

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові
інсулінозалежних пацієнтів
Назва теми

КвРКІ 200113.20.01.14 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

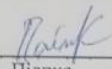
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

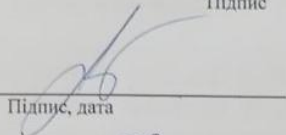
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-20-1


Підпис

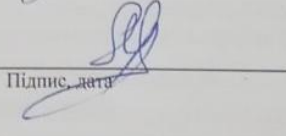
I. С. Пайонк
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Т. О. Говорущенко
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.М. Лисенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Т.О. Говорущенко
Ініціали, прізвище

«23» травня 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорушенко

“ 10 ” 01 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Пайонку Іллі Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Керівник проекту (роботи) Говорушенко Т.О., д.т.н., проф.

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

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

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

Дослідження предметної області та постановка задачі

Алгоритми моніторингу рівня цукру в крові

Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

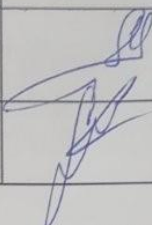
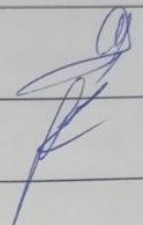
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Глюкозо-моніторингові системи

Неінвазивні системи моніторингу рівня глюкози

Архітектура та структура мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

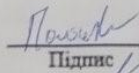
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

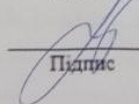
№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – алгоритми моніторингу рівня цукру в крові	01.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 – мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів	29.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент


Підпис

І. С. Пайонк
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Т. О. Говорущенко
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів».

Автор роботи: Пайонк Ілля Сергійович.

Керівник роботи: Говорущенко Тетяна Олександрівна.

Пояснювальна записка: 65 с., 22 рис., 0 табл., 3 дод., 54 джерела.

Графічна частина: 3 креслення.

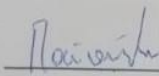
КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОБІЛЬНА КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА,
ІНВАЗИВНА ГЛЮКОЗО-МОНІТОРИНГОВА СИСТЕМА, НЕІНВАЗИВНА
ГЛЮКОЗО-МОНІТОРИНГОВА СИСТЕМА.

Метою роботи є забезпечення постійного моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів шляхом розроблення мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Предметом дослідження є мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Практичне значення має спроектована та реалізована мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідає за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, розрахувати кількість інсуліну, а також здійснити попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.


Підпис студента

30.05.2023
Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ..	5
1.1 Аналіз задачі моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів	5
1.2 Основи кіберфізичних систем.....	16
1.3 Висновки. Постановка задачі.....	18
2 АЛГОРИТМИ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЦУКРУ В КРОВІ.....	20
2.1 Алгоритми неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові.....	20
2.2 Неінвазивне вимірювання глюкози крові на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії.....	34
2.3 Висновки	34
3 МОБІЛЬНА КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЦУКРУ В КРОВІ ІНСУЛІНОЗАЛЕЖНИХ ПАЦІЄНТІВ.....	39
3.1 Проектування архітектури мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів	39
3.2 Структура мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.....	48
3.3 Висновки	56
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	60
ДОДАТОК А Копія креслення «Глюкозо-моніторингові системи».....	66
ДОДАТОК Б Копія креслення «Неінвазивні системи моніторингу рівня глюкози».....	67
ДОДАТОК В Копія креслення «Архітектура та структура мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів»	68

КвРКІ 200113.20.01.14 ПЗ					
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	
Виконав	Пайонк І.С.		<i>Пайонк І.С.</i>	22.05	
Перевір.	Говорущенко Т.О.		<i>Говорущенко Т.О.</i>	22.05	
Н.контр.	Лисенко С.М.		<i>Лисенко С.М.</i>	22.05	
Затвер.	Говорущенко Т.О.		<i>Говорущенко Т.О.</i>	22.05	
Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів. Пояснювальна записка					
			Літера	Аркуш	Аркушів
			у	2	65
ХНУ КІ2с-20-1					

ВСТУП

Цукровий діабет – ендокринне захворювання, яке характеризується порушенням роботи підшлункової залози і, як наслідок, повним або частковим припиненням вироблення гормону «інсулін» або зниження чутливості інсулінозалежних тканин до дії інсуліну. Це синдром хронічної гіперглікемії, що призводить до порушення всіх видів обміну речовин, перш за все вуглеводного, ураження судин, нервової системи (нейропатії), а також інших органів і систем [1].

За статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я кількість людей, які страждають на цукровий діабет, складає більше 422,6 мільйонів чоловік, що становить 8,5% від населення світу. Цукровий діабет призводить до інших захворювань, таких як повна або часткова втрата зору, печінкова недостатність, інфаркт, інсульт, захворювання судин, ампутація нижніх кінцівок. Це захворювання займає сьому сходинку захворювань, які найчастіше призводять до інвалідності та смертності населення в світі. Майже половина випадків смерті від цього захворювання трапляється з людьми віком до 70 років, 55% з них – жінки. Жахливим фактом є те, що тенденція захворювання зростає та «молодшає». До початку 2000-х років цукровий діабет найчастіше був виявлений у людей старше 25 років, проте наразі 15% людей, що мають це захворювання, – діти та підлітки віком до 20 років [2].

Людям з захворюванням на цукровий діабет життєво необхідно підтримувати нормальний рівень глюкози в крові. Визначення цього показника є обов'язковою процедурою при взятті загального аналізу крові кожного пацієнта, що потрапляє в поліклініку або стаціонар. Проте для хворих на цукровий діабет дану маніпуляцію необхідно проводити постійно. Регулярне визначення рівня глюкози в крові дозволяє хворим розраховувати кількість інсуліну або цукрознижуючих препаратів, що потрібно ввести в організм [3].

Контроль глюкози є важливим компонентом життя кожної людини хворої на цукровий діабет, тому найважливіше, якщо такий процес буде максимально швидким, безболісним та точним [4-6].

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На даний момент найрозповсюдженішим методом є проколення пальця людини і вилучення краплі крові на тест-смужку, що є складовою глюкометра, який наразі найчастіше використовується для вимірювання рівня цукру в крові. Тест-смужка містить на собі хімічні речовини, чутливі до глюкози в зразку крові. Цей метод є найбільш доступним, але не завжди зручним.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення постійного моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів шляхом розроблення мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Поставлена мета досягається розв'язанням такої основної задачі: розроблення мобільної кіберфізичної системи [7-11] моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідатиме за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також здійснення попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Предметом дослідження є мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Для досягнення поставленої мети використовуються такі методи дослідження, як методи синтезу, аналізу та моделювання процесів, принципи системного аналізу, теоретико-множинні підходи.

Практичне значення має спроектована та реалізована мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідає за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також здійснення попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз задачі моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Цукровий діабет – ендокринне захворювання, яке характеризується порушенням роботи підшлункової залози і, як наслідок, повним або частковим припиненням вироблення гормону «інсулін» або зниження чутливості інсулінозалежних тканин до дії інсуліну. Це синдром хронічної гіперглікемії, що призводить до порушення всіх видів обміну речовин, перш за все вуглеводного, ураження судин (ангіопатії), нервової системи (нейропатії), а також інших органів і систем [1]. Це хронічне метаболічне захворювання, що характеризується підвищеним рівнем цукру в крові (глюкозою). Це стан, при якому організм не виробляє достатньо інсуліну або не використовує його ефективно. Це хронічне захворювання, яке пов'язане зі збільшеним рівнем цукру (глюкози) в крові. Це стан виникає тоді, коли панкреас не виробляє достатньо інсуліну або організм не використовує інсулін належним чином [12-14].

Розрізняють наступні типи діабету.

Цукровий діабет першого типу – це повне або часткове припинення секреції інсуліну підшлунковою залозою. Цей тип діабету розвивається, коли імунна система організму атакує і знищує клітини підшлункової залози, які виробляють інсулін. Це призводить до того, що тіло не може виробляти достатню кількість інсуліну, щоб контролювати рівень глюкози в крові. Цей тип захворювання проявляється одразу після народження, в дитячому або підлітковому віці. Зазвичай причиною є спадковість. Розповсюдженість першого типу цукрового діабету становить 10-15% від всіх випадків діабету. При цьому типі основним методом регулювання глюкози в крові є інсулінотерапія, яка проводиться у вигляді введення штучного інсуліну в жирові тканини людини за допомогою ін'єкцій, що дозволяє збалансувати обмін речовин в організмі [4]. Людям з діабетом першого типу потрібно залежно від необхідності вводити інсулін для контролю рівня цукру в крові [12].

