

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*магістр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Методи та засоби дистанційного моніторингу рівня насичення  
киснем крові людини з використанням IoT технологій*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи СІМ-62  
спеціальності \_\_\_\_\_

*123 «Комп'ютерна інженерія»*

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ *Сомін Д.С.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ *Паламар А.М.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ *Тили Є.В.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ *Осухівська Г.М.*  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ (підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Соміну Даниїлу Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та засоби дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини з використанням IoT технологій

Керівник роботи Паламар Андрій Михайлович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «1» грудня 2023 року № 4/7-1132

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові літературні джерела, мова програмування C++

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз досліджень у сфері вимірювання рівня насичення киснем крові людини.

2. Методи та технології дистанційного контролю рівня кисню в крові людини.

3. Реалізація апаратно-програмної системи для моніторингу рівня насичення киснем крові людини.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Тема кваліфікаційної роботи, актуальність.

2. Мета і завдання дослідження.

3. Об'єкт і предмет дослідження та наукова новизна.

4. Структурна схема системи.

5. Схема електричних з'єднань.

6. Блок-схема алгоритму роботи.

7. Результати роботи системи.

8. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз досліджень у сфері вимірювання рівня насичення киснем крові людини</i>	20.11.2023 - 24.11.2023	<i>виконано</i>
2	<i>Методи та технології дистанційного контролю рівня кисню в крові людини</i>	25.11.2023 - 28.11.2023	<i>виконано</i>
3	<i>Реалізація апаратно-програмної системи для моніторингу рівня насичення киснем крові людини</i>	29.11.2023 - 06.12.2023	<i>виконано</i>
4	<i>Написання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	07.12.2023 - 08.12.2023	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	09.12.2023- 19.12.2023	<i>виконано</i>
6	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	20.12.2023	<i>виконано</i>
7	<i>Захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	28.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Сомін Д.С.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Паламар А.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Методи та засоби дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини з використанням IoT технологій // Кваліфікаційна робота магістра // Сомін Даниїл Сергійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІм-62 // Тернопіль, 2023 // с. – 80, рис. – 44, табл. – 1, аркушів А1 – 8, додат. – 1, бібліогр. – 44.

Ключові слова: насиченість крові киснем, дистанційний моніторинг, Інтернет медичних речей, мікроконтролер, давач.

Кваліфікаційна робота присвячена питанню розроблення методів та програмно-апаратних засобів для дистанційного моніторингу рівня насичення киснем в крові людини з використанням інформаційних технологій на основі концепції інтернету речей.

В роботі проведено аналіз проведених досліджень у галузі вимірювання насичення крові киснем, визначено їхні переваги та недоліки. Для дистанційного контролю рівня насиченості киснем запропоновано використати сенсор MAX30102 та мікроконтролер ESP8266 NodeMCU. Результати вимірювань відображаються на OLED дисплеї, що дозволяє користувачам отримувати інформацію про свій стан в реальному часі. Крім того, дана система передає отримані дані на хмарний IoT сервіс, для збереження, аналізу та віддаленого доступу до них.

Результати цієї роботи є важливими для підвищення якості моніторингу стану здоров'я пацієнтів у реальному часі. Проект має потенціал для покращення якості медичного обслуговування і забезпечення ефективного моніторингу стану пацієнтів, що є критично важливим у сучасних умовах.

## ANNOTATION

Methods and tools for remote monitoring of human blood oxygen saturation levels using IoT technologies // Master's graduation thesis // Somin Danyil // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer Information System and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, group CIm-62 // Ternopil, 2023 // p. – 80, fig. – 44, tabl. – 1, sheets A1 – 8, addit. – 1, bibliography – 44.

Keywords: blood oxygen saturation, remote monitoring, Internet of medical things, microcontroller, sensor.

The qualification work is dedicated to the development of methods and hardware-software means for remote monitoring of human blood oxygen saturation levels using information technology based on the Internet of Things concept.

The thesis begins with an analysis of existing research in the field of blood oxygen saturation measurement, identifying their advantages and disadvantages. For remote monitoring of oxygen saturation levels, the MAX30102 sensor and ESP8266 NodeMCU microcontroller are proposed. Measurement results are displayed on an OLED display, providing real-time information to users. Furthermore, the system transmits collected data to a cloud-based IoT service for storage, analysis, and remote access.

The outcomes of this work are crucial for enhancing the quality of real-time health monitoring. This project has the potential to improve the quality of medical care and ensure effective monitoring of patients' health, which is critically important in modern healthcare settings.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ .....	10
1.1. Огляд сфери використання систем контролю рівня насичення киснем крові людини.....	10
1.2. Огляд та аналіз методів вимірювання насиченості крові киснем .....	11
1.3. Аналіз існуючих засобів контролю рівня насичення киснем крові людини.....	18
1.4. Сучасні технології та інновації в області вимірювання насиченості киснем крові людини .....	22
1.5. Висновки до розділу 1 .....	23
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ .....	24
2.1. Метод визначення рівня насичення киснем крові людини .....	24
2.2. Метод виокремлення корисної інформації .....	28
2.3. Метод моніторингової комп'ютерної пульсоксиметрії.....	32
2.4. Роль концепції Інтернету медичних речей для задачі моніторингу насиченості крові киснем .....	34
2.5. Висновки до розділу 2 .....	36
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ.....	38
3.1. Апаратна реалізація системи моніторингу насичення киснем крові .....	38
3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи .....	45
3.3. Інтеграція з хмарною IoT платформою .....	50
3.4. Аналіз результатів тестування системи моніторингу .....	53
3.5. Висновки до розділу 3 .....	57
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58

4.1. Охорона праці.....	58
4.2. Оцінка стійкості роботи об'єкта до дії проникаючої радіації і радіоактивного забруднення місцевості, які виникають після ядерного вибуху ..	61
4.3. Освітлення виробничих приміщень для роботи з ВДТ в локальній комп'ютерній мережі .....	63
4.4. Висновки до розділу 4.....	65
ВИСНОВКИ .....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
Додаток А Тези конференцій.....	72

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

МК – мікроконтролер;

МКП – моніторингова комп'ютерна пульсоксиметрія;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

СМ – система моніторингу;

СДМНKK – система дистанційного моніторингу насичення киснем крові;

МНKK – моніторинг насиченості крові киснем;

НKK – насиченість крові киснем;

ФПГ – фотоплетизмографія;

IoT – Internet of Things;

IoMT – Internet of Medical Things.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Зростаючий інтерес до самостійного контролю стану здоров'я спонукає людей шукати засоби для відстеження свого фізичного самопочуття. У цьому контексті, рівень насичення киснем крові (НКК) стає ключовим показником для визначення стану здоров'я та може вказувати на можливі проблеми з дихальною або серцево-судинною системою.

Розвиток інтернету речей (IoT) та сучасних технологій дозволяє збирати та обробляти дані миттєво. Ця можливість робить дистанційний моніторинг більш доступним і ефективним, дозволяючи людям відстежувати свій стан здоров'я безпосередньо через мобільні пристрої та інтернет-зв'язок.

Ситуація з пандемією підкреслила необхідність дистанційного моніторингу стану хворих, зокрема рівня кисню в крові. Було важливо уникати контакту з іншими людьми, тому системи, які дозволяють віддалено відслідковувати стан пацієнтів, стали надзвичайно важливими для надання своєчасної медичної допомоги та підтримки.

Таким чином, завдання розробки та удосконалення методів та засобів для дистанційного моніторингу НКК людини є необхідним і актуальним, яке може зробити важливий внесок у підвищення ефективності медичного обслуговування, забезпечити надійний контроль стану здоров'я пацієнтів та допомогти забезпечити ефективність у сфері охорони здоров'я, особливо в надзвичайних ситуаціях.

**Мета і завдання дослідження.** Мета даної роботи полягає у розробці та реалізації методів та комп'ютеризованих засобів для дистанційного моніторингу рівня насичення крові киснем з використанням інтернету речей та сучасних технологій для забезпечення вимірювань в реальному часі та віддаленого доступу до цих даних.

Задачі дослідження:

- проаналізувати існуючі методи та засоби моніторингу рівня насичення крові киснем для визначення їхніх переваг, недоліків і потенційних обмежень;
- здійснити огляд методів дистанційного контролю насичення крові киснем;

- розробити апаратну частину системи, здатну забезпечувати надійний та точний збір даних про рівень кисню в крові з відображенням результатів на дисплеї;
- розробити програмне забезпечення для обробки та передачі зібраних даних на хмарний IoT сервіс для збереження і аналізу;
- провести експериментальні дослідження для оцінки ефективності розробленої системи.

**Об’єкт дослідження** – процес моніторингу рівня насичення крові людини киснем.

**Предмет дослідження** – апаратно-програмні методи та засоби для віддаленого контролю рівня насичення крові людини киснем.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше розроблено інтегровану систему моніторингу насичення крові киснем, яка за рахунок використання сенсора MAX30102 та мікроконтролера ESP8266 в поєднанні з хмарним IoT сервісом, дозволила забезпечити надійний та точний дистанційний моніторинг показників здоров'я.

2. Отримав подальший розвиток метод дистанційного моніторингу рівня насичення крові киснем, який за рахунок аналізу динаміки змін показників в реальному часі, дозволив покращити точність та надійність вимірювань та підвищити якість діагностики стану пацієнта.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у вдосконаленні системи моніторингу здоров'я пацієнтів, забезпеченні надійного та точного вимірювання рівня НКК, та можливості віддаленого нагляду за їхнім станом у реальному часі, що сприяє покращенню медичного обслуговування.

**Публікації.** Результати дослідження апробовано на XII міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 6-7 грудня 2023 р.), на X науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 р.) та на XI науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 13-14 грудня 2023 р.).

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ

#### 1.1. Огляд сфери використання систем контролю рівня насичення киснем крові людини

Системи контролю рівня насичення киснем крові (НКК) людини мають широкий спектр застосувань у медичній практиці. Однією з основних областей їх використання є клінічна діагностика та моніторинг стану пацієнтів. Ці системи дозволяють лікарям отримувати об'єктивну інформацію про НКК та пульс пацієнта в реальному часі. Вони надають важливі дані для діагностики та моніторингу захворювань, таких як хронічна обструктивна захворюваність легень, серцево-судинні захворювання, астма та інші патології, де рівень насиченості киснем є важливим показником.

Системи контролю рівня НКК є невід'ємною частиною обладнання в інтенсивній терапії та оперативній хірургії. Вони дозволяють надавати негайну медичну допомогу пацієнтам у стані шоку, після операцій та в інших критичних ситуаціях. Моніторинг рівня НКК під час хірургічного втручання допомагає уникнути гіпоксії та інших ускладнень.

Системи моніторингу НКК також знаходять застосування в спортивній медицині та фізіотерапії. Вони дозволяють спортсменам та тренерам вимірювати рівень НКК під час тренувань і визначати їхню фізичну витривалість. Це важливо для розробки індивідуальних програм тренувань та контролю за станом здоров'я спортсменів.

Останнім часом все більше людей використовує системи контролю рівня насиченості киснем в домашніх умовах для самостійного моніторингу здоров'я. Це

особливо актуально для осіб з хронічними захворюваннями серця або легень. Вони можуть вимірювати рівень НКК регулярно та вчасно виявляти погіршення стану.

Системи контролю рівня насиченості киснем отримали особливо важливе значення під час пандемії. Ця інфекційна хвороба може призводити до важких порушень функції легень та зниження рівня насиченості киснем в крові пацієнта. Використання систем моніторингу насиченості киснем дозволяє визначати, коли необхідно госпіталізувати пацієнта та надавати допомогу хворим вчасно [1]. Крім того, це допомагає лікарям відслідковувати ефективність лікування та попереджувати загострення стану хворих на COVID-19 [2].

Огляд сфери використання систем контролю рівня НКК людини підтверджує їхню важливу роль у сучасній медицині та різноманітність сфер, де вони знаходять своє застосування. Детальне розуміння цих областей допоможе визначити потреби та перспективи в розробці та вдосконаленні систем моніторингу насиченості киснем для поліпшення діагностики та медичного обслуговування.

## 1.2. Огляд та аналіз методів вимірювання насиченості крові киснем

Пульсоксиметрія є одним з найпоширеніших методів вимірювання НКК. Вона базується на вимірюванні абсорбції світла кров'ю через непрозору тканину, таку як палець. Пульсоксиметри використовують інфрачервоне та червоне світло для визначення відсотка оксигемоглобіну ( $\text{HbO}_2$ ) у гемоглобіні (Hb) в артеріальній крові. Зміна абсорбції світла під час пульсації артеріальної крові дозволяє визначити рівень насиченості киснем [3].

Фотоплетизмографія (ФПГ) є ще одним методом для вимірювання насиченості киснем та інших показників стану кровообігу. Цей метод використовує спеціальний сенсор, який вимірює зміни об'єму тканини, пов'язані з пульсацією артеріальної крові. За допомогою аналізу змін у вигляді сигналу ФПГ, можна визначити рівень насиченості киснем, пульс тощо [4].

Для точного вимірювання рівня НКК застосовують метод, який вимагає взяття прямого зразка артеріальної крові та аналізу його газового складу в лабораторних умовах. Він надає найвищу точність, але є інвазивним та використовується в основному в клінічній практиці.

Ультразвукові методи можуть використовуватись для непрямого визначення НКК людини. Вони вимірюють кровотік у венозних або артеріальних судинах та оцінюють параметри, пов'язані з рухом крові. Ці методи можуть допомогти визначити ступінь оксигенізації крові в органах та тканинах.

Автори статті [5] акцентують увагу на актуальності самомоніторингу НКК ( $SpO_2$ ), особливо в умовах епідемії, такої, як COVID-19, коли громадяни повинні самостійно контролювати свій стан здоров'я вдома і бути в постійному зв'язку з лікарями під час карантину. Вони запропонували метод, який базується на обробці відеокадрів обличчя пацієнта, отриманих за допомогою камери, для одержання сигналу фотоплетизмографії, який використовується для оцінки  $SpO_2$  (рис. 1.1).

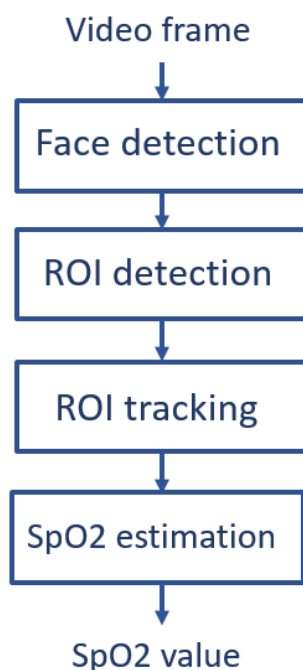


Рис. 1.1. Алгоритм визначення  $SpO_2$  на основі обробки відеокадрів обличчя пацієнта [5]

Попередні експериментальні результати показують, що значення  $SpO_2$ , отримані за допомогою цього безконтактного рішення, відповідають вимірам, проведеним за допомогою комерційного пульсоксиметра. Однак виміри проводились лише на одній людині, що не дає змоги стверджувати про високу ефективність даного методу. Залишається потреба у більшому обсязі експериментів та досліджень з великою кількістю учасників, включаючи хворих людей із симптомами COVID-19.

У роботі [6] розглядається використання методів машинного навчання для віддаленого моніторингу важливих показників здоров'я, таких як пульс, дихання, кашель, артеріальний тиск та НКК у пацієнтів із COVID-19 і осіб, які перебувають на карантині. Застосування таких методів відкриває можливість для дистанційного моніторингу без необхідності присутності медичного працівника. Робота досліджує потенційні переваги цих методів і вказує на їх можливість використовувати прості камери і сенсори, що доступні на смартфонах або персональних комп'ютерах, без потреби у застосуванні спеціалізованого обладнання. Автори цієї статті обговорюють проблеми, пов'язані із впровадженням методів штучного інтелекту, зокрема, недостатність наборів даних для навчання таких моделей і вимоги до освітлення приміщення для досягнення високої точності визначення показників. Незважаючи на переваги методів машинного навчання для віддаленого моніторингу важливих ознак здоров'я, стаття визначає деякі виклики, зокрема неможливість повної автоматизації процесів та необхідність мінімального втручання медичних фахівців.

У статті [7] пропонується система для динамічного моніторингу рівня кисню в крові. Система передбачає використання головного контролера для зчитування, фільтрації та обчислення пульсу та рівня НКК. Ці показники передаються до смартфона на базі ОС Android за допомогою модуля Bluetooth. Додаток на стороні смартфона отримує інформацію про фізіологічні параметри користувача та створює особистий медичний файл. Система також враховує вплив рухів на

динамічне середовище моніторингу, та пропонує новий метод для зменшення впливу перешкод, заснований на алгоритмі адаптивної фільтрації (рис. 1.2).

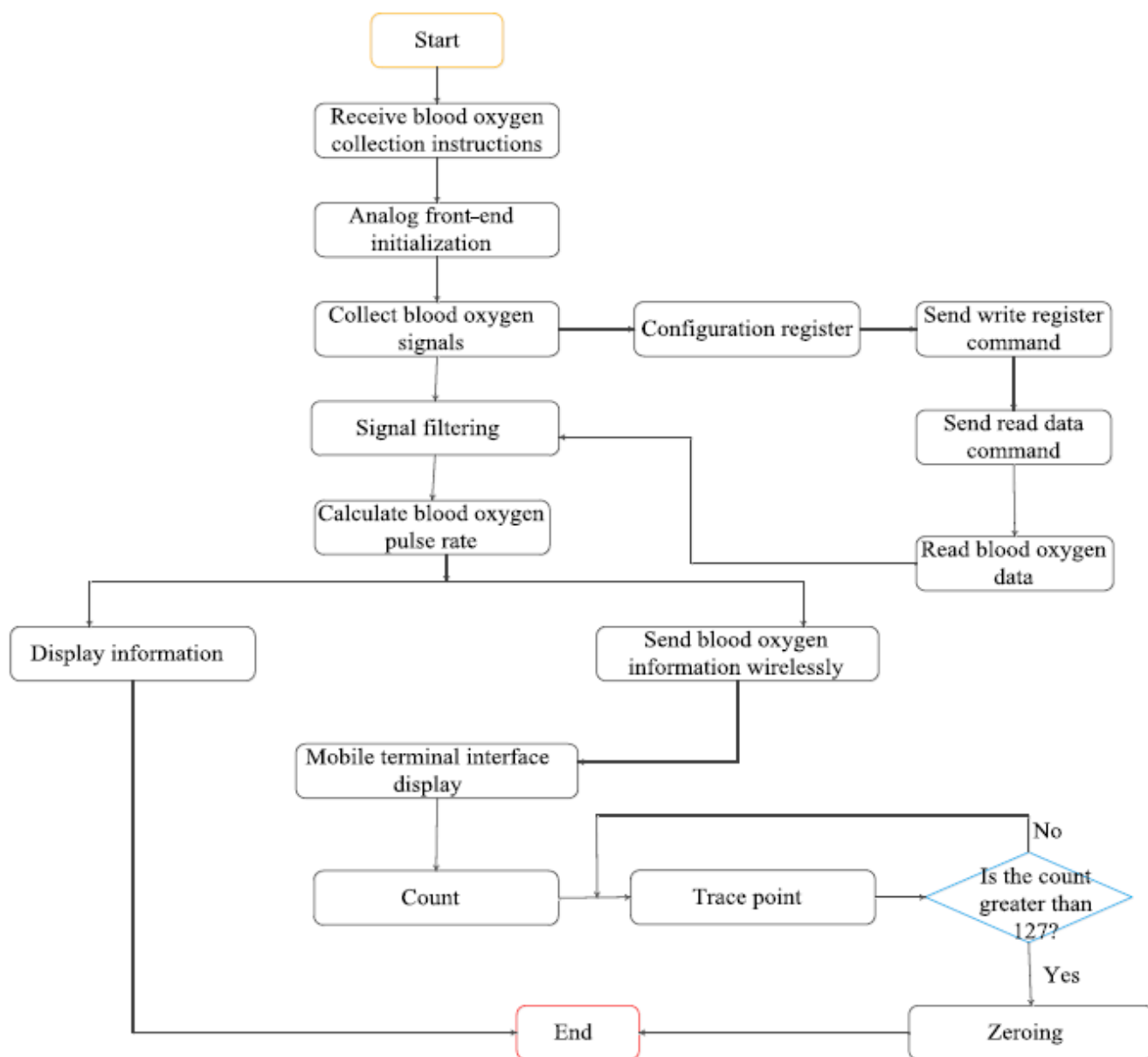


Рис. 1.2. Алгоритм роботи системи для моніторингу НКК [7]

Слабкою стороною цієї системи є наявність інтерференцій під час моніторингу НКК в динаміці, зокрема при сильних рухах людини. Тому існує потреба в подальших експериментах та дослідженнях для підвищення ефективності цього методу моніторингу.

