів ЧДР, $\text{хв}^{-1}$	10 – 60	$\pm 2$

Відповідно до цих показників, розглянемо прилади, вимірювання температури, показників гемодинаміки та частоти дихальних рухів: термометри, пульсоксиметри, пристрої для фіксації частоти дихальних рухів.

Необхідно здійснити підбір таких приладів, які могли б автоматично відстежувати показники протягом досить тривалого періоду, мали б змогу під'єднуватись до мережі Інтернет або до інших пристроїв, наприклад до смартфонів, за допомогою Bluetooth з'єднання. Варіант вибору пристроїв наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Прилади для моніторингу показників та їх функції

Прилад	Модель	Функція
Термометр	Withings Thermo Smart Temporal Thermometer	Вимірювання температури тіла
Пульсоксиметр	Masimo MightySat Rx Fingertip Pulse Oximeter	Вимірювання частоти серцевих скорочень (пульсу)
		Вимірювання насиченості киснем крові (SpO <sub>2</sub> )
Пристрій для фіксації частоти дихальних рухів	Respiro Smart Respiratory Monitor	Вимірювання частоти дихальних рухів

В деяких ситуаціях виникає необхідність використання додаткових пристроїв для контролю стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями. Наприклад, наявність, або ризик розвитку супутніх хвороб. Зазвичай до них відносяться серцево-судинні захворювання та цукровий діабет. Таким чином, за потреби, можуть бути використані додаткові пристрої для вимірювання відповідних показників:

– артеріального тиску (Omron Evolv Wireless Upper Arm Blood Pressure Monitor);

- електричної активності серця (AliveCor KardiaMobile Personal EKG);
- глікемії (FreeStyle Libre Continuous Glucose Monitoring System);

Вибір місця розміщення переносних пристроїв ІоМТ для респіраторного моніторингу залежить від таких факторів, як конкретні дихальні параметри, які потрібно виміряти, комфорт пацієнта, простота використання та передбачуване застосування (наприклад, клінічний моніторинг, догляд удома, спортивні результати). Медичні працівники повинні ретельно оцінити ці фактори та вибрати найбільш підходяще розміщення пристрою, щоб забезпечити точний і надійний моніторинг дихання, зводячи до мінімуму дискомфорт і незручності для пацієнта.

Пристрої для моніторингу дихання прикріплюються до грудної клітини або пояса, щоб відстежувати дихальні рухи. Пристрої моніторингу кисню в крові, такі як пульсоксиметри, зазвичай надягають на палець. Вимірювачі артеріального тиску закріплюються на плечі або зап'ясті.

Розміщення запропонованих пристроїв на тілі людини здійснюється таким чином, як показано на рисунку 2.2.

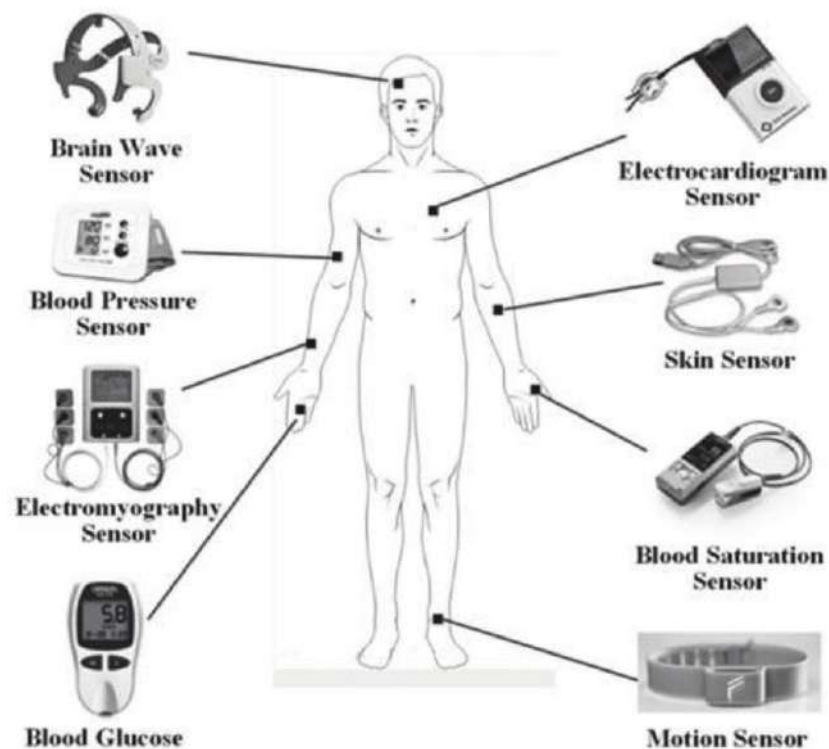


Рисунок 2.2 – Розміщення пристроїв ІоМТ на тілі людини [74]

Слід зазначити, що запропонований варіант вибору приладів не є єдиним можливим. Здійснення такого підбору слід проводити, виходячи з потреб та можливостей користувачів. В той же час, важливим аспектом роботи розроблюваної системи є передбачення можливості під'єднання широкого спектру приладів ІоМТ.

## 2.5 Висновки

Проаналізувавши різні варіанти технічних рішень, можна зробити висновок, що найбільш доцільним варіантом для поставленого завдання є використання фізичних пристроїв ІоМТ для збору показників. Розміщення датчиків є комфортним для пацієнта та не потребує додаткових витрат.

Наведений підбір приладів є оптимальним з точки зору ефективності роботи системи, проте може бути змінений відповідно до потреб пацієнтів та можливостей закладів охорони здоров'я. При необхідності пристрої можуть бути замінені на аналогічні. Залежно від діагностованого захворювання, лікарем може бути прийняте рішення про використання більш точних дороговартісних приладів, задля більш ефективного моніторингу стану здоров'я пацієнта, або навпаки, для захворювань, які не несуть прямих загроз, можуть бути використані дешевші та менш точні аналоги, які проте дозволять відслідкувати закономірності та оцінити стан здоров'я пацієнта.

### 3 МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ З РЕСПІРАТОРНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ

3.1 Математична модель процесу оцінювання стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

Стан здоров'я пацієнта (S) з респіраторним захворюванням може бути представлений у вигляді залежності від функцій:  $t$  – температура тіла,  $SpO_2$  – сатурація, RR (Respiratory Rate) – частота дихальних рухів, HR (Heart Rate) – частота серцевих скорочень, PI (Perfusion index) – індекс перфузії (індекс імпульсної модуляції), SBP (Systolic blood pressure) – систолічний кров'яний тиск, DBP (Diastolic blood pressure) – діастолічний кров'яний тиск.

Тоді модель стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням матиме наступний формалізований вигляд:

$$S = f(t, SpO_2, RR, HR, SBP, DBP) = \begin{bmatrix} f_1(t_{average}, t_{min}, t_{max}) \\ f_2(SpO_2, PI) \\ f_3(RR_{average}, RR_{min}, RR_{max}) \\ f_4(HR_{average}, HR_{min}, HR_{max}) \\ f_5(SBP, DBP) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

де S – стан здоров'я пацієнта;

f – функція залежності;

t – температура тіла;

$SpO_2$  – сатурація;

RR – частота дихальних рухів;

HR – частота серцевих скорочень;

SBP – систолічний кров'яний тиск;

DBP – діастолічний кров'яний тиск;

$t_{average}$  – середня температура тіла;

$t_{min}$  – мінімальна температура тіла;

$t_{max}$  – максимальна температура тіла;

PI – індекс перфузії;

$RR_{average}$  – середня частота дихальних рухів;

$RR_{min}$  – мінімальна частота дихальних рухів;

$RR_{max}$  – максимальна частота дихальних рухів;

$HR_{average}$  – середня частота серцевих скорочень;

$HR_{min}$  – мінімальна частота серцевих скорочень;

$HR_{max}$  – максимальна частота серцевих скорочень.

Основні властивості побудованої моделі:

1) цілеспрямованість – модель має за мету оцінювання стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням;

2) скінченність – модель відображає оригінал (стандарт) в скінченній кількості його відношень;

3) спрощеність – модель є простою для дослідження або відтворення;

4) наближеність – дійсність відображається моделлю наближено, оскільки не зазначено вигляду функцій  $f1 - f5$ ;

5) адекватність – модель успішно описує модельовану систему оцінювання стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням;

6) наочність її основних властивостей та відношень;

7) доступність для дослідження та відтворення;

8) інформативність – модель містить достатню інформацію про процес оцінювання стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням;

9) збереження інформації оригіналу (стандарту);

10) повнота – в моделі враховані всі основні зв'язки та відношення, необхідні для забезпечення оцінювання стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням;

11) стійкість – модель описує стійку поведінку системи;

12) цілісність – модель реалізує деяку систему (ціле) оцінювання стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням;

13) замкненість – модель враховує та відображає замкнену систему необхідних основних відношень;

14) адаптивність – модель пристосована до різних вхідних параметрів, впливів оточення;

15) керованість (імітаційність) – модель має параметри, зміни яких дозволяють імітувати поведінку модельованої системи за різних умов;

16) еволюційність – є можливість розвитку моделі за рахунок змін функцій  $f_1 - f_5$ .

Основною метою моделі є оцінка стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями на основі вхідних даних, отриманих від пристроїв ІоМТ.

Відповідно до поставленого завдання, доцільним буде провести аналіз існуючих методів класифікації та розробка нейронної мережі для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

### 3.2 Побудова моделі на основі методів машинного навчання

Хоча сьогодні людство все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку, штучного інтелекту, проте сучасні технології вже настільки ж здатні діагностувати хвороби, як і лікарі, а іноді й перевершують у цьому людей [65]. Дослідники з лікарні Джона Редкліфа в Оксфорді, Англія, розробили систему діагностики штучного інтелекту, яка є точнішою, ніж лікарі, у діагностиці серцевих захворювань принаймні у 80% випадків. У Гарвардському університеті дослідники створили «розумний» мікроскоп, який може виявляти потенційно смертельні інфекції крові: інструмент із штучним інтелектом був навчений на серії із 100 000 зображень, зібраних із 25 000 слайдів, оброблених барвником, щоб зробити бактерії більш видимими. Система ШІ вже може сортувати ці бактерії з 95-відсотковою точністю. Дослідження, проведене Університетом Шова в Йокогамі, Японія, показало, що нова комп'ютеризована ендоскопічна система може виявляти ознаки потенційно ракових пухлин у товстій кишці з 94-відсотковою чутливістю, 79-відсотковою специфічністю та 86-відсотковою точністю.

Згідно з дослідженнями Товариства систем управління та інформації в галузі охорони здоров'я (HIMSS – Healthcare Information and Management Systems Society) ШІ та машинне навчання здатні трансформувати підхід до моніторингу стану здоров'я пацієнтів та діагностування хвороб. Старший науковий аналітик і спеціаліст із комунікацій клініки Майо (Рочестер, США) Пол Серрато (Paul Cerrato) зауважує, що: «Від 12 до 18 мільйонів американців щороку стикаються з певною діагностичною помилкою» [45].

Застосування обробки великих масивів даних та аналізу інформації з використанням технологій, що швидко розвиваються, таких як штучний інтелект та машинне навчання, здатне покращити процес лікування різних захворювань, зокрема і респіраторних. Сучасні нейронні мережі здатні з високою точністю провести оцінку стану здоров'я пацієнта, допомогти виявити паталогії та на ранній стадії попередити виникнення небезпечних хвороб, чи ускладнень. В поєднанні із технологією ІоМТ, застосування ШІ та машинного навчання зможе в рази прискорити процес обробки інформації та прийняття рішень, що в майбутньому дозволить знизити смертність та уникнути серйозних ускладнень, викликаних респіраторними захворюваннями.

Машинне навчання (ML) і нейронні мережі добре підходять для оцінки респіраторних захворювань пацієнтів, оскільки вони є ефективними при вирішенні наступних задач:

- розпізнавання шаблонів;
- прогнозування аналітики;
- індивідуального планування лікування;
- моніторингу в режимі реального часу.

Алгоритми ML можуть аналізувати величезну кількість даних про пацієнта, включаючи частоту дихання, насичення киснем, легеневі шуми та інші клінічні параметри, щоб розпізнавати шаблони, що вказують на респіраторні захворювання, зокрема астму, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), або пневмонію. Нейронні мережі добре підходять для вивчення складних моделей та зв'язків в даних.

Моделі ML можуть передбачати прогресування респіраторних захворювань, визначати загострення та передбачати ускладнення на основі даних про пацієнтів і факторів ризику. Це дозволяє постачальникам медичних послуг вчасно втручатися, коригувати плани лікування та запобігати несприятливим результатам.

Застосування алгоритмів ML, що аналізують дані про пацієнта, включаючи демографічну інформацію, історію хвороби, генетичні фактори та вплив навколишнього середовища, ефективні в адаптації планів лікування та коригування до індивідуальних потреб пацієнта. Такий індивідуальний підхід суттєво покращує ефективність лікування та його результати.

Оскільки моделі ML можуть безперервно відстежувати параметри дихання в режимі реального часу, використовуючи дані від носимих давачів, розумних пристроїв і медичного обладнання, це дає змогу своєчасно виявляти респіраторний дистрес, швидко реагувати на зміни стану пацієнта та вчасно втручатися з метою запобігання дихальній недостатності та загостренням.

Слід зазначити, що моделі ML можуть адаптуватися до різних груп пацієнтів, клінічних умов і респіраторних захворювань, що робить їх універсальними інструментами для оцінки респіраторних захворювань пацієнтів. Крім того, нейронні мережі можуть узагальнювати шаблони, отримані з одного набору даних, на нові, невідомі дані, підвищуючи їхню застосовність у різних сценаріях охорони здоров'я.

Алгоритми ML можна легко інтегрувати в системи ІоМТ для аналізу потокових даних із підключених пристроїв, електронних медичних записів та інших джерел у режимі реального часу. Це забезпечує безперебійний моніторинг респіраторних пацієнтів у різних закладах догляду та полегшує прийняття рішень на основі даних постачальниками медичних послуг.

Оскільки моделі ML можна постійно вдосконалювати та оновлювати даними про пацієнтів, клінічними рекомендаціями та результатами досліджень, вони будуть зберігати та підвищувати свою ефективність з часом. Такий ітеративний процес навчання дозволить суттєво покращити систему моніторингу стану здоров'я.

Загалом машинне навчання та нейронні мережі пропонують потужні інструменти для оцінки респіраторних захворювань пацієнтів, що забезпечує раннє виявлення, персоналізоване планування лікування та безперервний моніторинг респіраторних станів для покращення результатів пацієнтів та якості медичної допомоги.

Модель процесу оцінювання стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням даних, отриманих за допомогою пристроїв ІоМТ будуватимемо на основі методів машинного навчання, використовуючи синтетичні статистичні дані.

Основними етапами побудови моделі є:

- збір даних;
- попередня обробка даних;
- вибір ознак;
- розбиття на тренувальний і тестовий набори;
- вибір моделі;
- навчання моделі;
- оцінка моделі;
- налаштування та покращення;

Збір даних проводитиметься шляхом передачі показників, знятих за допомогою пристроїв ІоМТ. Проте, для тестування моделі доцільним буде використати навчальний набір даних. Для цього згенеруємо синтетичні дані за допомогою програмного коду (Додаток А).

Оскільки під час роботи системи може спостерігатися некоректна робота якогось з приладів (несправність, відсутність контакту тощо) слід провести попередню обробку даних, за умови, що ці дані не свідчать про проблеми зі здоров'ям пацієнта (видалення аномальних значень, масштабування показників тощо). Також слід включити функцію негайного сповіщення при виявленні нетипових показників.

Передбачимо формування набору даних таким чином, щоб максимально спростити процес обробки (пересвідчимося у правильності заповнення усіх полів,

відсутності пропущених даних тощо). Представлення згенерованих даних у табличному вигляді наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 4.3 – Дані у табличному представлені

ID	t, °C	SpO <sub>2</sub> , %	RR, min <sup>-1</sup>	HR, min <sup>-1</sup>	SBP, mmHg	DBP, mmHg	Condition
1	37,8	90	12	69	128	83	Fever, Hypoxia
2	37,2	96	18	67	141	92	Healthy
3	37,5	93	13	90	130	81	Hypoxia
4	38,1	96	12	82	115	76	Fever
5	37,9	99	15	90	119	79	Fever
6	36,5	95	16	81	122	83	Healthy
7	37,4	91	14	77	143	88	Hypoxia
8	36,9	99	15	65	129	79	Healthy
9	36,9	93	16	78	117	69	Hypoxia
10	37,2	93	12	89	130	85	Hypoxia

Ключові ознаки, на основі яких здійснюватиметься оцінка стану здоров'я пацієнта отримуємо з математичної моделі. До таких ознак належать:

t – температура тіла;

SpO<sub>2</sub> – сатурація;

RR (Respiratory Rate) – частота дихальних рухів;

HR (heart rate) – частота серцевих скорочень;

PI – індекс перфузії (індекс імпульсної модуляції);

SBP – систолічний кров'яний тиск;

DBP – діастолічний кров'яний тиск.

Для навчання моделі слід здійснити розбиття набору даних на дві частини: тренувальний та тестовий набори. Тренувальний набір використовується для навчання моделі, а тестовий – для оцінки її продуктивності.

Задля вибору оптимальної моделі машинного навчання для досягнення якнайкращих результатів доцільно провести огляд основних методів.

Навчання моделі проведемо на згенерованому наборі даних. Процес навчання полягає у встановленні оптимальних значень параметрів моделі на основі тренувальних даних.

Оцінка продуктивності моделі здійснюється основі на тестового набору даних, і включає такі показники якості, як точність, чутливість, специфічність тощо. Дані результати показують, наскільки точно система проводить оцінку стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

Налаштування та покращення моделі здійснюються, виходячи з результатів оцінки. Для цього може знадобитись проведення оптимізації гіперпараметрів моделі, зміна набору ознак або використання інших моделей.

### 3.3 Огляд методів машинного навчання, що можуть бути використані для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

#### 3.3.1 Древа рішень і випадковий ліс

Оскільки оцінка стану здоров'я пацієнта належить до задач класифікації, одним з ефективних рішень є застосування дерев рішень та ансамблевих методів, наприклад випадкових лісів. Перевага даних методів полягає у тому, що вони піддаються інтерпретації, добре обробляють нелінійні зв'язки та менш схильні до перенавчання, у порівнянні з іншими методами.

Дерево рішень – це один з методів автоматичного аналізу великих масивів даних. Ідея, яка лежить в основі методу дерева рішень, полягає у розбитті множин можливих значень вектора ознак (незалежних змінних) на множини, які не перетинаються і підгонці простої моделі для кожної такої множини. Отже, мета цього методу полягає в тому, щоб створити модель, яка прогнозує значення цільової змінної на основі декількох змінних на вході [9].

Випадковий ліс (random forest) – алгоритм машинного навчання, запропонований Лео Брейманом (Leo Breiman) і Адель Катлер (Adele Cutler), що полягає у використанні ансамблю дерев рішень [27].

Тобто, випадковий ліс є композицією (ансамблем) безлічі дерев рішень, що дозволяє знизити проблему перенавчання та підвищити точність порівняно з одним деревом. Кінцевий результат отримується шляхом об'єднання відповідей безлічі дерев. Тренування дерев відбувається незалежно один від одного (на різних підмножинах), що не просто вирішує проблему побудови однакових дерев на тому самому наборі даних, але і робить цей алгоритм дуже зручним для застосування в системах розподілених обчислень. Спрощену модель випадкового лісу представлено на рисунку 3.1.

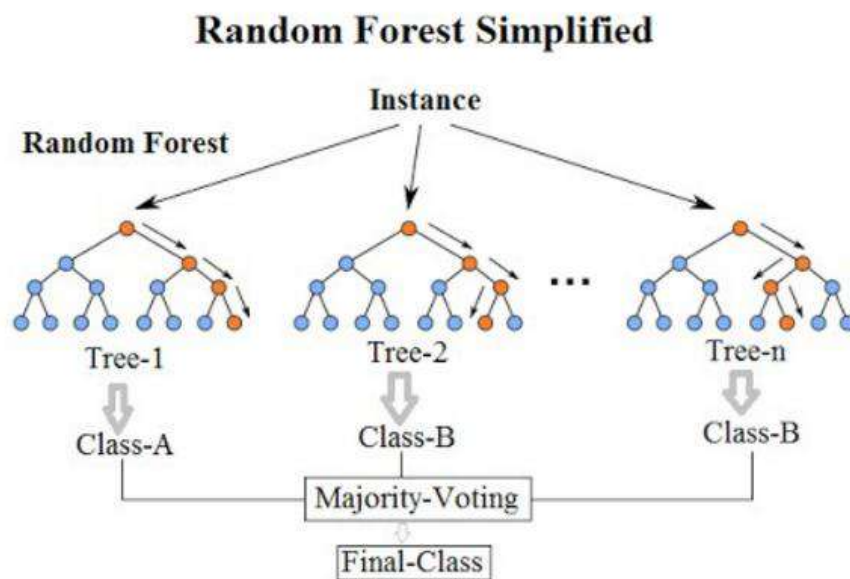


Рисунок 3.1 – Спрощена модель випадкового лісу [53]

### 3.3.2 Метод опорних векторів

Метод опорних векторів (SVM – support vector machine) – один із найбільш популярних алгоритмів машинного навчання. Це потужний класифікатор, який добре працює як на лінійних, так і на нелінійних даних. Метод показує гарні

результати в просторах великої розмірності та ефективно використовує пам'ять. Робота методу ґрунтується на побудові гіперплощини.