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цукровий діабет другого типу – зниження чутливості оболонки клітин до інсуліну, що надходить, в деяких випадках супроводжується порушенням секреції інсуліну підшлунковою залозою. Цей тип діабету відбувається, коли організм не виробляє достатньо інсуліну або не використовує його ефективно. Діабет другого типу виникає, коли організм стає менш чутливим до дії інсуліну, або панкреас не виробляє достатньо інсуліну. Цей тип діабету зазвичай розвивається повільно. Це найпоширеніший тип діабету, який часто пов'язаний з неправильним способом життя, включаючи неправильне харчування, недостатню фізичну активність і зайву вагу. Вважається набутим і зазвичай виявляється у людей в більш дорослому віці, які мають захворювання пов'язані з порушенням обміну речовин, надлишкову вагу. Діабет другого типу серед 85-90 відсотків всіх випадків цукрового діабету у людей дорослого віку. Захворювання розвивається повільно, що часто є причиною несвоєчасного виявлення. Рівень глюкози в крові підтримується завдяки вживанню цукрознижуючих препаратів, рідше інсулінових ін'єкцій, дотриманню дієти та регулярним фізичним навантаженням. Лікування діабету другого типу може включати зміни в харчуванні, фізичну активність, прийом оральних препаратів, ін'єкції інсуліну або комбінацію цих методів [13-16].

Гестаційний діабет – цей тип діабету виникає у вагітних жінок, які раніше не мали діабету. Зазвичай він зникає після пологів, але жінки, які мали гестаційний діабет, мають підвищений ризик розвитку діабету другого типу у майбутньому [17, 18].

Рівень глюкози в здорової людини в крові повинен досягати від 4,0 до 6,0 ммоль / л.

Характерним для захворювання цукровий діабет обох типів є настання стану гіпер- та гіпоглікемії. Гіперглікемія – симптом підвищення концентрації глюкози в крові відносно норми. Фактично гіперглікемія є основною характеристикою захворювання цукрового діабету, але при значному перевищенні норми та довготривалому перебуванні в стані гіперглікемії може настати стан діабетичної коми та інших серйозних порушень функціонування організму. Гіпоглікемія –

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

патологічний стан, що характеризується зниженням концентрації глюкози в крові нижче норми та спричиняє голодування клітин. Супроводжується порушенням і підвищеною агресивністю, тривогою, відчуттям страху, дезорієнтацією, викликає надлишкову пітливість, аритмію, порушення координації та уваги [5].

Симптоми цукрового діабету можуть включати багато напрямків, такі як збільшену спрагу, збільшену сечовипускання, загальну слабкість, сонливість, проблеми зі зрістом, кожні проблеми і інші. Лікування цукрового діабету зазвичай включає дієту, фізичну активність, ліки, які знижують рівень глюкози в крові, і, у деяких випадках, інсулінотерапію [14, 17].

Контроль рівня цукру в крові, збалансоване харчування і здоровий спосіб життя є ключовими аспектами у керуванні цукровим діабетом. Ось деякі загальні рекомендації [19-21]:

1) стеження за раціоном харчування – збалансована дієта, яка включає комплексні вуглеводи (які повільно підвищують рівень цукру в крові), багато овочів та фруктів, мінімізація споживання простих цукрів та насичених жирів, розподіл прийому їжі на декілька невеликих прийомів протягом дня;

2) управління вагою – підтримка здорової ваги або докладання зусиль для зниження ваги, що може поліпшити чутливість до інсуліну і контроль рівня цукру в крові;

3) регулярна фізична активність (особливо аеробні вправи, такі як ходьба, плавання, їзда на велосипеді, а також силові тренування) допомагає знижувати рівень цукру в крові і покращує чутливість до інсуліну;