У [8] представлено розробку системи медичного моніторингу для вимірювання різних фізіологічних параметрів пацієнта та подальшої дистанційної передачі цих даних. Система об'єднує в собі вбудовані та мобільні комунікаційні технології. Було створено вбудовану обчислювальну систему на базі мікроконтролера ARM архітектури. Далі розроблено інтерфейс взаємодії людина-комп'ютер, модуль збору і аналізу даних. Систему підключено до Інтернет-мережі для комунікації з сервером медичного центру та здійснення дистанційної передачі даних – результатів. Система може збирати та відображати реальні дані про кілька фізіологічних параметрів, таких як серцевий ритм, артеріальний тиск, кисень у крові та температуру тіла. В статті описаний метод отримання даних про рівень НКК, суть якого показано на рис. 1.3.

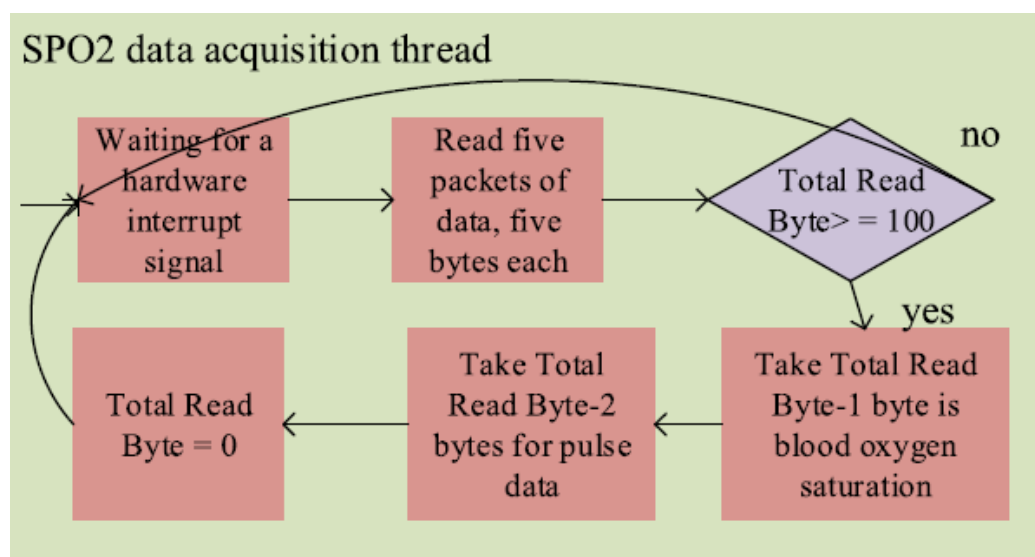


Рис. 1.3. Метод отримання даних про рівень НКК [8]

Незважаючи на те, що система, запропонована в цій роботі, може моніторити кілька фізіологічних показників людини в реальному часі, в ній відсутній модуль для реалізації дистанційного інформування про відхилення фізіологічних параметрів від стандартних значень.

Автори статті [4] запропонували систему для вимірювання тиску і НКК та віддаленого моніторингу цих важливих показників за допомогою бездротової



мережі Zigbee. У статті запропоновано використати неінвазивний метод фотоплетизмографії для вимірювання рівня НКК (рис. 1.4). Недоліком цього методу є недостатня точність результатів вимірювання.

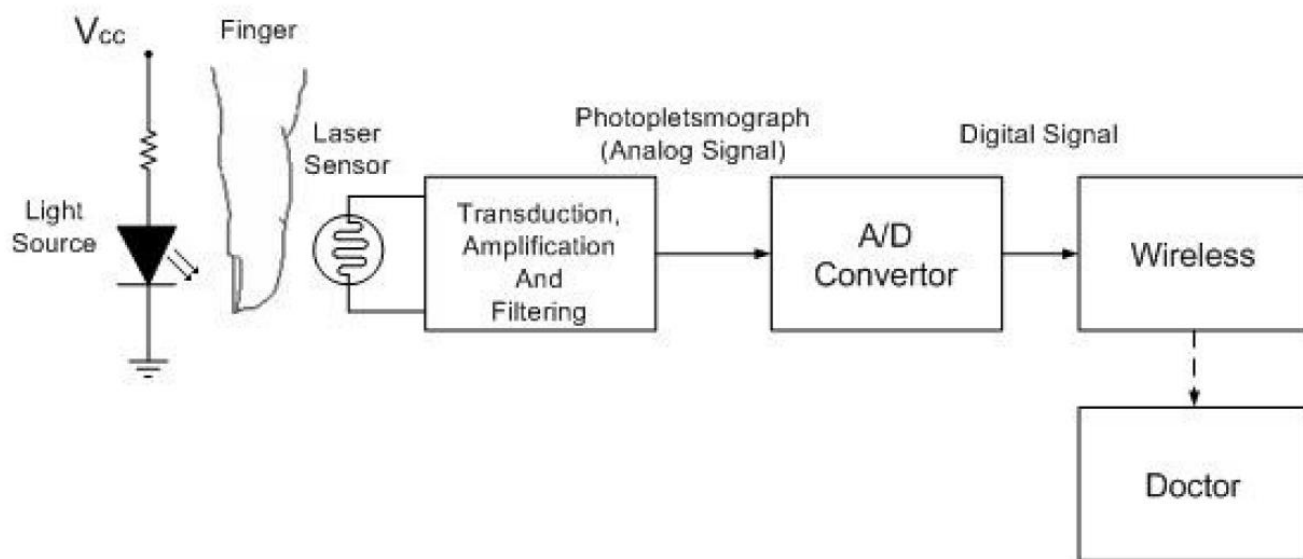


Рис. 1.4. Процес вимірювання рівня НКК методом фотоплетизмографії [4]

У статті [9] пропонується новий підхід для визначення рівня НКК людини ( $SpO_2$ ) безконтактним методом. Дослідження базується на аналізі динамічних візуальних образів, спричинених рухом мікросакадів в очах людини, які виникають під впливом лазерного променя. Для цього застосовуються сучасні методи машинного навчання на основі згорткових нейронних мереж для аналізу цих образів, що дозволяє оцінити рівень НКК. Представлений метод може бути застосований в медичних установах та в об'єктах загального користування, де проводять медичний моніторинг (наприклад, торгові центри, навчальні заклади) в періоди пандемії COVID-19, коли важливо уникати прямого контакту з хворими. Результати показали, що аналіз аномалій мікросакадів на основі динамічних візуальних образів дозволяє дуже точно розділяти різні НКК. Однак автори статті зауважують, що необхідно провести більше досліджень, щоб розширити тестовий набір і включити людей з іншими хворобами. Також, оскільки мікросакади можуть

бути індикатором інших захворювань, необхідно досліджувати різні групи учасників та порівнювати результати.

В роботі [1] пропонується біомедична система, що дозволяє лікарям віддалено та цілодобово моніторити функції легень пацієнтів. Основні особливості пропонованої системи включають в себе можливість моніторингу стану легень пацієнта без обмежень у місці його перебування (рис. 1.5). Це означає, що лікар може віддалено контролювати рівень НКК пацієнта цілодобово, необхідний для надання належної медичної допомоги. Однак в статті не описані деталі технічної реалізації такої системи.

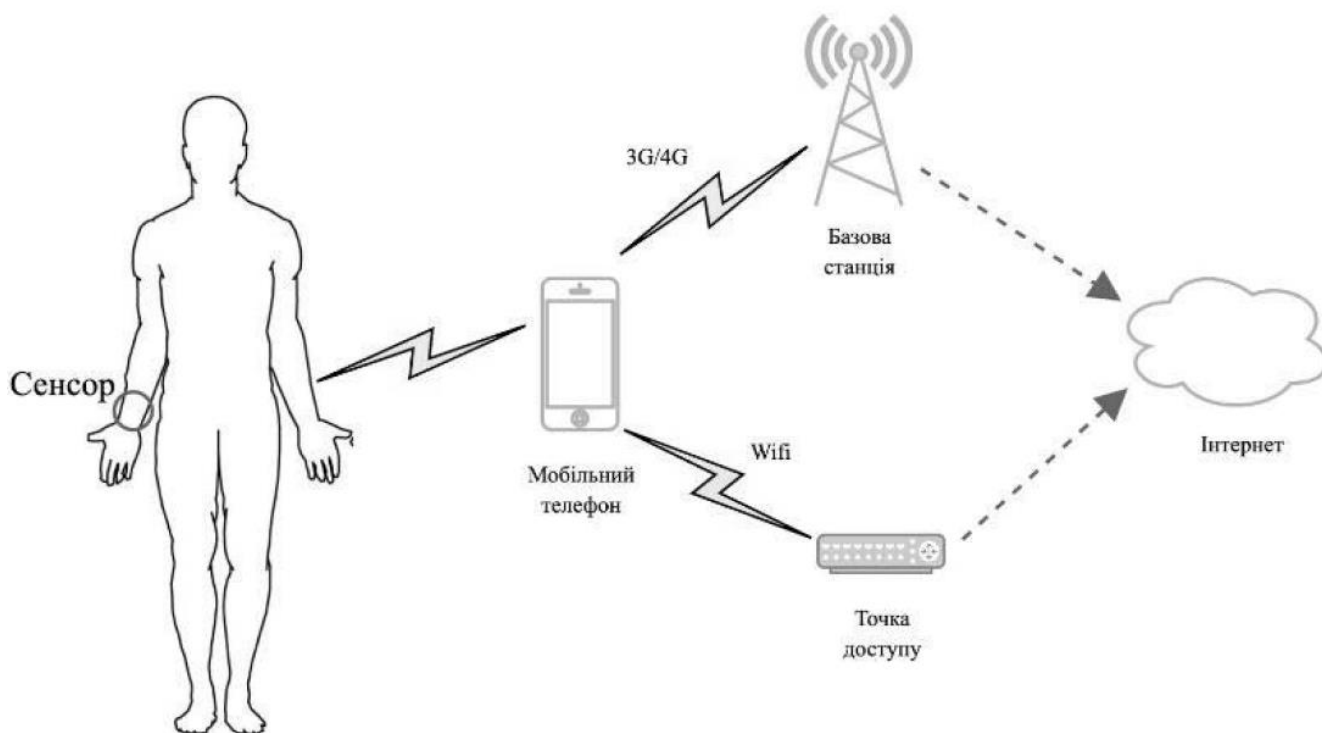


Рис. 1.5. Система цілодобового віддаленого моніторингу рівня НКК пацієнта [1]

У [10] обговорюється застосування фотоплетизмографічного методу для моніторингу пульсодіагностики. Автори представляють результати своїх досліджень, проведених з використанням розробленого оптико-електронного комплексу для пульсодіагностики. Стаття підкреслює перспективи використання неінвазивних методів діагностики, зокрема оптичних методів реєстрації

фізіологічних параметрів. Також відзначається потенційний внесок цих методів у післяопераційний моніторинг після судинних хірургічних операцій та визначення впливу фармацевтичних засобів на судинну систему. Стаціонарні та портативні оптико-електронні системи можуть бути корисними для розширення можливостей діагностики та поліпшення контролю стану здоров'я. Однак важливо враховувати можливі обмеження та недоліки цих систем, які можуть виникнути при їх застосуванні, такі як точність вимірювань.

Огляд методів вимірювання НКК демонструє різноманітність підходів та їхнє застосування в різних ситуаціях. Вибір конкретного методу залежить від поставленого завдання, точності, доступності та зручності для пацієнта.

### 1.3. Аналіз існуючих засобів контролю рівня насичення киснем крові людини

На сьогоднішній день на ринку існує багато комерційних пульсоксиметрів від різних виробників. Вони широко використовуються в клінічній практиці та в домашніх умовах. Ці пристрої зручно використовувати для вимірювання НКК та пульсу. Наприклад, пульсоксиметр iHealth (рис. 1.6) є одним із сучасних медичних пристроїв, який розроблений для вимірювання рівня НКК та пульсу [11]. Цей недорогий пристрій володіє рядом можливостей і характеристик, які роблять його привабливим для контролю стану здоров'я пацієнтів. Даний пульсоксиметр має компактну конструкцію, яка робить його портативним та легким для використання вдома або в медичних установах. Пристрій забезпечує точне вимірювання показників пульсу та рівня НКК, що є важливим для контролю стану пацієнтів. Відомості про пульс та рівень насиченості киснем відображаються на яскравому LED дисплеї, що робить дані легко читабельними.



Рис. 1.6. Пульсоксиметр iHealth [11]

Незважаючи на ряд переваг, пульсоксиметр iHealth має ряд недоліків. Зокрема – відсутність можливості отримувати дані в реальному часі. Пульсоксиметр iHealth вимірює рівень насиченості киснем та пульс з певною затримкою, що може бути критичним у випадках, коли необхідно отримувати миттєві дані для швидкого реагування на погіршення стану.

Крім того, важливим обмеженням є відсутність можливості зберігати результати вимірювання. Це означає, що користувач повинен вручну фіксувати результати або записувати їх для подальшого аналізу. Відсутність автоматичного збереження може бути незручним для медичних фахівців або пацієнтів, які бажають вести облік своїх медичних даних.

Більш функціональним є пульсоксиметр MD300K2 – це портативний медичний пристрій (рис. 1.7), створений для безперервного контролю НКК ( $SpO_2$ ), вимірювання пульсу (PR), та інших параметрів у дорослих, підлітків, дітей та немовлят, особливо в лікарнях та госпіталях [12].

Пристрій оснащений яскравим 2.4-дюймовим TFT-екраном, на якому відображає дані про  $SpO_2$ , пульс, що робить його інформативним та зручним для користувача. Пульсоксиметр має діапазон вимірювання  $SpO_2$  від 70% до 100%, з точністю 2%. Він також може відображати значення  $SpO_2$  від 0% до 100%, що важливо для більш широкого спектру застосування.



Рис. 1.7. Пульсоксиметр MD300K2 [12]

Цей прилад здатний зберігати дані про НКК та частоту пульсу впродовж 72 годин з інтервалом 4 секунди, що дозволяє ведення детального моніторингу та аналізу динаміки показників. Пульсоксиметр легкий і зручний для перенесення, тому може використовуватись в будь-якому місці.

Недоліком цього пульсоксиметра в контексті мети даної кваліфікаційної роботи є відсутність можливості передачі даних в хмарні IoT-сервіси. Це є важливим обмеженням для багатьох медичних додатків та систем, особливо у випадку потреби у віддаленому моніторингу пацієнтів або збереженні та аналізі медичних даних в реальному часі. Так як цей пульсоксиметр не має можливості автоматичної передачі даних в хмарні сервіси, він є менш зручним для дистанційного моніторингу пацієнтів та зберігання даних в хмарному середовищі.

Хмарні IoT-сервіси забезпечують зручний та надійний спосіб зберігання, обробки та доступу до медичних даних. Вони дозволяють медичному персоналу віддалено моніторити стан пацієнтів, а також аналізувати дані для виявлення

тривалих тенденцій і аномалій. Без можливості передачі даних на хмарний сервіс, користувачам пульсоксиметра може бути важко отримувати всі переваги віддаленого моніторингу та аналізу.

Інтегровані системи моніторингу є медичними пристроями, які мають вбудовані засоби контролю рівня насиченості киснем. Це дозволяє поєднувати моніторинг рівня НКК з іншими параметрами, такими як кардіографія, для комплексного контролю стану пацієнта. Одним з таких систем є монітор пацієнта VM800C [13] (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Монітор пацієнта VM800C [14]

Монітор оснащений кольоровим сенсорним 10.4-дюймовим РК-екраном, який дозволяє відобразити інформацію в різних режимах, включаючи дані про ЕКГ, частоту дихання, рівень НКК ( $SpO_2$ ), пульс, температуру та інші параметри. Монітор VM800C має велику пам'ять для збереження даних про пацієнта, включаючи графічну інформацію та табличні дані. Технології вимірювання, такі як CardioTec для ЕКГ і DiOx  $SpO_2$  для рівня НКК, забезпечують підвищену точність

та надійність результатів. Монітор може застосовуватись для централізованого контролю стану пацієнтів.

Основним недоліком цього монітора є його вартість. Зазвичай такі багатофункціональні пристрої мають високу ціну. У порівнянні з іншими доступними пульсоксиметрами на ринку, цей прилад є дорожчим в десятки разів. Висока вартість може стати перешкодою для масового використання пристрою в домашніх умовах і у багатьох медичних закладах з обмеженими бюджетами.

Цей недолік особливо важливий у контексті даної кваліфікаційної роботи, оскільки вона спрямована на розробку доступних та доступних технологічних рішень для моніторингу насиченості киснем крові. Висока вартість може обмежити доступність такого пристрою для більшої кількості пацієнтів та медичних закладів, що може стати перешкодою для його широкого впровадження.

#### 1.4. Сучасні технології та інновації в області вимірювання насиченості киснем крові людини

Науковці та інженери продовжують розробляти нові методи вимірювання НКК, включаючи методи на основі спектроскопії, фотоакустичної та фототермічної технологій. Ці інновації розширюють можливості процесу точного вимірювання.

Один із найважливіших напрямків розвитку вимірювання НКК – це мультимодальний моніторинг. Сучасні медичні пристрої поєднують в одному корпусі кілька методів вимірювання, таких як пульсоксиметрія, кардіографія, імпедансна плетизмографія та інші. Це дозволяє отримувати більше інформації про стан пацієнта і підвищує точність діагностики.

Впровадження штучного інтелекту надає нові можливості в аналізі та обробці даних, отриманих вимірюваннями НКК [14]. Алгоритми машинного навчання можуть допомагати визначати аномалії у динаміці параметрів, передбачати погіршення стану пацієнта і вчасно сповіщати лікаря.

Застосування інфокомунікаційних засобів [15] та мобільних технологій [16] дозволяє інтегрувати системи вимірювання НКК в загальну інфраструктуру медичних пристроїв. Це дозволяє віддалено моніторити стан пацієнтів, збирати дані та проводити аналіз в реальному часі, що спрощує обмін даними між пристроями і забезпечує більш ефективний медичний моніторинг. Сучасні мініатюрні сенсори забезпечують компактність та зручність пристроїв для вимірювання НКК. Вони можуть використовуватись в портативних пристроях, дозволяючи пацієнтам вимірювати рівень насиченості киснем у будь-який час та в будь-якому місці [17].

Огляд сучасних технологій та інновацій в області вимірювання НКК відображає розвиток цієї галузі та акцентує на значущості новітніх підходів для поліпшення точності, зручності та доступності медичного моніторингу.

### 1.5. Висновки до розділу 1

Внаслідок аналізу наукових робіт у сфері вимірювання рівня НКК людини встановлено, що ця проблематика є актуальною та важливою в сучасній медицині. Насиченість киснем є ключовим показником функціонування організму та може вказувати на ризик різних патологій. Виявлено різні методи та технології для вимірювання рівня НКК, включаючи пульсоксиметрію, імпедансний метод, спектроскопію ближнього інфрачервоного випромінювання та інші.

Висвітлено застосування систем контролю рівня НКК людини в медичній практиці та можливість їх використання для моніторингу хворих на COVID-19. Такі системи можуть допомогти у вчасному виявленні погіршення стану пацієнтів та наданні відповідної медичної допомоги. Загалом, аналіз досліджень у сфері вимірювання рівня НКК людини свідчить про актуальність та перспективність цього напрямку.



## РОЗДІЛ 2

## МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ КИСНЮ В КРОВІ ЛЮДИНИ

## 2.1. Метод визначення рівня насичення киснем крові людини

Пульсоксиметрія вважається основним методом неінвазивного визначення рівня НКК людини. Він базується на принципі абсорбції світла гемоглобіном. Цей метод є неінвазивним, оскільки вимірювання виконується через шкіру, без потреби взяття крові або інших інвазивних процедур.

Основний принцип роботи пульсоксиметра полягає у використанні світлодіодів, які випромінюють червоне та інфрачервоне світло через шкіру, зазвичай на пальцях руки. Гемоглобін, який переносить кисень в крові, має різні спектральні властивості, коли він зв'язаний з киснем (оксигемоглобін) та коли не зв'язаний з киснем (дезоксигемоглобін). Гемоглобін абсорбує світло. Дезоксигемоглобін і оксигемоглобін поглинають світлові хвилі різної довжини по-різному. Графіки спектрів поглинання дезоксигемоглобіну і оксигемоглобіну подані на рис. 2.1.