Гіперплощина – це лінія, що розділяє простір вхідних змінних. У методі опорних векторів гіперплощина вибирається так, щоб найкраще розділяти точки в площині вхідних змінних за їх класом: 0 або 1 (рисунк 3.2). У двомірній площині це можна представити як лінію, яка повністю розділяє точки всіх класів. Під час навчання алгоритм шукає коефіцієнти, які допомагають краще поділяти класи гіперплощиною.

Відстань між гіперплощиною та найближчими точками даних називається різницею. Найкраща або оптимальна гіперплощина, що розділяє два класи – це лінія з найбільшою різницею. Тільки дані є важливими при визначенні гіперплощини і при побудові класифікатора. Такі точки називаються опорними векторами. Для визначення значень коефіцієнтів, що максимізують різницю, використовуються спеціальні алгоритми оптимізації.

Метод опорних векторів вважається одним із найефективніших класичних класифікаторів.

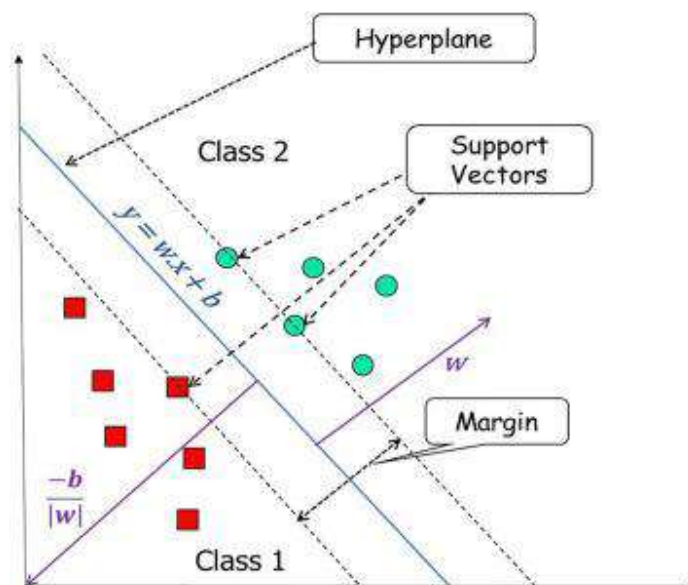


Рисунок 3.2 – Метод опорних векторів [33]

### 3.3.4 Метод К-найближчих сусідів

Модель KNN (K-nearest neighbors – К-найближчих сусідів) представлена всім набором тренувальних даних. Передбачення для нової точки робиться шляхом пошуку К найближчих сусідів у наборі даних і підсумовування вихідної змінної для цих К екземплярів.

Проблемою є лише питання визначення схожості між екземплярами даних. Якщо всі ознаки мають той самий масштаб (наприклад, сантиметри), то найпростіший спосіб полягає у використанні евклідової відстані – числа, яке можна розрахувати на основі відмінностей з кожною вхідною змінною.

KNN може потребувати багато пам'яті для зберігання всіх даних, зате швидко робить передбачення. Також навчальні дані можна оновлювати, щоб прогнози залишалися точними з часом.

Ідея найближчих сусідів може погано працювати з багатовимірними даними (безліч вхідних змінних), що негативно позначиться на ефективності алгоритму під час вирішення завдання. Це називається прокляттям розмірності. Тобто варто використовувати лише найважливіші для передбачення змінні.

### 3.3.5 Лінійна та логістична регресія

Лінійна регресія – швидкий і простий алгоритм. Вона може бути представлена у вигляді рівняння, яке описує пряму, що найбільш точно показує взаємозв'язок між вхідними змінними X і вихідними змінними Y. Для складання цього рівняння потрібно знайти певні коефіцієнти B для вхідних змінних.

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X \quad (3.2)$$

де Y – вихідна змінна;

$B_0, B_1$  – деякі коефіцієнти;

$X$  – вихідна змінна.

Виходячи з відомої змінної  $X$ , необхідно знайти  $Y$ , і метою лінійної регресії є пошук значень коефіцієнтів  $B_0$  та  $B_1$ .

Для оцінки регресійної моделі використовуються різні методи на кшталт лінійної алгебри чи методу найменших квадратів.

Лінійна регресія існує вже понад 200 років, тому вона досить ретельно вивчена. Для кращого функціонування моделі на базі лінійної регресії варто уникати схожих (корельючих) змінних, а також за можливості, позбавитися шуму в даних.

Логістична регресія є лінійною моделлю для задач бінарної класифікації. Даний алгоритм прийшов у машинне навчання зі статистики. Логістичну регресію доцільно використовувати для задач, у яких на виході отримується один із двох класів.

Логістична регресія дещо схожа на лінійну. В даному алгоритмі теж потрібно визначати значення коефіцієнтів для вхідних змінних. Різниця полягає в тому, що вихідне значення перетворюється за допомогою нелінійної чи логістичної функції.

Логістична функція перетворює будь-яке значення в число в межах від 0 до 1. Це може бути застосовано для прив'язки до 0 і 1 та передбачення класу.

Для роботи з багатокласовою класифікацією, алгоритм може бути розширений за допомогою таких методів, як «один проти решти» або багатоміальної логістичної регресії.

### 3.3.6 Наївний Байєсів класифікатор

Наївний Байєс – простий, але напрочуд ефективний алгоритм. Модель складається з двох типів ймовірностей, які розраховуються за допомогою тренувальних даних:

- ймовірність кожного класу;
- умовна ймовірність для кожного класу при кожному значенні  $x$ .

Після розрахунку ймовірнісної моделі вона може бути використана для передбачення з використанням нових даних за допомогою теореми Байєса.

Наївний Байєс називається наївним, через те, що алгоритм передбачає, що кожна вхідна змінна є незалежною. Це сильне припущення, яке не відповідає реальним даним. Проте цей алгоритм дуже ефективний для цілого ряду складних завдань, особливо пов'язаних з класифікацією текстів, на кшталт класифікації спаму або розпізнавання рукописних цифр.

### 3.3.7 Порівняння роботи методів та вибір моделі

Вибір моделі залежить від таких факторів, як розмір і складність набору даних, вимоги до інтерпретації, обчислювальні ресурси та бажаний баланс між точністю та ефективністю. Часто доцільно поекспериментувати з кількома моделями та вибрати ту, яка найкраще підходить для конкретного завдання.

Також може бути доцільним застосування гібридних моделей, тобто поєднання кількох моделей. Це часто призводить до покращення продуктивності за рахунок використання сильних сторін різних алгоритмів.

Основними аспектами, які варто врахувати при виборі алгоритму є:

- розмір, якість та характер даних;
- доступний обчислювальний час;
- терміновість завдання;
- характер роботи з даними.

Оцінка ефективності роботи алгоритмів проводилась на основі наступних показників:

- точність (precision);
- відклик (recall);
- f-міра (f1-score);
- підтримка (support) – визначається як кількість екземплярів істинної відповіді, що лежать в кожному класі цільових значень.

Результати дослідження роботи методів представлені на рисунках 3.3 – 3.9.

```

Decision Tree:
Accuracy: 1.0
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	1.00	1.00	1.00	17
Fever, Hypoxia	1.00	1.00	1.00	17
Healthy	1.00	1.00	1.00	97
Hypoxia	1.00	1.00	1.00	69
accuracy			1.00	200
macro avg	1.00	1.00	1.00	200
weighted avg	1.00	1.00	1.00	200

Рисунок 3.3 – Результат дослідження роботи методу дерев рішень

```

Random Forest:
Accuracy: 0.985
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	1.00	0.94	0.97	17
Fever, Hypoxia	1.00	0.88	0.94	17
Healthy	0.99	1.00	0.99	97
Hypoxia	0.97	1.00	0.99	69
accuracy			0.98	200
macro avg	0.99	0.96	0.97	200
weighted avg	0.99	0.98	0.98	200

Рисунок 3.4 – Результат дослідження роботи методу випадковий ліс

Хоча метод випадкового лісу зазвичай працює краще ніж дерева рішень, проте під час досліджень його результати виявились дещо нижчими. Причиною таких результатів можуть бути деякі фактори, такі як використання малих наборів даних, обмеження часу та ресурсів та високорельовані ознаки.

Випадкові ліси найкращі, коли навчаються на великих наборах даних із різноманітними функціями. Однак, якщо набір даних відносно малий або якщо є лише кілька відповідних функцій, дерево рішень може працювати так само добре або навіть краще завдяки своїй простоті та зниженому ризику перенавчання.

Випадкові ліси добре працюють, коли функції некорельовані або слабо корельовані. Однак, якщо в наборі даних є висококорельовані характеристики, продуктивність випадкового лісу може погіршитися. У таких випадках дерево рішень може дати кращі результати, оскільки воно може враховувати лише одну функцію за раз для розбиття, таким чином уникаючи проблеми мультиколінеарності.

Таким чином, при використанні реальних, а не синтетичних датасетів, рекомендується провести додаткове дослідження роботи цих методів.

```
Support Vector Machine:
Accuracy: 0.94
Classification Report:
              precision    recall  f1-score   support

    Fever                1.00      0.71      0.83        17
Fever, Hypoxia          1.00      0.59      0.74        17
    Healthy              0.96      1.00      0.98        97
    Hypoxia              0.90      1.00      0.95        69

 accuracy                0.94                200
 macro avg              0.96      0.82      0.87        200
 weighted avg          0.94      0.94      0.93        200
```

Рисунок 3.5 – Результат дослідження роботи методу опорних векторів

Метод опорних векторів дає досить високу точність класифікації (94%), проте дещо нижчу ніж випадковий ліс (98,5%). На тестовому наборі даних найвищу точність (100%) демонструють методи дерев рішень та посилення градієнта.

Слід зазначити, що метод посилення градієнта – це популярний метод серед аналітиків даних завдяки своїй точності та швидкості, особливо при роботі зі складними та об’ємними даними.

```

Gradient Boosting:
Accuracy: 1.0
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	1.00	1.00	1.00	17
Fever, Hypoxia	1.00	1.00	1.00	17
Healthy	1.00	1.00	1.00	97
Hypoxia	1.00	1.00	1.00	69
accuracy			1.00	200
macro avg	1.00	1.00	1.00	200
weighted avg	1.00	1.00	1.00	200

Рисунок 3.6 – Результат дослідження роботи методу посилення градієнта

```

K-Nearest Neighbors:
Accuracy: 0.865
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	0.73	0.65	0.69	17
Fever, Hypoxia	1.00	0.24	0.38	17
Healthy	0.90	0.96	0.93	97
Hypoxia	0.83	0.94	0.88	69
accuracy			0.86	200
macro avg	0.87	0.70	0.72	200
weighted avg	0.87	0.86	0.85	200

Рисунок 3.7 – Результат дослідження роботи методу К-найближчих сусідів

Метод KNN є дуже обчислювально затратним при роботі з великими обсягами даних. Крім того він дуже чутливий до вибору параметра К (кількості

сусідів). Вибір параметра К впливає на точність. Неправильний вибір К може призвести до перенавчання або недонавчання. Якщо даних мало або вони шумні, KNN може давати менш точні результати.

```

Logistic Regression:
Accuracy: 0.905
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	1.00	0.53	0.69	17
Fever, Hypoxia	1.00	0.35	0.52	17
Healthy	0.92	1.00	0.96	97
Hypoxia	0.86	1.00	0.93	69
accuracy			0.91	200
macro avg	0.95	0.72	0.78	200
weighted avg	0.92	0.91	0.89	200

Рисунок 3.8 – Результат дослідження роботи методу логістичної регресії

Логістична регресія має ряд недоліків, зокрема цей метод не враховує нелінійні залежності між ознаками та може давати погані результати, якщо дані складні чи мають нелінійну структуру.