4) медикаментозне лікування – в деяких випадках може знадобитися прийом оральних препаратів або інсуліну для контролю рівня цукру в крові; при цукровому діабеті першого типу інсулін необхідний для життя, тому введення інсуліну є обов'язковим;

5) регулярні медичні огляди – важливо регулярно відвідувати лікаря для перевірки рівня цукру в крові, а також для виявлення можливих ускладнень і внесення необхідних коригувань в схему прийому медикаментозних препаратів;

					КвРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) самоконтроль глюкози в крові – регулярне вимірювання рівня цукру в крові з метою контролювати показників та вчасного виявлення відхилень;

7) уникення стресу – стрес може впливати на рівень цукру в крові, тому варто застосовувати стратегії зняття стресу, такі як йога, медитація, релаксаційні вправи або хобі;

8) прийом ліків належним чином з дотриманням рекомендацій щодо дозування та режиму прийому;

9) запобігання ускладненням – діабет може призвести до різних ускладнень, таких як серцево-судинні захворювання, проблеми з нирками, очима та нервовою системою; важливо вести здоровий спосіб життя, вживати заходи для контролю рівня цукру в крові і регулярно проходити медичні огляди для виявлення та лікування можливих ускладнень;

10) вивчення інформації про діабет – про симптоми гіпоглікемії (низький рівень цукру в крові) та гіперглікемії (високий рівень цукру в крові), про їх розпізнавання, про правильне харчування, фізичну активність і методи контролю цукрового діабету.

Інсулінотерапія та прийом препаратів (розрахунок доз, частота та особливості застосування) призначається лікарем, проте виконується самими хворими щодня в домашніх умовах. Оскільки рівень глюкози в крові може змінюватися після фізичних навантажень, залежно від емоціонального стану людини та інших факторів, бажано вимірювати рівень глюкози перед кожним застосуванням препарату. Ця маніпуляція стала можливою завдяки глюкометрам, які можна експлуатувати в домашніх умовах без нагляду лікаря та сторонньої допомоги [6].

Регулярний моніторинг рівня цукру допоможе [22-24]:

- 1) збільшити впевненість при піклуванні про здоров'я;
- 2) краще зрозуміти взаємозв'язок між рівнем глюкози в крові та вправами, які виконуються, тим, що людина приймає в їжу;
- 3) мати увагу, як спосіб життя і ліки впливають на рівень цукру;

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) дізнатись негайно чи рівень цукру високий (гіперглікемія) або дуже низький (гіпоглікемія), тим самим приймати важливі рішення, чи приймати їжу перед тренуванням, які лікарські засоби прийняти або чи звернутись за медичною допомогою;

5) бути в курсі, коли звернутися за консультацією щодо регулювання дозування кількості інсуліну, пігулок, внесення змін до раціону харчування, коли рівень цукру не відповідає нормі.

Збір показників цукру у крові відіграє важливу роль для своєчасного, правильного лікування і контролю діабету.

Система моніторингу рівня цукру в крові – це дуже важливий інструмент для людей, які страждають на діабет. Такі системи дають змогу контролювати рівень глюкози в крові та вживати необхідних заходів для підтримання його в нормі. Існують різні типи моніторів, включаючи безперервні глюкозні монітори, які надають більш точну інформацію про рівень цукру в крові в режимі реального часу. Це може допомогти людям з діабетом керувати своїм захворюванням і зменшити ризик ускладнень [25].

Глюкозний монітор – це медичний пристрій, який використовується для вимірювання рівня глюкози в крові. Він працює за допомогою тест-смужок, які взаємодіють із краплею крові, отриманою за допомогою ланцета. Після того, як крапля крові потрапляє на тест-смужку, глюкозний монітор вимірює рівень глюкози і відображає результат на екрані. Це дає змогу людям із діабетом контролювати рівень глюкози в крові та вживати необхідних заходів для управління своїм захворюванням.

Системи моніторингу рівня цукру в крові є двох типів – інвазивні та неінвазивні.

Інвазивний моніторинг рівня цукру в крові використовується для точного та постійного контролю рівня глюкози у людей з цукровим діабетом. Цей метод вимагає введення датчика або сенсора безпосередньо в організм для вимірювання рівня глюкози [26-31].