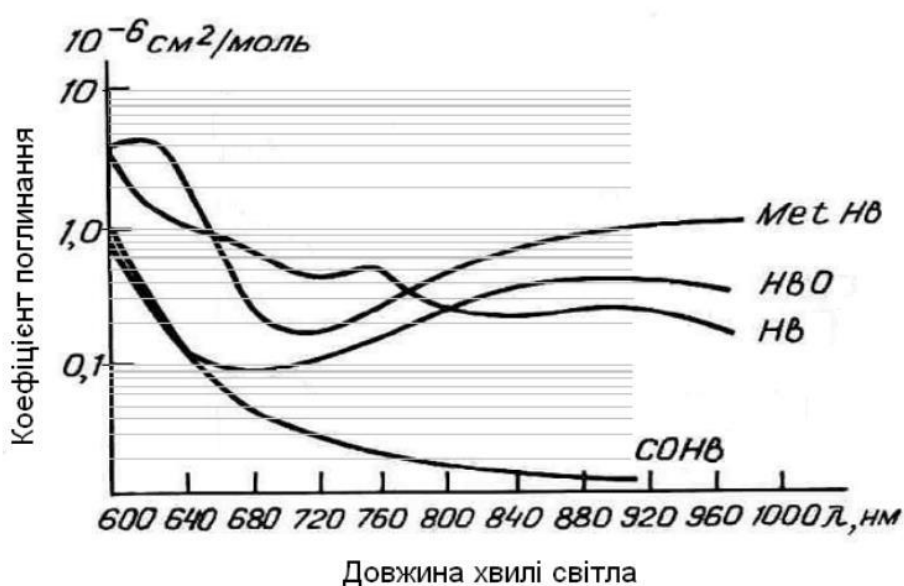


Рис. 2.1. Графіки спектрів поглинання дезоксигемоглобіну і оксигемоглобіну

Червоне світло (зазвичай 650 нм) більше поглинається деоксигемоглобіном, тоді як інфрачервоне світло (зазвичай 950 нм) поглинається оксигемоглобіном (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Спектр поглинання світла дезоксигемоглобіном та оксигемоглобіном

Кисень в переноситься у крові у зв'язаній формі з молекулою гемоглобіну. Кожна молекула гемоглобіну здатна утримувати до чотирьох молекул кисню і в такому випадку гемоглобін буде насичений на 100%. Відсоток насичення киснем у конкретній області крові представляє собою середнє значення для групи молекул гемоглобіну в цій області і називається кисневою сатурацією крові. Варто відзначити, що лише дуже маленька частина кисню розчиняється безпосередньо в крові, проте пульсоксиметр не може виміряти цей показник.

Принцип визначення кисневої сатурації крові ґрунтується на тому, що кількість поглиненого інфрачервоного і червоного світла змінюється в залежності від рівня кисню в крові. Рис. 2.3 ілюструє спектри поглинання дезоксигенованого гемоглобіну (Hb) і оксигенованого гемоглобіну (HbO<sub>2</sub>).

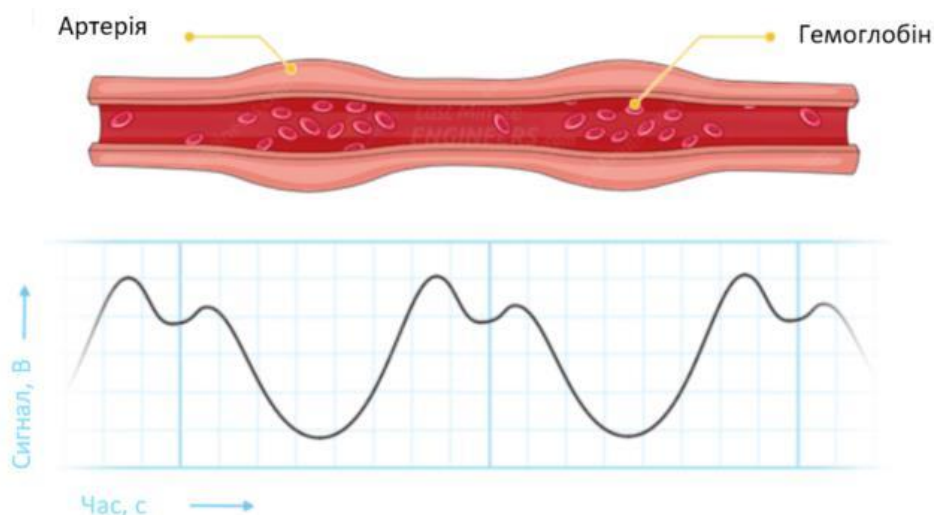


Рис 2.3. Зміна відбитого світла, що виникає внаслідок руху крові у судинах під час різних фаз серцевого циклу

Кров, багата на кисень, поглинає більше інфрачервоного світла, в той час як дезоксигенована кров поглинає червоне світло. Шляхом вимірювання відношення між інфрачервоним і червоним світлом обчислюється рівень НКК ( $SpO_2$ ).

Давач пульсоксиметра включає світлодіоди та фотодетектор на протилежній стороні пальця. Пульсація артерії змінює кількість світла, яке досягає фотодетектора. Пульсоксиметр вимірює ці зміни в інтенсивності світла і визначає артеріальний пульс, а також рівень НКК (рис. 2.4).

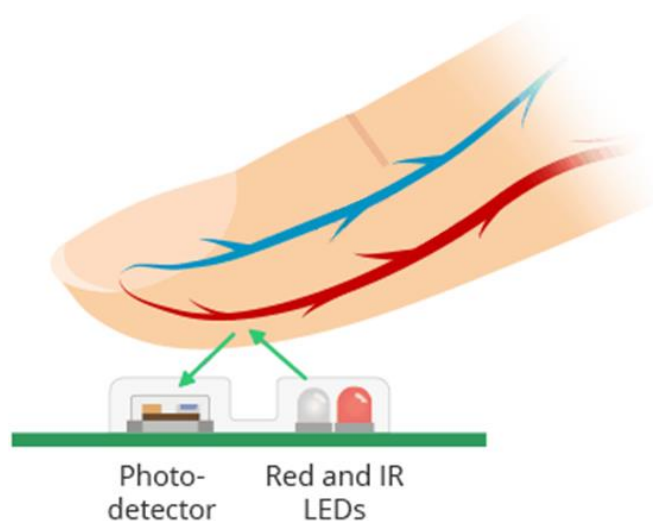


Рис. 2.4. Принцип роботи пульсоксиметра

Якщо весь гемоглобін зв'язує кисень, інфрачервоне та червоне світло буде поглиблюватися у відповідності з кривою поглинання світла оксигемоглобіном, яка проілюстрована на рис. 2.5.

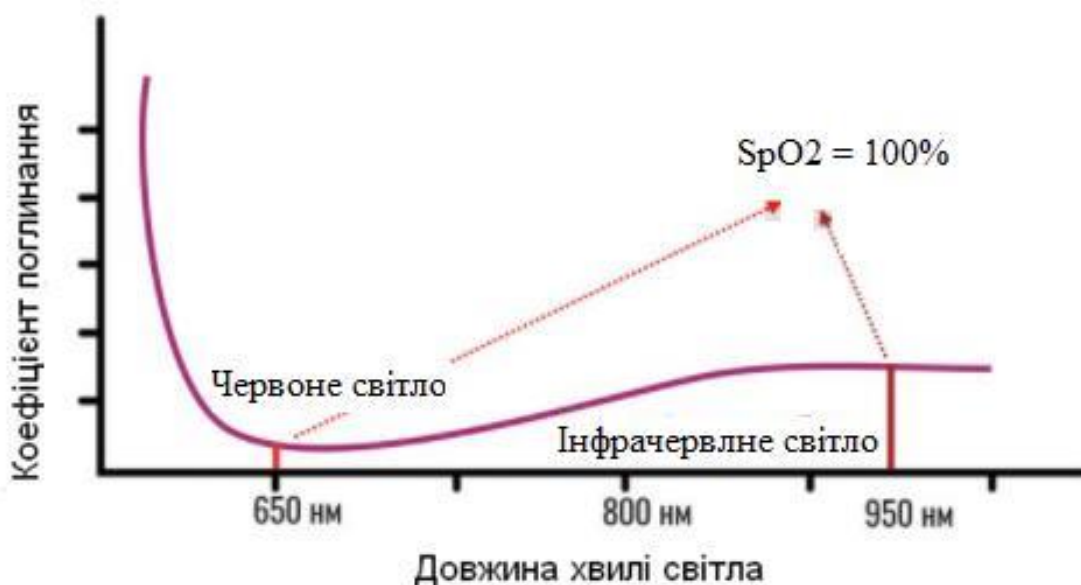


Рис. 2.5. Ситуація, при якій насичення киснем досягає 100%

Коли світло, яке відбивається, досягає фотодіода у пульсоксиметрі, він аналізує, яку кількість інфрачервоного та червоного світла поглинув гемоглобін, і визначає, що рівень насичення киснем ( $SpO_2$ ) становить 100%. Іншими словами, усі молекули гемоглобіну переносять кисень.

Результат вимірювань виражається у відсотках оксигемоглобіну в артеріальній крові і позначається як  $SpO_2$ :

$$SpO_2 = \left( \frac{|HbO_2|}{HbO_2 + Hb} \right) \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де,  $HbO_2$  – зв'язаний з киснем оксигенований гемоглобін,  $Hb$  – не зв'язаний з киснем деоксигенований гемоглобін.

Насиченість  $SpO_2$  вважається нормальною, якщо коливається в межах 95-100 %. Низькі значення  $SpO_2$  можуть свідчити про гіпоксію (недостатність кисню) і вимагають медичної уваги.

Метод пульсоксиметрії широко використовується в медицині для нагляду за пацієнтами, особливо тими, хто перебуває в реанімації або на апараті штучної вентиляції легень. Він може бути корисним для вимірювання рівня НКК у спортсменів та в домашніх умовах для визначення загального стану здоров'я.

Сучасні мікроконтролери мають можливість ефективно знижувати вплив розсіювання світла на функціонування пульсоксиметра. Це досягається шляхом багаторазового поділу сигналу в часі з використанням циклічного режиму роботи світлодіодів. Спочатку вмикається червоне світло, потім інфрачервоне, а потім обидва світлодіоди вимикаються. Ця послідовність повторюється декілька разів на секунду, що дозволяє позбавити сигнал від фонових перешкод або "шуму".

Для підвищення ефективності визначення рівня НКК доцільно застосувати метод, який полягає в квадратичному багаторазовому поділі сигналу. Ця техніка передбачає розділення червоного та інфрачервоного сигналів на різні фази, а потім їх повторне об'єднання. Такий підхід дозволяє виявляти і усувати перешкоди, такі як рух об'єктів або електромагнітне випромінювання, оскільки вони не можуть впливати одночасно на обидва фазові сигнали світлодіодів.

## 2.2. Метод виокремлення корисної інформації

Після того як світло потрапляє на фотодіод, необхідно використовувати алгоритм для обробки отриманих даних та визначення рівня НКК, яке виражається як значення  $SpO_2$ . Пульсоксиметр базується на принципі, що кількість поглинутого інфрачервоного та червоного світла змінюється відповідно до серцевого циклу. Під час систоли (скорочення серця), обсяг артеріальної крові збільшується, що призводить до підвищення поглиненого світла. Під час діастоли (розширення

серця), обсяг крові зменшується, і поглинення світла знижується. На відміну від цього, обсяг крові у венах, капілярах та інших тканинах залишається відносно сталим [18] (рис. 2.6).

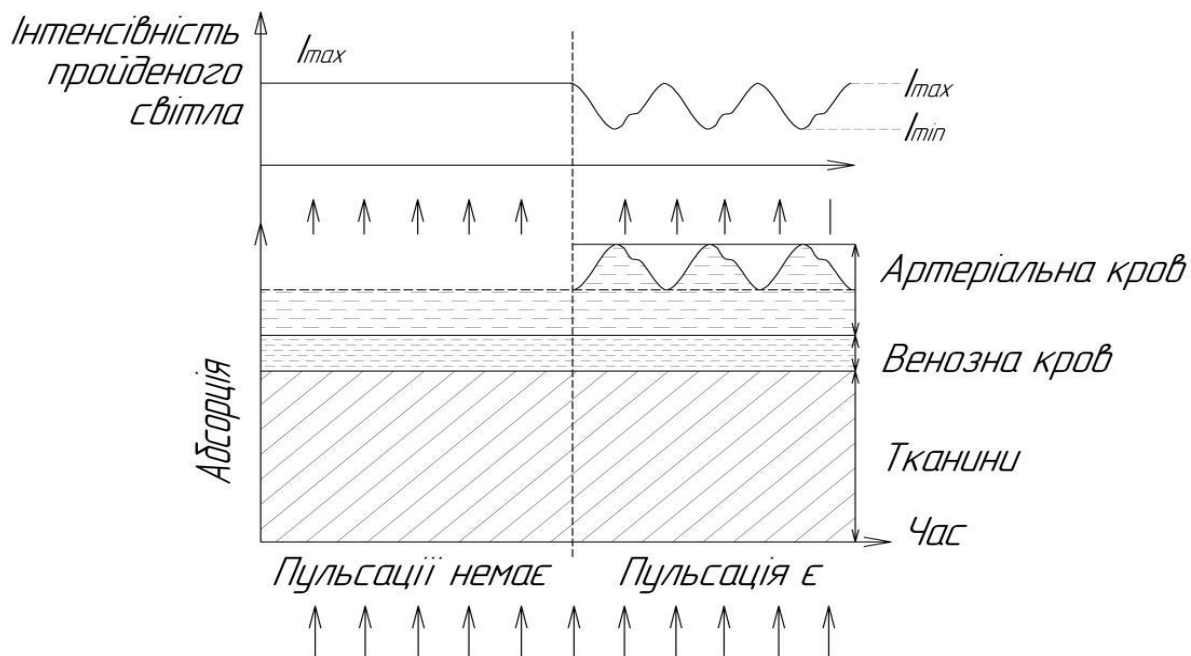


Рис 2.6. Процес формування фотоплетизмограми

Важливо зазначити, що пульсоксиметр може точно визначати значення  $SpO_2$  тільки для артеріальної крові, оскільки саме артерії відзначаються пульсуючою складовою. Інші судини, такі як вени, капіляри не впливають значно на пульсацію (рис. 2.7).

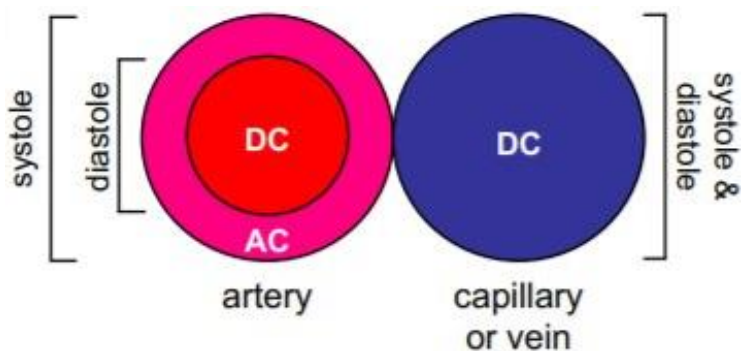


Рис 2.7. Схема поперечного перерізу вени і артерії впродовж серцевого циклу

При роботі пульсоксиметра світло проходить крізь тканини і досягає фотодетектора. Отже, на виході давача отримуємо сигнали, що містять дві компоненти: "постійний струм" (DC) та "змінний струм" (AC). Змінний струм є пульсуючим і залежить від обсягу крові, який змінюється впродовж серцевого циклу, тоді як постійний струм є стабільним і не пульсує (рис. 2.8).

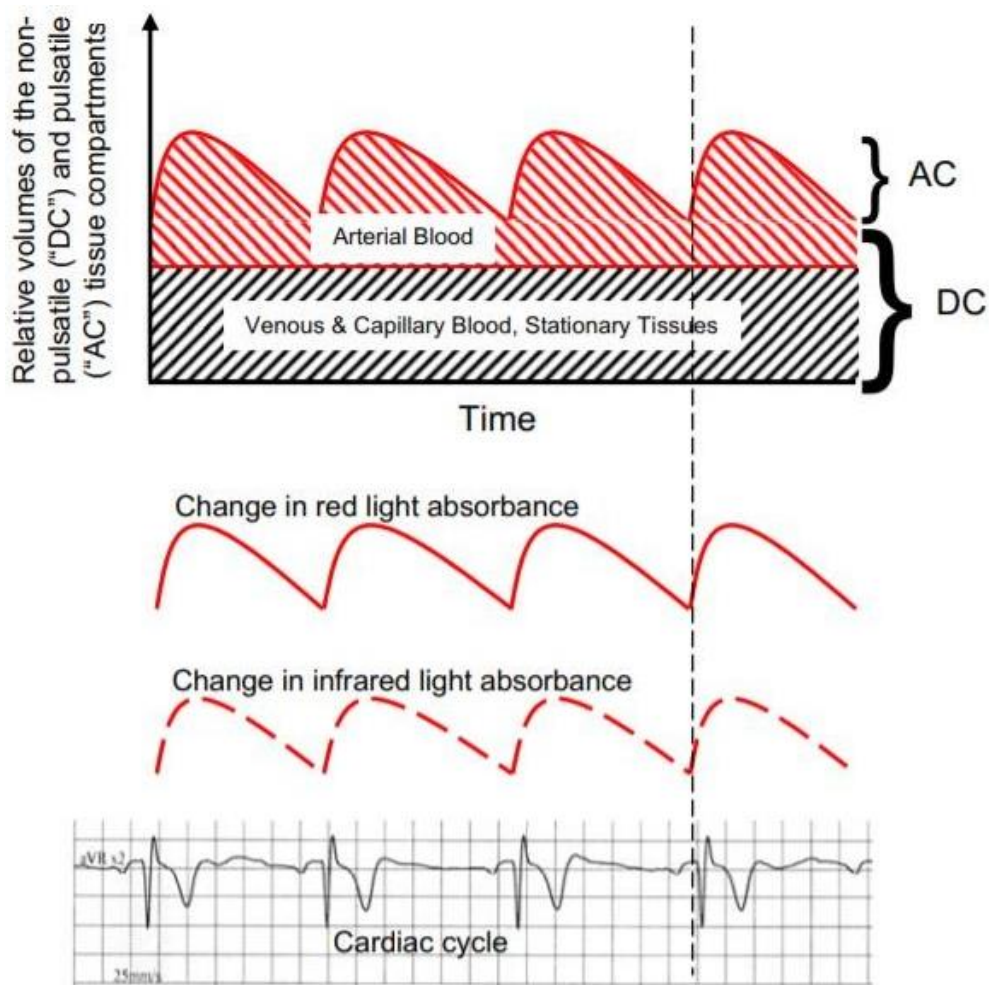


Рис 2.8. Відносні обсяги пульсуючих ("AC") і непульсуючих («DC») відділів тканин

На рис. 2.9 показана калібрувальна крива, яка відображає відношення показника модуляції поглинання інфрачервоного та червоного світла (позначеного як  $R$ ) до рівня насичення киснем ( $SpO_2$ ) артеріальної крові.



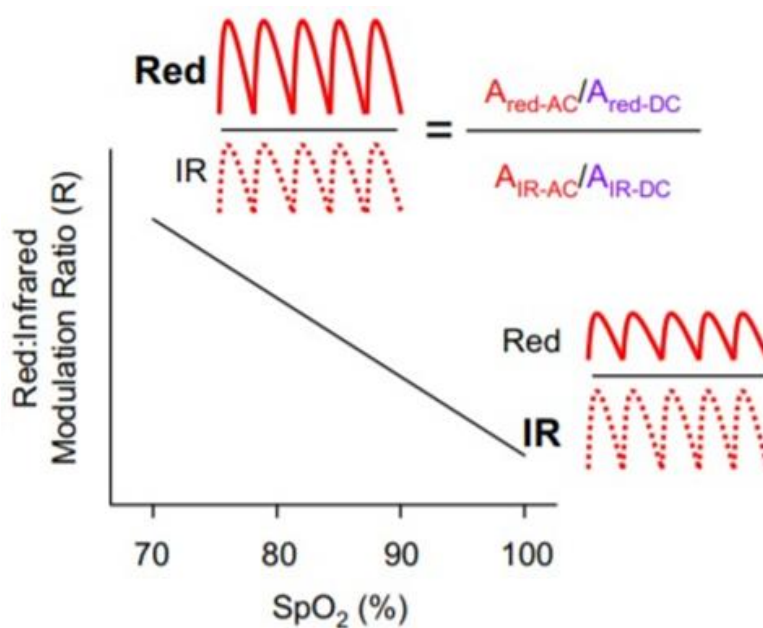


Рис 2.9. Діаграма кривої калібрування

Таким чином, метод пульсоксиметрії ґрунтується на вимірюванні пульсації артеріальної крові шляхом аналізу поглиненого світла і виділення пульсуючої та неппульсуючої компонент крові [18].