```

Naive Bayes:
Accuracy: 0.925
Classification Report:

```

	precision	recall	f1-score	support
Fever	1.00	0.71	0.83	17
Fever, Hypoxia	1.00	0.41	0.58	17
Healthy	0.95	1.00	0.97	97
Hypoxia	0.87	1.00	0.93	69
accuracy			0.93	200
macro avg	0.96	0.78	0.83	200
weighted avg	0.93	0.93	0.91	200

Рисунок 3.9 – Результат дослідження роботи методу  
наївного Байєсівського класифікатора

Метод наївного Байєсівського класифікатора хоча часто добре працює у складних ситуаціях та має ряд переваг, таких як простота реалізації та інтерпретації, відсутність необхідності налаштувань, проте не завжди має переваги перед іншими методами. До недоліків відносять погану роботу на реальних даних, що пов'язано з припущенням про те, що всі змінні в наборі даних незалежні одна від одної. Також даний метод чутливий до шумів та може мати проблеми з нульовими ймовірностями. Методи k-найближчих сусідів (точність 86,5% на тестовому наборі), логістичної регресії (90,5%) та наївного Байєсівського класифікатора (92,5%) дають гірші результати і не можуть бути оптимальними для розроблюваної системи. Графік з результатами порівняння роботи методів наведено на рисунку 3.10.

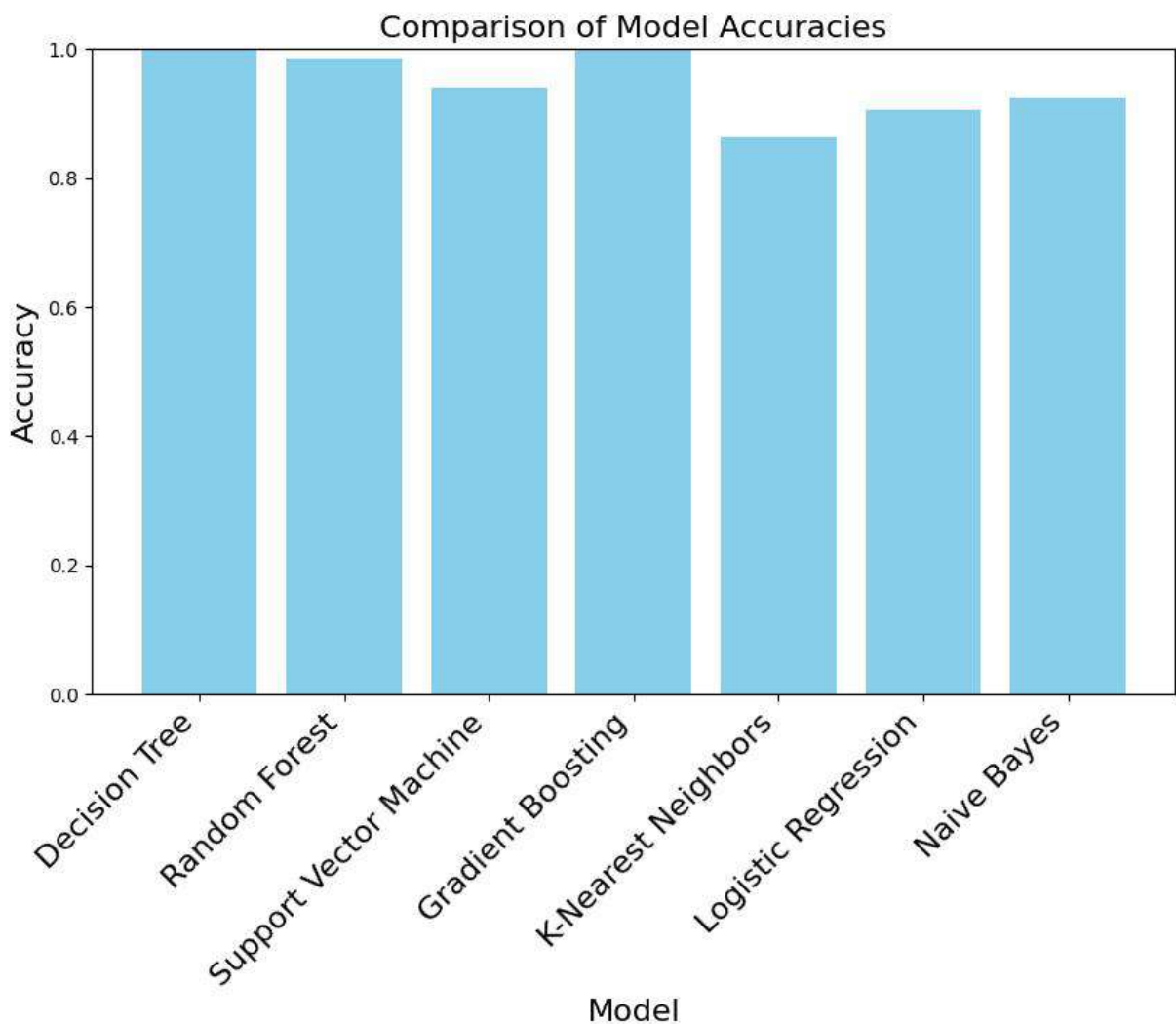


Рисунок 3.11 – Порівняння результатів роботи методів

Отже, виходячи з проведеного дослідження можна зробити висновок, що для розроблюваної системи найкращим варіантом є вибір методів дерев рішень та посилення градієнта.

### 3.4 Побудова нейронної мережі

Створення архітектури нейронної мережі для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями передбачає розробку моделі, яка може аналізувати відповідні дані. Наприклад, дихальні сигнали, історія пацієнта чи медичні зображення, щоб передбачити або класифікувати стан пацієнта.

Відповідно до поставленого завдання, вхідними параметрами моделі є температура, частота серцевих скорочень, частота дихання, систолічний і діастолічний артеріальний тиск.

Таким чином, вхідний рівень нейронної мережі складатиметься з нейронів, що відповідають кожній вхідній функції, а саме: температурі тіла, частоті серцевих скорочень, частоті дихання, систолічному та діастолічному артеріальному тиску.

На наступному етапі відбувається нормалізація вхідних даних. Необхідно пересвідчитись та гарантувати, що всі об'єкти мають однакові масштаби та сумісні одиниці вимірювання. Цей крок є вирішальним для ефективного навчання нейронної мережі.

Після нормалізації вхідні дані можуть бути подані в один або кілька прихованих шарів для вилучення ознак. Враховуючи, що вхідними даними є фізіологічні вимірювання, для цієї мети можна використовувати прості шари прямого зв'язку.

Залежно від характеру даних і складності проблеми можна експериментувати з різними комбінаціями щільних, згорткових або повторюваних шарів. Створення архітектури з кількома прихованими шарами дозволить мережі вивчати більш складні дані.

Щоб додати нелінійність до моделі та дозволити їй вивчати складні зв'язки в даних, застосовуються такі функції активації, як ReLU (Rectified Linear Unit) або tanh. При розробці моделі оберемо функцію активації ReLU.

Вихідний рівень надає прогнози або класифікації, пов'язані з респіраторним станом пацієнта. Оскільки, відповідно до сформованого завдання, розглядаємо завдання класифікації, вихідний рівень складається з нейронів, що відповідають різним класам (наприклад: нормальний, легкий, важкий респіраторний дистрес).

Для завдань класифікації зазвичай використовується на вихідному рівні функція активації softmax для перетворення необроблених вихідних балів у ймовірності для кожного класу.

Також для завдання класифікації обирається відповідна функція втрат. Для даної моделі можна обрати категорійну крос-ентропію, яка вимірює різницю між прогнозованими ймовірностями та істинними мітками.

Щоб мінімізувати функцію втрат і оновити ваги нейронної мережі під час навчання, обираємо алгоритм оптимізації, наприклад Adam або RMSprop. Для розроблюваної моделі оберемо алгоритм Adam.

Оцінювання продуктивності навченої моделі здійснюється аналогічно до оцінювання продуктивності методів машинного навчання, а саме за допомогою таких показників оцінювання, як точність, запам'ятовування та оцінка F1 на наборі даних для перевірки.

Для оптимізації продуктивність моделі варто експериментувати з різними гіперпараметрами (наприклад, швидкістю навчання, кількістю прихованих шарів тощо).

Коли модель досягне задовільної продуктивності, відбувається її розгортання для використання в клінічних умовах. Інтеграцію моделі здійснюватимемо з мобільним застосунком для медичних працівників для оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями на основі фізіологічних вимірювань за допомогою пристроїв ІоМТ.

Постійно відстежуючи продуктивність моделі в реальних умовах і оновлюючи, за необхідності, модель на основі нових даних або відгуків від

практикуючих медичних працівників, можна забезпечити її ефективність і надійність у майбутньому. Це може бути реалізовано шляхом повторного навчання моделі на додаткових даних або точнішим налаштуванням її параметрів на основі спостережуваної ефективності.

### 3.5 Висновки

Медичні дані є цінним ресурсом для досліджень і поліпшення охорони здоров'я. Застосування машинного навчання є доцільним у багатьох випадках, зокрема для прогнозування захворювань, автоматичного виявлення аномалій та патологій, створенні персоналізованого лікування.

Машинне навчання дозволяє будувати моделі, які можуть передбачати можливість розвитку певних захворювань у пацієнтів, допомагає у ранньому виявленні ризиків та вжитті профілактичних заходів, може допомогти лікарям приймати більш точні рішення, що призведе до покращення результатів та знизити ризики.

Також машинне навчання дозволяє здійснювати обробку великих обсягів даних, що допомагає відслідковувати та виявляти нові закономірності та тренди.

На основі проведених досліджень, можна зробити висновок, що найкращі показники на тренувальному наборі даних показали методи машинного навчання: дерев рішень та посилення градієнта, а також розроблена нейронна мережа прямого зв'язку. Інтеграція розробленої моделі у програмний застосунок для моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями допоможе здійснювати більш якісний нагляд та покращити процес лікування.

Важливо відзначити, що використання технологій машинного навчання у медицині потребує обережності та перевірки на реальних даних. Недостатньо лише використовувати алгоритми – необхідно враховувати медичний контекст та експертну думку лікарів, оскільки нехтування цими аспектами може призвести до негативних наслідків.

## 4 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я

### 4.1 Вибір типу архітектури та зразків проектування

Системна інженерія на основі моделей є формалізованим застосуванням моделювання для забезпечення дій щодо задоволення вимог, проектування, аналізу, верифікації та валідації протягом всіх фаз життєвого циклу проектованої системи [15].

Для розробки системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ доцільно обрати спіральну модель життєвого циклу ПЗ.

У спіральній моделі життєвого циклу (рисунок 4.1) ставиться акцент на початкові етапи ЖЦ: аналіз та проектування. Реалізація технічних рішень перевіряється шляхом створення прототипів.

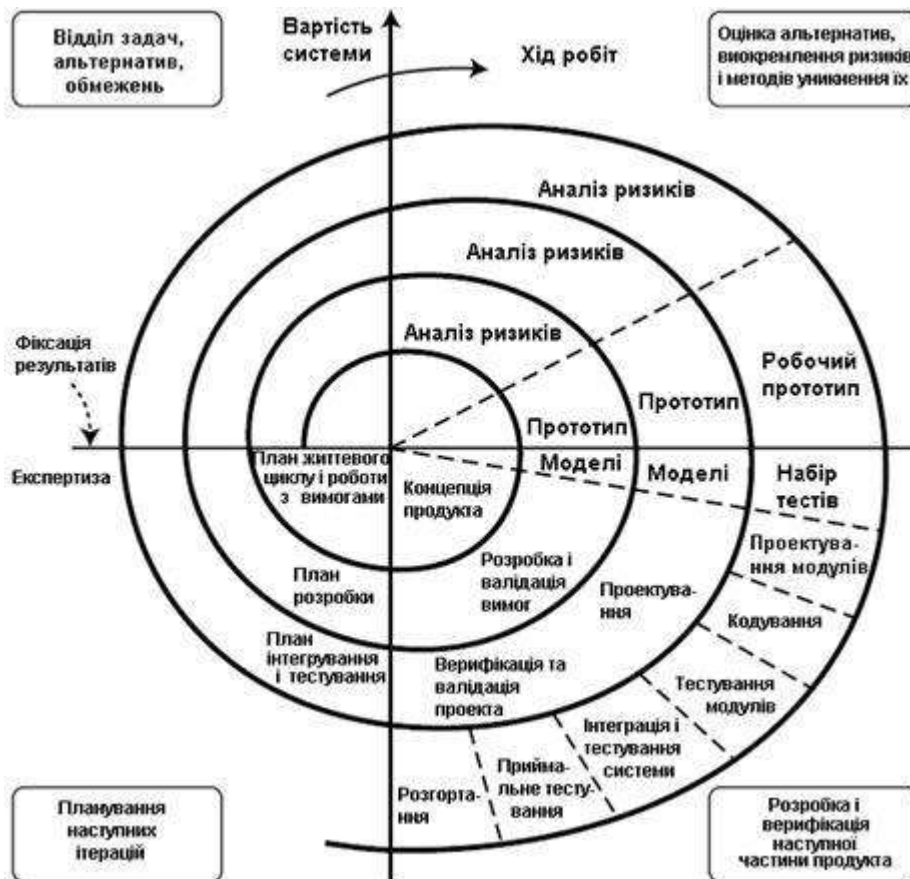


Рисунок 4.1 – Спіральна модель життєвого циклу ПЗ [15]

Спіральна модель життєвого циклу програмного забезпечення – це гнучкий та ітеративний підхід до розробки, який акцентує увагу на управлінні ризиками та поступовому уточненні вимог на кожній ітерації. Переваги вибору спіральної моделі наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Переваги спіральної моделі життєвого циклу програмного забезпечення

Фактори	Системні умови	Очікуванні результати
Ризики та невизначеність	складні вимоги та високі стандарти безпеки	здоров'я та безпека пацієнтів
Проектування та прототипування	підтримує створення прототипів та демонстрацію функціональності	перевірка взаємодії пристроїв ІоМТ із пацієнтами та медичним персоналом
Ітеративність та зворотний зв'язок	передбачає цикли розробки, що включають аналіз, проектування, реалізацію та тестування	швидке реагування на зміни вимог та зворотний зв'язок від користувачів та медичного персоналу
Управління ризиками	акцентує увагу на ризиках та дозволяє їх аналізувати на кожному етапі	для систем моніторингу здоров'я це важливо, оскільки помилки можуть мати серйозні наслідки
Поступове використання	дозволяє поступово впроваджувати нові функції та покращення	корисно для систем моніторингу здоров'я, де важливо забезпечити надійність та стабільність

Кожен виток спіралі відповідає створенню нового фрагмента чи версії інформаційної системи, у ньому уточнюються цілі та характеристики проекту, визначається його якість і плануються роботи наступного витка спіралі. Один

виток спіралі є закінченим проєктним циклом на кшталт каскадної схеми. Такий підхід називався також «Продовженням проєктування». Пізніше в проєктний цикл додатково стали включати стадії розробки та випробування прототипу системи. Це називалося: «швидке прототипування», rapid prototyping approach або «fast-track».

Розробка моделі системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ вимагає системного підходу і врахування принципів системної інженерії. Основна мета полягає у створенні комплексної системи, яка забезпечить збір, аналіз та інтерпретацію даних з пристроїв ІоМТ, що відслідковують стан здоров'я пацієнта.

Модель системи включає в себе наступні елементи: збір даних, трансмісія даних, зберігання даних, обробка даних, аналіз та візуалізація даних, попередження та рекомендації, розвиток та підтримка.

Система має здатність збирати дані про стан здоров'я пацієнта за допомогою пристроїв ІоМТ, таких як термометри, пульсоксиметри, прилади для вимірювання частоти дихальних рухів, артеріального тиску тощо. Ці пристрої здатні вимірювати параметри, такі як температура тіла, сатурація, частота дихальних рухів, пульс, систолічний та діастолічний тиск тощо.

Дані, зібрані з пристроїв ІоМТ, передаються до центральної системи для подальшої обробки. Це може відбуватися через безпроводові мережі, такі як Wi-Fi, Bluetooth, або через мобільну мережу, залежно від технічних можливостей конкретних приладів, що використовуються.

Для збереження даних про стан здоров'я пацієнтів можна використати хмарне сховище або локальний сервер. Слід зауважити, що дані повинні зберігатися в безпечному та надійному сховищі, яке забезпечує цілісність та конфіденційність інформації.

З метою отримання цілісної клінічної картини проводиться обробка та аналіз отриманої інформації. Застосування алгоритмів аналізу даних, машинного навчання та штучного інтелекту сприяє швидкому визначенню стану здоров'я

пацієнта, а також допомагає у виявленні аномалій в даних, що можуть вказувати на наявні або потенційні проблеми зі здоров'ям.

Для представлення інформації пацієнтові та медичному персоналу у зручній формі варто провести візуалізацію даних у вигляді графіків, діаграм або повідомлень про стан здоров'я. Аналіз даних також використовується для розрахунку показників, таких як середні значення, максимальні та мінімальні значення, тенденції тощо.

Важливою функцією системи є можливість надання попереджень та рекомендацій пацієнту або медичному персоналу, при фіксуванні показників, що виходять за межі норми, тобто вказують на тенденції до погіршення стану здоров'я. Наприклад, система може автоматично надсилати повідомлення, якщо спостерігається підвищення температури тіла, або зниження насиченості киснем крові.

Розробка системи відбувається з урахуванням можливості розширення та підтримки. Передбачено можливість підключення нових пристроїв ІоМТ, зміни та покращення алгоритмів аналізу даних на основі машинного навчання. Також можуть відбуватися зміни візуального представлення інформації, шляхом оновлення інтерфейсу користувача задля забезпечення зручної взаємодії користувача з системою.

При розробці програмного забезпечення програмна система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей) є:

- 1) реальною технічною системою;
- 2) за взаємодією із зовнішнім середовищем – відкрита;
- 3) за структурою – проста;
- 4) за характером функцій – спеціалізована;
- 5) за характером розвитку – стабільна;
- 6) за ступенем організованості – добре організована;
- 7) за складністю поведінки – передбачуюча;
- 8) за характером зв'язків між елементами – стохастична;

9) за характером структури управління – децентралізована;

10) за призначенням – продукуюча.

Програмна система має такі властивості:

1) ємерджентність;

2) цілісність;

3) структурність;

4) функційність;

5) стійкість, надійність;

Елементи, які включає в себе структура системи та їх функції наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Елементи системи та їх функції

Елемент	Функції
Інтерфейс користувача	Взаємодія користувача з програмою
Система зберігання даних	Забезпечення зберігання інформації в базі даних
Модуль обробки даних	Забезпечення обробки даних про користувачів, представлення інформації у доступній для аналізу формі
Система забезпечення безпеки	Забезпечення захисту даних користувачів від несанкціонованого доступу, шляхом шифрування даних, контролю доступу до відповідних функцій системи, проведення авторизації та аутентифікації користувачів
Модуль аналітики	Забезпечення аналізу інформації з використанням статистичних методів, машинного навчання та нейронних мереж, формування звітів та графіків для візуального представлення результатів аналізу

Кінець таблиці 4.2 – Елементи системи та їх функції

Зв'язок із зовнішнім середовищем	Забезпечення взаємодії з іншими системами через мережу Інтернет або інші протоколи зв'язку, зокрема під'єднання до давачів для імпорту показників.
----------------------------------	--

## 4.2 Розробка архітектури програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

### 4.2.1 Діаграма варіантів використання для програмного забезпечення

Діаграма варіантів використання (Use Case Diagram) в Unified Modeling Language (UML) – це графічне представлення функціональних можливостей системи та взаємодії між її акторами (користувачами) та компонентами.

Діаграма варіантів використання допомагає виявити та описати функціональні вимоги до системи, візуалізувати її основні функції на високому рівні, допомагає зафіксувати всі можливі сценарії використання та допомагає здійснити опис того, як система використовуватиметься в реальному житті.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).

Система дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень.

Програмний застосунок може бути корисним як при лікуванні пацієнтів з респіраторними захворюваннями як в медичних закладах, так і вдома. Перегляд показників може здійснюватись лікарем у процесі реального часу. Також здійснюється формування звітів по кожному хворому та запис усіх показників. Реалізовано можливість відслідковування динаміки зміни показників. Діаграма варіантів використання наведена на рисунку 4.2.

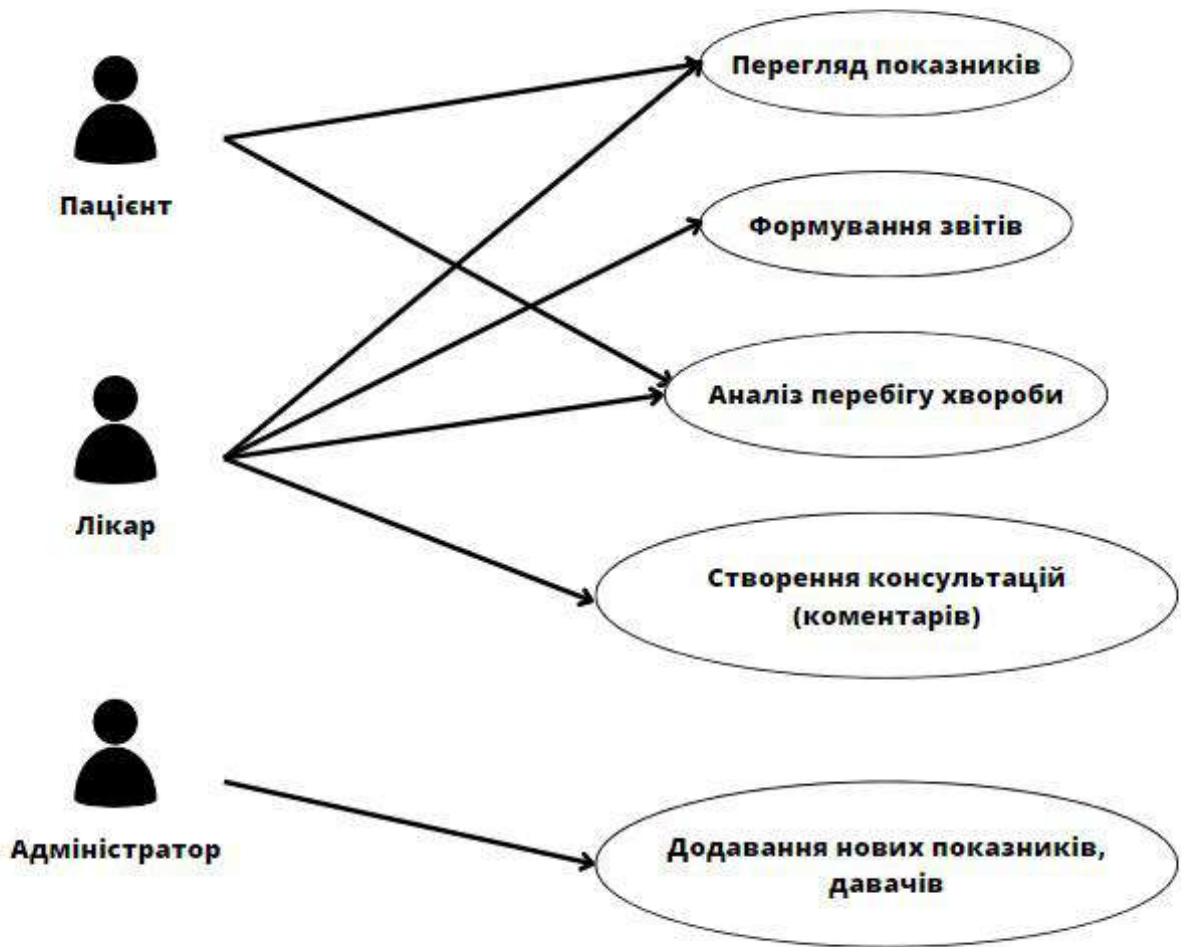


Рисунок 4.2 – Діаграма варіантів використання (Use Case Diagram)

#### 4.2.2 Діаграма класів програмного забезпечення

Діаграма класів у мові моделювання UML відноситься до структурного типу діаграм. Вона використовується для візуалізації структури класів у програмній системі, включаючи атрибути, методи, інтерфейси та зв'язки між ними.

Діаграма класів представляє опис структури класів у системі та їх взаємозв'язки та відображає як статичні, так і динамічні аспекти системи:

Статичні аспекти включають класи, атрибути та методи.

Динамічні аспекти описують зв'язки між об'єктами та виконання методів

під час роботи програми.

Класи на діаграмі представлені у вигляді прямокутників, що містять інформацію про атрибути та методи класу.

Атрибути – це змінні, що зберігають дані всередині об'єктів, створених з урахуванням класу.

Методи – це функції, що описують поведінку класу і його стан.

Зв'язки між класами на діаграмі можуть представляти відношення, такі як асоціація, наслідування та реалізація.

Діаграму класів використовують під час проектування архітектури системи, створення документації, уточнення вимог чи підтримки системи.

Діаграма класів відповідає основним засадам об'єктно-орієнтованого програмування (ООП):

- інкапсуляція передбачає, що кожен клас повинен приховувати свою реалізацію від інших класів та надавати інтерфейс для взаємодії з ним;
- наслідування дозволяє створювати нові класи на основі вже існуючих, спрощуючи процес проектування;
- поліморфізм дозволяє одному методу працювати з різними об'єктами, що реалізують той самий інтерфейс.

Діаграма класів програмного забезпечення системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв ІоМТ наведена на рисунку 4.3.

Клас Patient представляє пацієнта та містить його персональні дані, а також інформацію про стан здоров'я.

Клас HealthData включає дані про показники здоров'я пацієнта, такі як температура, пульс, артеріальний тиск, сатурація тощо.

Клас IoMTDevice містить інформацію про ІоМТ-пристрій, який збирає дані про стан здоров'я пацієнта.

Клас AIModel представляє інформацію про модель штучного інтелекту, яка використовується для аналізу показників здоров'я та визначення стану здоров'я пацієнта.

Клас Encryption відповідає за методи шифрування та дешифрування даних, що дозволяє забезпечити конфіденційність даних.

Клас Authentication включає інформацію про методи аутентифікації користувачів, щоб гарантувати, що доступ до системи мають лише авторизовані користувачі.

Клас Authorization містить методи визначення доступу користувача до даних, що забезпечує користувачам доступ лише до тих даних, на які вони авторизовані та дозволяє захищати конфіденційну інформацію від несанкціонованого доступу.

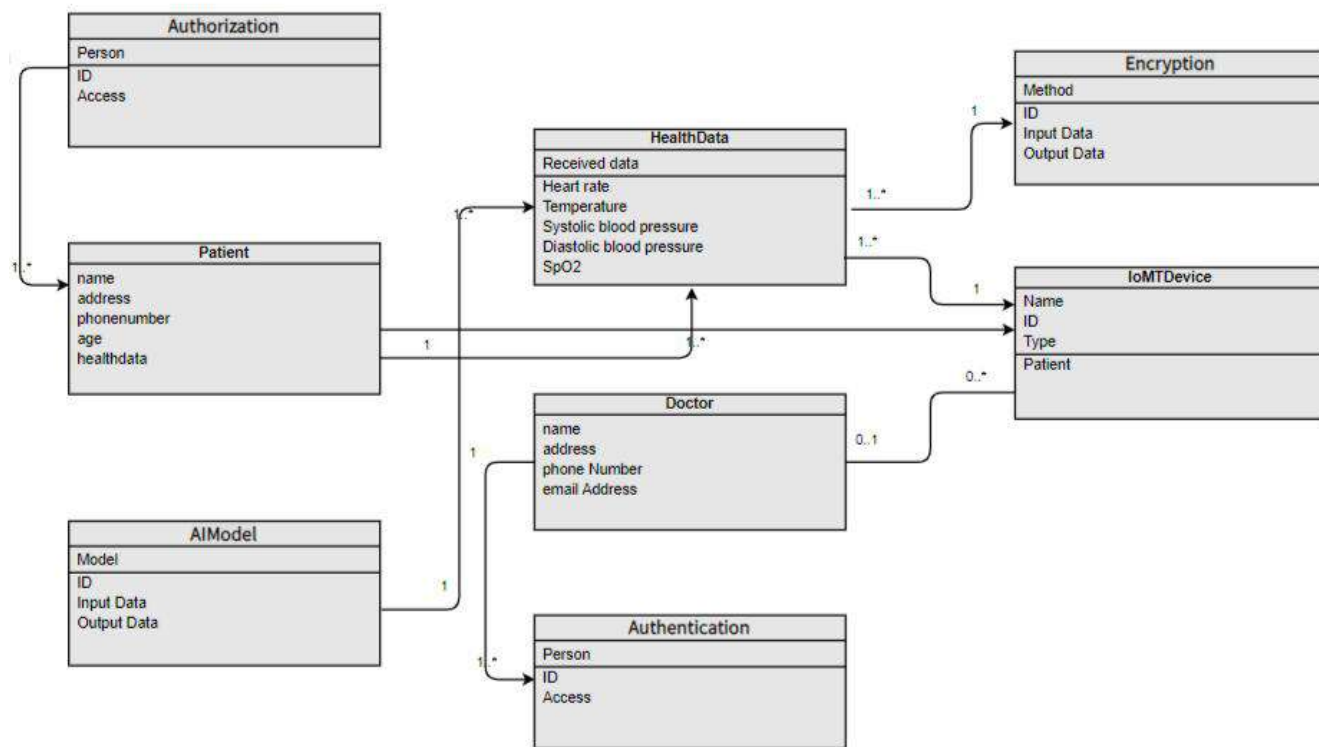


Рисунок 4.3 – Діаграма класів

#### 4.2.3 Діаграма послідовності програмного забезпечення

Діаграма послідовності (Sequence Diagram) у мові моделювання UML – це діаграма взаємодії, що докладно описує, як виконуються операції між об'єктами.

Вона фіксує взаємодію між об'єктами в контексті співробітництва та показує порядок, у якому повідомлення передаються між ними. Об'єкти на діаграмі представляються як прямокутники з іменами об'єктів.

Діаграма послідовностей наведена на рисунку 4.4.

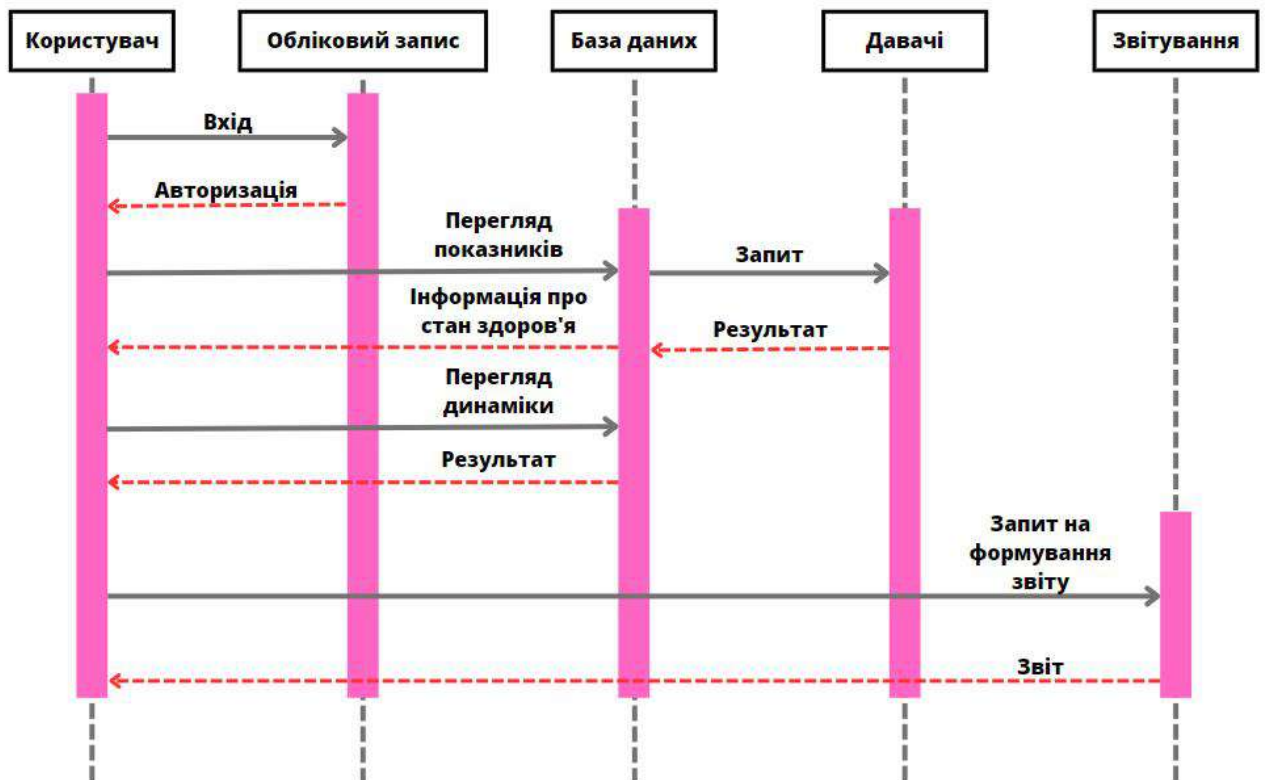


Рисунок 4.4 – Діаграма послідовностей (Sequence Diagram)

Діаграми послідовності містять наступні елементи:

- актори – це системні суб'єкти, що використовуються для представлення діаграми.

- об'єкти – показують взаємодію між об'єктами, описуючи, як повідомлення надсилаються та приймаються.

Діаграми послідовності використовуються при проектуванні архітектури системи, створенні технічної документації, уточненні вимог та підтримці роботи системи, допомагає розробникам зрозуміти, як система працює і які кроки необхідно зробити для її створення.

Розглянемо створення діаграми послідовності для системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв ІоМТ.

Користувач після авторизації має доступ до своїх показників в базі даних та може здійснювати їх перегляд, а також переглядати показники в режимі реального часу. За необхідності система формує звіт, який може бути завантажений користувачем на смартфон.

#### 4.2.4 Діаграма станів програмного забезпечення

Діаграма станів (State machine) представляє поведінку сутності у вигляді переходів між станами, що провокуються подіями.

Діаграма станів – це тип діаграми, що використовується, щоб описати поведінку системи. Діаграми станів вимагають, щоб описувана система складалась з кінцевої кількості станів; іноді це дійсно так, а іноді це розумна абстракція.

Таким чином, система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу може перебувати у шести станах.

Для того, щоб розпочати моніторинг, необхідно здійснити правильне підключення усіх датчиків, після чого, безпосередньо, розпочинається процес моніторингу.

Після збору необхідних даних та передачі їх на сервер, здійснюється аналіз отриманої інформації. На основі отриманих показників формується звіт про стан здоров'я пацієнта.

У разі прийняття лікарем рішення про припинення моніторингу, система завершує свою роботу. Датчики від'єднують, проводять дезінфекцію, оглядають та перевіряють функціональний стан на готовність до подальших досліджень. За необхідності, користувач заносить показники до бази даних для подальших досліджень або аналітики.

Діаграма станів наведена на рисунку 4.5.

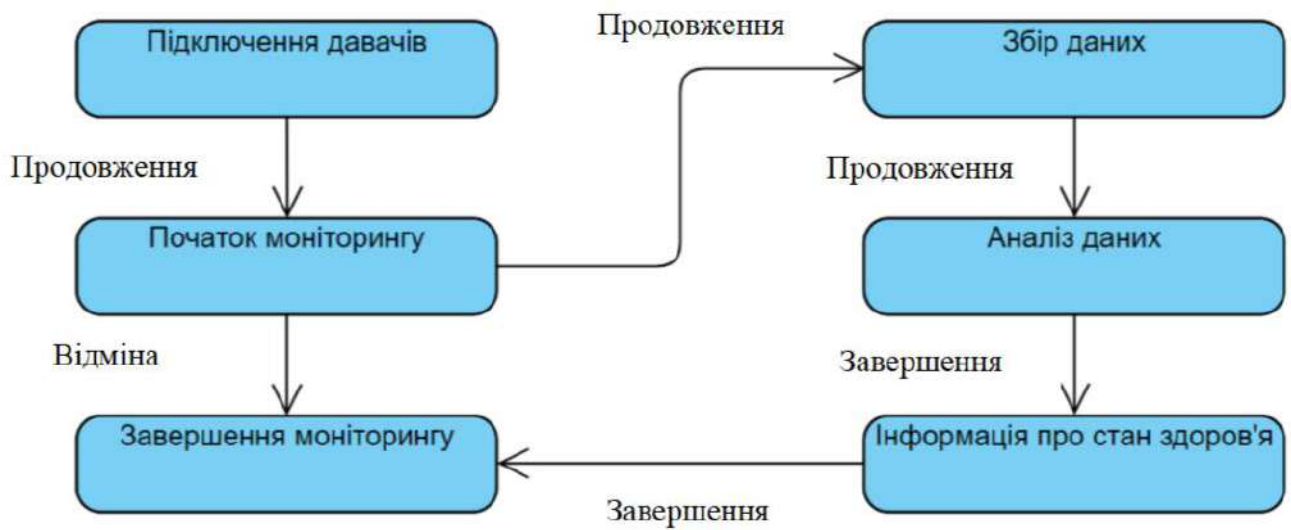


Рисунок 4.5 – Діаграма станів

#### 4.2.5 Контекстна діаграма

Контекстна діаграма – це графічне зображення системи або процесу, що дозволяє побачити її зв'язок із зовнішнім середовищем.

Контекстна діаграма дозволяє швидко та лаконічно описати призначення і межі системи, виявити і усунути колективні розбіжності в їх розумінні, показати і узгодити її масштаб

На рисунку 4.6 представлено контекстну діаграму системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей).

Систему на рисунку представлено у вигляді «чорної скриньки», яка взаємодіє з наступними діючими особами: користувачами, системою збору даних, системою збереження та безпеки даних.

#### 4.2.6 Декомпозиція системи

Декомпозиція системи моніторингу стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням з використанням технології Інтернету медичних

речей (IoMT) включає наступні компоненти (рисунок 4.7):

- Сенсори здоров'я;
- Система збору та передачі даних;
- Хмарний сервер;
- Мобільний додаток;
- Сервіс аналітики та порівняння даних;
- Система сповіщень.



Рисунок 4.6 – Контекстна діаграма системи:  
окреслює межі та визначає інтерфейси

До сенсорів здоров'я належать різноманітні фізичні пристрої, такі як датчики температури, пульсоксиметри, вимірювачі частоти дихальних рухів, вимірювачі кров'яного тиску та інші пристрої, які за необхідності зчитують дані про стан здоров'я хворого.

Кожен сенсор здоров'я повинен мати свій власний мікроконтролер та бути підключеним до мережі Інтернет, або взаємопов'язаних пристроїв через комунікаційні протоколи Wi-Fi, Bluetooth тощо.

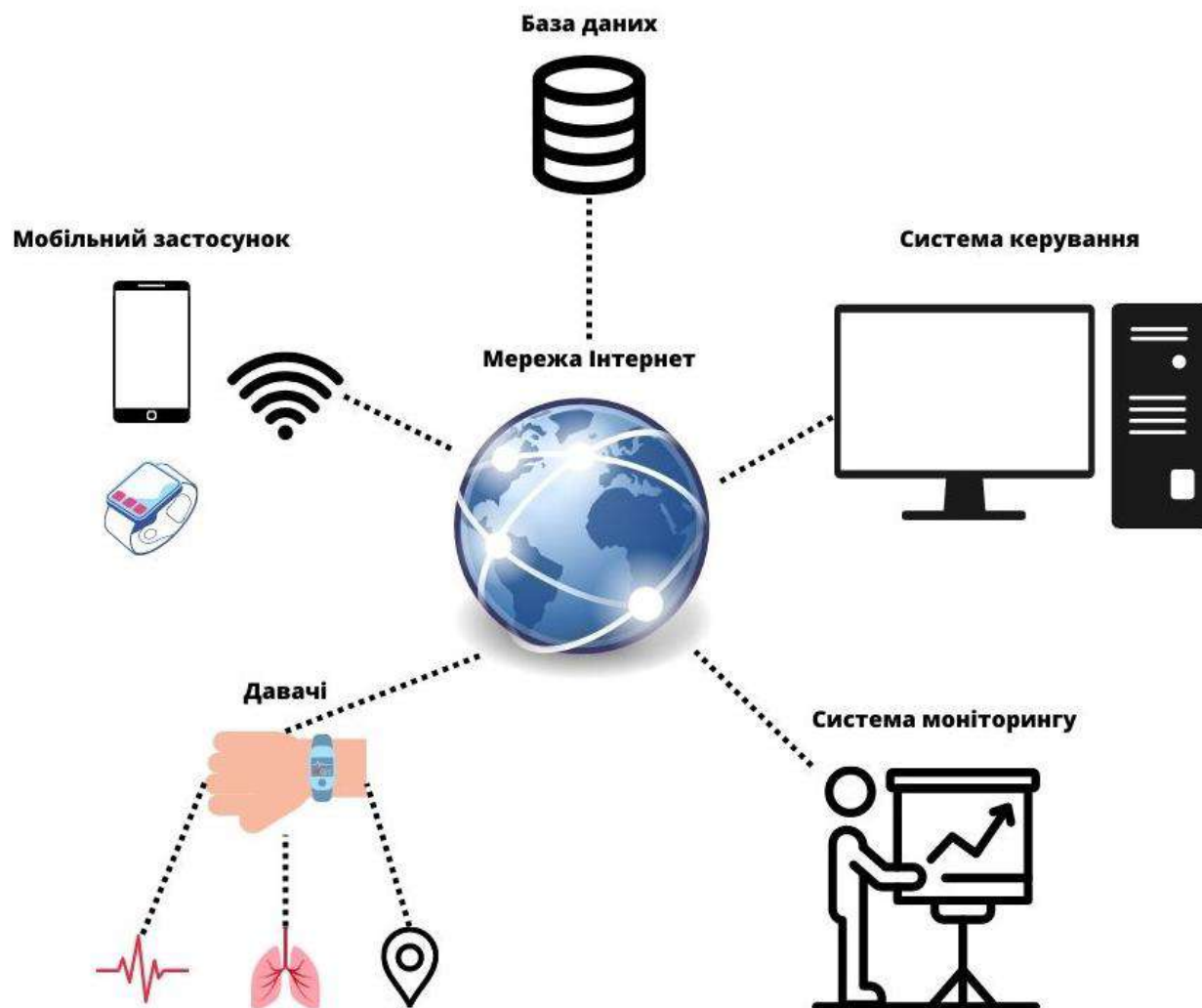


Рисунок 4.7 – Декомпозиція системи

Збір та передача даних здійснюється через комунікаційні протоколи, шляхом передачі отриманих від сенсорів здоров'я показників до центрального сервера для подальшої обробки. Дані можуть передаватися як через проміжний пристрій, так і безпосередньо на сервер.

Хмарний сервер приймає зібрані дані і забезпечує їх збереження у безпечному хмарному середовищі. Функція аналітики даних дозволяє лікарю отримувати доступ до інформації про стан здоров'я пацієнта в реальному часі, а також порівнювати показники та визначати динаміку перебігу захворювання. Взаємодія користувача із системою моніторингу стану здоров'я відбувається через мобільний додаток. Також передбачена функція надсилання сповіщень

пацієнтові та лікарю на основі проаналізованих даних. Наприклад, система може надсилати сповіщення про підвищення температури, зниження насиченості киснем крові, підвищення пульсу, нетипову зміну частоти дихальних рухів, або попереджати про інші підозрілі аномалії, що потребують уваги.

#### 4.3 Розробка модулів програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

Для розробки мобільного додатку доцільно обрати середовище Unity (рис. 4.8), оскільки це потужний інструмент для розробки мобільних програм. Важливо відзначити, що успішне створення системи для моніторингу стану здоров'я вимагає не лише правильного вибору інструментів для розробки, але й глибокого розуміння потреб користувачів та вимог галузі охорони здоров'я. Створення застосунку для моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу потребує від середовища програмування наступних параметрів:

- гнучкість;
- можливість розробки та імплементації технологій штучного інтелекту;
- підтримка IoT;
- широка підтримка платформ.

Unity підтримує безліч платформ, включаючи iOS, Android, Windows, MacOS, та багато інших. Таким чином розробники мають можливість створювати програмні продукти, які зможуть працювати на більшості пристроїв, що збільшує доступність програмних застосунків для користувачів.

Оскільки Unity не має вбудованої підтримки для підключення до пристроїв Інтернету речей (IoT), використаємо сторонні бібліотеки для обміну даними з давачами. Модуль передачі даних використовує протокол MQTT для підключення до брокера MQTT і отримання даних від IoT пристроїв.

У додатку А наведено програмний код даного модуля мовою програмування C#.

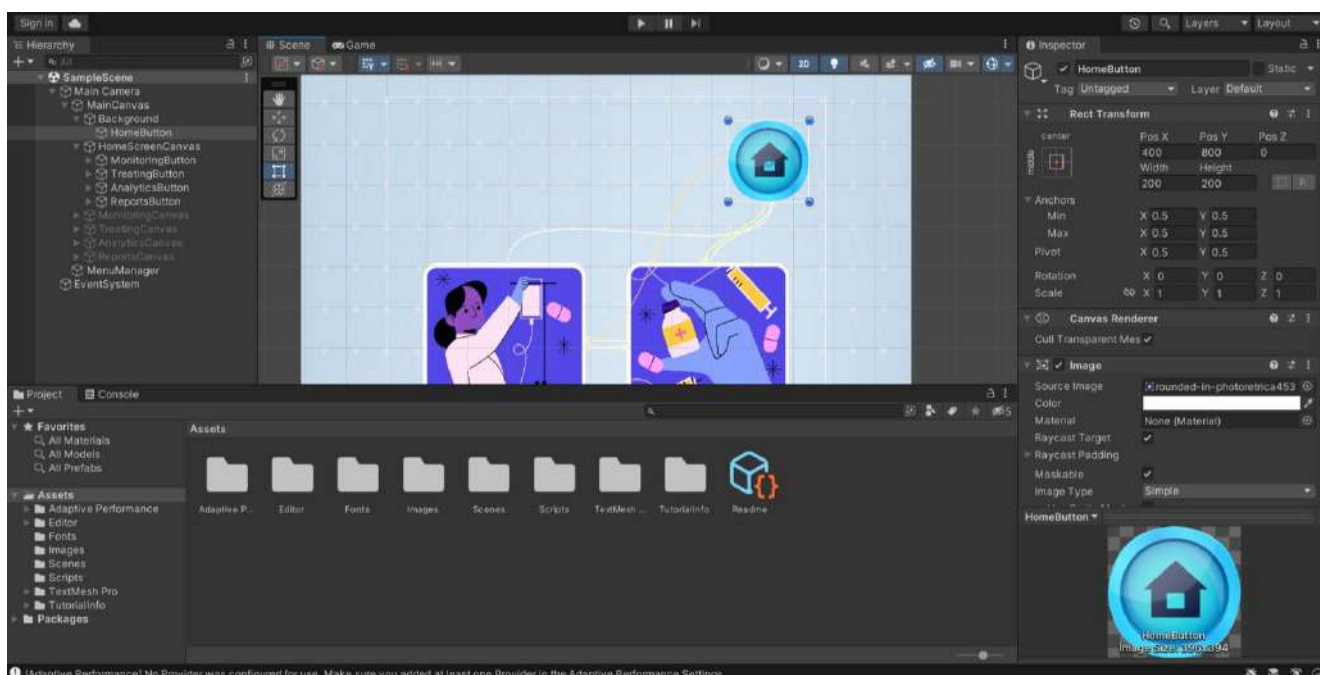


Рисунок 4.8 – Розробка застосунку в середовищі Unity

Модуль здійснює підключення до брокера MQTT, підписується на певний топик і виводить отримані повідомлення на екран смартфона. Для роботи модуля використано бібліотеку M2Mqtt.

Слід зауважити, безпека даних є важливим аспектом роботи з IoT пристроями. Одним із надійних способів шифрування даних є використання симетричного шифрування AES (Advanced Encryption Standard).

Програмний код використовує AES для шифрування та дешифрування даних, використовуючи ключ (key) та вектор ініціалізації (iv), які повинні бути збережені у безпечному місці.

При завантаженні додатку користувач потрапляє на головну сторінку (рисунок 4.9). Звідси здійснюється перехід на екрани моніторингу, лікування, аналітики та звітів.

Модуль моніторингу стану здоров'я пацієнтів відповідає за виведення на екран даних, виміряних за допомогою пристроїв IoMT. Концепція вигляду сторінки моніторингу наведена на рисунку 4.10.

Користувачі мають змогу переглянути температуру тіла, пульс, сатурацію частоту дихальних рухів, а також систолічний та діастолічний артеріальний тиск.

За необхідності можуть виводитися додаткові показники, такі як рівень цукру в крові, кількість зроблених кроків тощо. Головною умовою є підключення необхідних вимірювальних пристроїв. Також з екрану моніторингу передбачений перехід напряду на екран формування звітів.



Рисунок 4.9 – Головна сторінка

Інформація, отримана від давачів обробляється та оцінюється нейронною моделлю. Результат аналізу виводиться у додатку, що дозволяє медичним працівникам оперативно реагувати на зміни стану здоров'я хворого та за необхідності здійснювати своєчасне втручання, або корекцію планів лікування.

Також передбачена функція перегляду зміни показників, шляхом побудови діаграм, що дозволить лікарям отримувати більш точну інформацію про перебіг

хвороби. Це сприятиме виявленню аномалій у зміні показників, дозволить визначати циклічні добові зміни та відповідним чином реагувати на них, задля покращення процесу лікування.



Рисунок 4.10 – Сторінка виведення інформації

Сторінка «Лікування» дозволяє користувачам переглядати актуальну інформацію про прийом лікарських засобів, що є зручним як для пацієнтів, так і для лікарів, оскільки дозволяє вчасно вносити зміни та коригувати лікувальний процес.

Формування звітів здійснюється шляхом занесення необхідної інформації до бази даних та виводу у зручному для користувачів форматі.

#### 4.4 Статичний аналіз коду програмного забезпечення моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями

Статичний аналіз коду програмного забезпечення – це процес аналізу вихідного коду без його виконання. Він спрямований на виявлення проблем, дефектів та потенційних помилок у кодовій базі.

Метою статичного аналізу програмного коду є забезпечення якості, шляхом покращення коду та виявляючи проблеми на ранніх етапах розробки. Такий аналіз виявляє вразливості безпеки, такі як переповнення буфера, атаки впровадження та небезпечні практики кодування.

Також за допомогою статичного аналізу можуть бути виявлені проблеми підтримуваності та потенційні помилки, що можуть вплинути на довгострокове обслуговування системи та забезпечує відповідність стандартам кодування та архітектурним рекомендаціям.

Інструменти статичного аналізу безпосередньо аналізують вихідний код, вивчаючи його структуру, синтаксис та семантику.

Різноманітні автоматизовані інструменти (наприклад, літери, статичні аналізатори та інструменти для код-рев'ю) виконують статичний аналіз автоматично. Інструменти застосовують заздалегідь визначені правила або шаблони для виявлення проблем, наприклад, змінні, що не використовуються, випадки дублювання коду тощо.

Відстеження потоків даних усередині коду здійснюється для виявлення проблем, таких як звернення до нульового покажчика або витоку ресурсів.

Отже, за допомогою статичного аналізу виявляють наступні проблеми:

- синтаксичні помилки (очевидні помилки, такі як відсутність розділових знаків, неузгоджені дужки або неправильні виклики функцій);
- ознаки поганого дизайну або підтримуваності (довгі методи, дублювання коду, надмірна складність);

– вразливості безпеки (переповнення буфера, SQL-ін'єкції та інші вразливості);

– неефективні алгоритми, витoki пам'яті або неоптимальний код.

Звіт зі статичного аналізу коду для системи моніторингу стану здоров'я представлено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати статичного аналізу програмного коду

Фактор	Знайдені проблеми	Рекомендації щодо усунення
Безпека	0 вразливостей	
	2 попередження	Перевірити використання API для підключення до пристроїв ІоМТ
Продуктивність	5 потенційних проблем	Оптимізувати обробку даних із пристроїв ІоМТ
Стиль кодування	10 порушень стилю кодування	Слідувати єдиному стилю кодування для покращення читання коду
Архітектура та дизайн	3 потенційні проблеми з архітектурою	Переглянути структуру класів для керування пристроями ІоТ
Дублювання коду	2 випадки дублювання коду	Уникати дублювання коду для спрощення підтримки та розвитку проекту

## 4.5 Висновки

Системний підхід до проектування інформаційних систем дозволяє розбити складні завдання на менші частини, які є більш доступні для огляду, адаптуватися до умов і вимог, що змінюються, а також уточнює вимоги та забезпечує цілісність уявлення про систему та знижує складність процесу створення інформаційних систем.

Використання UML діаграм при проектуванні покращує процес розробки програмного забезпечення, знижує ризики та підвищує якість кінцевого продукту. Уніфікована мова полегшує спілкування між розробниками та замовниками, забезпечує повноту та ясність, оскільки надає конкретні позначення для всіх сутностей, необхідних у схемі. Це допомагає уникнути непорозумінь та підвищує розуміння серед розробників. UML використовується в ІТ, менеджменті, інженерії та інших галузях та є звичним для багатьох фахівців у всьому світі.

Оскільки UML допомагає виявити та описати функціональні вимоги до системи це є корисним на етапі проектування, оскільки дозволяє візуалізувати складні процеси та структури.

Розроблені діаграми використовують для створення документації, презентацій та опису систем.

Виконання статичного аналізу програмного коду дозволяє виявити помилки та потенційні проблеми у кодї до його виконання, що суттєво покращує якість програмного продукту, знижує ризики виникнення помилок у системі, допомагає виявити вразливості та покращити безпеку, а також значно спрощує обслуговування та підтримку коду. Таким чином, статичний аналіз коду сприяє підвищенню якості програмного продукту.

## ВИСНОВКИ

Інтернет медичних речей (ІоМТ) здійснив своєрідну революцію у сфері охорони здоров'я. Завдяки даній технології з'явилась можливість контролювати перебіг різноманітних захворювань в режимі реального часу, перевіряти ефективність лікування та своєчасно вносити необхідні корективи для запобігання ускладнень. Особливо важливою технологією ІоМТ став, зокрема і при лікуванні респіраторних захворювань. Використання взаємопов'язаних пристроїв та розширеної аналітики даних дозволяє медичним працівникам здійснювати безперервний контроль за пацієнтами, незалежно від їх місця знаходження. Сьогодні ІоМТ є ключовою технологією для полегшення роботи лікарів та підвищення ефективності лікування як різноманітних хронічних захворювань так і сезонних епідемій, чи пандемій. Застосування технології ІоМТ при підозрі, або вже поставленому діагнозі може суттєво покращити процес лікування та навіть врятувати життя людини. Використання засобів контролю стану здоров'я пацієнтів в режимі реального часу є актуальним при лікуванні різних респіраторних захворювань, незалежно від їх етіології, таких як астма, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), апное сну, грип, Covid-19 тощо.

Системи моніторингу стану здоров'я дозволяють рано виявляти захворювання та ризики. Це допомагає вживати заходів щодо профілактики та лікування, що сприяє загальному покращенню здоров'я населення.

Оскільки моніторинг допомагає оптимізувати розподіл ресурсів, таких як медичний персонал, обладнання та ліки це сприяє більш ефективному функціонуванню системи охорони здоров'я та підвищує якість медичної допомоги.

Системи моніторингу забезпечують безперервне відстеження пацієнтів та допомагають лікарям приймати обґрунтовані рішення та надавати якіснішу медичну допомогу.

Моніторинг створює базу для аналізу здоров'я населення, допомагає виявити тренди, фактори ризику та ефективність заходів.

Загалом системи моніторингу стану здоров'я сприяють досягненню Цілі сталого розвитку №3, забезпечуючи більш здорове та благополучне суспільство.

Інтеграція технологій ІоМТ з електронними медичними системами може забезпечити безперебійний обмін даними пацієнтів між платформами, що дозволить проводити цілісний аналіз даних та здійснювати документування важливих змін в режимі реального часу.

Подібна інтеграція зможе забезпечити безперервність лікування, полегшити прийняття обґрунтованих клінічних рішень і підтримати тривалий моніторинг та документування стану здоров'я пацієнта протягом тривалого часу.

Загалом послуги ІоМТ у режимі реального часу для моніторингу пацієнтів із респіраторними захворюваннями пропонують цілісний підхід до респіраторної допомоги, що дозволяє здійснити раннє виявлення симптомів, передбачає персоналізоване втручання та як результат підвищує ефективність лікування завдяки постійному моніторингу, аналізу даних і своєчасної корекції схеми лікування.

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено концепцію інформаційної системи безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями в режимі реального часу з використанням пристроїв Інтернету медичних речей.

У першому розділі проведено огляд наукових джерел, проаналізовано існуючі технічні рішення та засоби моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

У другому розділі проаналізовано технічні рішення, розглянуто вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань, здійснено підбір приладів для системи.

У третьому розділі розглянуто методи машинного навчання для оцінки стану здоров'я пацієнтів, проведено порівняння роботи методів та здійснено вибір методів з найбільшою точністю для імплементації у систему.

У четвертому розділі здійснено опис реалізації системи, наведено інструкцію користувача та виконано детальний опис усіх функцій системи.

Набув подальшого розвитку метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання.

Набула подальшого розвитку система моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (ІоМТ).

Впровадження результатів роботи дозволять здійснювати більш якісну оцінку стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки впровадженню технологій ІоМТ, машинного навчання та штучного інтелекту.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опублікована одна стаття у фаховому науковому виданні «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» [2] та тези Міжнародної науково-теоретичної конференції [1].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Алексейко В. О. Впровадження технологій інтернету медичних речей як засіб досягнення цілей сталого розвитку. *V International Scientific and Theoretical Conference. Scientific forum: theory and practice of research*. Valencia, Kingdom of Spain. 2024. С. 54–55.
2. Говорущенко Т., Алексейко В., Рей К. Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2024. №1. С. 152-159.
3. Журавель В. І., Ткачук Т. Ю., Борковський Д. С. Інтернет речей у системі медичної допомоги: можливості та безпека. *Актуальні проблеми клінічної та профілактичної медицини*. 2019. Т. 3, № 1-2. С. 5–12.
4. Іліка, В. В. Цифрова трансформація в медичній сфері України: здобутки та перспективи. *Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій*. 2022, с. 78-81.
5. Кривенко І. П., Гринзовський А. М., Чалий К. О. Інтернет медичних речей в екосистемі пацієнтоорієнтованої цифрової клініки. *Збірник тез VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці й техніці» ІТОНТ-2022*. Черкаси, 2022.
6. Кривенко І. П., Чалий К. О. Забезпечення автентичного навчання в онлайн-курсах засобами доповненої і віртуальної реальності. *Звітна науково-практична конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України: зб. матеріалів*. Київ, 2022. С. 107–110. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/730168>.