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Один із типів інвазивного моніторингу цукру в крові – це неперервна глюкозо-моніторингова система (CGM) – рис. 1.1. Ця система включає сенсор, який вставляється під шкіру, зазвичай на шиї, животі або плечі. Сенсор міряє рівень глюкози у міжклітинній рідині і передає дані до зовнішнього пристрою, який відображає неперервний глюкозамір. Деякі CGM-системи також можуть надсилати сповіщення про високі або низькі рівні глюкози для негайної реакції.

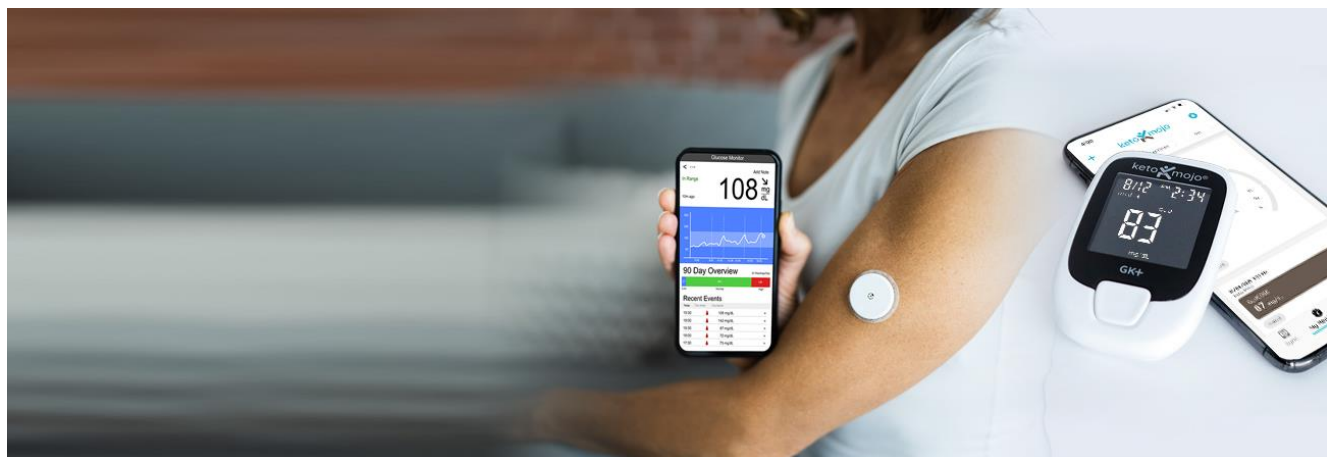


Рисунок 1.1 – Неперервна глюкозо-моніторингова система (CGM)

Іншим типом інвазивного моніторингу є субкатанна глюкозо-моніторингова система (FGM) – рис. 1.2. Ця система використовує аналогічний сенсор, вставлений під шкіру, який міряє рівень глюкози в міжклітинній рідині. Однак, дані з сенсора можуть бути прочитані лише за допомогою зчитувача, який накладається на шкіру над сенсором.



Рисунок 1.2 – Субкатанна глюкозо-моніторингова система (FGM)

Обидва типи систем, CGM і FGM, надають інформацію про динаміку рівня глюкози, включаючи тенденції підвищення або зниження глюкози, що допомагає керувати цукровим діабетом і приймати рішення щодо лікування, включаючи дозу інсуліну та дієтичні зміни.

Переваги інвазивного моніторингу рівня цукру в крові включають [26-31]:

1) неперервний моніторинг: системи CGM та FGM надають постійну інформацію про рівень глюкози, що дозволяє бачити динаміку змін та реагувати належним чином;

2) тенденції та сповіщення: деякі системи CGM та FGM можуть надсилати сповіщення про високі або низькі рівні глюкози, що дозволяє вчасно вжити заходів для нормалізації рівня цукру;

3) допомога в прийнятті рішень: за допомогою інформації, наданої інвазивним моніторингом, можна краще розуміти вплив харчування, фізичної активності та лікування на рівень глюкози в крові, що допомагає приймати кращі рішення щодо лікування діабету.