Збільшене поглинання червоного світла (і, відповідно, підвищене значення  $R$ ) пов'язане зі збільшенням деоксигемоглобіну, що означає зниження рівня  $SpO_2$ :

$$R = \frac{A_{red(AC)} / A_{red(DC)}}{A_{IR(AC)} / A_{IR(DC)}}, \quad (2.2)$$

де  $A_{red(AC)} / A_{red(DC)}$  – визначає співвідношення поглинання червоного світла пульсуючим та неппульсуючим компонентами;  $A_{IR(AC)} / A_{IR(DC)}$  – визначає співвідношення поглинання інфрачервоного (ІЧ) світла пульсуючим та неппульсуючим компонентами.

$R$  представляє собою відношення пульсуючого до неппульсуючого компоненту поглинання червоного світла до поглинання ІЧ світла. Якщо рівень артеріальної сатурації знижується, що вказує на більшу кількість



деоксигемоглобіну, величина  $R$  збільшується. Навпаки, більший рівень НКК призводить до зменшення  $R$ .

При роботі мікроконтролера в пульсоксиметрі, цей коефіцієнт використовується для визначення значення  $SpO_2$  на основі побудованої калібрувальної кривої. Калібрувальна крива формується на основі емпіричних вимірювань коефіцієнта  $R$  в здорових добровольців, які мали різний рівень сатурації киснем, від 100% до приблизно 70%. Значення сатурації, що нижче 70%, не може вважатися даними, які точно відображають стан пацієнта.

Пульсоксиметр враховує вплив венозної і капілярної крові та інших неппульсуючих тканин на розрахунок  $SpO_2$ , використовуючи закон поглинання Бугера-Ламберта-Бера. Оскільки абсолютне поглинання є неточним показником артеріального  $SpO_2$ , пульсоксиметр вимірює зміни поглинання з часом для точного визначення артеріальної сатурації. Тому вимірювання слід проводити тільки на місцях з адекватною кількістю артерій, вен та капілярів.

### 2.3. Метод моніторингової комп'ютерної пульсоксиметрії

В роботі пропонується використати метод моніторингової комп'ютерної пульсоксиметрії (МКП), який застосовується для дистанційного та тривалого моніторингу рівня НКК, а також пульсу людини. Основна особливість МКП полягає у можливості неперервного вимірювання цих параметрів та запису отриманих даних для подальшої аналізу і обробки.

Моніторингові комп'ютерні пульсоксиметри зазвичай включають в себе спеціальні сенсори, які надійно прикріплюються до пацієнта, зазвичай на пальці, як і звичайний пульсоксиметр. Ці сенсори мають вбудовані світлодіоди, які випромінюють світло на шкіру, і фотодетектори для вимірювання інтенсивності потоку світла, який проходить через шкіру. Моніторингові системи здатні

надсилати отримані дані до комп'ютера або хмарного сервісу в реальному часі через бездротове з'єднання (рис. 2.10).

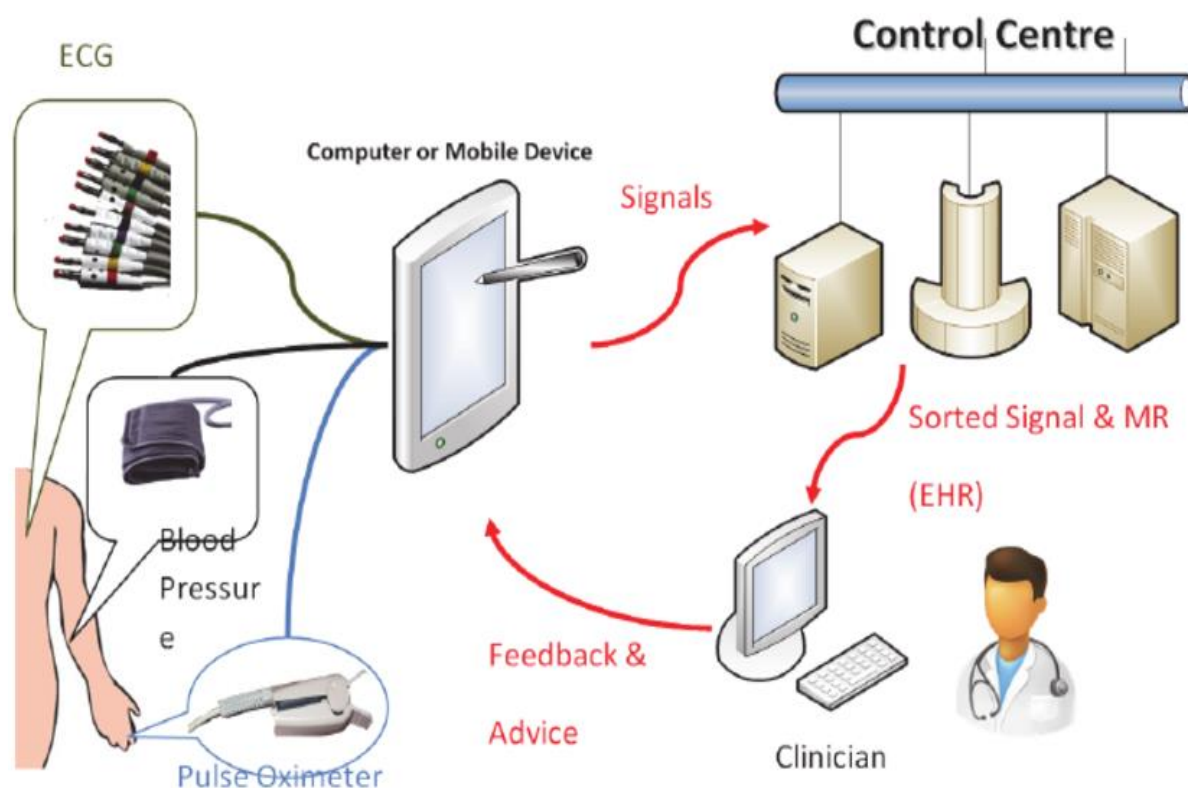


Рис. 2.10. Моніторингові комп'ютерні пульсоксиметри

Під час здійснення МКП, давач постійно вимірює рівень насиченості киснем ( $SpO_2$ ) та артеріальний пульс. Отримані дані зберігаються в пам'яті та можуть передаватись на комп'ютер для подальшого аналізу. Моніторингові комп'ютерні пульсоксиметри зазвичай здатні працювати в реальному часі та забезпечувати постійний моніторинг пацієнта під час операцій, відновлення пацієнтів у реанімації, а також для дистанційного контролю за станом хворого вдома. МКП є важливим інструментом в медицині та дозволяє моніторити стан пацієнтів, вчасно виявляти погіршення та реагувати на них.

Комп'ютеризовані системи медичного моніторингу за допомогою давачів та сучасних технологій забезпечують вищу точність вимірювань та надійне зберігання даних.

## 2.4. Роль концепції Інтернету медичних речей для задачі моніторингу насиченості крові киснем

За останні десятиліття сфера охорони здоров'я пережила значні трансформації завдяки розвитку ІТ та впровадженню концепції Інтернету медичних речей (ІоМТ). ІоМТ – це система об'єднання медичних пристроїв, давачів та інших медичних засобів через мережу Інтернет з метою надання точнішого та доступнішого моніторингу стану здоров'я і діагностики захворювань [19] (рис. 2.11). Цей підхід може корисний для вдосконалення моніторингу НКК, що є критичним параметром в оцінці стану пацієнта та у великій мірі визначається швидкістю та якістю надання медичної допомоги.

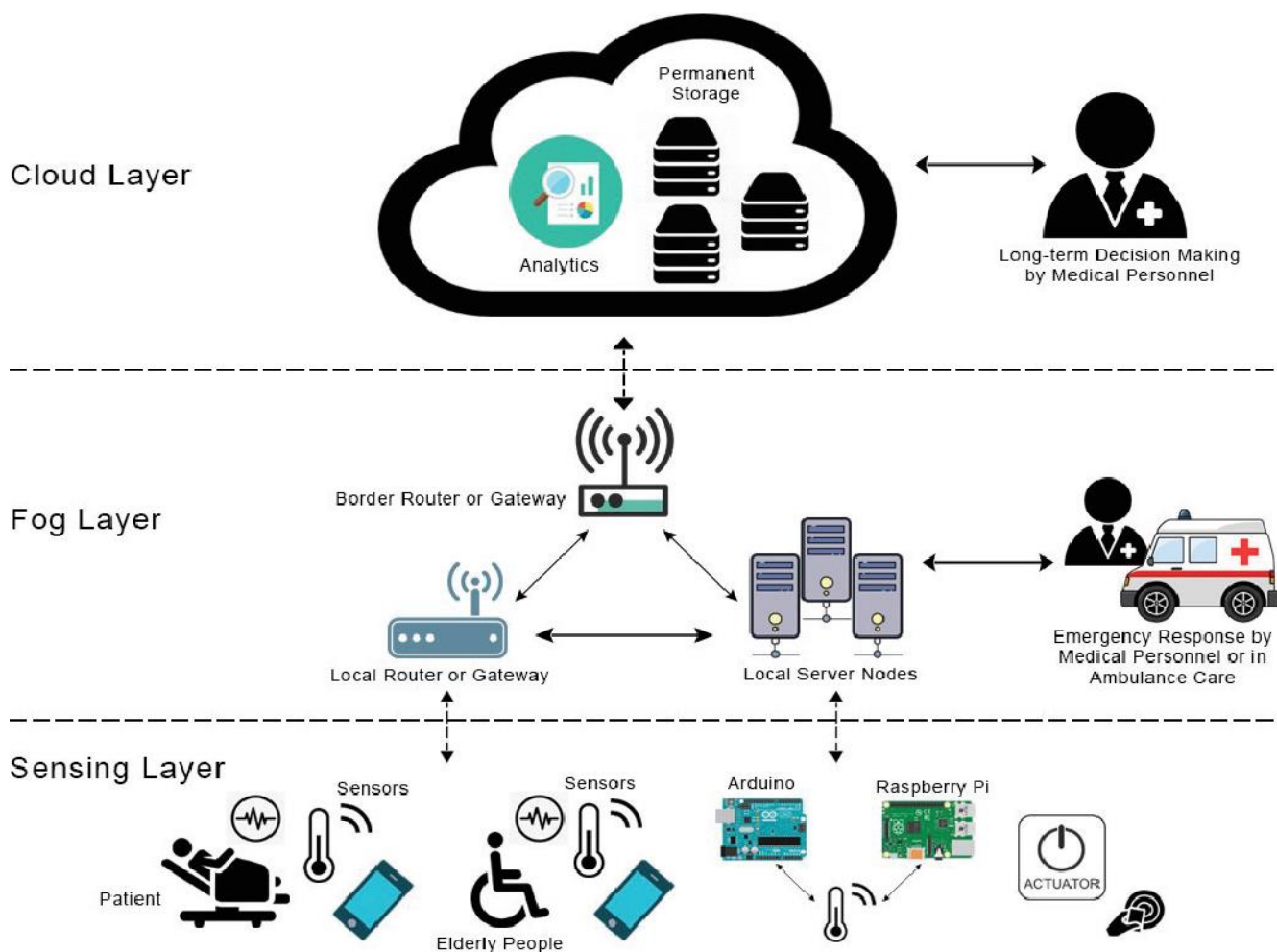


Рис. 2.11. Архітектура ІоМТ

ІоМТ в медицині ґрунтується на таких принципах:

- збір та передача даних в реальному часі;
- дистанційний моніторинг та віддалений доступ;
- системи сповіщень та аварійного реагування;
- зменшення навантаження на медичний персонал.

Системи ІоМТ можуть збирати дані про стан людини, включаючи рівень НКК, у реальному часі, що дає можливість оперативно реагувати на будь-які відхилення. Лікарі можуть мати віддалений доступ до інформації про стан пацієнта, що полегшує ведення медичного нагляду та діагностику навіть на відстані.

ІоМТ може автоматично генерувати сповіщення в разі виявлення критичних показників, що дозволяє негайно вживати заходів у випадку небезпеки для пацієнта. Системи ІоМТ дозволяють автоматизувати багато процесів моніторингу та зменшити потребу в постійній фізичній присутності медичного персоналу.

Стан здоров'я може моніторитись дистанційно, забезпечуючи зручність та комфорт. Це особливо важливо для людей, які потребують постійного догляду. ІоМТ дозволяє реалізувати миттєвий збір та передачу даних про рівень НКК, що є критичним для швидкого реагування на зміни в стані здоров'я пацієнта. Збір та аналіз даних дозволяє враховувати індивідуальні особливості пацієнта, забезпечуючи персоналізований підхід до лікування.

Інтеграція системи моніторингу НКК з інфраструктурою ІоМТ передбачає об'єднання її з іншими медичними пристроями, електронними медичними комплексами та системами аналізу даних. Це дозволяє медичному персоналу отримувати комплексну інформацію про стан пацієнта, а також здійснювати глибший аналіз та ставити точніший діагноз на основі зібраних даних.

ІоМТ забезпечує можливості для покращення медичного моніторингу НКК. Він дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг, покращити точність вимірювань та забезпечити більш оперативну реакцію на стан пацієнта. Крім того,

ІоМТ сприяє зростанню якості медичного обслуговування та зниженню ризику помилок.

В цій кваліфікаційній роботі для реалізації задачі дистанційного моніторингу рівня НКК людини обрано підхід з використанням бездротових технологій передачі даних на базі концепції ІоМТ [20].

Вибір цього підходу обґрунтовується кількома аспектами. Перше – це застосування бездротового доступу, який забезпечує мобільність та гнучкість системи. Пацієнти можуть запускати процес моніторингу рівня сатурації крові в будь-якому місці та надсилати дані дистанційно, що робить систему зручною та практичною для використання.

Віддалений моніторинг може застосовуватися у лікарнях, амбулаторіях, а також в домашніх умовах. Цей метод також дозволяє зручно обробляти та зберігати дані за допомогою хмарної ІоТ платформи, де вони стають доступними для аналізу та подальшого використання лікарями та пацієнтами.

Таким чином, обраний підхід до реалізації задачі дистанційного моніторингу дозволяє створити ефективну та зручну систему контролю рівня НКК людини, яка може застосовуватися в різних умовах, сприяючи поліпшенню якості медичного обслуговування та догляду за пацієнтами.

## 2.5. Висновки до розділу 2

У другому розділі були докладно розглянуті ключові аспекти, пов'язані з дистанційним моніторингом рівня НКК людини. Проведено аналіз таких методів, як пульсоксиметрія, методи виокремлення корисної інформації зі сигналів, метод моніторингової комп'ютерної пульсоксиметрії. Розглянуто роль концепції ІоМТ у вирішенні задачі моніторингу НКК.

Підкреслено важливість методів визначення рівня НКК, зокрема пульсоксиметрії, які використовують оптичні принципи для безперервних вимірів

SpO<sub>2</sub> та пульсу. Також виділено, що виокремлення корисної інформації зі сигналів вимагає ретельного аналізу та обробки даних для точного визначення рівня насиченості киснем.

Моніторингова комп'ютерна пульсоксиметрія була визначена як метод тривалого збору даних SpO<sub>2</sub> та пульсу з подальшим аналізом, що є корисним для подальшого медичного спостереження.

Також наголошено на перевагах використання концепції ІоМТ, що дозволяє поліпшити доступність та зручність моніторингу НКК, а також передбачає можливість надсилання даних до хмарних платформ для подальшого аналізу та збереження.

## РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ  
РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ

## 3.1. Апаратна реалізація системи моніторингу насичення киснем крові

3.1.1. Структура системи віддаленого моніторингу рівня НКК людини представлена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Структура системи віддаленого моніторингу рівня НКК людини

Структура системи віддаленого моніторингу рівня НКК людини включає наступні основні компоненти [21]:

- давач НКК;
- OLED дисплей;

- контролер заряду батареї;
- акумуляторна батарея;
- платформа NodeMCU ESP8266;
- хмарна IoT платформа.

Давач призначений для вимірювання рівня НКК ( $\text{SpO}_2$ ) та пульсу пацієнта. Він дозволяє зчитувати ці дані та передавати їх до мікроконтролера.

NodeMCU ESP8266 є мікроконтролером, який виконує функцію збору і обробки даних від давача. Він також відповідає за передачу даних через мережу WiFi або інші доступні засоби зв'язку. OLED дисплей використовується для відображення результатів вимірювань. Він може показувати рівень НКК та пульс для візуалізації результатів моніторингу.

IoT платформа знаходиться в хмарі і приймає дані від NodeMCU через Інтернет. Вона також надає користувацький інтерфейс для відслідковування показників, перегляду історії вимірювань тощо.

Для живлення системи віддаленого моніторингу використовується акумуляторна батарея. Контролер заряду батареї відповідає за безпечну та ефективну зарядку батареї. Акумуляторна батарея служить джерелом живлення системи і може бути заряджена за допомогою контролера заряду. Вона робить систему портативною та стійкою до перерв у стаціонарному живленні.

Ця структурна схема дозволяє створити систему моніторингу для вимірювання рівня НКК пацієнта, передачу даних на хмарну IoT платформу, їх відображення на OLED дисплеї та живлення системи акумуляторною батареєю.

3.1.2. NodeMCU – це платформа для розробки IoT-проектів на основі мікроконтролера ESP8266. Цей модуль є досить популярним серед розробників через свою доступність, потужність та можливості. Він включає в себе мікроконтролер ESP8266, який має вбудований Wi-Fi та USB-інтерфейс для зручного програмування та зчитування даних (рис. 3.2).





підтримка Wi-Fi дозволяє модулю під'єднуватися до бездротових мереж і комунікувати з іншими IoT-пристроями через Інтернет.

NodeMCU ESP8266 має широкий функціонал і зручний інтерфейс, тому він добре підходить для розробки IoT-проектів будь-якої складності. Цей модуль підтримує роботу з різними датчиками, актуаторами та іншими пристроями, дозволяючи створювати різноманітні автоматизовані системи та моніторингові рішення.

3.1.3. Датчик MAX30102 – це високочутливий інтегральний датчик, спеціально розроблений для вимірювання рівня НКК ( $SpO_2$ ) людини та частоти пульсу (рис. 3.4). Він відомий своєю високою точністю та надійністю вимірювань, тому часто застосовується в медичних приладах та пристроях для моніторингу здоров'я.



Рис. 3.4. Вигляд датчика MAX30102

Цей датчик працює за принципом світлорозсіювання та фотоплетизмографії, використовуючи світлодіоди для освітлення тканин та фотодіоди для реєстрації відбитого світла. Він здатний розрізняти червоне та ІЧ світло, що дозволяє вимірювати кількість кисню в гемоглобіні через кров'яний кисень, а також частоту пульсу.

Функціональна схема датчика MAX30102, яка зображена на рис. 3.5, розкриває внутрішню структуру та компоненти, з яких складається цей сенсор.

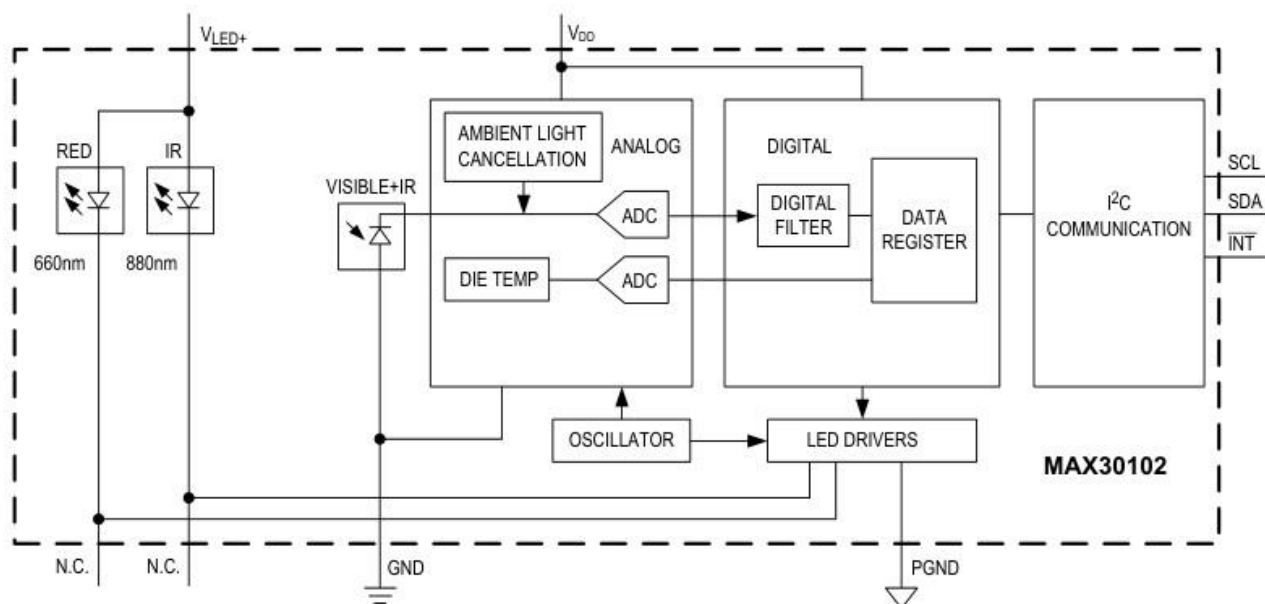


Рис. 3.5. Функціональна схема давача MAX30102

На схемі видно інтерфейс шини I<sup>2</sup>C, який дозволяє підключати давач до різних мікропроцесорних рішень для обробки і передачі даних. Крім того, вбудований вісімнадцяти-розрядний АЦП реалізований для конвертації аналогових сигналів в цифровий формат без потреби використовувати додаткові зовнішні пристрої. Сама схема також включає фотодіод та світлодіоди, які відповідають за збір даних. Для гарантування правильної роботи та надійного збору даних, застосовуються фільтри для усунення впливу зовнішнього світла та цифрового шуму. Ці фільтри забезпечують отримання релевантних та достовірних даних.