7. Макаренко, М. В. Цифровізація сфери охорони здоров'я України як пріоритет публічної політики у побудові сучасних медичних сервісів. *Інвестиції*. 2023, с. 138.
8. Марценюк В. П., Качур І. В., Сверстюк А. С., Бондарчук В. І., Завіднюк Ю. В., Коваль В. Б., Мочульська О. М. Моніторинг стану здоров'я за функціональними показниками за допомогою сенсорів у реабілітаційній

- медицині: систематичний огляд. *Вісник наукових досліджень*, № 2. 2019. С. 5–12.
9. Маслій Р. В., Філіпчук О. Ю. Застосування випадкових лісів для класифікації даних. URL: [http://www.rusnauka.com/7\\_NITSB\\_2014/Informatica/1\\_162122.doc.htm](http://www.rusnauka.com/7_NITSB_2014/Informatica/1_162122.doc.htm)
10. Паламар А., Купратий І. Система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі інтернету медичних речей. *ELARTU – Інституційний репозитарій ТНТУ імені Івана Пулюя*. Режим доступу: [https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40320/2/XNTK\\_2022\\_Palamar\\_A-Patient\\_health\\_remote\\_monitoring\\_85.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40320/2/XNTK_2022_Palamar_A-Patient_health_remote_monitoring_85.pdf) (дата звернення: 07.04.2024)
11. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо функціонування телемедицини: Закон України від 09.08.2023 р. № 3301-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3301-20#Text> (дата звернення: 01.04.2024).
12. Про схвалення Концепції розвитку електронної охорони здоров'я: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1671-р від 28.12.2020 р. Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Pro-shvalennya-Kontseptsii-rozvy...-vid-28.12.2020-1671-r-Tekst-dlya-druku.pdf> (дата звернення: 26.09.2023).
13. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: указ Президента України від 30 вересня 2019 року. №722/2019 [Електронний ресурс] Верховна Рада України. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
14. Печінка А. М., Дземан М. І. Гострі респіраторні захворювання: питання клінічної діагностики та лікування. *Український медичний часопис. Актуальні питання клінічної практики*. Режим доступу: <https://www.umj.com.ua/article/6986/>
15. Системна інженерія програмного забезпечення комп'ютерних систем. Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти за освітньо-науковою програмою «Комп'ютерна інженерія та програмування»

- спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти. Укл. Т. О. Говорущенко, А. В. Горошко, О. О. Павлова. Хмельницький: ХНУ, 2021. Укр.мовою, 56 с.
16. Харковлюк-Балакіна Н. В., Горго Ю. П., Медвидчук К. В. Імплементация мониторинговых технологий контролю стану здоров'я пацієнтів для населення територіальних громад. *Біомедична інженерія і технологія*, № 4. 2020. С. 107–116.
17. Чалий О. В., Кривенко І. П., Чалий К. О. Синергетична інтеграція традиційного та ARконтенту у навчанні медичної інформатики. *Імерсивні технології в освіті*: зб. матеріалів І Наук.-практ. конф. з міжнародною участю. Київ: ПЗН НАПН України, 2021. С. 151–155. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/727353>.
18. A A, Dahan F, Alroobaea R, Alghamdi WY, Mustafa Khaja Mohammed , Hajjej F, Deema mohammed alsekait and Raahemifar K (2023) A smart IoMT based architecture for E-healthcare patient monitoring system using artificial intelligence algorithms. *Front. Physiol.* 14:1125952. doi: 10.3389/fphys.2023.1125952
19. Abdulmalek, S., Nasir, A., Jabbar, W. A., Almuhaaya, M. a. M., Bairagi, A. K., Khan, M. A., Kee, S. IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review. *Healthcare*, 10(10), 1993. 2022. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare10101993>
20. Acharya A.D., Patil S.N. IoT based Health Care Monitoring Kit; *Proceedings of the 2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*; Erode, India. 11–13 March 2020; pp. 363–368.
21. Are virtual fracture clinics during the COVID-19 Pandemic a potential alternative for delivering fracture care? *A systematic review*. E. P. Murphy, C. Fenelon, R. P. Murphy et al. *Clin Orthop Relat Res.* 2020, Nov. Vol. 478 (11). P. 2610–2621. doi: 10.1097/CORR.0000000000001388.
22. A virtual clinic for the management of diabetes-type 1: Study protocol for a randomised wait-list controlled clinical trial. E. Nerpin, E. Toft, J. Fischier et al. *BMC Endocr Disord.* 2020, Sept. 5. Vol. 20 (1). P. 137. doi: 10.1186/s12902-020-00615-3.

23. AZO Sensors. Advances in Artificial Intelligence can Improve Sensitivity of Virus Sensors. URL: <https://www.azosensors.com/news.aspx?newsID=14218>.
24. Azure IoT for healthcare, 2023. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/industries/healthcare/iot>.
25. Banerjee A., Chakraborty C., Kumar A., Biswas D. (2020). Emerging trends in IoT and big data analytics for biomedical and health care technologies. *Handb. data Sci. approaches Biomed. Eng.*, 121–152. doi:10.1016/b978-0-12-818318-2.00005-2
26. Bouhissi H. E., Itmacene O., Oubekkou M., Pavlova O., Hovorushchenko T., Shestakevych T. Sentiment Analysis to manage Health Crisis in Smart Cities. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/CSIT61576.2023.10324043.
27. Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*. 2001. Vol. 45, no. 1. P. 5–32. URL: <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324> (date of access: 01.04.2024).
28. Bulakh I. Y., Liakh Y. Y., Martseniuk V. P., Khaimzon I. Y. *Medical Informatics. AUS Medicine Publishing*. Kyiv, 2017, 368p.
29. Chalyy O., Kryvenko I., Chalyy K., Lyubchyk O. Immersive augmented and virtual reality technologies in distance learning systems. *Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems: Proceedings of IXth International Scientific Practical Conference*. Chernivtsi-Suceava (Ukraine-Romania), 2021. P. 74.
30. Clean Hands – Safe Hands, 2023. URL: <https://cleanhands-safehands.com>.
31. Covestro. Solution Center. More comfortable and sustainable wearable patch sensors. URL: <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/cases/2021/sensor-based-wearable-smart-patches>
32. De Roure D., Creese S., Dutton W. The IOT: making the most of the Second Digital Revolution. *The Government Office for Science*, 2014, 40 p.
33. Deep Learning for Sustainable Agriculture. *Elsevier*, 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/c2020-0-02363-7> (date of access: 08.02.2024).
34. Dwivedi R., Mehrotra D., Chandra S. Potential of Internet of Medical Things (IoMT) applications in building a smart healthcare system: A systematic review. *J Oral Biol*

- Craniofac Res. 2022 Mar-Apr. Vol. 12 (2). P. 302–318. doi: 10.1016/j.jobcr.2021.11.010.
35. Efficacy of physician associate delivered virtual outpatient clinic. D. Meehan, A. Balhareth, M. Gnanamoorthy et al. *Int J Health Care Qual. Assur.* 2019, Aug. 12. Vol. 32 (7). P. 1072–1080. doi: 10.1108/IJHCQA-09-2018-0233
  36. eHealth. Fifty-eighth world health assembly. *Resolutions and decisions. Document A58/21. Ninth plenary meeting, 25 May 2005. Committee A, seventh report.* P.121-123. URL: [https://apps.who.int/gb/archive/pdf\\_files/WHA58/A58\\_21-en.pdf](https://apps.who.int/gb/archive/pdf_files/WHA58/A58_21-en.pdf).
  37. El-Rashidy N., El-Sappagh S., Islam S. R., El-Bakry M. H., Abdelrazek S. (2021). Mobile health in remote patient monitoring for chronic diseases: Principles, trends, and challenges. *Diagnostics* 11 (4), 607. doi:10.3390/diagnostics11040607.
  38. El Zouka H.A., Hosni M.M. Secure IoT communications for smart healthcare monitoring system. *Internet Things.* 2021;13:100036. doi: 10.1016/j.iot.2019.01.003.
  39. Gaoan G., Zhenmin Z. Heart rate measurement via smart phone acceleration sensor; Proceedings of the 2014 *International Conference on Smart Computing*; Hong Kong, China. 3–5 November 2014; pp. 295–300.
  40. Gera S., Mridul M., Sharma S. IoT based Automated Health Care Monitoring System for Smart City; Proceedings of the 2021 *5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*; Erode, India. 2021; pp. 364–368.
  41. Godi B., Viswanadham S., Muttipati A. S., Samantray O. P., Gadiraju S. R. E-healthcare monitoring system using IoT with machine learning approaches in 2020 *international conference on computer science, engineering and applications (ICCSEA) (IEEE)*, p. 1–5.
  42. Gonem S, Janssens W, Das N, et al Applications of artificial intelligence and machine learning in respiratory medicine. *Thorax* 2020;75:695-701.
  43. Han W. T., Tiang S. S., Lim W. H., Mokayef M., Ang K. M., Liu Y. (2021). Wearable sensors based remote patient monitoring using IoT data analytics in RiTA 2020 *Springer*, Singapore. P. 340–350.

44. Harb H., Mansour A., Nasser A., Cruz E. M., de la Torre Diez I. (2020). A sensor-based data analytics for patient monitoring in connected healthcare applications. *IEEE Sensors J.* 21 (2), 974–984. doi:10.1109/jsen.2020.2977352.
45. Healthcare IT News. How AI and machine learning are transforming clinical decision support. URL: <https://www.healthcareitnews.com/news/how-ai-and-machine-learning-are-transforming-clinical-decision-support>
46. Hovorushchenko T, Hnatchuk Y, Osyadlyi V, Kapustian M, Boyarchuk A. Blockchain-Based Medical Decision Support System. *JCSANDM* [Internet]. 2023 URL: <https://journals.riverpublishers.com/index.php/JCSANDM/article/view/18797>
47. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>.
48. Jain U., Gumber A., Ajitha D., Rajini G., Subramanian B. A Review on a Secure IoT-Based Healthcare System; Proceedings of the Advances in Automation, Signal Processing, *Instrumentation and Control: Select Proceedings of i-CASIC*; India. 27–28 February 2020; pp. 3005–3016.
49. Khan M. F., Ghazal T. M., Said R. A., Fatima A., Abbas S., Khan M. A., et al. An iomt-enabled smart healthcare model to monitor elderly people using machine learning technique. *Comput. Intell. Neurosci.* 2021, 2487759. doi:10.1155/2021/2487759.
50. Khan M. M., Alanazi T. M., Albraikan A. A., Almalki F. A. IoT-Based Health Monitoring System Development and Analysis. *Secur. Commun. Netw.* 2022. doi: 10.1155/2022/9639195.
51. Kim S., Kim S. User preference for an IoT healthcare application for lifestyle disease management. *Telecommun. Policy.* 2018. doi: 10.1016/j.telpol.2017.03.006.
52. Ko J., Lu C., Srivastava M.B., Stankovic J.A., Terzis A., Welsh M. Wireless sensor networks for healthcare. *Proc. IEEE.* 2010. doi: 10.1109/JPROC.2010.2065210.
53. Koehrsen W. Random Forest Simple Explanation. *Medium.* URL: <https://williamkoehrsen.medium.com/random-forest-simple-explanation-377895a60d2d> (date of access: 08.04.2024).

54. Kondaka L. S., Thenmozhi M., Vijayakumar K., Kohli R. (2022). An intensive healthcare monitoring paradigm by using IoT based machine learning strategies. *Multimedia Tools Appl.* 81 (26), 36891–36905. doi:10.1007/s11042-021-11111-8.
55. Kumar S., Ahila A., Gayathri K. C., Subbulakshmi T., Lourens M. E., Bobade S. D. (2022). Intelligent trust-based artificial intelligence for identification of COVID-19. *NeuroQuantology* 20, P. 4767–4776.
56. L. Sushama, K. Sridhar, and M. Roberts. Deep Learning-based Precision Diagnosis of Lung Diseases on the Internet of Medical Things (IoMT), *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 76, no. 10, pp. 1536–1543, Oct. 2023.
57. Li P., Lee G.-H., Kim S.Y., Kwon S.Y., Kim H.-R., Park S. From diagnosis to treatment: Recent advances in patient-friendly biosensors and implantable devices. *ACS Nano*. 2021. doi: 10.1021/acsnano.0c06688.
58. Lou Z., Wang L., Jiang K., Wei Z., Shen G. Reviews of wearable healthcare systems: Materials, devices and system integration. *Mater. Sci. Eng. R Rep.* 2020. doi: 10.1016/j.mser.2019.100523.
59. Lu W., Bai W., Zhang H., Xu C., Chiarelli A.M., Vázquez-Guardado A., Xie Z., Shen H., Nandoliya K., Zhao H. Wireless, implantable catheter-type oximeter designed for cardiac oxygen saturation. *Sci. Adv.* 2021. doi: 10.1126/sciadv.abe0579.
60. Mekov E., Miravitlles M., Petkov R. Artificial intelligence and machine learning in respiratory medicine. *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2020. Vol. 14, no. 6. P. 559–564. URL: <https://doi.org/10.1080/17476348.2020.1743181> (date of access: 01.04.2024).
61. Misbahuddin S., Al-Ahdal A.R., Malik M.A. Low-Cost MPI Cluster Based Distributed in-Ward Patients Monitoring System; Proceedings of the 2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA). Aqaba, Jordan. 28 October–1 November 2018; pp. 1–6.
62. Mishra S., Mishra B. K., Tripathy H. K., Dutta A. (2020). Analysis of the role and scope of big data analytics with IoT in health care domain. *Handbook of data science approaches for biomedical engineering (Academic Press)*. p. 1–23.

63. Muratyan A., Cheung W., Dibbo S.V., Vhaduri S. Opportunistic multi-modal user authentication for health-tracking IoT wearables. *Proceedings of the The Fifth International Conference on Safety and Security with IoT*. Da Nang, Vietnam. 25 April 2021; pp. 1–18.
64. Nemcova A., Jordanova I., Varecka M., Smisek R., Marsanova L., Smital L., Vitek M. Monitoring of heart rate, blood oxygen saturation, and blood pressure using a smartphone. *Biomed. Signal Process. Control.* 2020. doi: 10.1016/j.bspc.2020.101928.
65. Norman A. Your future doctor may not be human. This is the rise of AI in medicine. *Futurism*. URL: <https://futurism.com/ai-medicine-doctor> (date of access: 07.04.2024).
66. Pandey H., Prabha S. (2020). Smart health monitoring system using IOT and machine learning techniques. *Sixth international conference on bio signals, images, and instrumentation (ICBSII) (IEEE)*. p. 1–4.
67. Parvathy, V.S., Pothiraj, S., Sampson, J. (2021). Automated Internet of Medical Things (IoMT) Based Healthcare Monitoring System. In: Hassanien, A.E., Khamparia, A., Gupta, D., Shankar, K., Slowik, A. (eds) *Cognitive Internet of Medical Things for Smart Healthcare*. Studies in Systems, Decision and Control, vol 311. *Springer*. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55833-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55833-8_7).
68. Patel W.D., Patel C., Valderrama C. IoMT based Efficient Vital Signs Monitoring System for Elderly Healthcare Using Neural Network. *Int. J. Res.* 2019; VIII:239.
69. Patil H., Manohare S., Magdum S., Gore M.S. Smart Healthcare Monitoring and Patient Report Generation System Using IOT. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2020. doi: 10.22214/ijraset.2020.6203.
70. Poongodi M., Hamdi M., Malviya M., Sharma A., Dhiman G., Vimal S. Diagnosis and combating COVID-19 using wearable Oura smart ring with deep learning methods. *Personal ubiquitous Comput.* 26 (1). 2022. pp. 25–35. doi:10.1007/s00779-021-01541-4.
71. Primex. Environmental Monitoring Systems: OneVue Sense. URL: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/onevue-sense>.

72. Quantum fiber. IoMT: The Internet of Medical Things. URL: <https://explore.quantumfiber.com/internet-of-medical-things/>
73. Rahman M., Mehedi Shamrat F., Kashem M.A., Akter M., Chakraborty S., Ahmed M., Mustary S. Internet of things based electrocardiogram monitoring system using machine learning algorithm. *Int. J. Electr. Comput. Eng.* 2022. pp. 3739–3751.
74. ResarchGate. Layout of common human body sensors. URL: [https://www.researchgate.net/figure/Layout-of-common-human-body-sensors\\_fig1\\_334054407](https://www.researchgate.net/figure/Layout-of-common-human-body-sensors_fig1_334054407)
75. Research Reports in Healthcare IT. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry/healthcare-it>.
76. R. Jegan, S. A. Sathya and N. W.S. Performance Measures on IoMT Enabled Sensor based Respiratory Monitoring System for Measurement of Vital Parameters: A Descriptive Study. *3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, Trichy, India, 2022, pp. 562-567, doi: 10.1109/ICOSEC54921.2022.9952013.
77. Rajan Jeyaraj P., Nadar E. R. S. (2019). Smart-monitor: Patient monitoring system for IoT-based healthcare system using deep learning. *IETE J. Res.* 68, pp. 1435–1442. doi:10.1080/03772063.2019.1649215.
78. Rajawat A. S., Barhanpurkar K., Shaw R. N., Ghosh A. Risk detection in wireless body sensor networks for health monitoring using hybrid deep learning. *Innovations in electrical and electronic engineering. Springer.* Singapore. 2022. pp. 683–696.
79. Safdar, Z., Safdar, K., Bajwa, R.S., Hussain, S., & Karim, A. Internet of Medical Things (IoMT) for Covid-19 Epidemic Affected People . *South Asian Journal of Social Sciences and Humanities*, 2(5), 2021. pp. 65–84. <https://doi.org/10.48165/sajssh.2021.2505>.
80. Sahu M.L., Atulkar M., Ahirwal M.K., Ahamad A. Vital Sign Monitoring System for Healthcare Through IoT Based Personal Service Application. *Wirel. Pers. Commun.* 2021. pp. 129–156. doi: 10.1007/s11277-021-08892-4.
81. Shikha Jain, Monika Nehra, Rajesh Kumar, Neeraj Dilbaghi, TonyY. Hu, Sandeep Kumar, Ajeet Kaushik, Chen-zhong Li, Internet of medical things (IoMT)-integrated

- biosensors for point-of-care testing of infectious diseases, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 179, 2021, 113074, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113074>.
82. Song J., Pandian V., Mauk M.G., Bau H.H., Cherry S., Tisi L.C., Liu C. Smartphone-based mobile detection platform for molecular diagnostics and spatiotemporal disease mapping. *Anal. Chem.* 2018. pp. 4823–4831. doi: 10.1021/acs.analchem.8b00283.
83. Understanding virtual urology clinics: A systematic review. M. A. Edison, M. J. Connor, S. Miah et al. *BJU Int.* 2020, Nov. Vol. 126 (5). P. 536–546. doi: 10.1111/bju.15125.
84. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Online]. URL: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
85. Virtual outpatient clinic as an alternative to an actual clinic visit after surgical discharge: A randomised controlled trial. P. Healy, L. McCrone, R. Tully et al. *BMJ Qual Saf.* 2019, Jan. Vol. 28 (1). P. 24–31. doi: 10.1136/bmjqs-2018-008171.
86. Vishnu S., Ramson S. J., Jegan R. Internet of Medical Things (IoMT) – An overview. *5th international conference on devices, circuits and systems.* 2020. P. 101–104.
87. Wu T., Wu F., Qiu C., Redouté J.M., Yuce M.R. A Rigid-Flex Wearable Health Monitoring Sensor Patch for IoT-Connected Healthcare Applications. *IEEE Internet Things J.* 2020. pp. 6932–6945. doi: 10.1109/JIOT.2020.2977164.

## ДОДАТОК А

(обов'язковий)

### ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ З РЕСПІРАТОРНИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ

#### Модуль під'єднання пристроїв