Однак, інвазивний моніторинг також має свої обмеження та недоліки:

1) вартість: CGM-системи та FGM-системи можуть бути дорогі, включаючи витрати на сенсори, зчитувачі та інші необхідні компоненти;

2) потреба в точності: хоча інвазивний моніторинг надає більш точні дані, ніж традиційні методи вимірювання глюкози, все ж існує певна міра похибки вимірювання, яку треба враховувати.

3) вимоги до догляду та обслуговування: системи інвазивного моніторингу потребують правильного догляду та обслуговування – регулярної заміни сенсорів, правильного калібрування системи та дотримання інструкцій виробника щодо догляду за сенсором та зчитувачем;

4) ризик інфекцій та ускладнень: вставлення сенсора або датчика під шкіру може збільшити ризик інфекцій та інших ускладнень; важливо дотримуватись правильних процедур гігієни та догляду за вставленим сенсором, щоб зменшити цей ризик;

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) відчуття дискомфорту або болю: деякі люди можуть відчувати дискомфорт або біль під час вставлення сенсора або носіння системи моніторингу; це може бути особливо важливим для людей зі шкірними проблемами або чутливістю до матеріалів;

б) вплив зовнішніх факторів: деякі зовнішні фактори, такі як підвищена вологість, температура або магнітні поля, можуть впливати на роботу системи моніторингу.

Перед використанням інвазивного моніторингу рівня цукру в крові, важливо проконсультуватись зі своїм лікарем та отримати докладну інформацію про системи, які доступні в вашому регіоні, їх переваги та недоліки, а також процес їх використання та догляду.

Неінвазивний моніторинг рівня цукру в крові використовується для неперервного контролю рівня глюкози без необхідності вставляти сенсор або датчик під шкіру. Ці методи базуються на вимірюванні глюкози за допомогою зовнішніх пристроїв, які не потребують проникнення в тіло. Однак, варто зазначити, що на сьогоднішній день неінвазивний моніторинг рівня цукру в крові ще не досяг такої точності та надійності, як інвазивні методи. Ось декілька сучасних типів неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові [32-46]:

1) спектроскопія ближнього інфрачервоного (NIR) – рис. 1.3: цей метод вимірює відбиття або поглинання інфрачервоного світла від тканин для визначення рівня глюкози і базується на тому, що рівень глюкози впливає на світлові характеристики тканин;

2) електрохімічні сенсори – рис. 1.4: цей метод використовує електроди, які реагують з глюкозою у крові і створюють електричний сигнал, що може бути вимірний, проте для точного вимірювання потрібно вирішити проблему впливу інших речовин на результати;

3) оптичні датчики – рис. 1.5: цей підхід використовує оптичні методи, такі як фотоплезмографія (вимірювання пульсу за допомогою світла), для визначення

змін глюкози в крові; ґрунтується на спостереженні залежності оптичних властивостей крові від рівня глюкози;

4) безконтактні технології – рис. 1.6: деякі дослідження розвивають нові методи неінвазивного моніторингу рівня глюкози, які не вимагають фізичного контакту з тілом; ці методи включають використання технологій, таких як радіохвильові, інфрачервоні або мікрохвильові пристрої для вимірювання рівня глюкози в організмі;

5) апаратура для дихання – рис. 1.7: деякі дослідження оцінюють зв'язок між глюкозою в крові та глюкозою в видихуваному повітрі; цей метод може потребувати спеціальної апаратури для дихання та аналізу видихуваного повітря.



Рисунок 1.3 – Неінвазивна глюкозо-моніторингова система на основі спектроскопії ближнього інфрачервоного (NIR)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