Давач MAX30102 також має низьке споживання енергії, що важливо для пристроїв, які працюють від акумуляторів. Його висока швидкість та точність добре підходять для застосування в різних медичних пристроях та пульсоксиметрах. Важливою особливістю давача MAX30102 є його компактний розмір та простота використання, тому його зручно вбудовувати в різні пристрої. Такий давач є важливим компонентом для створення медичних пристроїв, які вимагають надійного та точного моніторингу рівня НКК та частоти пульсу у реальному часі.

3.1.4. Електрична схема модуля для моніторингу рівня НКК людини, яка зображена на рис. 3.6, включає в себе давач MAX30102 (U1), резистори R1 та R2 номіналом 4,7 кОм, модуль для контролю заряду акумуляторних батарей TP4056 (U2), батарею (B1), модуль NodeMCU ESP8266 (U3) та OLED дисплей (D1).

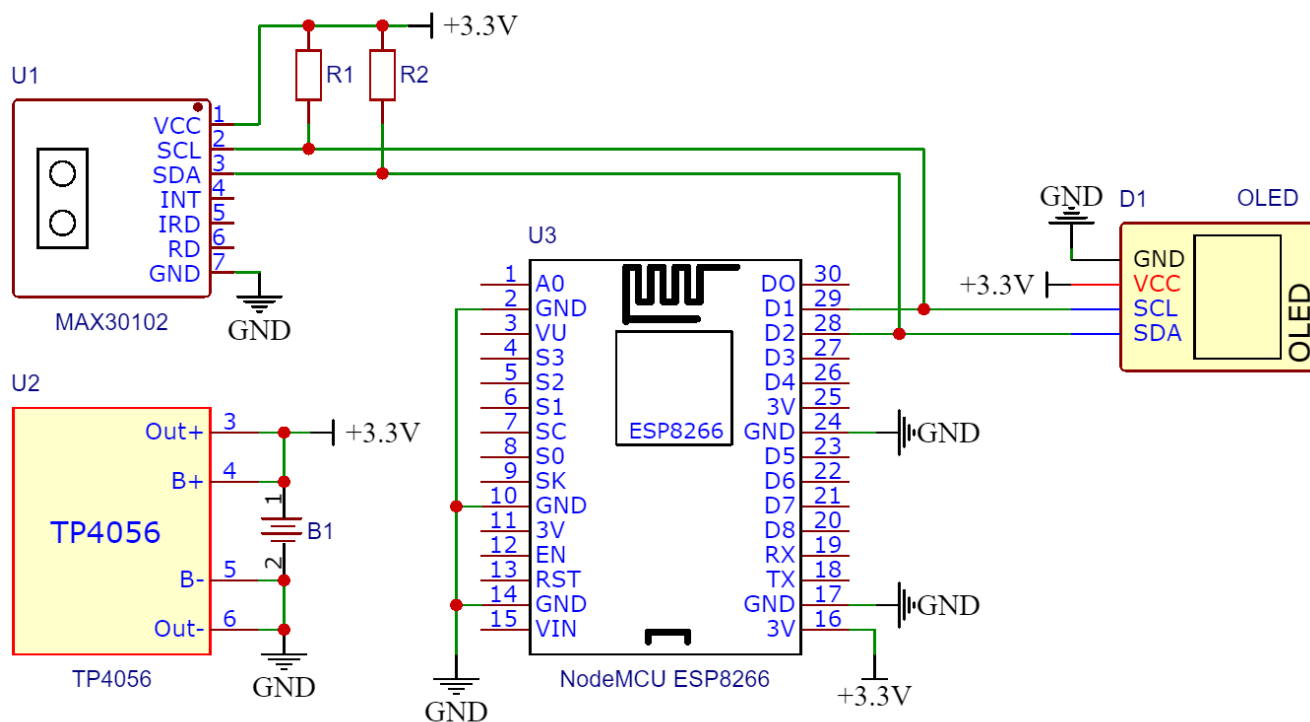


Рис. 3.6. Схема електричних з'єднань модуля для моніторингу рівня НКК людини

Дачч MAX30102 призначений для вимірювання рівня НКК ( $\text{SpO}_2$ ) та пульсу пацієнта і підключається до NodeMCU ESP8266 через I<sup>2</sup>C інтерфейс для передачі даних. Резистори R1 та R2 (4,7 кОм) використовуються для підтягнення шини I<sup>2</sup>C до напруги живлення 3,3 В, забезпечуючи правильний рівень напруги для зв'язку між NodeMCU ESP8266 і даччем MAX30102.

Модуль для контролю заряду акумуляторних батарей TP4056 відповідає за безпечну та ефективну зарядку батареї. Акумуляторна батарея служить джерелом живлення системи і може бути заряджена за допомогою модуля TP4056, забезпечуючи портативність. Модуль NodeMCU відповідає за збір і обробку даних від дачча MAX30102, їх передачу на сервер або відображення на OLED дисплеї, а також за керування всією системою і взаємодію з користувачем. OLED дисплей

використовується для відображення вимірюваних даних, таких як рівень НКК та пульс. Ця схема дозволяє створити пристрій для дистанційного моніторингу рівня НКК пацієнта, відображення результатів на OLED дисплеї та передачу даних через мережу для подальшого аналізу та збереження.

На рис. 3.7 зображено фотографію прототипу пристрою для моніторингу рівня НКК людини.

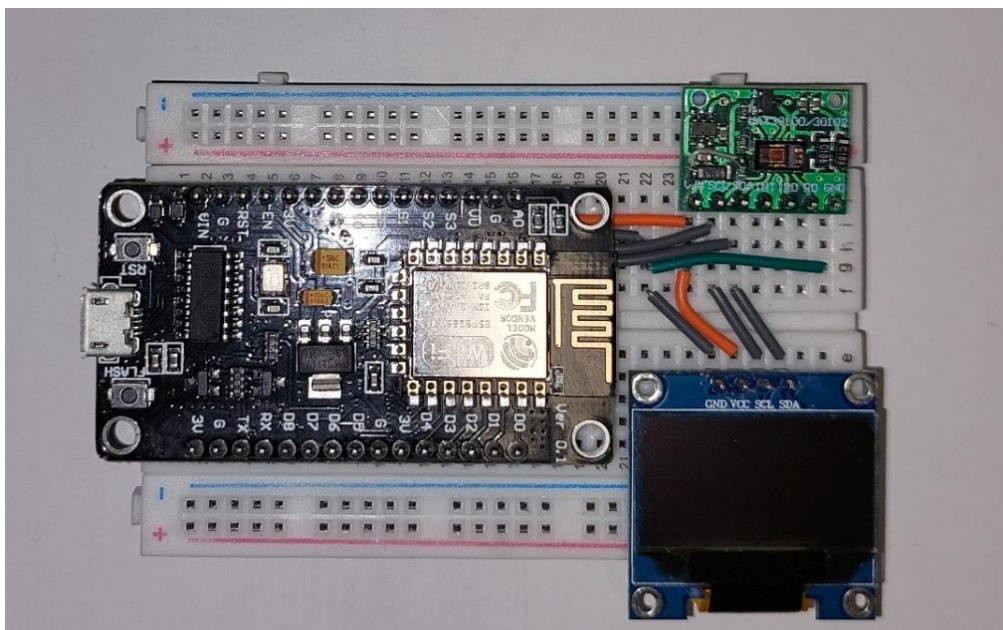


Рис. 3.7. Пристрій для моніторингу рівня НКК людини

Прототип включає в себе три ключові компоненти: модуль NodeMCU ESP8266, OLED дисплей та датчик MAX30102. Вони поміщені на макетній платі і з'єднані за допомогою перемичок різних кольорів, що чітко видно на зображенні.

Модуль NodeMCU ESP8266 відповідає за забезпечення безпроводного підключення та передачу даних до хмарної платформи чи іншого призначення. OLED дисплей слугує інтерфейсом для відображення інформації та результатів вимірювань, забезпечуючи зручний спосіб взаємодії з користувачем.

Датчик MAX30102 відповідає за вимірювання рівня НКК пацієнта. Зв'язок між цими компонентами забезпечений зручним розташуванням на макетній платі та правильними з'єднаннями перемичок, що сприяє ефективній роботі пристрою.

### 3.2. Реалізація алгоритмічного та програмного забезпечення системи

#### 3.2.1. Алгоритм роботи мікроконтролера ESP8266 представлений на рис. 3.8.

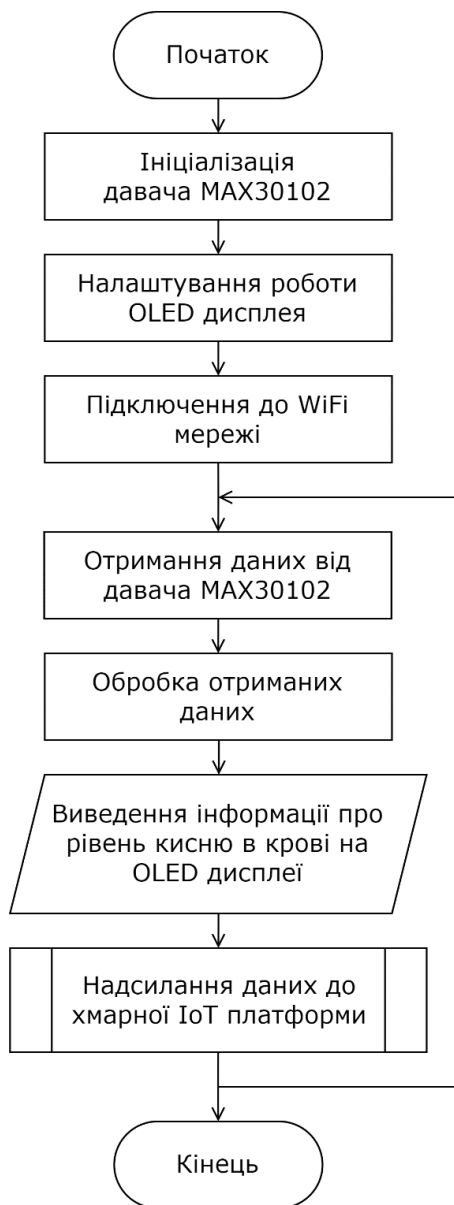


Рис. 3.8. Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

Після підключення бібліотек, визначення констант, змінних та об'єктів здійснюється ініціалізація та налаштування давача MAX30102 і OLED дисплею та перевірка їх наявності. Також виконується спроба підключення до мережі WiFi, з відображенням інформації про процес підключення на OLED дисплеї. Далі



налаштовуються параметри для взаємодії з платформою Ubidots через MQTT та визначаються функції зворотного виклику для обробки подій MQTT.

В основному циклі програми здійснюється опитування датчика MAX30102 та відображення значень рівня НКК та пульсу на OLED дисплеї. Після цього виконується відправлення даних на платформу Ubidots через MQTT з використанням певних тем та міток.

Цей алгоритм розроблений для постійного моніторингу пульсу та НКК, виведення інформації на OLED дисплей та відправлення даних на хмарну платформу IoT для подальшого аналізу та відображення.

3.2.2. Для розробки даного проєкту було обрано PlatformIO IDE – це середовище розробки, яке призначене для реалізації вбудованих та IoT проєктів. Це середовище розробки базується на розширенні для популярних редакторів коду, таких як VS Code (рис. 3.9).

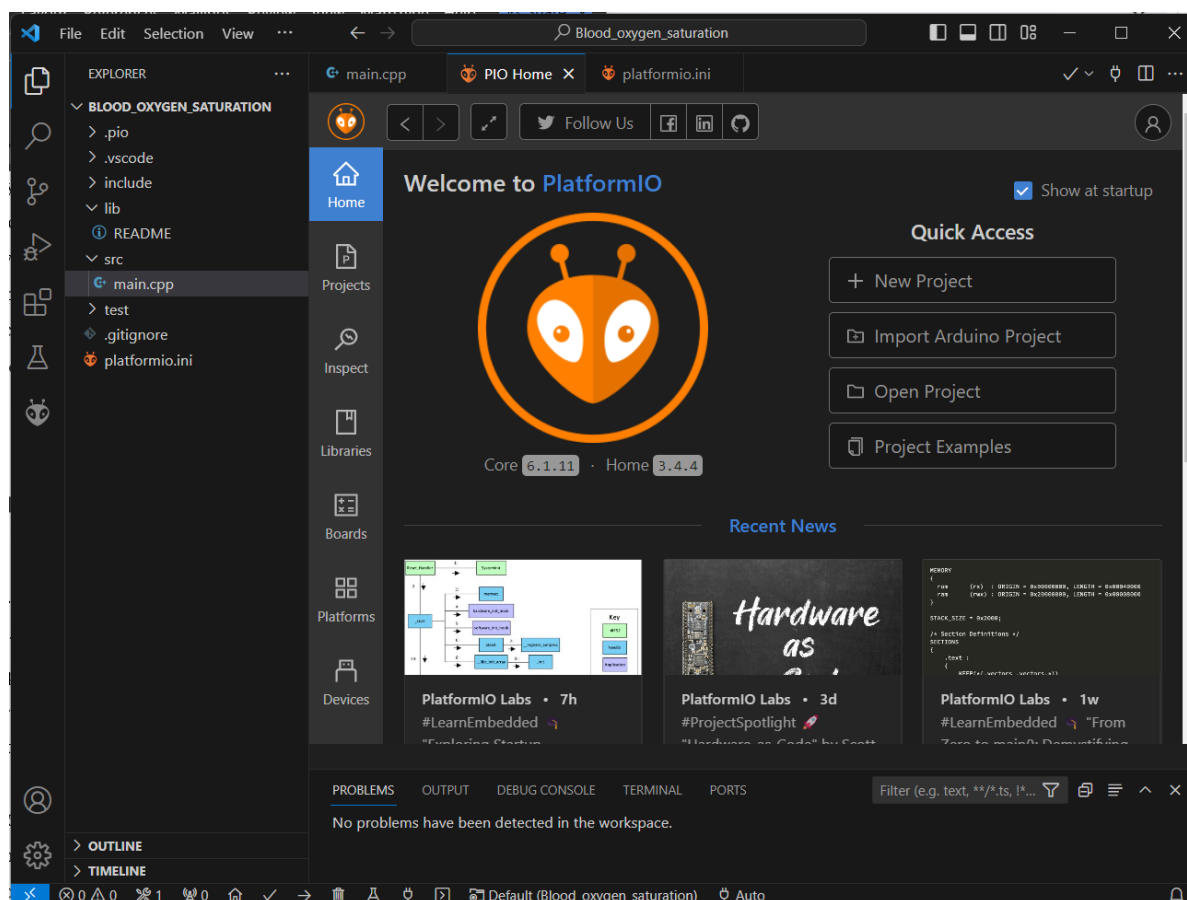


Рис. 3.9. Середовище PlatformIO IDE в VS Code

Однією з переваг PlatformIO IDE є його багатоплатформеність. Воно підтримує багато популярних мікроконтролерів та платформ. Розробники можуть працювати з різними пристроями без необхідності переключення між середовищами розробки.

PlatformIO IDE надає можливість відлагоджувати код безпосередньо на вбудованому пристрої. Воно підтримує різні інструменти для відлагодження та виявлення помилок, що робить процес розробки більш продуктивним та зручним. Серед інших переваг – спрощення процесів збірки та завантаження коду на вбудований пристрій, автоматизація багатьох завдань та можливість розширення функціональності завдяки відкритому вихідному коду. PlatformIO IDE користується підтримкою активної спільноти розробників та надає розгорнуту документацію та різноманітні ресурси для допомоги розробникам. Завдяки цим факторам, воно стає потужним інструментом для розробки вбудованих та IoT-проектів [22].

3.2.3. Програмний код, який написаний для мікроконтролера використовує бібліотеки для забезпечення роботи з різними пристроями: OLED дисплеєм, давачем MAX30102 та платформою IoT Ubidots. На початку коду відбувається підключення необхідних бібліотек: ESP8266WiFi для роботи з WiFi, PubSubClient для використання протоколу MQTT, Wire для роботи з шиною I<sup>2</sup>C, Adafruit\_GFX та Adafruit\_SSD1306 для роботи з OLED дисплеєм, MAX30102\_PulseOximeter для взаємодії з давачем пульсу (рис. 3.10).

```
4 #include <ESP8266WiFi.h>
5 #include <PubSubClient.h>
6 #include <Wire.h>
7 #include <Adafruit_GFX.h>
8 #include <Adafruit_SSD1306.h>
9 #include "MAX30102_PulseOximeter.h"
10 #include "secrets.h"
```

Рис. 3.10. Лістинг коду з підключення бібліотек



Також здійснюється ініціалізація об'єктів для давача та дисплея та визначення змінних і констант (рис. 3.11).

```

12 PulseOximeter max30102Sensor;
13 #define REPORTING_PERIOD_MS 1000
14 uint32_t tsLastReport = 0;
15 int BPM, SPO2;
16 #define OLED_Address 0x3C // 0x3C device address of I2C OLED
17 #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
18 #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
19 #define OLED_RESET -1 // Reset pin #
20 Adafruit_SSD1306 oled(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

```

Рис. 3.11. Лістинг коду з ініціалізацією об'єктів, визначенням змінних і констант

Ініціалізація констант та об'єктів для зв'язку з платформою Ubidots через протокол MQTT представлена на рис. 3.12.

```

39 #define MQTT_CLIENT_NAME "Oximeter"
40 #define VARIABLE_LABEL1 "Saturation" // Assing the variable label 1
41 #define VARIABLE_LABEL2 "Pulse Rate" // Assing the variable label 2
42 #define DEVICE_LABEL "Oximeter"
43
44 char mqttBroker[] = "industrial.api.ubidots.com";
45 char payload[1000];
46 char topic1[150];
47 char topic2[150];
48
49 // Space to store values to send
50 char str_Saturation[10];
51 char str_Pulse[10];
52 WiFiClient ubidots;
53 PubSubClient client(ubidots);

```

Рис. 3.12. Лістинг коду з ініціалізацією констант та об'єктів для зв'язку з платформою Ubidots через протокол MQTT

Для встановлення з'єднання з MQTT брокером використовується функція `reconnect` (рис. 3.13). В ній написаний цикл, який буде повторюватися, доки не буде встановлено з'єднання з MQTT брокером.

```

64 void reconnect() {
65     // Loop until we're reconnected
66     while (!client.connected()) {
67         Serial.println("Attempting MQTT connection...");
68         // Attempt to connect
69         if (client.connect(MQTT_CLIENT_NAME, TOKEN, "")) {
70             Serial.println("Connected");
71         } else {
72             Serial.print("Failed, rc=");
73             Serial.print(client.state());
74             Serial.println(" try again in 2 seconds");
75             // Wait 2 seconds before retrying
76             delay(2000);
77         }
78     }
79 }

```

Рис. 3.13. Лістинг коду функції reconnect()

У функції setup() проводиться початкова ініціалізація мікроконтролера та підготовка до його роботи. В ній виконуються всі необхідні підготовчі кроки для роботи системи, забезпечуючи ініціалізацію пристроїв та встановлення необхідних з'єднань.