```
using System;
using System;
using uPLibrary.Networking.M2Mqtt;
using uPLibrary.Networking.M2Mqtt.Messages;
public class MqttModule : MonoBehaviour
{
    private MqttClient client;
    public string brokerHostname = "broker.hivemq.com";
    public int brokerPort = 1883;
    public string topic = "unity/iot";
    void Start()
    {
        client = new MqttClient(brokerHostname, brokerPort, false, null);
        string clientId = Guid.NewGuid().ToString();
        client.Connect(clientId);
        client.Subscribe(new string[] { topic }, new byte[]
{ MqttMsgBase.QOS_LEVEL_EXACTLY_ONCE });
        client.MqttMsgPublishReceived += client_MqttMsgPublishReceived;
    }
    void client_MqttMsgPublishReceived(object sender, MqttMsgPublishEventArgs e)
    {
        string msg = System.Text.Encoding.UTF8.GetString(e.Message);
        Debug.Log("Received message: " + msg);
    }
}
```

#### Модуль шифрування даних

```
using System;
using System.IO;
using System.Security.Cryptography;
using System.Text;
public class AesEncryption
{
    private static byte[] key = Encoding.UTF8.GetBytes("your-encryption-key");
    private static byte[] iv = Encoding.UTF8.GetBytes("your-iv");    public static
string Encrypt(string plainText)
    {
        using (Aes aes = Aes.Create())
        {
            aes.Key = key;
            aes.IV = iv;
            ICryptoTransform encryptor = aes.CreateEncryptor(aes.Key, aes.IV);
            using (MemoryStream ms = new MemoryStream())
            {
```



```

        var context = new MLContext();
        var model = context.Model.Load("model.zip", out _);
        var predictionEngine = context.Model.CreatePredictionEngine<PatientData,
HealthPrediction>(model);
        var patientData = new PatientData();

        var prediction = predictionEngine.Predict(patientData);
    }
}

```

## Порівняння роботи методів

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, GradientBoostingClassifier
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.naive_bayes import GaussianNB
from sklearn.metrics import accuracy_score, confusion_matrix,
classification_report

dataset = pd.read_csv('patient_dataset_bp.csv')
X = dataset.drop('Condition', axis=1)
y = dataset['Condition']

# Normalize features
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y, test_size=0.2,
random_state=42)
classifiers = {
    'Decision Tree': DecisionTreeClassifier(),
    'Random Forest': RandomForestClassifier(),
    'Support Vector Machine': SVC(),
    'Gradient Boosting': GradientBoostingClassifier(),
    'K-Nearest Neighbors': KNeighborsClassifier(),
    'Logistic Regression': LogisticRegression(),
    'Naive Bayes': GaussianNB()
}

results = {}
for name, clf in classifiers.items():
    clf.fit(X_train, y_train)
    y_pred = clf.predict(X_test)
    accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
    results[name] = accuracy
    print(f'{name}:')
    print(f'Accuracy: {accuracy}')
    print(f'Classification Report:')
    print(classification_report(y_test, y_pred))
    print()

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.bar(results.keys(), results.values(), color='skyblue')
plt.xlabel('Model')
plt.ylabel('Accuracy')

```

```
plt.title('Comparison of Model Accuracies')
plt.xticks(rotation=45, ha='right')
plt.ylim(0, 1)
plt.show()
```

## Генерація синтетичних даних

```
import pandas as pd
import numpy as np

# Function to generate synthetic data
def generate_data(num_samples):
    np.random.seed(0) # For reproducibility

    temperature_celsius = np.random.normal(loc=37, scale=0.5, size=num_samples)
    saturation = np.random.randint(90, 101, size=num_samples)
    respiratory_rate = np.random.randint(12, 20, size=num_samples)
    heart_rate = np.random.randint(60, 100, size=num_samples)
    systolic_bp = np.random.randint(90, 140, size=num_samples)
    diastolic_bp = np.random.randint(60, 90, size=num_samples)
    data = {
        'Temperature (C)': temperature_celsius,
        'Saturation (%)': saturation,
        'Respiratory Rate (breaths/min)': respiratory_rate,
        'Heart Rate (bpm)': heart_rate,
        'Systolic Blood Pressure (mmHg)': systolic_bp,
        'Diastolic Blood Pressure (mmHg)': diastolic_bp
    }
    df = pd.DataFrame(data)
    return df
num_samples = 1000
patient_data = generate_data(num_samples)

# Adding a column for patient's condition based on thresholds
def assess_condition(row):
    condition = 'Healthy'
    if row['Temperature (C)'] > 37.5 or row['Temperature (C)'] < 36:
        condition = 'Fever' if condition == 'Healthy' else condition + ', Fever'
    if row['Saturation (%)'] < 95:
        condition = 'Hypoxia' if condition == 'Healthy' else condition + ', Hypoxia'
    if row['Respiratory Rate (breaths/min)'] > 24 or row['Respiratory Rate (breaths/min)'] < 12:
        condition = 'Tachypnea' if condition == 'Healthy' else condition + ', Tachypnea'
    if row['Heart Rate (bpm)'] > 100 or row['Heart Rate (bpm)'] < 60:
        condition = 'Tachycardia' if condition == 'Healthy' else condition + ', Tachycardia'
    if row['Systolic Blood Pressure (mmHg)'] > 140 or row['Systolic Blood Pressure (mmHg)'] < 90:
        condition = 'Hypertension' if condition == 'Healthy' else condition + ', Hypertension'
    if row['Diastolic Blood Pressure (mmHg)'] > 90 or row['Diastolic Blood Pressure (mmHg)'] < 60:
        condition = 'Hypotension' if condition == 'Healthy' else condition + ', Hypotension'
    return condition
patient_data['Condition'] = patient_data.apply(assess_condition, axis=1)
patient_data.to_csv('patient_dataset_bp.csv', index=False)
print("Dataset created and saved as 'patient_dataset_bp.csv'")
```

**ДОДАТОК Б**  
(обов'язковий)  
**ДЕКОМПОЗИЦІЯ СИСТЕМИ У ВИГЛЯДІ ДЕРЕВА**

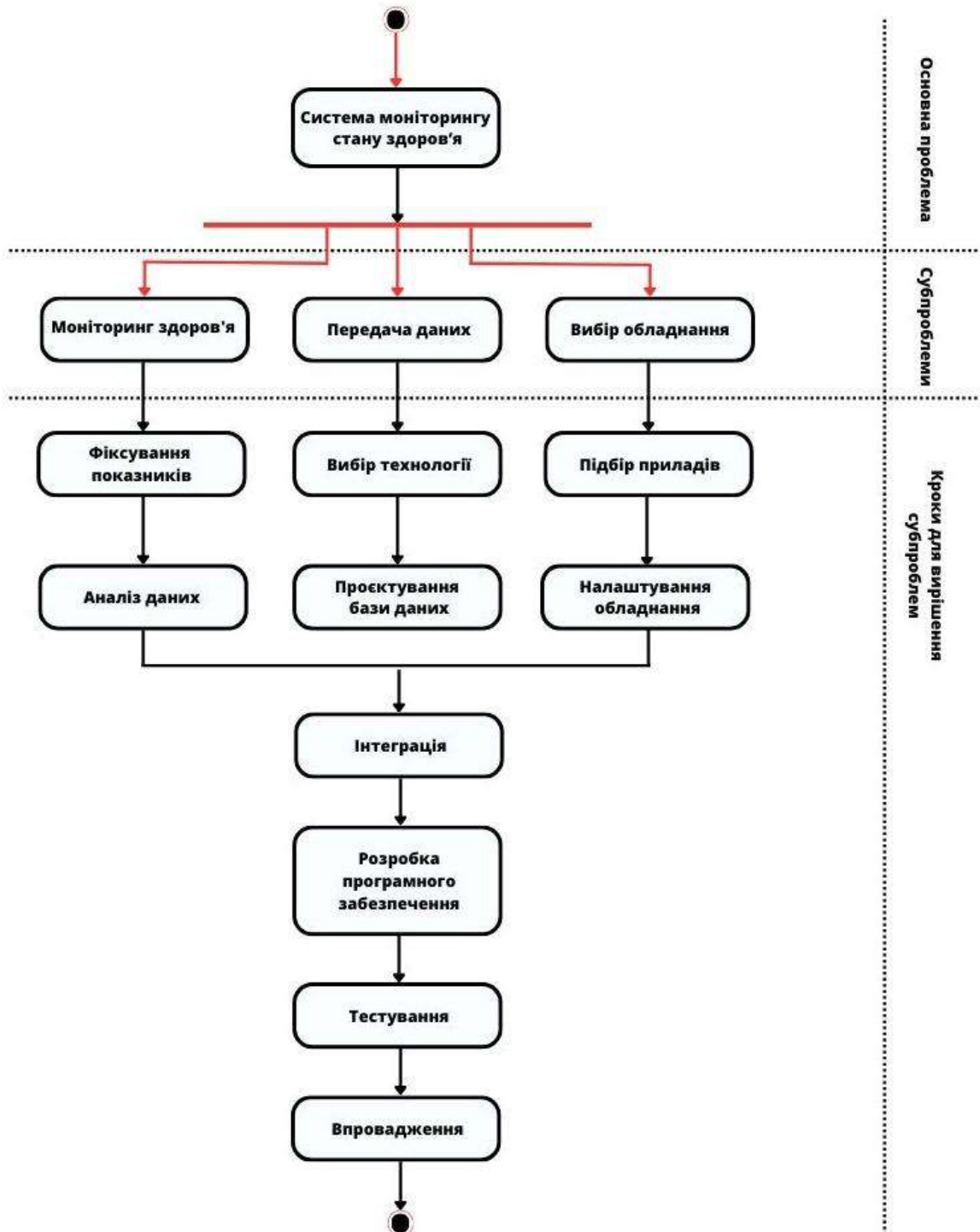


Рисунок Б.1 – Декомпозиція системи у вигляді дерева

# ДОДАТОК В

## (обов'язковий)

### СТАТТЯ У ФАХОВОМУ НАУКОВОМУ ВИДАННІ

Міжнародний науково-технічний журнал  
«Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»

ISSN 2219-9365

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-19>  
УДК 004.9

**ГОВОРУЩЕНКО Тетяна**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-7942-1857>  
e-mail: [govorushchenko@gmail.com](mailto:govorushchenko@gmail.com)

**АЛЕКСЕЙКО Віталій**

Хмельницький національний університет  
[vitaliy.alekseyko@ukr.net](mailto:vitaliy.alekseyko@ukr.net)

**РЕЙ Костянтин**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-9658-3148>  
[kostia.rei@gmail.com](mailto:kostia.rei@gmail.com)

#### СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РЕСПІРАТОРНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТУ МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ

*Задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними IoMT пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо.*

*Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням IoMT призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).*

*Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень. Система реалізується у вигляді мобільного застосунку, який взаємодіє з різними IoMT пристроями для збору даних про температуру тіла, сатурацію, частоту дихальних рухів, частоту серцевих скорочень, систолічний та діастолічний кров'яний тиск. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта. Такий застосунок може бути корисним при лікуванні пацієнтів з респіраторними захворюваннями як в медичних закладах, так і вдома. Перегляд показників може здійснюватись лікарем у процесі реального часу. Також здійснюється формування звітів по кожному хворому та запис усіх показників. Користувач після авторизації має доступ до своїх показників в базі даних та може здійснювати їх перегляд, а також переглядати показники в режимі реального часу. За необхідності система формує звіт, який може бути завантажений користувачем на смартфон.*

*Ключові слова: моніторинг респіраторних захворювань, Інтернет медичних речей, датчики, хмарний сервер, мобільний застосунок.*

HOVORUSHCHENKO Tetiana, ALEKSEIKO Vitaliy, REI Kostyantyn  
Khmelnitskyi National University

#### REAL-TIME SYSTEM FOR MONITORING RESPIRATORY DISEASES IN USING THE INTERNET OF MEDICAL THINGS

*The task of creating a real-time system for monitoring respiratory diseases is relevant. Therefore, our research is devoted to the design of a real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things, which involves the development of a mobile application or web service that will interact with various IoMT devices such as fitness bracelets, smart watches, heart rate sensors, etc.*

*The real-time system for monitoring respiratory diseases using IoMT is designed to monitor vital signs (body temperature, saturation, respiratory rate, pulse, blood pressure, etc.).*

*The real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things allows you to track changes in indicators to monitor the dynamics of the disease and timely identify possible risks and prevent complications. The system is implemented as a mobile application that interacts with various IoMT devices to collect data on body temperature, saturation, respiratory rate, heart rate, systolic and diastolic blood pressure. The data is transferred to the server, where it is analyzed and used to assess the patient's health status. Such an application can be useful in the treatment of patients with respiratory diseases both in medical institutions and at home. The doctor can view the indicators in real time. Reports are also generated for each patient and all indicators are recorded. After authorization, the user has access to his or her indicators in the database and can view them, as well as view indicators in real time. If necessary, the system generates a report that can be downloaded to a smartphone.*

*The real-time system for monitoring respiratory diseases using the Internet of Medical Things includes the following components: sensors; data collection and transmission system; cloud server; mobile application; data analytics and comparison service; notification system.*

*Keywords: respiratory disease monitoring, Internet of Medical Things, sensors, cloud server, mobile application.*

International Scientific-technical journal  
«Measuring and computing devices in technological processes» 2024, Issue 1

**Постановка проблеми у загальному вигляді  
та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**

Значні досягнення в області бездротових технологій, мініатюризації та обчислювальної потужності пристроїв стимулюють інновації в медичній техніці, що призводить до розробки великої кількості медичних пристроїв, здатних генерувати, збирати, аналізувати і передавати дані. Такі дані, разом з відповідними пристроями, створюють сферу Інтернету медичних речей (IoMT) – під'єднану інфраструктуру медичних пристроїв, програмних додатків, систем та послуг охорони здоров'я. IoMT стрімко трансформує роль медичних технологій у сфері охорони здоров'я. Зокрема, взаємодія між давачами та пристроями обробки інформації, дозволяє медичним закладам оптимізувати свої клінічні операції та керування робочими процесами, а також покращувати догляд за пацієнтами на відстані [1].