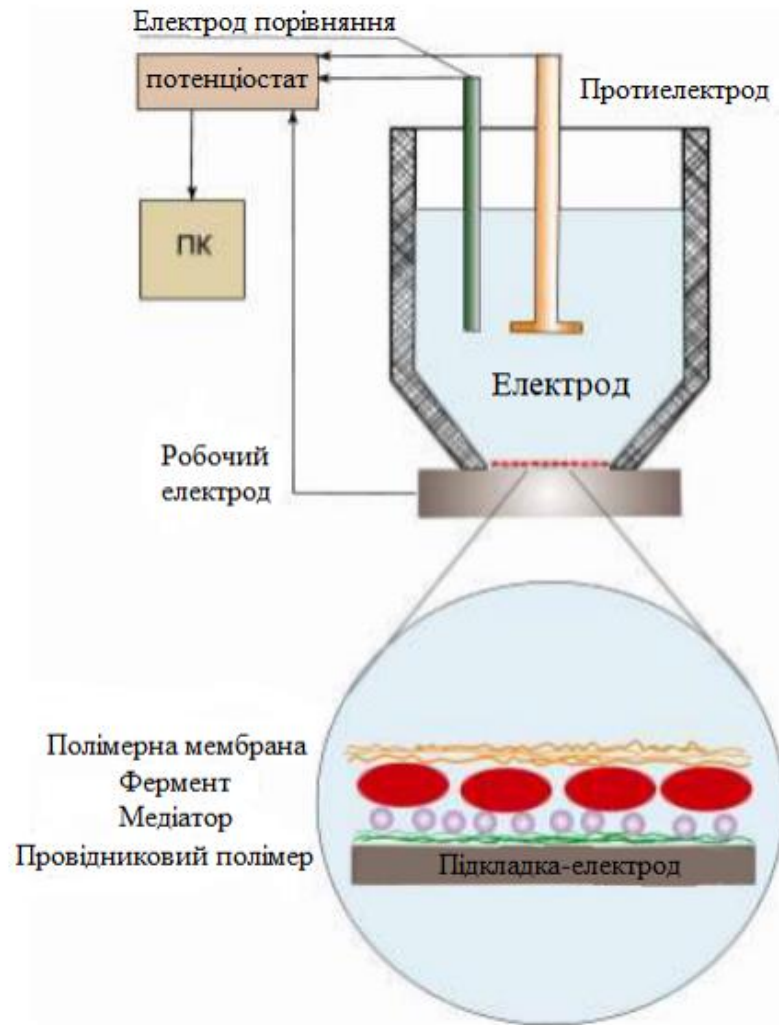


Рисунок 1.4 – Схема електрохімічного сенсору для неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові



Рисунок 1.5 – Оптичний датчик для неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові



Рисунок 1.6 – Безконтактний глюкометр для неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові



Рисунок 1.7 – Апарат для неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові на основі параметрів дихання

Варто зазначити, що хоча неінвазивний моніторинг рівня цукру в крові має потенціал у майбутньому, деякі з цих технологій все ще знаходяться в стадії дослідження та розробки. Точність та надійність їх вимірювань ще потребують додаткового вдосконалення.

Перш ніж використовувати будь-який метод неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові, важливо проконсультуватись зі своїм лікарем про доступні опції, їх переваги та обмеження.

Навіть із діагнозом «цукровий діабет» можна підтримувати нормальний рівень цукру. Щоб контролювати діабет, необхідно стежити за рівнем глюкози в крові протягом доби. Регулярна перевірка рівня цукру в крові дає змогу отримати показові дані та підібрати оптимальну терапію, яка дасть змогу жити повноцінним життям.

1.2 Основи кіберфізичних систем

Кіберфізична система (КФС) – це механізм, що контролюється або відстежується комп'ютерними алгоритмами і тісно пов'язаний з Інтернетом та його користувачами. В кіберфізичних системах програмне забезпечення тісно пов'язано з фізичними об'єктами. Компоненти КФС взаємодіють на різних часових та просторових рівнях та можуть мати різні, відмінні одна від одної моделі поведінки та взаємодіяти одна з одною різними шляхами, які можуть змінюватися в залежності від контексту. Прикладами кіберфізичних систем можна вважати розумні енергосистеми, безпілотні автомобільні системи, автоматизовані системи керування, робототехнічні системи, самокеровані літальні апарати [7-11].

У КФС використовується міждисциплінарний підхід, який поєднує теорію кібернетики, мехатроніку, промисловий дизайн та науковий метод. Контроль процесів часто пов'язують з вбудованими системами, в яких більше уваги приділяють обчислювальним складовим, і менше – інтенсивному прив'язуванню обчислень до фізичних об'єктів. КФС дещо схожі за архітектурою на Інтернет

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речей, проте вони мають більш високий рівень взаємозв'язку між фізичними та комп'ютерними компонентами.