У функції loop() реалізовано основний цикл програми, який викликається безперервно протягом роботи пристрою (рис. 3.14).

```

202     oled.clearDisplay();
203     oled.setCursor(0,17);
204     oled.setTextSize(1);
205     oled.print("Saturation: ");
206     oled.print(SPO2);
207     oled.println("%");
208     oled.setTextSize(2);
209     oled.println("");
210     oled.setTextSize(1);
211     oled.print("Pulse Rate: ");
212     oled.println(BPM);
213     oled.setTextSize(1);
214     oled.display();

```

Рис. 3.14. Лістинг коду для відображення даних на OLED дисплеї

Зокрема викликається метод `max30102Sensor.update()` для оновлення значень датчика MAX30102. Також здійснюється отримання значень насичення киснем (SPO2) та частоти пульсу (BPM) за допомогою методів `max30102Sensor.getSpO2()` та `max30102Sensor.getHeartRate()`. Вимірні значення відображаються на OLED дисплеї.

Надсилання даних на IoT платформу відбувається шляхом створення MQTT топіків та відправлення відповідних повідомлень на сервер (рис. 3.15).

```

186     dtostrf(SPO2, 4, 2, str_Saturation);
187     sprintf(topic1, "%s%s", "/v1.6/devices/", DEVICE_LABEL);
188     sprintf(payload, "%s", "");
189     sprintf(payload, "{\"%s\":", VARIABLE_LABEL1);
190     sprintf(payload, "%s {\"value\": %s}", payload, str_Saturation);
191     client.publish(topic1, payload);

```

Рис. 3.15. Лістинг коду для відображення даних на OLED дисплеї

### 3.3. Інтеграція з хмарною IoT платформою

Платформа Ubidots є інтегрованою системою для розробки та розгортання IoT проектів, надаючи широкі можливості для передачі і оброблення даних з пристроїв, підключених до Інтернету (рис. 3.16).

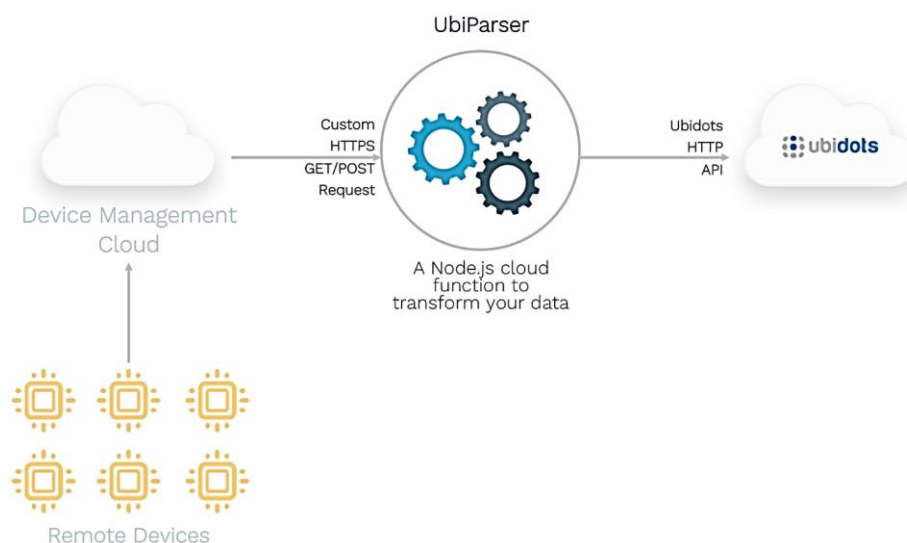


Рис. 3.16. Архітектура IoT платформи Ubidots

Ця платформа використовується для впровадження систем дистанційного моніторингу, сприяє швидкому розгортанню нових IoT проєктів. Ubidots робить процес збору та управління даними в Інтернеті речей більш ефективним та динамічним. Основні переваги Ubidots полягають в її простому та інтуїтивному інтерфейсі, який дозволяє створювати елементи візуалізації, аналітику та налаштовувати сповіщення без значних зусиль.

Завдяки подвійному резервуванню, шифруванню сховищ та підтримці TLS/SSL, Ubidots гарантує безпеку зберігання та передачі інформації. Платформа також відрізняється гнучкістю, підтримуючи роботу з різними типами даних, налаштовуючи права доступу та легко інтегруючись з іншими мікропроцесорними рішеннями через API.

Обираючи Ubidots для реалізації даної системи, було враховано її зручність використання, розвинуті можливості для аналізу даних. Процес налаштування IoT платформи Ubidots для системи моніторингу рівня НКК людини було реалізовано наступним чином. Спочатку було створено обліковий запис на веб-сайті Ubidots. Після цього був створений новий проєкт, для реалізації веб-інтерфейсу системи моніторингу.

Далі, для взаємодії з платформою, був доданий новий пристрій до проєкту. В процесі додавання пристрою було вказано необхідні параметри, а також отримано ключ API, який буде використаний для обміну даними (рис. 3.17).

Після отримання ключа API було здійснено налаштування з'єднання мікроконтролера ESP8266 з мережею Wi-Fi та з платформою Ubidots. Для цього був використаний отриманий ключ API, що забезпечило безпечний обмін даними між пристроєм та хмарним сервісом.

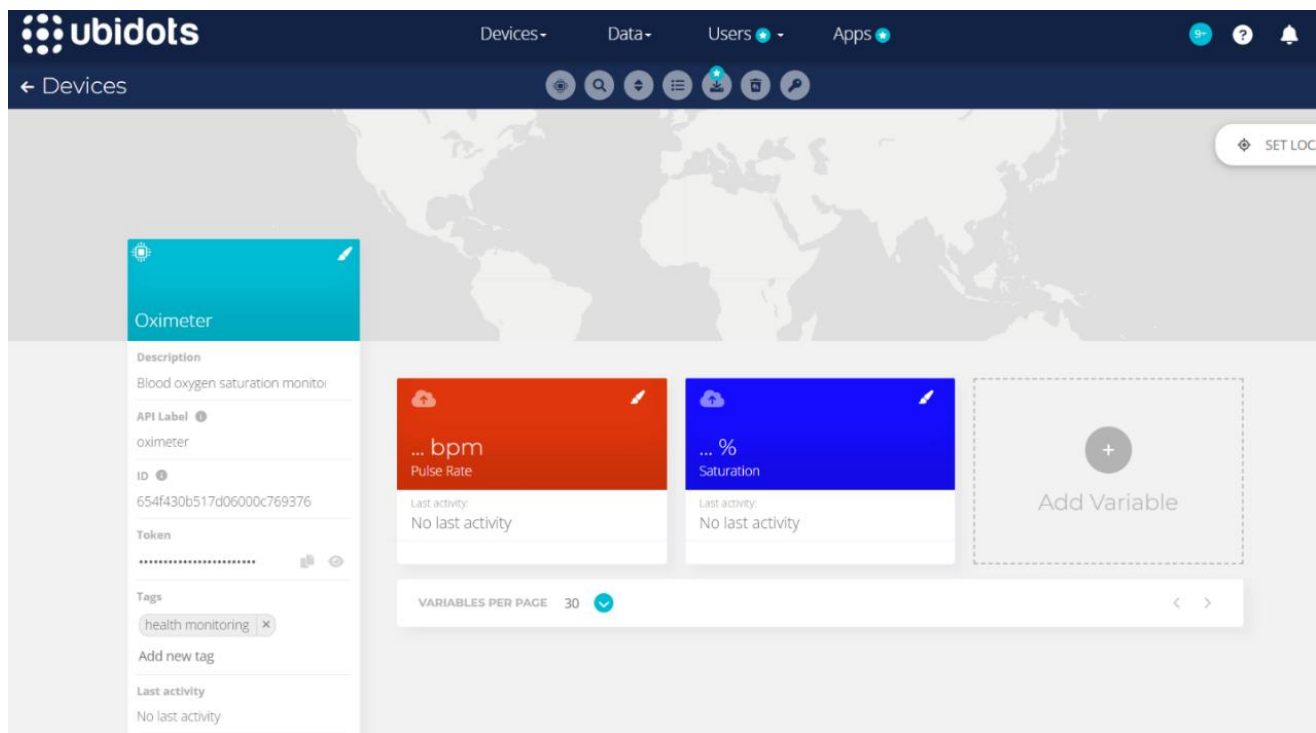


Рис. 3.17. Створення нового пристрою на платформі Ubidots

На платформі Ubidots були визначені відповідні змінні для зберігання і відображення інформації про рівень НКК та частоти пульсу (рис. 3.18).

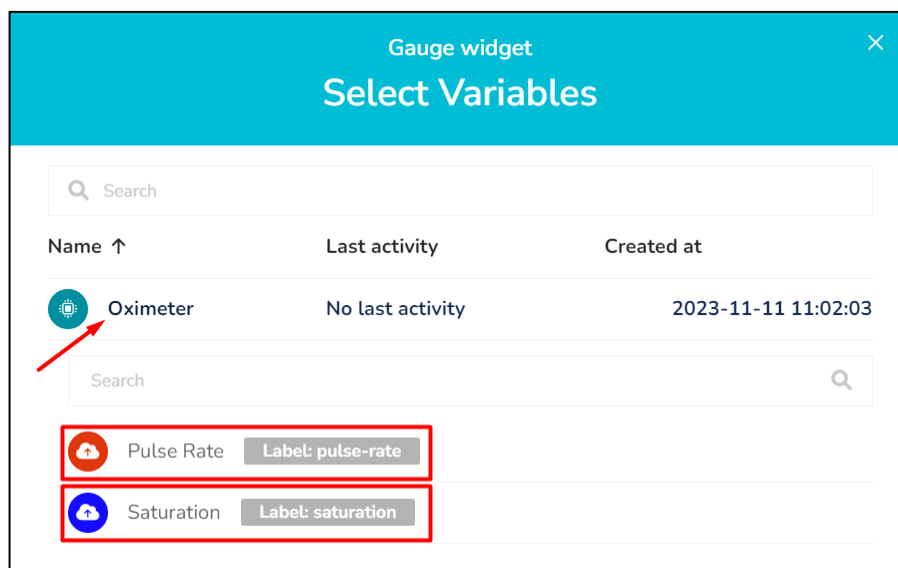


Рис. 3.18. Процес вибору змінних для відображення їх значень

Були створені інструменти візуалізації даних на платформі Ubidots для зручного відображення значень рівня НКК та пульсу (рис. 3.19).

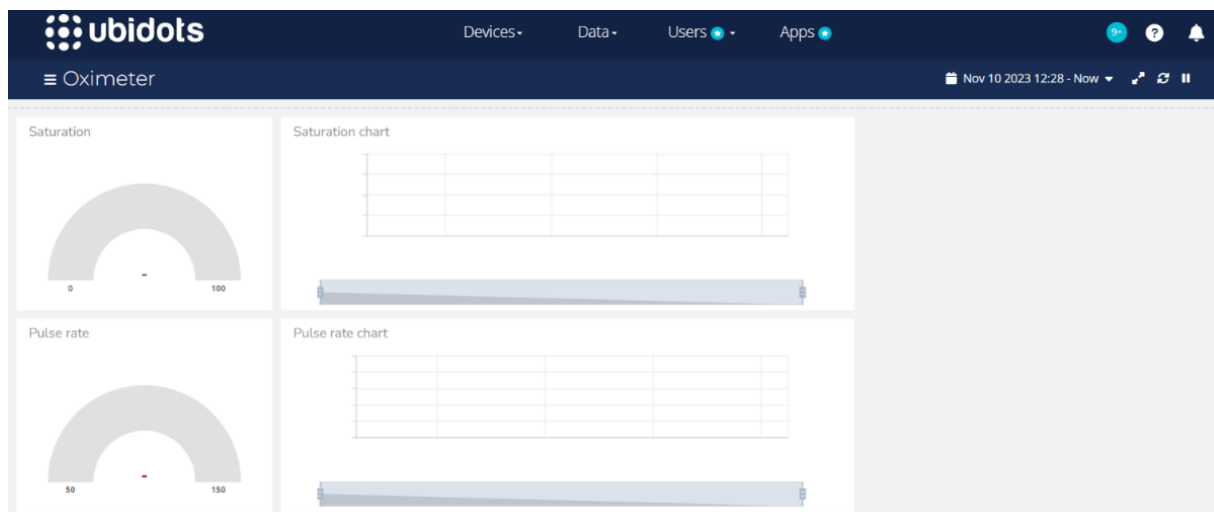


Рис. 3.19. Інструменти візуалізації даних на платформі Ubidots

Завершальним етапом став процес тестування та оптимізації системи для перевірки правильності передачі даних на платформу та їх відображення.

### 3.4. Аналіз результатів тестування системи моніторингу

Процес тестування системи для моніторингу рівня НКК людини включав кілька ключових етапів для перевірки функціональності та ефективності. По-перше, проводилася верифікація апаратної реалізації системи. Цей етап включав в себе перевірку коректності відображення інформації на OLED дисплеї. Зокрема, після ввімкнення живлення на дисплеї виводилась назва системи та інформація про її розробника (рис. 3.20).

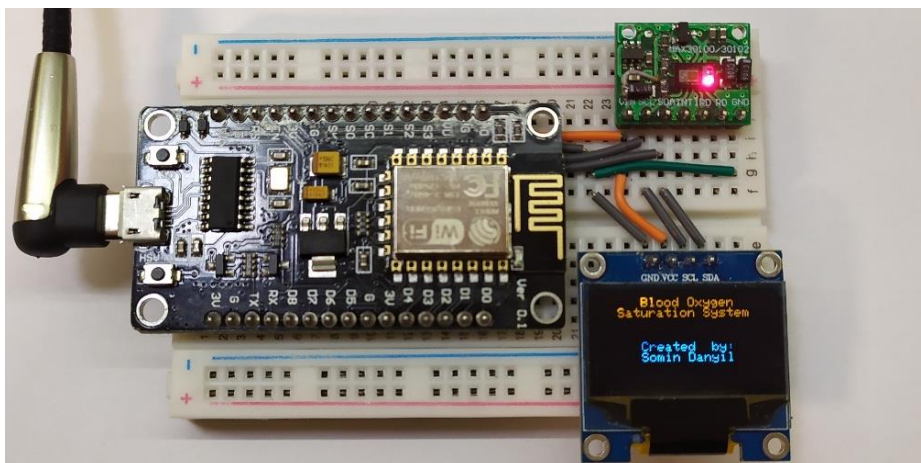


Рис. 3.20. Виведення назви системи та інформації про її розробника

Правильність налаштування та комунікації між різними компонентами пристрою, такими як мікроконтролер ESP8266, датчик MAX30102 та OLED дисплей (рис. 3.21).

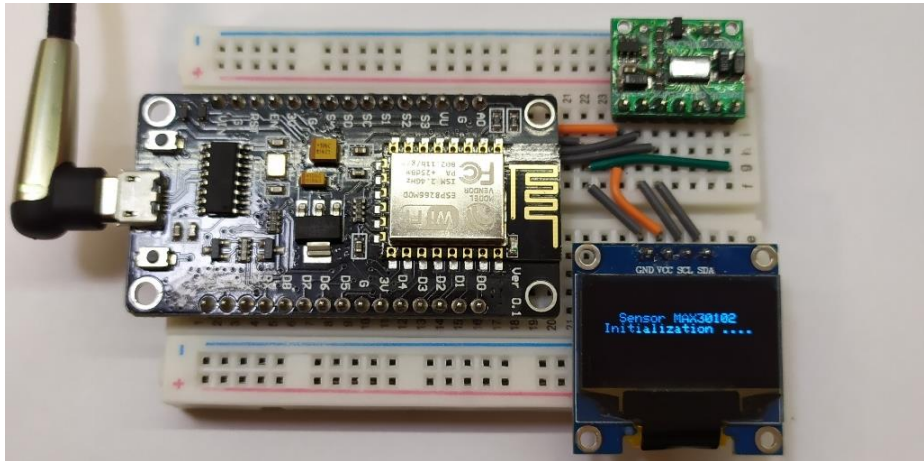


Рис. 3.21. Візуалізація процесу ініціалізації датчика MAX30102

Також здійснювалася перевірка точності та достовірності зчитування даних за допомогою датчика (рис. 3.22).

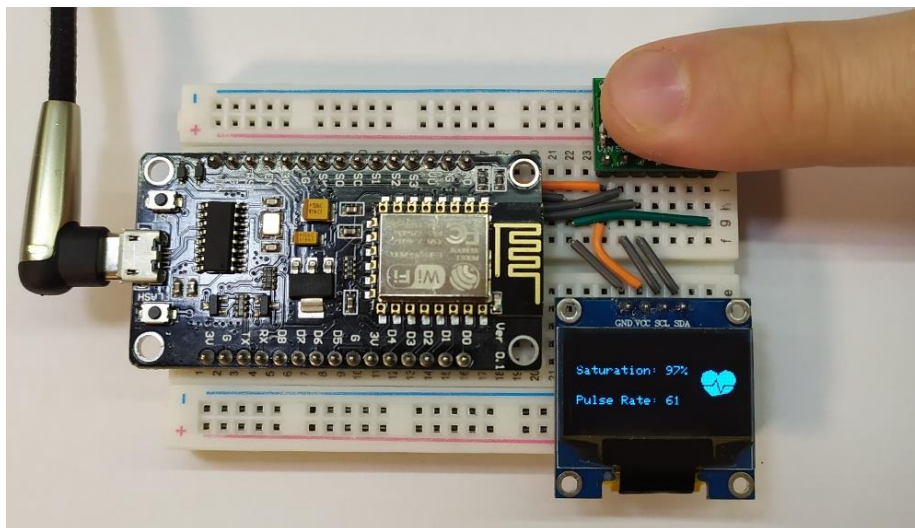


Рис. 3.22. Відображення на OLED дисплеї результатів вимірювання

Другим кроком було тестування ПЗ. На цьому етапі перевірялася правильність встановлення з'єднання по WiFi мережі (рис. 3.23), зчитування і обробки даних, а також їх передачі на хмарний сервіс Ubidots.



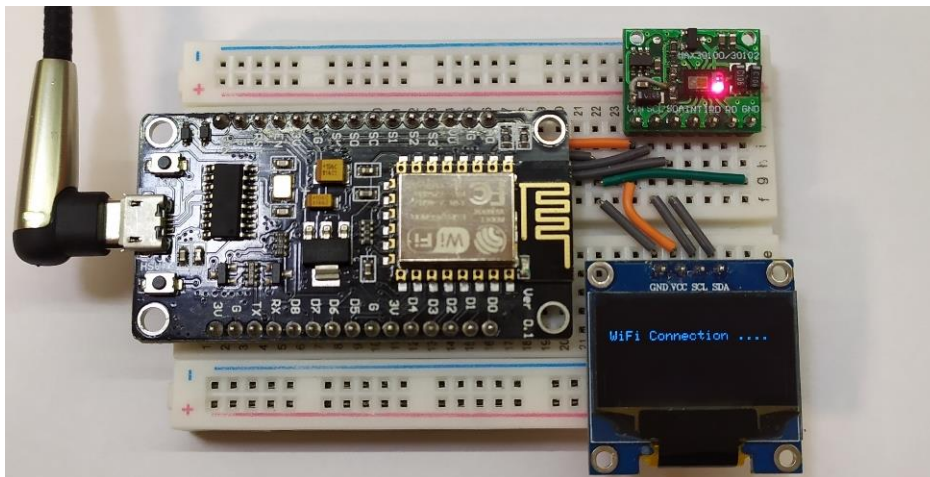


Рис. 3.23. Процес під'єднання до платформи Ubidots через WiFi мережу

Крім того, важливо було переконатися в коректності відображення інформації про рівень НКК на платформі Ubidots. Тому третім етапом було інтеграційне тестування, де перевірялася взаємодія між апаратною та програмною частинами системи. Оцінювалася правильність передачі даних у реальному часі, а також час реакції системи на зміни рівня НКК. Проводилася оптимізація та усунення виявлених помилок у роботі системи. Впроваджувалися різноманітні корекції в програмному кодї для покращення ефективності та стабільності. Після цього система проходила повторне тестування для визначення впливу внесених змін на її роботу та підтвердження стабільності та ефективності.

На рис. 3.24 представлені діаграми з відображенням миттєвих значень рівня насичення кисню в крові та пульсу людини в IoT платформі Ubidots.