Згідно з Концепцією розвитку електронної охорони здоров'я, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України [2]: «Охорона здоров'я є складною системою з багатьма чинниками та детермінантами, які охоплюють усе суспільство, а її трансформація стосується кожного». Сьогодні Україна перебуває на другому етапі розвитку електронної охорони здоров'я, який згідно з відповідною Концепцією охоплює період 2023 – 2025 років. Цією Концепцією передбачено зокрема: «посилений розвиток систем підтримки клінічних рішень, персоналізованої медицини, телемедицини, систем для обробки великих даних, штучного інтелекту – інженерної обробки, використання та здобуття нових знань».

Технології Інтернету медичних речей (IoMT) розвиваються надзвичайно швидко. Відповідно до звіту Grand View Research, Inc. (дослідницька і консалтингова компанія з Індії та США), глобальний обсяг ринку Інтернету речей в сфері охорони здоров'я до 2025 року досягне 534,3 мільярда доларів США, збільшившись в середньому на 19,9%. Забезпечуючи технологічні перетворення у галузі медицини, сектор IoMT дозволяє впроваджувати сучасні технологічні рішення в операційну діяльність охорони здоров'я і сприяє цифровим трансформаціям у цій галузі [3].

Технології IoMT дають можливість відслідковувати стан пацієнта в цілодобовому режимі за допомогою трекерів, котрі у разі будь-яких відхилень від норми подають відповідний сигнал. Це дозволяє невідкладно надати допомогу людині або відкоригувати процес лікування.

Розглянемо відомі платформи на основі технології Інтернету медичних речей. Система моніторингу Clean Hands – Safe Hands (CHSH) – це спеціальна технологія, що дозволяє контролювати, як персонал медичного закладу дезінфікує руки до та після контакту з пацієнтами [4]. Спеціальні IoT-пристрої закріплені на бейджах медичних працівників і диспенсерах із дезінфікуючим засобом. Давачі ідентифікують співробітників і контролюють їх переміщення. Щойно лікар або медсестра перетинає чергову палату, міні-пристрій дає сигнал і починає відлік часу, протягом якого необхідно виконати санацію. Давачі фіксують кожну дезінфекцію рук і прив'язують цю інформацію до конкретного співробітника. Завдяки CHSH кількість внутрішньолікарняних інфекцій у медичних закладах США знизилась на 66%.

Інтернет речей Azure – це надійна технологічна платформа, яка допомагає підвищити результативність лікування, спростити клінічні операції, а також оптимізувати виготовлення та контроль за постачанням медичних засобів від виробника до кінцевого споживача [5]. В основі платформи лежить ефективна та інтелектуальна технологія Інтернету речей із високим рівнем безпеки. Платформа містить такі сервіси:

- Безперервний моніторинг стану пацієнтів. Розширює можливості догляду за хворими, що знаходяться за межами лікувального закладу. Дозволяє скоригувати кількість та частоту повторних прийомів та контролювати перебіг захворювань шляхом віддаленого моніторингу.
- Домашній догляд. Допомагає забезпечити догляд за літніми людьми, відстежувати відновлення та реабілітацію, а також надавати підтримку пацієнтам з обмеженими можливостями та хронічними захворюваннями.
- Інтелектуальне лікарняне обладнання. Дозволяє отримувати корисні відомості на основі даних лікарняного обладнання, задля підвищення результативності лікування.
- «Розумна» лікарня. Забезпечує зручність роботи в медичній установі для співробітників та максимальний комфорт і безпеку для пацієнтів.
- Керування запасами товарів медичного призначення. Забезпечує контроль усіх необхідних медичних засобів.
- Відстеження дотримання температурного режиму під час доставок окремих фармацевтичних препаратів. Дозволяє створити прозорий, безпечний та регульований ланцюжок постачання фармацевтичної продукції.

Продукція компанії Primex містить різноманітні системи моніторингу OneVue Sense [6]: мережні датчики температури, а також датчики для відстеження витоків води, вологості, перепаду тиску і замикання контактів. Ці автоматизовані інструменти допомагають медичним закладам оптимізувати моніторинг довкілля для керування активами. Програмне забезпечення OneVue Monitor, розміщене в хмарі, що надає доступ до необхідної інформації з будь-якого місця. Система об'єднує дані моніторингу навколишнього середовища з

мережних давачів по всьому об'єкті, забезпечуючи швидкий доступ до інформації про приміщення об'єкта і дозволяючи створювати звіти для підвищення обізнаності та дотримання нормативних вимог.

Пристрої Apple Watch із функцією кардіограми широко використовуються для постійного моніторингу стану серця не лише хворими, а й здоровими людьми задля попередження розвитку захворювань [1].

Розробка вчених з Університету Тохоку (Японія) дозволяє розпізнавати найбільш небезпечні віруси на планеті [7]. Пристрій діє за таким принципом: на електроді знаходяться антитіла, які взаємодіють зі специфічним вірусом. Потрапляння патогену певного вірусу зумовлює збільшення маси матеріалу, що призводить до зменшення частоти електричного струму, який через нього проходить, після чого пристрій ідентифікує вірус та подає відповідний сигнал.

Застосування технологій IoT в галузі охорони здоров'я передбачає не лише лікування при діагностуванні захворювань, а дозволяє побудувати превентивну систему охорони здоров'я, яка зосереджена на профілактиці, задля того, щоб люди не страждали від важких наслідків хвороб.

Інтелектуальні системи моніторингу допомагають швидко виявити симптоми і вчасно їх лікувати. Це чудово підходить як для лікарів, так і для пацієнтів, оскільки значно знижується рівень стресу. Більш того, пацієнти можуть отримувати індивідуальне лікування за допомогою пристроїв з підтримкою технології Інтернет-речей, оскільки лікарі можуть отримати чітке уявлення про спосіб життя та історію хвороби пацієнта.

Застосування IoT дозволяє перейти на новий рівень діагностики захворювань, точності лікування та відстежування стану здоров'я пацієнтів за допомогою мікро- та нанодавачів, а також інших «розумних пристроїв». Як наслідок, підвищиться ефективність роботи медичних закладів. Зокрема, дистанційний моніторинг дозволяє знизити ризики позапланових госпіталізацій та зменшити навантаження на стаціонари, а взаємодія між лікарями та пацієнтами на відстані спрощується.

Отже, впровадження технології Інтернету Медичних Речей (IoMT) при лікуванні різноманітних хвороб свідчить про стрімкий розвиток сфери охорони здоров'я. Завдяки сучасним цифровим технологічним розробкам можна суттєво покращити якість життя хворих та надавати ефективну медичну допомогу.

В контексті пандемії COVID-19 та епідемії інших респіраторних захворювань, особливого значення та поширення набули системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу, які можуть бути ефективними для запобігання поширенню захворювань (в основному, у вигляді мобільних додатків). Однак рівень впровадження таких систем був і залишається відносно низьким, на що, очевидно, значною мірою впливають питання, пов'язані з конфіденційністю та анонімністю, а також сприйняття потенційними користувачами співвідношення ціни та вигоди [8].

Отже, задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними IoMT пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо. Цей застосунок може збирати дані про температуру тіла, пульс, кров'яний тиск, сатурацію, а також інші параметри здоров'я. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта.

#### Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням IoMT призначена для контролю за показниками життя важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).

Тоді стан здоров'я пацієнта ( $S$ ) з респіраторним захворюванням може бути представлений у вигляді залежності від функцій:  $t$  – температура тіла,  $SpO_2$  – сатурація,  $RR$  (Respiratory Rate) – частота дихальних рухів,  $HR$  (heart rate) – частота серцевих скорочень,  $SBP$  – систолічний кров'яний тиск,  $DBP$  – діастолічний кров'яний тиск.

Тоді модель стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням матиме наступний формалізований вигляд:

$$S = f(t, SpO_2, RR, HR, SBP, DBP). \quad (1)$$

Основною метою моделі є оцінка стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями на основі вхідних даних, отриманих від пристроїв IoMT.

Збір даних проводитиметься шляхом передачі показників, знятих за допомогою пристроїв IoMT. Оскільки під час роботи системи може спостерігатися некоректна робота якогось з приладів (несправність, відсутність контакту тощо) слід провести попередню обробку даних, за умови, що ці дані не свідчать про

проблеми зі здоров'ям пацієнта (видалення аномальних значень, масштабування показників тощо). Також слід включити функцію негайного сповіщення при виявленні нетипових показників.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень. Система реалізується у вигляді мобільного застосунку, який взаємодіє з різними ІоМТ пристроями для збору даних про температуру тіла, сатурацію, частоту дихальних рухів, частоту серцевих скорочень, систолічний та діастолічний кров'яний тиск. Дані передаються на сервер, де проводиться аналіз, на основі якого здійснюється оцінка стану здоров'я пацієнта. Такий застосунок може бути корисним при лікуванні пацієнтів з респіраторними захворюваннями як в медичних закладах, так і вдома. Перегляд показників може здійснюватись лікарем у процесі реального часу. Також здійснюється формування звітів по кожному хворому та запис усіх показників. Користувач після авторизації має доступ до своїх показників в базі даних та може здійснювати їх перегляд, а також переглядати показники в режимі реального часу. За необхідності система формує звіт, який може бути завантажений користувачем на смартфон.

Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу може перебувати у шести станах. Для того, щоб розпочати моніторинг, необхідно здійснити правильне підключення усіх датчиків, після чого, безпосередньо, розпочинається процес моніторингу. Після збору необхідних даних та передачі їх на сервер, здійснюється аналіз отриманої інформації. На основі отриманих показників формується звіт про стан здоров'я пацієнта. У разі прийняття лікарем рішення про припинення моніторингу, система завершує свою роботу. Датчики від'єднують, проводять дезінфекцію, оглядають та перевіряють функціональний стан на готовність до подальших досліджень. За необхідності, користувач заносить показники до бази даних для подальших досліджень або аналітики.

Діаграма варіантів використання системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей представлена на рис. 1, діаграма послідовності – на рис. 2., діаграма станів – на рис. 3. На рис. 4 представлено контекстну діаграму системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей.

Система моніторингу стану здоров'я пацієнта з респіраторним захворюванням з використанням технології Інтернету медичних речей включає наступні компоненти (рис. 5): сенсори; система збору та передачі даних; хмарний сервер; мобільний застосунок; сервіс аналітики та порівняння даних; система сповіщень.



Рис. 1. Діаграма варіантів використання системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

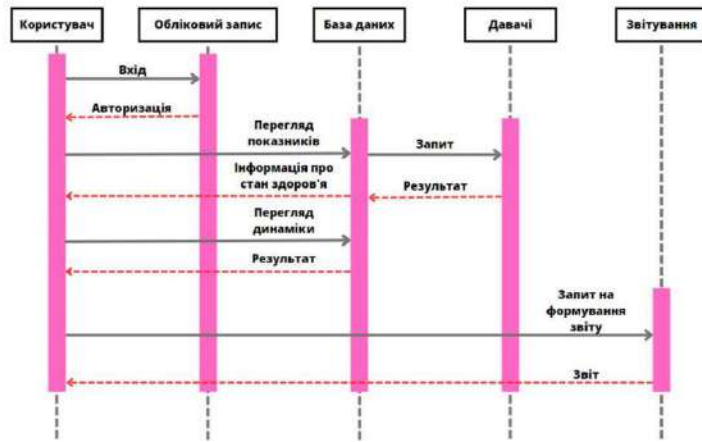


Рис. 2. Діаграма послідовності системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей



Рис. 3. Діаграма стадій системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей



Рис. 4. Контексна діаграма системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

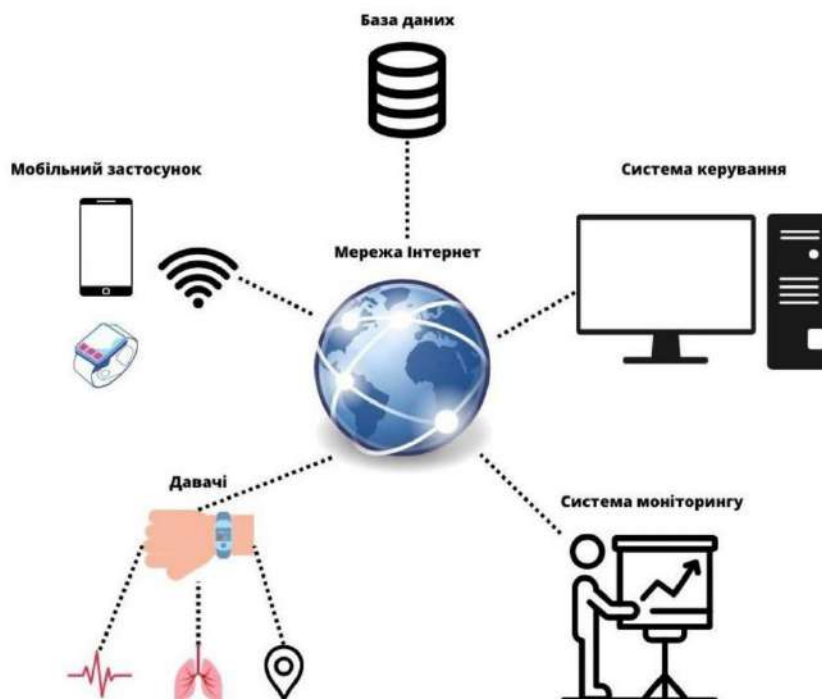


Рис. 5. Компоненти системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей

До сенсорів належать різноманітні фізичні пристрої, такі як датчики температури, пульсоксиметри, вимірювачі частоти дихальних рухів, вимірювачі кров'яного тиску та інші пристрої, які за необхідності зчитують дані про стан здоров'я хворого. Кожен сенсор здоров'я повинен мати свій власний мікроконтролер та бути підключеним до мережі Інтернет, або взаємопов'язаних пристроїв через комунікаційні протоколи Wi-Fi, Bluetooth тощо.

Збір та передача даних здійснюється через комунікаційні протоколи, шляхом передачі отриманих від сенсорів здоров'я показників до центрального сервера для подальшої обробки. Дані можуть передаватися як через проміжний пристрій, так і безпосередньо на сервер.

Хмарний сервер приймає зібрані дані і забезпечує їх збереження у безпечному хмарному середовищі. Функція аналітики даних дозволяє лікарю отримувати доступ до інформації про стан здоров'я пацієнта в реальному часі, а також порівнювати показники та визначати динаміку перебігу захворювання.

Взаємодія користувача із системою моніторингу стану здоров'я відбувається через мобільний застосунок. Також передбачена функція надсилання сповіщень пацієнтові та лікарю на основі проаналізованих даних. Наприклад, система може надсилати сповіщення про підвищення температури, зниження насиченості киснем крові, підвищення пульсу, нетипову зміну частоти дихальних рухів, або попереджати про інші підозрілі аномалії, що потребують уваги – рис.6.

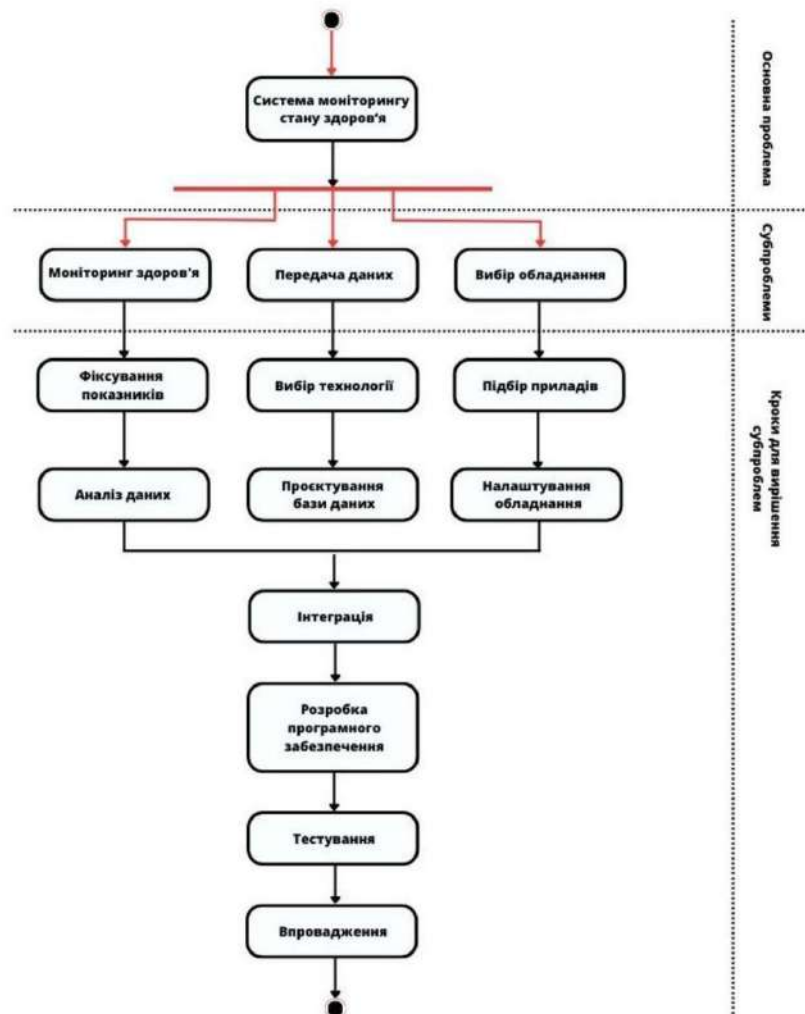


Рис. 6. Декомпозиція системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей у вигляді дерева

#### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

- 1) Задача створення системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу є актуальною. Відтак наше дослідження присвячене проектуванню системи моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей, яке передбачає розробку мобільного застосунку або веб-сервісу, який буде взаємодіяти з різними ІоМТ пристроями, такими як фітнес-браслети, смарт-годинники, давачі пульсу тощо.
- 2) Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ призначена для контролю за показниками життєво важливих функцій (температура тіла, сатурація, частота дихання, пульс, артеріальний тиск тощо).
- 3) Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей дає змогу відслідковувати зміну показників задля контролю динаміки перебігу захворювання та своєчасного виявлення можливих ризиків та запобігання ускладнень.

**Література**

1. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>.
2. Про схвалення Концепції розвитку електронної охорони здоров'я: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1671-р від 28.12.2020 р. URL: <https://ehealth.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Pro-shvalennya-Kontseptsii-rozvy...-vid-28.12.2020-1671-r-Tekst-dlya-druku.pdf>.
3. Research Reports in Healthcare IT. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry/healthcare-it>.
4. Clean Hands – Safe Hands, 2023. URL: <https://cleanhands-safehands.com>.
5. Azure IoT for healthcare, 2023. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/industries/healthcare/iot>.
6. Primex. Environmental Monitoring Systems: OneVue Sense. URL: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/onevue-sense>.
7. AZO Sensors. Advances in Artificial Intelligence can Improve Sensitivity of Virus Sensors. URL: <https://www.azosensors.com/news.aspx?newsID=14218>.
8. Mobile Applications for Pandemic Monitoring : Approaches, Challenges and Opportunities / B. Alves et al. // Proceedings of 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Chaves, Portugal, 23–26 June 2021. 2021.

**References**

1. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. URL: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>.
2. On approval of the Concept of eHealth Development: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1671-r of 28.12.2020. URL: <https://ehealth.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Pro-shvalennya-Kontseptsii-rozvy...-vid-28.12.2020-1671-r-Tekst-dlya-druku.pdf>.
3. Research Reports in Healthcare IT. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry/healthcare-it>.
4. Clean Hands – Safe Hands, 2023. URL: <https://cleanhands-safehands.com>.
5. Azure IoT for healthcare, 2023. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/industries/healthcare/iot>.
6. Primex. Environmental Monitoring Systems: OneVue Sense. URL: <https://www.primexinc.com/en/solutions/environmental-monitoring/onevue-sense>.
7. AZO Sensors. Advances in Artificial Intelligence can Improve Sensitivity of Virus Sensors. URL: <https://www.azosensors.com/news.aspx?newsID=14218>.
8. Mobile Applications for Pandemic Monitoring : Approaches, Challenges and Opportunities / B. Alves et al. // Proceedings of 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Chaves, Portugal, 23–26 June 2021. 2021.

## ДОДАТОК Г

(обов'язковий)

### ТЕЗИ НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Scientific forum: theory and practice of research •

**Алексейко Віталій Олександрович**

здобувач вищої освіти факультету інформаційних технологій  
*Хмельницький національний університет, Україна*

### ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ МЕДИЧНИХ РЕЧЕЙ ЯК ЗАСІБ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Добробут кожної людини є невід'ємною ознакою суспільства майбутнього, а його досягнення є неможливим без існування високоефективної системи охорони здоров'я. Старший науковий аналітик і спеціаліст із комунікацій клініки Майо (Рочестер, США) Пол Серрато (Paul Serato) відзначає, що лише в США від 12 до 18 мільйонів пацієнтів щороку стикаються з певною діагностичною помилкою» [3]. Тому мінімізація помилок при оцінці стану здоров'я людини та постановці діагнозу є запорукою підбору правильної моделі лікування чи профілактики захворювань, що допоможе уникнути ускладнень та навіть врятувати життя. Згідно з дослідженнями Товариства систем управління та інформації в галузі охорони здоров'я (HIMSS – Healthcare Information and Management Systems Society) штучний інтелект та машинне навчання здатні трансформувати підхід до моніторингу стану здоров'я пацієнтів та діагностування хвороб, що в свою чергу дозволить опрацювати великі масиви даних та звести до мінімуму можливість помилок.

Ще одним важливим аспектом забезпечення якісної оцінки стану здоров'я пацієнтів є використання технологій Інтернету медичних речей (ІоМТ). Значні досягнення в області бездротових технологій, мініатюризації та обчислювальної потужності пристроїв стимулюють інновації в медичній техніці, що призводить до розробки великої кількості медичних пристроїв, здатних генерувати, збирати, аналізувати і передавати дані. Такі дані, разом з відповідними пристроями, створюють сферу Інтернету медичних речей (ІоМТ) – під'єднану інфраструктуру медичних пристроїв, програмних додатків, систем та послуг охорони здоров'я. ІоМТ стрімко трансформує роль медичних технологій у сфері охорони здоров'я. Зокрема, взаємодія між давачами та пристроями обробки інформації, дозволяє медичним закладам оптимізувати свої клінічні операції та керування робочими процесами, а також покращувати догляд за пацієнтами на відстані.

Галузь охорони здоров'я є однією з найбільш перспективних та ключових сфер для конвергенції новітніх технологій, наприклад, великих даних, Інтернету Речей, штучного інтелекту тощо [4].

Створення систем для моніторингу стану здоров'я з використанням пристроїв ІоМТ та інтеграцією штучного інтелекту для аналітики отриманих даних здатне здійснити суттєвий вплив на сферу охорони здоров'я та покращити рівень життя людства в цілому.

Досягнення цілей сталого розвитку (ЦСР), проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй, є важливим аспектом розвитку суспільства, адже вони є орієнтиром для трансформації світу на шляху до миру та процвітання. Впровадження цілей сталого розвитку спрямоване на реалізацію прав людини, забезпечення рівності та захисту планети [5].

Згідно з Указом Президента України, підтримуючи проголошені резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй, цілі сталого розвитку України на період до 2030 року є орієнтирами для розроблення проєктів прогностичних і програмних документів, проєктів нормативно-правових актів з метою забезпечення збалансованості економічного, соціального та екологічного вимірів сталого розвитку України [1].

Технології ІоМТ сприяють досягненню та практичній реалізації цілей сталого розвитку в сферах охорони здоров'я (ЦСР 3), якісної освіти (ЦСР 5), чистої води та належних санітарних умов (ЦСР 6), інновацій та інфраструктури (ЦСР 9), сталих міст та спільнот (ЦСР 11).

Впровадження технологій ІоМТ в закладах охорони здоров'я сприятиме покращенню результатів медичної допомоги, забезпечить дистанційний моніторинг пацієнтів в режимі реального часу, сприятиме своєчасному виявленню аномалій та попередженню небезпечних станів.

Використання цифрових технологій в освіті є надзвичайно актуальним. ІоМТ відіграє важливу роль у навчанні спеціалістів, адже дозволяє моделювати різноманітні ситуації та опановувати новітні технології.

Не менш важливим є питання дотримання норм санітарії, що реалізується за допомогою спеціальних ІоТ-пристроїв закріплених на бейджах медичних працівників і диспенсерах із дезінфікуючим засобом. Давачі ідентифікують співробітників і контролюють їх переміщення. Як тільки лікар або медсестра перетинає чергову палату, міні-пристрій дає сигнал і починає відлік часу, протягом якого необхідно виконати санацію. Давачі фіксують кожну дезінфекцію рук і прив'язують цю інформацію до конкретного співробітника. Завдяки системі CHSH кількість внутрішньолікарняних інфекцій у медичних закладах США знизилась на 66% [2].

Бурхливий розвиток ІоМТ сприяє інноваціям у сфері охорони здоров'я, зокрема розробці нових медичних пристроїв, діагностичних інструментів та методів лікування.

Застосування ІоМТ забезпечує створення інтелектуальних систем охорони здоров'я в міських районах. У рамках принципів електронної охорони здоров'я формується кіберфізичне середовище «розумної» лікарні, що передбачає цифровізацію усіх процесів функціонування медичного закладу та персоналізовану цифровізацію життєзабезпечення та моніторингу процесів життєдіяльності організму пацієнтів, а також повномасштабну цифровізацію діяльності медичного персоналу. Це дозволить відслідковувати поставки медичних препаратів з контролем забезпечення належних умов транспортування, зменшить перевантаженість закладів охорони здоров'я та сприятиме покращенню результатів лікування.

Застосування технологій ІоТ в галузі охорони здоров'я передбачає не лише лікування при діагностуванні захворювань, а дозволяє побудувати превентивну систему охорони здоров'я, яка зосереджена на профілактиці, задля того, щоб люди не страждали від важких наслідків хвороб. Це в свою чергу сприятиме покращенню добробуту кожної людини та формуванню суспільства майбутнього.

#### **Список використаних джерел:**

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: указ Президента України від 30 вересня 2019 року. №722/2019 [Електронний ресурс] Верховна Рада України. Режим доступу: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722\\_2019#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722_2019#Text)
2. Clean Hands – Safe Hands, 2023. Available: <https://cleanhands-safehands.com/>
3. Healthcare IT News. How AI and machine learning are transforming clinical decision support. Available: <https://www.healthcareitnews.com/news/how-ai-and-machine-learning-are-transforming-clinical-decision-support>
4. IBM & Apple Expand Partnership to Help Transform Medical Research. Available: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/46583.wss>
5. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/2030agenda>

ДОДАТОК Д

(обов'язковий)

## СЕРТИФІКАТ УЧАСНИКА НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

IST № 24/0504-063

**CERTIFICATE  
OF PARTICIPATION**

0,2 ECTS credits



**Vitalii Alekseiko**

participated in the V International Scientific and Theoretical Conference

**Scientific forum: theory and practice of research**

05.04.2024 | Valencia, Kingdom of Spain

**and published scientific paper** in the Collection of scientific papers «SCIENTIA»  
with DOI 10.36074/scientia-05.04.2024 and ISBN 979-8-88955-787-6 (series)  Bowker

The conference is included in the Academic Resource Index ResearchBib catalog  
and UKRISTEI catalog (Certificate № 74 dated January 5, 2024).



President of the International  
Center of Scientific Research  
**MIRIAM GOLDENBLAT**  
[www.scientia.report](http://www.scientia.report)



**ДОДАТОК Е**  
(обов'язковий)  
**ПРЕЗЕНТАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ**




Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем



Кваліфікаційна робота магістра  
Система моніторингу респіраторних захворювань  
в режимі реального часу з використанням  
ІоМТ (Інтернету медичних речей)

Студент групи КІ2м-22-2 Алексейко Віталій Олександрович  
Керівник: Завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем,  
д.т.н., професор Говорущенко Тетяна Олександрівна

Хмельницький 2024



## Мета роботи



- **Актуальність** роботи полягає в розробці мобільного застосунку для моніторингу та оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.
- **Метою** кваліфікаційної роботи магістра є проведення моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу шляхом розроблення власної системи моніторингу з використанням технологій ІоМТ та штучного інтелекту.

## Наукова новизна отриманих результатів



- ❑ набув подальшого розвитку метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання;
- ❑ набула подальшого розвитку система моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (IoMT).



## Практична цінність отриманих результатів



- ❑ Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями із застосуванням технологій Інтернету медичних речей та штучного інтелекту, на основі виконаного наукового дослідження що дозволяє проводити більш якісну оцінку стану здоров'я пацієнтів.



## Аналіз відомих технологій Інтернету речей



- У першому розділі проведено огляд наукових джерел, проаналізовано існуючі технічні рішення та засоби моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.



## Роль ІоМТ у досягненні ЦСР



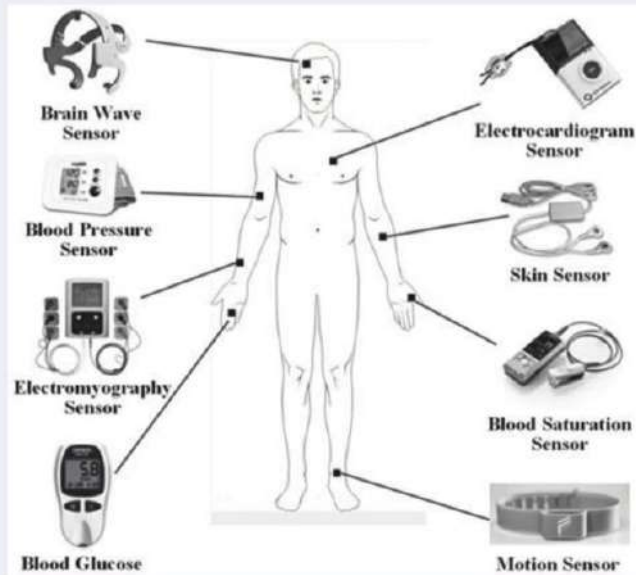
## Аналіз технічних рішень



- У другому розділі проаналізовано технічні рішення, розглянуто вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань, здійснено підбір приладів для системи.



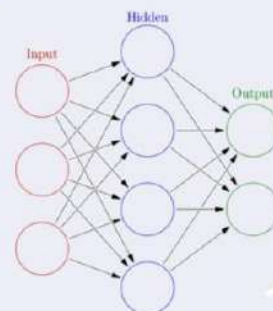
## Пристрої ІоМТ



## Модель оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями



- У третьому розділі розглянуто методи машинного навчання для оцінки стану здоров'я пацієнтів, проведено порівняння роботи методів та здійснено вибір методів з найбільшою точністю для імплементації у систему.



$$S = f(t, SpO_2, RR, HR, SBP, DBP) = \begin{bmatrix} f_1(t_{average}, t_{min}, t_{max}) \\ f_2(SpO_2, PI) \\ f_3(RR_{average}, RR_{min}, RR_{max}) \\ f_4(HR_{average}, HR_{min}, HR_{max}) \\ f_5(SBP, DBP) \end{bmatrix}$$

## Машинне навчання

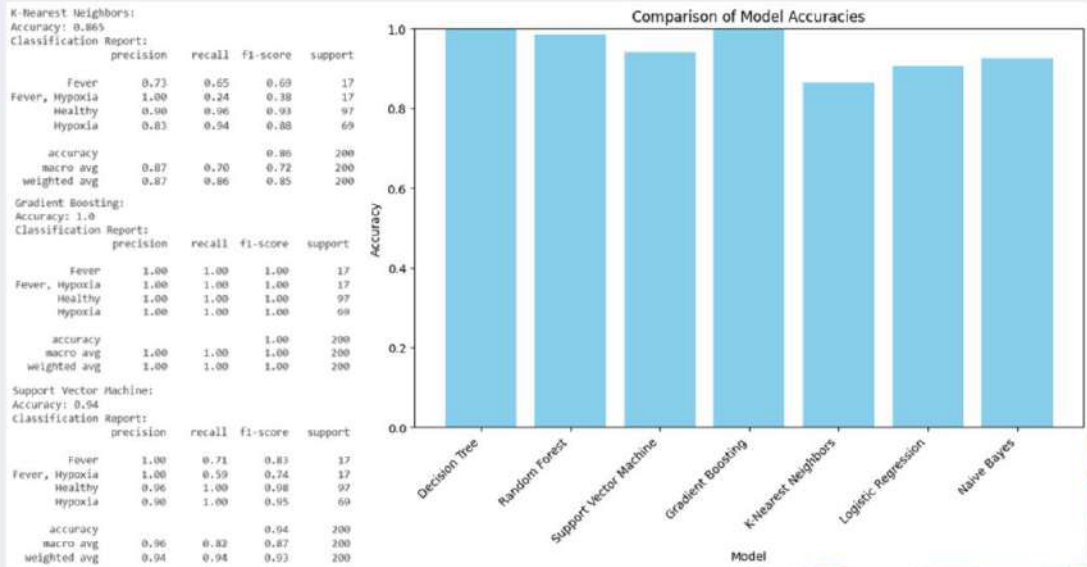


З метою більш ефективної оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями проведено дослідження з використанням наступних методів машинного навчання:

- дерева рішень;
- випадковий ліс;
- опорних векторів;
- посилення градієнта;
- K-найближчих сусідів;
- лінійна регресія;
- логістична регресія;
- наївний Байєсів класифікатор.



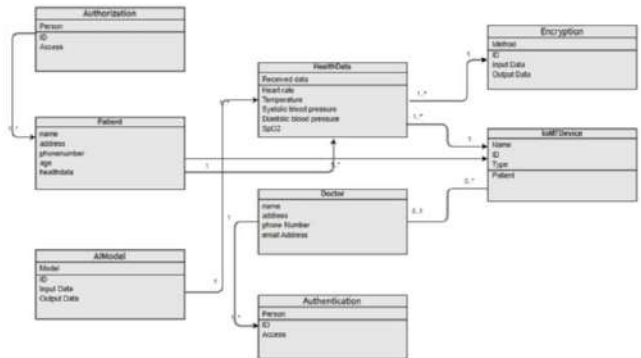
# Оцінка результатів



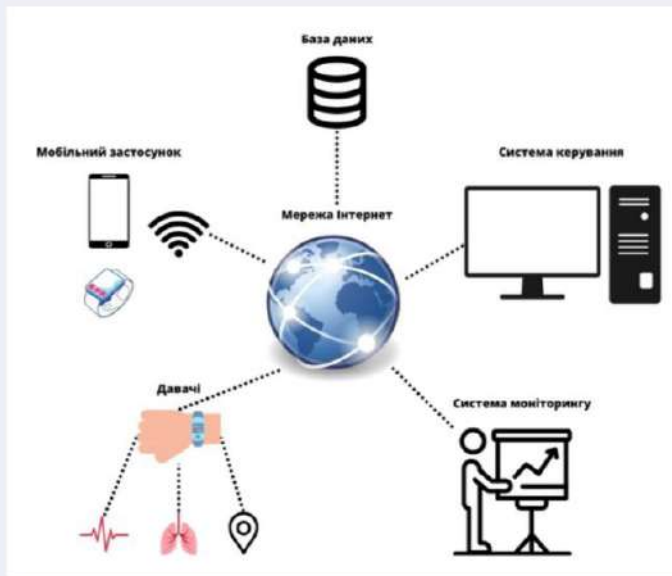
# Система моніторингу стану здоров'я



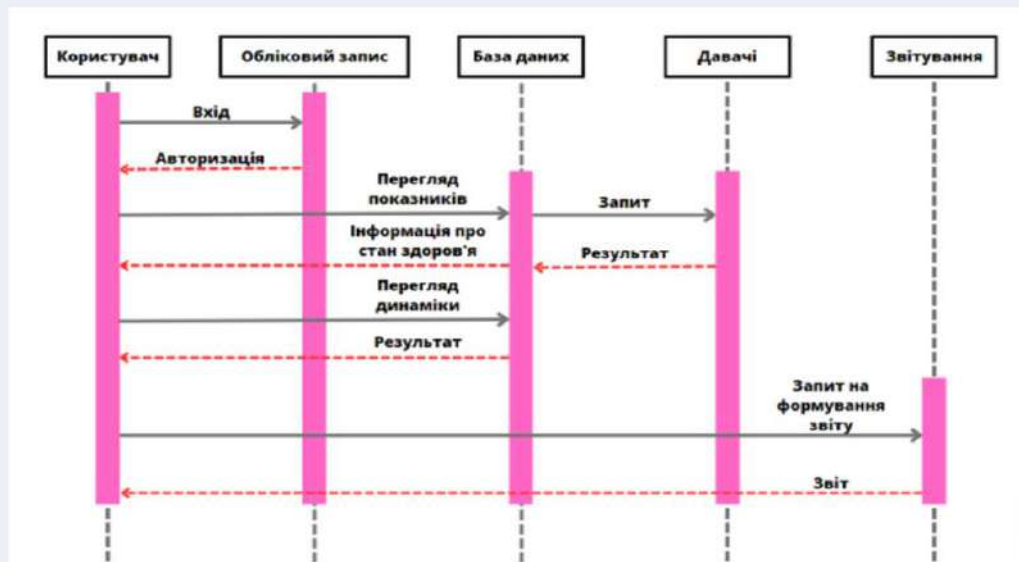
- У четвертому розділі здійснено опис реалізації системи, наведено інструкцію користувача та виконано детальний опис усіх функцій системи.



## Концепція системи



## Діаграма послідовностей



## Публікації

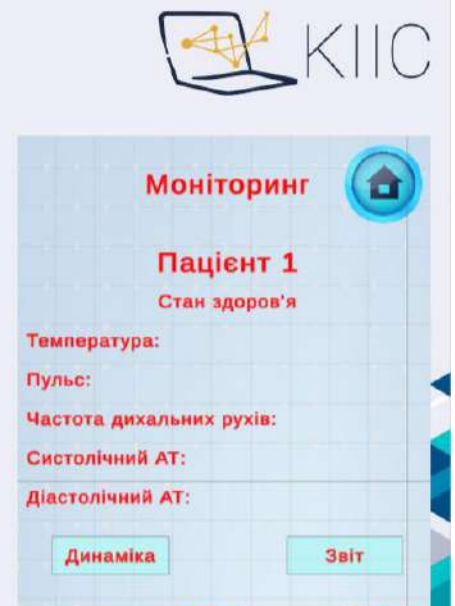
За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковано:

- стаття «Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням Інтернету медичних речей» у фаховому науковому виданні «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №1»;
- тези «Впровадження технологій інтернету медичних речей як засіб досягнення цілей сталого розвитку» Міжнародної науково-теоретичної конференції «V International Scientific and Theoretical Conference. Scientific forum: theory and practice of research. Valencia, Kingdom of Spain. 2024».



## Висновки

- У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено концепцію інформаційної системи безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями в режимі реального часу з використанням пристроїв Інтернету медичних речей.
- Впровадження результатів роботи дозволять здійснювати більш якісну оцінку стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій ІоМТ, машинного навчання та штучного інтелекту.





КІІС

Дякую за увагу!



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

Дата перевірки:  
25.04.2024 15:19:40 EEST

Дата звіту:  
25.04.2024 15:59:25 EEST

ID перевірки:  
1016210664

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
100005591

Назва документа: **Алексейко\_Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з ви...**

Кількість сторінок: 98 Кількість слів: 18301 Кількість символів: 148043 Розмір файлу: 3.45 MB ID файлу: 1015982497

## 7.93% Схожість

Найбільша схожість: 3.4% з Інтернет-джерелом (<https://previous.scientia.report/index.php/archive/issue/download/05.0>).



## 1.39% Цитат



## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.



### Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 125486 Назва: МКР Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей) Додано в БД: 2024-04-25 Автор: Алексеїно В.О. Керівник: Говорухенко Т.О. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символ	Лексеми	Символ	Лексеми
	126246	1009	2798 (2%)	46 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символ	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Алексейко Віталій Олександрович

Тема: Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей)

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість сторінок записки 81

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проведення моніторингу стану здоров'я в режимі реального часу шляхом розроблення власної системи моніторингу з використанням технологій ІоМТ та штучного інтелекту.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень розроблено концепцію інформаційної системи безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями в режимі реального часу з використанням пристроїв Інтернету медичних речей.

У першому розділі проведено огляд наукових джерел, проаналізовано існуючі технічні рішення та засоби моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями.

У другому розділі проаналізовано технічні рішення, розглянуто вимоги до системи моніторингу респіраторних захворювань, здійснено підбір приладів для системи.

У третьому розділі розглянуто методи машинного навчання для оцінки стану здоров'я пацієнтів, проведено порівняння роботи методів та здійснено вибір методів з найбільшою точністю для імплементації у систему.

У четвертому розділі здійснено опис реалізації системи, наведено інструкцію користувача та виконано детальний опис усіх функцій системи. Набув подальшого

розвитку метод оцінки стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями, завдяки використанню технологій штучного інтелекту та машинного навчання.

Набула подальшого розвитку система моніторингу стану здоров'я пацієнтів з респіраторними захворюваннями з використанням пристроїв Інтернету медичних речей (IoMT).

4. Позитивні сторони роботи: отримання наукової новизни.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно з діючими стандартами оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно/А.

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Барнак О. В.,  
д.т.н., проф., зав. кафедр. КН

“29” 04 2024 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Алексеїка Віталія Олександровича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2М-22-2

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 квітня 2024 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованою системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система моніторингу респіраторних захворювань в режимі реального часу з використанням ІоМТ (Інтернету медичних речей)

Автор: Алексейко Віталій Олександрович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Говорущенко Тетяна Олександрівна, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 3.4% в частині загальноприйнятої термінології;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 7.93% і адресується до 277 періоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

  
Т. О. Говорущенко

Гарант ОНП

  
О. С. Савенко

Завідувач кафедри КІС

  
Т. О. Говорущенко