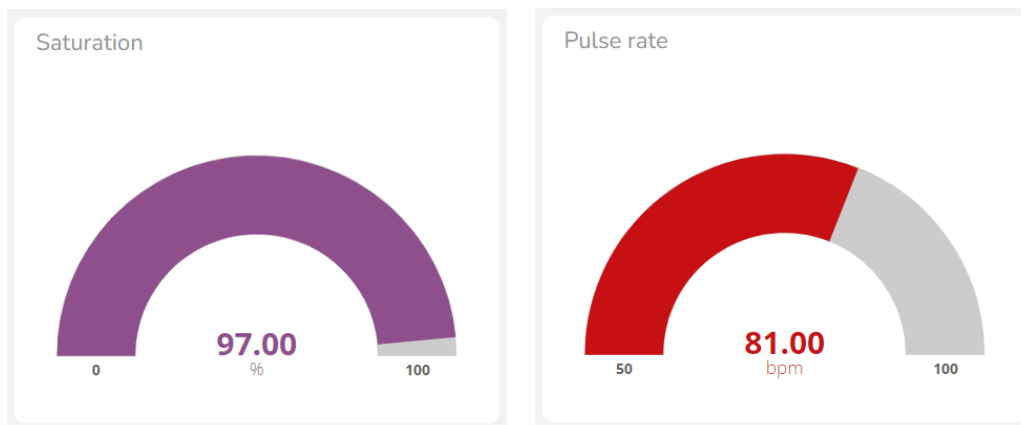


Рис. 3.24. Відображення миттєвих значень рівня насичення кисню в крові та пульсу людини в IoT платформі Ubidots



Значення фіксуються та відображаються в реальному часі, що дозволяє відслідковувати зміни цих параметрів практично миттєво. Графіки з відображенням динаміки зміни рівня НКК а також частоти пульсу людини, які відображаються на платформі Ubidots, показані на рис. 3.25. Вони забезпечують чітке та деталізоване візуальне представлення показників здоров'я людини.

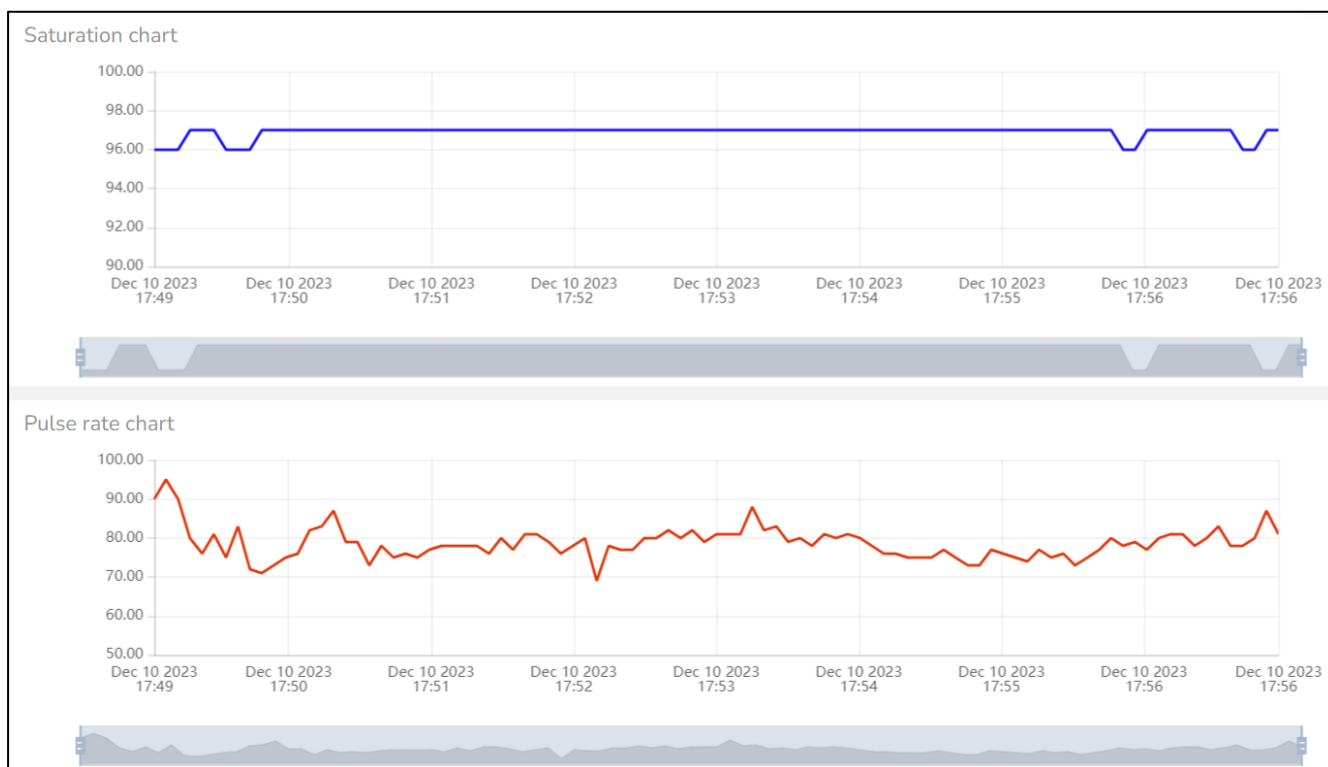


Рис. 3.25. Результати моніторингу рівня НКК та пульсу людини в IoT платформі Ubidots

На графіках значення рівня НКК та частоти пульсу людини відображаються в залежності від часу. Графіки можуть відобразити коливання цих показників протягом певного періоду, надаючи можливість аналізувати тенденції та зміни стану. Використання інструментів візуалізації на платформі Ubidots дозволяє користувачам зручно та інтуїтивно аналізувати дані моніторингу. Вони можуть призначати мітки, ставити точки вибору та використовувати інші функції для деталізації даних, щоб отримати повну інформацію про динаміку зміни стану здоров'я людини.

### 3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи була проведена реалізація комплексної системи для моніторингу рівня НКК людини. Розроблено та впроваджено апаратну частину системи, що включає модуль NodeMCU, OLED дисплей та давач MAX30102. Забезпечено правильне розташування та з'єднання компонентів на макетній платі.

Реалізовано ПЗ, яке забезпечує точний та надійний збір даних про рівень кисню в крові. Враховано особливості взаємодії з давачем MAX30102 та забезпечено коректну обробку отриманих сигналів. Розроблено програмне забезпечення для передачі та збереження даних на хмарну IoT платформу. Використано протокол MQTT для ефективної інтеграції з хмарним сервісом, забезпечивши зручний аналіз та збереження медичних даних.

Проведено експериментальні дослідження для оцінки ефективності системи моніторингу НКК. В цілому, реалізація системи моніторингу відповідає поставленим завданням і досягає високого рівня функціональності, забезпечуючи ефективний дистанційний контроль за рівнем НКК пацієнтів.

## РОЗДІЛ 4

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1. Охорона праці

У кваліфікаційній роботі магістра спроектовано систему для дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини на основі технологій інтернету медичних речей. Під час розв'язання задач дослідження, особливо практичної реалізації системи, враховано вимоги з охорони праці і техніки безпеки, пожежної та електробезпеки.

Виконання як теоретичної частини роботи, так і практичної, передбачає використання комп'ютерної техніки та обладнання з низькими напругами і силою струму. Зокрема, в якості блоку живлення плати ESP8266, використовувалась напруга живлення, яка становить 5 В. На платі використовуються можливі номінали напруги на рівні 5 В і 3,3 В, що не становить небезпеки для користувачів та розробника системи.

В якості регламентуючого документа з пожежної безпеки перед початком роботи над комп'ютерною системою для контролю параметрів мікроклімату теплиць використано вимоги «Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України», які є діючим на даний час і затверджені постановою Кабінету міністрів України від 26 червня 2013 р. № 444.

Для організації захисту від негативного впливу екранів дотримано вимог Закону України "Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями" та НПАОП 0.00-7.15-18, який затверджений наказом Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 N207. Робоче місце під час виконання кваліфікаційної роботи та проектування

комп'ютерної системи облаштовано згідно наведених вимог та відповідає організаційним, ергономічним та вимогам з пожежної безпеки.

Електробезпеку робочого місця регламентують Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, які затверджені наказом Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 N 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10.02.98 за N 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98). Електромережа, яка використовувалася при виконанні кваліфікаційної роботи магістра, відповідає правилам [41]:

- живлення електромережі проєктовано, як окрему групову трьох провідну мережу з використанням фази, робочого «нуля» та захисного «нуля»;
- захисний «нуль» застосовано для реалізації заземлення електропристроїв;
- усі електричні та електронні пристрої мають захист від короткого замикання та непередбачуваних аварійних ситуацій;
- монтаж та експлуатація електромережі задовольняють вимогам щодо унеможливлення виникнення джерела загоряння через коротке замикання та перевантаження;
- усі лінії електроживлення виконанні не з легкозаймистого матеріалу або з негорючою ізоляцією;
- електричне устаткування підключено до мережі лише за допомогою справних штепсельних з'єднань і розеток заводського виготовлення;
- у розетках і штепселях передбачено контакти заземлення.

Вимоги електробезпеки при проєктуванні компонентів комп'ютерної системи для дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини дотримано двома шляхами: використання безпроводних технологій передавання даних і напруги живлення в діапазоні 3,3 В і 5 В, що дозволяє зменшити можливість ураження струмом при виникненні контакту з мережею чи в аварійних ситуаціях.

Щодо пожежної безпеки будівлі, де виконувався проєкт, то дотримано вимоги державних будівельних норм "Пожежна безпека об'єктів будівництва", які затверджені наказом Держбуду України від 03.12.2002 N 88, а також вимоги правил

пожежної безпеки України, затвердженими наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 N 126.

У приміщеннях, де розташовуються робочі місця користувачів ПК потрібно забезпечити відповідність вимогам санітарних норм і правил наведених у ДСанПіН 3.3.2-007-98 [41]. Крім цього, на робочих місцях, обладнаних комп'ютерами і периферійною технікою забезпечено оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, руху повітря та відносної вологості, у відповідності до вимог нормативних документів.

Щодо освітлення, то приміщення де експлуатуються ПК, повинно бути обладнаним джерелами штучного освітлення та мати природне освітлення. Нормативний документ, який регламентує вимоги до рівнів природного і штучного освітлення – ДБН В.2.5-28-2018. Природне освітлення забезпечують прозорі вікна та інші світлові прорізи, що знаходяться на півночі або північному сході. У приміщеннях коефіцієнт природного освітлення повинен бути не нижче ніж 1,5 %. Розрахунок коефіцієнта природного освітлення виконують відповідно до методики, яка наведена у ДБН В.2.5-28-2018.

Штучне освітлення у приміщеннях з ПК забезпечується за допомогою системи загального освітлення, переважно рівномірного. В якості штучного джерела світла застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

При використанні ПК для розробки проекту комп'ютерної системи для дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини на основі технологій інтернету медичних речей було дотримано наступних вимог з техніки безпеки [42]:

- не виконувався самостійний ремонт ПК і периферійних пристроїв;
- не вносились конструктивні чи інші зміни в апаратне забезпечення комп'ютера;
- використовувались тільки ті матеріали та предмети, які стосувались розробки комп'ютерної системи для дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини.

Для забезпечення вимог щодо безпечної експлуатації інформаційних технологій та мереж дотримано вимог СТУ EN 60950-1:2015 «Обладнання інформаційних технологій. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги» (ДСТУ EN 60950-1:2015). Усі ці правила і вимоги були враховані під час розробки системи дистанційного моніторингу рівня насичення киснем крові людини.

4.2. Оцінка стійкості роботи об'єкта до дії проникаючої радіації і радіоактивного забруднення місцевості, які виникають після ядерного вибуху

Стійкість роботи об'єкта – це здатність його в надзвичайних ситуаціях випускати продукцію у запланованому обсязі, необхідної номенклатури і відповідної якості, а у випадку впливу на об'єкт вражаючих факторів, стихійних лих та виробничих аварій – в мінімально короткі строки відновити своє виробництво.

Залежить вона від таких основних факторів [43]:

- розміщення об'єкту відносно великих міст, об'єктів атомної енергетики, хімічної промисловості, великих гідротехнічних споруд, воєнних об'єктів та ін.;
- природно-кліматичних умов, технології виробництва;
- надійності захисту працюючих, населення від впливу вражаючих факторів, наслідків стихійних лих і виробничих аварій, катастроф;
- надійності системи постачання об'єкту всім необхідним для виробництва продукції (паливом, мастилами, електроенергією, газом, водою, хімічними засобами захисту рослин, ветеринарними засобами, мінеральними добривами, запасними частинами, технікою та ін.), здатності інженерно технічного комплексу протистояти надзвичайним ситуаціям;
- стійкості управління виробництвом і ЦО, психологічної підготовленості керівного складу, спеціалістів і населення до дій в екстремальних умовах;

- навченості командно-керівного складу ЦО об'єкту і населення правильно виконувати комплекс заходів цивільної оборони;
- масштабів і ступеня вражаючої дії стихійного лиха, виробничої аварії, катастрофи чи зброї і підготовленість об'єкту до ведення рятувальних та інших невідкладних робіт для відновлення порушеного виробництва.

Оцінка уразливості об'єкта від радіоактивного забруднення і проникаючої радіації починається з визначення максимальних очікуваних значень рівня радіації і дози проникаючої радіації. За показник стійкості об'єкта приймається допустима доза радіації, яку можуть одержати люди за час робочої зміни.

Стійкість об'єкта проти радіаційного ураження можна оцінювати у такій послідовності. Визначити: граничні рівні радіації (Р/год.) на об'єкті, за яких можлива виробнича діяльність у звичайному режимі або в режимах радіаційного захисту; ступінь захищеності працюючих; дози радіації, які може одержати виробничий персонал; втрати сільськогосподарських тварин і зниження їх продуктивності; втрати сільськогосподарських рослин та їх урожайність; втрати і ураження лісових насаджень і в результаті цього зниження господарської діяльності лісогосподарських об'єктів; стійкість роботи сільськогосподарських і лісогосподарських об'єктів.

Після аналізу зробити висновки про очікувані максимальні рівні радіоактивного забруднення території об'єкта і дози проникаючої радіації; ступінь забезпечення захисту працюючих, тварин і обладнання, техніки, урожаю, кормів, води; можливість безперервної стійкої роботи об'єкта за умови, що сумарна доза опромінення працюючих не перевищуватиме допустимої дози; можливість виробництва запланованої, доброякісної продукції тваринництва, рослинництва і лісового господарства та заходи підвищення стійкості роботи об'єкта, підвищення рівня захисту працюючих, сільськогосподарських тварин і продукції тваринництва, рослин і урожаю, води і вододжерел [43].

### 4.3. Освітлення виробничих приміщень для роботи з ВДТ в локальній комп'ютерній мережі

Приміщення для роботи з ВДТ повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5 %. Розраховується КПО за методикою, викладеною в ДБН В.2.5-28:2018.

За виробничої потреби дозволяється експлуатувати ЕОМ у приміщеннях без природного освітлення за узгодженням з органами державного нагляду за охороною праці та органами і установами санітарно-епідеміологічної служби. Вікна приміщень з ВДТ повинні мати регульовальні пристрої для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки тощо.

Штучне освітлення приміщення з робочими місцями, обладнаними ВДТ ЕОМ загального та персонального користування, має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. У виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях, де переважають роботи з документами, допускається вживати систему комбінованого освітлення (додатково до загального освітлення встановлюються світильники місцевого освітлення) [44].

Загальне освітлення має бути виконане у вигляді суцільних або переривчатих ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників.

Допускається застосовувати світильники таких класів світлорозподілу:

- світильники прямого світла – П;
- переважно прямого світла – Н;
- переважно відбитого світла – В.

При розташуванні відеотерміналів ЕОМ за периметром приміщення лінії світильників штучного освітлення повинні розміщуватися локально над робочими місцями.



Для загального освітлення необхідно застосовувати світильники із розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екранних сіток забороняється.

В якості джерела світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. При обладнанні відбивного освітлення у виробничих та адміністративно-громадських приміщеннях можуть застосовуватися металогалогенові лампи потужністю до 250 Вт. Допускається у світильниках місцевого освітлення застосовувати лампи розжарювання.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від  $50^\circ$  до  $90^\circ$  відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше  $200 \text{ кд/м}^2$ , а захисний кут світильників повинен бути не більшим за  $40^\circ$ . Коефіцієнт запасу (Кз) для освітлювальної установки загального освітлення слід приймати рівним 1,4. Коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5 % і забезпечуватися застосуванням газорозрядних ламп у світильниках загального і місцевого освітлення [44].

При відсутності світильників з ВЧ ПРА лампи багатолампових світильників або розташовані поруч світильники загального освітлення необхідно підключати до різних фаз трифазної мережі.

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300–500 лк. У разі неможливості забезпечити даний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж 300 лк. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за  $40^\circ$  [44].

Необхідно передбачити обмеження прямої близькості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за  $200 \text{ кд/м}^2$ .

Необхідно обмежувати відбитий блиск шляхом правильного вибору типів світильників та розміщенням робочих місць відносно джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на екрані відеотерміналу не повинна перевищувати  $40 \text{ кд/м}^2$ , яскравість стелі при застосуванні системи відбивного освітлення не повинна перевищувати  $200 \text{ кд/м}^2$ .

Необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з відеотерміналом, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) – 5:1.

Необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення. Необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли.

#### 4.4. Висновки до розділу 4

В даному розділі описані актуальні питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони праці. Була опрацьована інформація стосовно вимог з охорони праці і техніки безпеки, пожежної та електробезпеки. Також, розглянуті питання щодо оцінки стійкості роботи об'єкта до дії проникаючої радіації і радіоактивного забруднення місцевості, які виникають після ядерного вибуху та освітлення виробничих приміщень для роботи з ВДТ в локальній комп'ютерній мережі.

## ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи були запропоновані та досліджені сучасні підходи до процесу визначення рівня насичення киснем у крові. Застосування технологій ІоМТ виявилось досить перспективним для розробки системи дистанційного моніторингу. Реалізація взаємодії сучасних давачів, алгоритмів обробки даних та хмарних ІоТ платформ, сприяли створенню ефективної системи, яка дозволяє в реальному часі відслідковувати стан здоров'я. Основні результати полягають у наступному:

1. Проведено глибокий аналіз методів визначення рівня насичення киснем в крові людини. Визначені переваги, недоліки і потенційні обмеження кожного з методів та технологій.

2. Здійснено порівняльний аналіз різних методів дистанційного контролю рівня насичення киснем крові. Визначено оптимальний метод, враховуючи його точність, надійність та вартість впровадження.

3. Розроблена та реалізована апаратна частина системи, яка забезпечує збір надійних та точних даних про рівень кисню в крові. Реалізовано можливість відображення результатів на дисплеї для зручності користувача.

4. Розроблено програмне забезпечення для обробки, передачі та збереження зібраних даних на хмарний ІоТ сервіс з метою аналізу та збереження медичних даних пацієнтів.

5. Проведено експериментальні дослідження з метою оцінки ефективності розробленої системи моніторингу. Здійснено аналіз отриманих результатів та визначено відповідність системи поставленим вимогам.

Результати досліджень свідчать про потужний вплив сучасних технологій на поліпшення якості медичного моніторингу. Зокрема, використання ІоМТ технологій дозволяє забезпечити швидку передачу та обробку даних, зменшити витрати на медичний персонал та підвищити доступність моніторингу для пацієнтів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельник А.О., Морозов Ю.В., Гаваньо Б.І., Гупало П.А. Біомедична кіберфізична система цілодобового моніторингу функцій легень у пацієнтів із COVID-19. Львів: Видавництво Львівської політехніки. Vol. 2, No. 1. 2020. С. 1-5.
2. Beaney T., Clarke J. Home oxygen monitoring and therapy: learning from the pandemic. *Current Opinion in Critical Care*. Vol. 29, No. 1. 2023. P. 34-39.
3. Івченко П.О. Порівняльна характеристика та принцип роботи пульсоксиметра та сенсора кисню. Матеріали XX Міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи”, Київ : КПІ ім. І. Сікорського. 2021. С. 108-109.
4. Merkepçi M., Ozyazıcı M., Dogru N. Photoplethysmography based instant remote monitoring of noninvasive blood pressure and oxygen saturation by using zigbee network. *Biomedical Research*, Vol. 29, Issue 11. 2018. P. 2401-2404.
5. Casalino G., Castellano G., Zaza G. A mHealth solution for contact-less self-monitoring of blood oxygen saturation. In 2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). 2020. P. 1-7.
6. Rohmetra H., Raghunath N., Narang P., Chamola V., Guizani M., Lakkaniga N. R. AI-enabled remote monitoring of vital signs for COVID-19: methods, prospects and challenges. *Computing*. Vol. 105. 2021. P. 783-809.
7. Chen Q., Tang L. A wearable blood oxygen saturation monitoring system based on bluetooth low energy technology. *Computer Communications*. Vol. 160. 2020. P. 101-110.
8. Ding S., Wang X. Medical remote monitoring of multiple physiological parameters based on wireless embedded internet. *IEEE Access*. Vol. 8, 2020. P. 78279-78292.
9. Kalyuzhner Z., Agdarov S., Bennett A., Beiderman Y., Zalevsky Z. Remote photonic sensing of blood oxygen saturation via tracking of anomalies in micro-saccades patterns. *Optics express*, Vol. 29, No. 3, 2021. P. 3386-3394.
10. Павлов С.В., Колісник П.Ф., Куленко С.С., Денісюк В.О., Навроцька О.В. Оптико електронні технології для пульсодіагностики. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Біомедичні оптико-електронні системи та прилади. Том 15, № 1. 2008. С. 136-143.

11. Бездротовий пульсоксиметр iHealth. URL: <https://beri.ua/ua/p1279515564-besprovodnoj-pulsoksimetr-ihealth.html/> (дата звернення: 02.10.2023).

12. Кишеньковий пульсоксиметр MD300K2. URL: <https://rehamed.in.ua/karmanniy-pulsoksimetr-md300k2-7191-uk.html?lang=ua> (дата звернення: 03.10.2023).

13. Монітор пацієнта VM800C. URL: <https://epikriz.com.ua/uk/monitor-pacienta-vm800s.html> (дата звернення: 04.10.2023).

14. Вороненко О.В., Галелюка І.Б., Романов В.О., Мінцер О.П. Технології штучного інтелекту в медичній практиці. Медична інформатика та інженерія. № 2. 2020. С. 17-27.

15. Дорош О., Ермакова І., Кучмій Г., Бойко О., Дорош Н. Застосування медичних мобільних засобів для створення інфокомунікаційної системи вимірювання та аналізу показників, що характеризують стан здоров'я людини. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. № 2. 2017. С. 139-142.

16. Дорош Н.В., Ільканич К.І., Дорош О.І., Бойко І.Р. Мобільні технології для моніторингу показників стану здоров'я. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. № 3 (73). 2017. С. 47-50.

17. Пархоменко А.В., Туленков А.В., Гладкова О.М., Залюбовський Я.І. Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі: навчальний посібник. Житомир: ПП «Євро-Волинь». 2021. 200 с.

18. Shi C., Goodall M., Dumville J., Hill J., Norman G., Hamer O., Clegg A., Watkins C.L., Georgiou G., Hodkinson A., Lightbody C.E., Dark P., Cullum N. The accuracy of pulse oximetry in measuring oxygen saturation by levels of skin pigmentation: a systematic review and meta-analysis. BMC medicine. Vol. 20, No. 1. 2022. 267.

19. 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.

20. Паламар А.М., Сомін Д.С., Волоський В.П. Комп'ютерна система для віддаленого спостереження за рівнем насичення киснем крові людини. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. С. 427.

21. Паламар А.М., Сомін Д.С. Комп'ютеризована система моніторингу рівня насичення киснем крові людини на основі ІоМТ. Матеріали ХІ науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 177.

22. Сомін Д.С., Паламар А.М., Волоський В.П. Переваги WebAssembly як інструмента реалізації алгоритмів у ресурсомістких веб-додатках. Матеріали Х науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 130.

23. Купратий І.Г., Паламар А.М. Комп'ютерна система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей ХІ міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 142.

24. Паламар А.М., Купратий І.Г. Система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі інтернету медичних речей. Матеріали Х науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 85.

25. Palamar A., Karpinsky M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

26. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

27. Palamar A., Karpinsky M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

28. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

29. Vasylykivskiy I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355–362.

30. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

31. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

32. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

33. Паламар А.М., Осов'як І.І. Комп'ютерна інформаційно-вимірювальна система для моніторингу пристроїв безперебійного електроживлення. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції "Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми, перспективи", Тернопіль: ТзОВ "Видавництво Астон", 2015. С. 111-112.

34. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

35. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

36. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

37. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Функціональна схема системи керування зовнішнім освітленням на основі технології LoRa. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 124.

38. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі IoT. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей Х міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.

39. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

40. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. 3468. P. 164-172.

41. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 551 с.

42. Желібо Є. П., Сагайдак І. С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник для аудиторної та практичної роботи. К.: ЕКОМЕН. 2011. 200 с.

43. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2010. 417с.

44. Депутат О. П., Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. Навчальний посібник. За редакцією полковника В.С. Франчука. Львів: Афіша. 2000. 336 с.



Додаток А  
Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина)  
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)  
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)  
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

# АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Збірник**  
тез доповідей

**ХІІ Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
6-7 грудня 2023 року



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

**УДК 681.518.3**

**А. М. Паламар, канд. техн. наук, доц., Д. С. Сомін, В. П. Волоський**  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

**КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА  
РІВНЕМ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ**

**A. M. Palamar, Ph.D, Assoc. Prof., D. S. Somin, V. P. Voloskyi**  
**COMPUTER SYSTEM FOR HUMAN BLOOD OXYGEN LEVEL REMOTE  
MONITORING**

Розвиток інформаційних технологій та їх вплив на галузь охорони здоров'я акцентує увагу на можливостях щодо підвищення ефективності процесу моніторингу стану здоров'я населення. Однією з ключових характеристик, яка вказує на стан організму людини, є рівень насичення крові киснем. У цьому контексті актуальною задачею є розробка та впровадження сучасних комп'ютерних систем для віддаленого моніторингу цього важливого показника [1].

Однією з найважливіших проблем у сфері охорони здоров'я є нестача засобів для ефективного та безперервного спостереження за рівнем кисню у крові, особливо в умовах віддаленого моніторингу. Тому виникає необхідність у створенні інноваційних систем, які дозволять здійснювати надійний та точний моніторинг в режимі реального часу.

Метою даного дослідження є розробка та апробація комп'ютерної системи віддаленого спостереження за рівнем насичення кисню в крові людини, що базується на принципах концепції Інтернету медичних речей [2].

Пропонована система побудована з використанням сучасних компонентів, таких як WiFi модуль ESP8266, OLED-дисплей та датчик MAX30102. Ці компоненти взаємодіють між собою з використанням I<sup>2</sup>C протоколу, забезпечуючи збір, обробку та передачу даних про насиченість крові киснем на віддалений сервер для збереження та аналізу.

Застосування цієї системи дозволяє здійснювати віддалене спостереження за рівнем насичення киснем у крові без необхідності прямого фізичного втручання. Такий підхід забезпечує швидкий та ефективний збір даних в режимі реального часу. Розроблена комп'ютерна система є перспективною та ефективною інновацією в галузі медичних технологій. Вона відповідає всім вимогам щодо точності, ефективності та безперервності моніторингу. Її впровадження може покращити якість надання медичної допомоги та зробити процес моніторингу доступнішим та зручнішим для пацієнтів і медичного персоналу.

**Література**

1. Купратий І.Г., Паламар А.М. Комп'ютерна система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 142.

2. Паламар А.М., Купратий І.Г. Система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі інтернету медичних речей. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 85.

38.	<b>Т. Крамар</b> ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ АВТОМАТИЧНЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПУНКТІВ НЕЗЛАМНОСТІ ПІД ЧАС ВІДКЛЮЧЕНЬ У ЗИМІ 2023 В ПРИФРОНТОВИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ	415
39.	<b>Б. Б. Млинко, О. П. Стефанюк</b> АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІГРОВИХ РУШІЇВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ	417
40.	<b>Н. М. Коцюк, В. Д. Тимошук, Ю. О. Момоток, Н. С. Луцик</b> СИСТЕМА РЕЗЕРВУВАННЯ ТРАФІКУ НА ОСНОВІ МІКРОТІК	419
41.	<b>В. В. Васишин, В. Д. Тимошук, Н. Ю. Кітчак, Н. С. Луцик</b> АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ АТТІNU85, АТМЕGA8, RP2040	420
42.	<b>А. М. Ковтко, Н. В. Лещук, І. Р. Козбур, І. В. Коноваленко</b> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ	421
43.	<b>О. Ю. Замора, А. В. Немеришин, І. Р. Козбур, О. Р. Дмитрів</b> АНАЛІЗ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛІВ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ	423
44.	<b>М. В. Дрогобицький, Н. С. Луцик, А. М. Паламар</b> КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ ШУМУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	425
45.	<b>І. В. Лилик, А. М. Паламар</b> КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	426
46.	<b>А. М. Паламар, Д. С. Сомін, В. П. Волоський</b> КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РІВНЕМ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ	427
47.	<b>М. В. Криховецький</b> МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ДРОНІВ НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	428
48.	<b>Д. І. Муштин</b> МОБІЛЬНА МЕТЕОСТАНЦІЯ ДЛЯ ОБПРИСКУВАЧА	431
49.	<b>Л. Є. Мосій, І. В. Струтинська, Г. В. Козбур</b> РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЦИФРОВІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ.	432
50.	<b>О. Є. Подвисоцький; Н. Б. Стадник</b> МЕТОДИ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ	435
51.	<b>А. М. Паламар, Р. О. Романчук</b> КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ПИЛОМ	436
52.	<b>Є. В. Тиш, Р. І. Шалапай</b> ТИПИ ВИМОГ ДО КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І МЕТОДИ ЇХ ВИЯВЛЕННЯ	437
53.	<b>А. М. Луцків, С. В. Макогон</b> НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ В АУДІОПОТІК	438
54.	<b>В. В. Яцишин канд. І. М. Кучма</b> ПОБУДОВА ОНТОЛОГІЙ ЯК СПОСІБ ЕФЕКТИВНОГО	439

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

ХІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»



13-14 грудня 2023 року

ТЕРНОПІЛЬ  
2023

УДК 681.518.3

**А.М. Паламар, канд. техн. наук, доц., Д.С. Сомін**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ  
КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ІОМТ**

**A.M. Palamar, Ph.D, Assoc. Prof., D.S. Somin**

**COMPUTERIZED SYSTEM FOR MONITORING HUMAN BLOOD OXYGEN  
SATURATION LEVEL BASED ON IOMT**

Питання здоров'я стає все більш важливим у сучасному світі. Один із ключових показників стану здоров'я людини – насиченість киснем крові, має велике значення для вчасної діагностики та лікування різних захворювань. У зв'язку з цим, актуальною є потреба в розробці інноваційних засобів контролю, які б забезпечували ефективний та зручний метод вимірювання рівня насиченості киснем крові. Мета цього дослідження – створення комп'ютеризованої системи моніторингу насиченості киснем в крові людини на базі концепції Internet of Medical Things (IoMT).

Розроблена ІоМТ система включає в себе сучасні медичні давачі, які вимірюють рівень кисню в крові. Ці дані передаються безпосередньо до центральної хмарної платформи через інтернет. Головним компонентом системи є мікроконтролер ESP8266, який отримує, обробляє і надсилає дані до ІоТ сервера. Таким чином користувач отримує доступ до інформації через веб-інтерфейс або мобільний додаток (рис. 1).



Рисунок 1. Структура системи моніторингу насиченості киснем крові на основі ІоМТ

Основна функція системи – надавати в реальному часі дані про насиченість киснем крові пацієнта. Додатково система може вести статистику, створювати графіки, та надавати сповіщення у випадку виявлення аномалій. Система є ергономічною та легко інтегрується з іншими медичними технологіями. Її основними перевагами є точність та оперативність вимірювань і зручний віддалений доступ до результатів моніторингу.

<b>Ярослав Панчинин, Галина Осухівська</b> АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ <b>Yaroslav Panchyshyn, Halyna Osukhivska</b> ALGORITHMIC SUPPORT OF COMPUTERIZED SYSTEM REGULATING THE MINI- GREENHOUSE MICROCLIMATE	171
<b>Василь Яцишин, Олександр Пасіка, Сергій Куліков</b> ФРАГМЕНТ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ ЛОКАЛЬНОГО ПОРТАЛУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРИВАТНИМИ РЕСТОРАНАМИ <b>Vasyl Yatsyshyn, Oleksandr Pasika, Serhii Kulikov</b> THE LOCAL PORTAL INFORMATION PROFILE FRAGMENT OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR PRIVATE RESTAURANTS	172
<b>Василь Яцишин, Юрій Рапацький, Вікторія Яцишин</b> ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗАСОБУ ПІДТРИМКИ МЕТОДУ QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT <b>Vasyl Yatsyshyn, Yuriy Rapatskyi, Viktoria Yatsyshyn</b> THE LOCAL PORTAL INFORMATION PROFILE FRAGMENT OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR PRIVATE RESTAURANTS	173
<b>Богдан Роман, Константин Швирло</b> УПРАВЛІННЯ ДОКУМЕНТООБІГОМ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ ХМАРНИХ ПОСЛУГ ОБРОБКИ ДАНИХ <b>Bohdan Roman, Konstantyn Shvyrlo</b> DOCUMENT WORKFLOW MANAGEMENT OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION BASED ON CLOUD DATA PROCESSING SERVICES	174
<b>Р.М. Сабат, І.О. Баран</b> ОСНОВНІ МЕХАНІЗМИ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ДОСТАВКИ ДАНИХ В МЕРЕЖІ <b>R.M. Sabat, O. Baran</b> MAIN MECHANISMS FOR CONFIRMATION OF DATA DELIVERY ON THE NETWORK	176
<b>А.М. Паламар, Д.С. Сомін</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ІОМТ <b>A.M. Palamar, D.S. Somin</b> COMPUTERIZED SYSTEM FOR MONITORING HUMAN BLOOD OXYGEN SATURATION LEVEL BASED ON IOMT	177
<b>А.М. Лупенко, В. Ю. Степчук</b> РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ У ТРЕЙДИНГУ: СТРАТЕГІЇ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ТА КЕРУВАННЯ КАПІТАЛОМ <b>A.M. Lupenko, V.Yu. Stepchuk</b> RISK MANAGEMENT IN TRADING: RISK MITIGATION AND CAPITAL MANAGEMENT STRATEGIES	178
<b>А.М. Лупенко, В. Ю. Степчук</b> ТРЕЙДИНГ КРИПТОВАЛЮТАМИ: РИЗИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ВАЖЛИВІ ФАКТОРИ УСПІХУ В ЦИФРОВІЙ ТОРГІВЛІ <b>A.M. Lupenko, V.Yu. Stepchuk</b> CRYPTOCURRENCY TRADING: RISKS, OPPORTUNITIES AND IMPORTANT SUCCESS FACTORS IN DIGITAL TRADING	179
<b>С.А. Таран</b> ГОЛОВНІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ НОВИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ І ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ <b>S.A. Taran</b> MAIN ISSUES IN THE DEVELOPMENT OF NEW SPEECH RECOGNITION SYSTEMS AND WAYS TO ADDRESS THEM	180

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**МАТЕРІАЛИ**

**X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



**7–8 грудня 2022 року**

**ТЕРНОПІЛЬ  
2022**



УДК 004.43

**Д. Сомін, А. Паламар, В. Волоський**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## **ПЕРЕВАГИ WEBASSEMBLY ЯК ІНСТРУМЕНТА РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ У РЕСУРСОМІСТКИХ ВЕБ-ДОДАТКАХ**

UDC 004.43

**D. Somin, A. Palamar, V. Voloskyi**

## **WEBASSEMBLY ADVANTAGES AS A TOOL FOR ALGORITHMS IMPLEMENTATION IN HIGH-LOAD WEB APPLICATIONS**

Сьогодні великої популярності набуло використання веб застосунків для різноманітних обчислень. Разом з тим, процес їх розробки супроводжується низкою проблем: складність масштабування, швидкість виконання, вартість хостингу, тощо. Значним недоліком більшості веб платформ є абсолютне домінування мови JavaScript (JS) та її похідних, як інструменту розробки додатків.

Попри наявність сильних сторін, JavaScript має значні недоліки: низька ефективність та великий об'єм коду, відсутність типу даних «ціле число», повільна швидкість виконання, неповна підтримка стандартів та різна поведінка браузерів під час інтерпретації. Тому, актуальною задачею є оптимізація складних алгоритмів за допомогою інших мов програмування.

Одним із методів оптимізації JavaScript алгоритмів є технологія WebAssembly (Wasm), яка містить опис незалежного від браузера, універсального, низькорівневого проміжного коду для запуску застосунків, скомпільованих на різних мовах програмування, що має на меті компенсувати недоліки JavaScript.

Перевагами WebAssembly є можливість написання та компіляції певного коду на низькорівневих мовах програмування, таких як C++, Go, Rust, та використання його у веб додатках. Це дозволяє підвищити швидкість виконання окремих модулів веб додатків. Також, значною перевагою WebAssembly є можливість написання багато потокових програм.

В середньому Wasm є швидшим ніж JavaScript, але в кожному окремому випадку потрібно робити порівняння цих двох технологій, оскільки використання Wasm може дати як і набагато кращий результат так і навпаки. В значній мірі це залежить від браузера, який використовується для запуску веб додатка.

Як правило, Wasm добре показує себе там, де велика кількість операцій з пам'яттю, наприклад: шифрування, хешування, робота з масивами даних та інше. В серпні 2019 року була опублікована стаття [1], у якій автори реалізували можливість запуску під WebAssembly консольних утиліт Linux, для запуску бенчмарків. В результаті досліджень було виявлено, що швидкість виконання коду Wasm на 30 % вища, ніж JavaScript. Разом з тим, код, написаний на Wasm, на 50% повільніший ніж двійковий код. З моменту публікації, WebAssembly отримав популярність та кращу підтримку в браузерах, що збільшило його пікову і середню продуктивність.

Отже, для оптимізації роботи з даними у веб додатках доцільніше використовувати WebAssembly у порівнянні з JS, тому що приріст продуктивності може досягати 30 %.

### **Література**

1. Bearman D. Office of the Secretary: Evaluation of Email Records Management and Cybersecurity Requirements, ESP-16-03. The American Archivist. Vol. 80. No. 2. 2017. P. 459–462.



<b>Н. Свитак</b> ПІДВИЩЕНИЙ РІВЕНЬ ПРОКРАСТИНАЦІЇ В ЛЮДЕЙ ЧЕРЕЗ ЗБІЛЬШЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ І ДОСТУПУ ДО НЕЇ	
<b>N. Svytak</b> INCREASED LEVEL OF PROCRASTINATION IN PEOPLE DUE TO INCREASING INFORMATION AND ACCESS TO IT	128
<b>І. Сіжук, В. Бревус</b> РОЗРОБКА ЗВУКОВИХ ЕФЕКТИВ ДЛЯ ПЛАГІНІВ ВІРТУАЛЬНОЇ СТУДІЇ ЦИФРОВИХ ЗВУКОВИХ РОБОЧИХ СТАНЦІЙ	
<b>I. Sizhuk, V. Brevus</b> DEVELOPMENT OF SOUND EFFECTS FOR VIRTUAL STUDIO PLUG-INS` DIGITAL AUDIO WORKSTATIONS	128
<b>Д. Сомін, А. Паламар, В. Волоський</b> ПЕРЕВАГИ WEBASSEMBLY ЯК ІНСТРУМЕНТА РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ У РЕСУРСОМІСТКИХ ВЕБ-ДОДАТКАХ	
<b>D. Somin, A. Palamar, V. Voloskyi</b> WEBASSEMBLY ADVANTAGES AS A TOOL FOR ALGORITHMS IMPLEMENTATION IN HIGH-LOAD WEB APPLICATIONS	130
<b>І. Стефанишин, М. Петрик</b> ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ АНОРМАЛЬНИХ НЕРВОЛОГІЧНИХ РУХІВ ЛЮДИНИ ПІД ДІЄЮ ТЕХНОГЕНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	
<b>I. Stefanyshyn, M. Petryk</b> DESIGN OF THE INFORMATION SYSTEM FOR THE IDENTIFICATION OF THE PARAMETERS OF ABNORMAL NEUROLOGICAL HUMAN MOVEMENTS UNDER THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL LOADS	131
<b>О. Сторожук</b> ТЕХНОЛОГІЯ БЛОКЧЕЙН В ОСНОВІ NFT	
<b>O. Storozhuk</b> NFT TECHNOLOGY BASED ON BLOCKCHAIN	132
<b>Є. Тимченко, Г. Цуприк</b> РОЗРОБКА РОЗУМНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА В СЕРЕДОВИЩІ EMBARCADERO RAD STUDIO XE	
<b>Ye. Tymchenko, H. Tsupryk</b> DEVELOPMENT OF A ACCOUNTING SMART SYSTEM OF COMPUTER NETWORK SERVICE OF THE ENTERPRISE IN THE EMBARCADERO RAD STUDIO XE ENVIRONMENT	133
<b>СЕКЦІЯ 5. НОВІТНІ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ТА ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<b>Я. Войтович, А. Лупенко</b> МЕТОДИ ПОБУДОВИ ШИРОКОСМУГОВИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ	
<b>Y. Voitovych, A. Lupenko</b> METHODS OF BUILDING BROADBAND ACCESS NETWORKS	134
<b>Ю. Попович</b> РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ, ВІДНОВЛЕНИХ РОБОТИЗОВАНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ	
<b>Yu. Popovych</b> DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED METHOD OF CONTROLLING THE SURFACES OF METAL STRUCTURES RESTORED BY ROBOTIC SURFACING	135