Джерелами розвитку кіберфізичних систем стали різні за своєю специфікою сфери людської діяльності: аерокосмічна галузь, автомобільна промисловість, громадська інфраструктура, енергетика, охорона здоров'я, транспорт, розваги, побутова техніка та ін.

Головна ідея кіберфізичних систем тісно пов'язана з роботичними та сенсорними системами, які обладнані «розумними» механізмами з достатніми обчислювальними можливостями для достатнього керування. Завдяки постійному науковому прогресу, КФС зазнають періодичних змін, які покращують зв'язок між фізичними та обчислювальними компонентами за допомогою «розумних» механізмів, покращуючи таким чином здатність до адаптації, підвищуючи автономність, ефективність, надійність та безпечність та розширюючи функціональність кіберфізичних систем. Завдяки цьому потенціал їх використання розширюється у наступні виміри людської діяльності: втручання у процес водіння (напр., уникнення зіткнень), точність при проведенні операцій (напр., роботохірургія), рятувальні або дослідницькі операції (за участь робототехніки), координація перевезень (напр., повітряний трафік).

Мобільні КФС є перспективним напрямком досліджень та розробки. В якості прикладів можна навести мобільні роботичні системи або електронні пристрої, які можуть переноситися людиною. Зростання популярності смартфонів призвела до підвищення цікавості через можливість застосування їх як КФС з декількох причин:

1) надзвичайні обчислювальні потужності та великий об'єм сховища інформації;

2) різноманітні способи отримання та виведення різноманітної інформації – сенсорні екрани, камери, GPS-чипи, динаміки, мікрофони, світлові датчики, сенсори руху;

- 3) численні комунікаційні механізми для виходу в Інтернет або здійснення зв'язку з іншими пристроями — WiFi, 3G, EDGE, Bluetooth та ін.;
- 4) розробка програмного забезпечення за допомогою високорівневих мов програмування: Java, Objective C, JavaScript, ECMAScript або C#;
- 5) наявність каналів поширення додатків (Google Play Store та Apple App Store);
- 6) пристрій обслуговується кінцевим користувачем.

Для вирішення задач, які потребують більших ресурсів, ніж має пристрій, можна використовувати підключення до мобільних систем або хмарних сервісів, що мають достатньо потужностей. Прикладами мобільних КФС є додатки, які відстежують та аналізують викиди CO₂, виявляють затори на дорогах та сповіщають спеціальні служби про певні ситуації (ДТП, аварії, природні лиха). Останнім часом використання мобільних КФС широко поширюється в галузі охорони здоров'я для постійного моніторингу стану здоров'я пацієнтів.

1.3 Висновки. Постановка задачі

Цукровий діабет – ендокринне захворювання, яке характеризується порушенням роботи підшлункової залози і, як наслідок, повним або частковим припиненням вироблення гормону «інсулін» або зниження чутливості інсулінозалежних тканин до дії інсуліну. Це синдром хронічної гіперглікемії, що призводить до порушення всіх видів обміну речовин, перш за все вуглеводного, ураження судин (ангіопатії), нервової системи (нейропатії), а також інших органів і систем [1].

За статистичними даними Всесвітньої організації охорони здоров'я кількість людей, які страждають на цукровий діабет, складає більше 422,6 мільйонів чоловік, що становить 8,5% від населення світу. Цукровий діабет призводить до інших захворювань, таких як повна або часткова втрата зору, печінкова недостатність, інфаркт, інсульт, захворювання судин, ампутація нижніх кінцівок. Це захворювання

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

займає сьому сходинку захворювань, які найчастіше призводять до інвалідності та смертності населення в світі. Майже половина випадків смерті від цього захворювання трапляється з людьми віком до 70 років, 55% з них – жінки. Жахливим фактом є те, що тенденція захворювання зростає та «молодшає». До початку 2000-х років цукровий діабет найчастіше був виявлений у людей старше 25 років, проте наразі 15% людей, що мають це захворювання, – діти та підлітки віком до 20 років [2].

Людам з захворюванням на цукровий діабет життєво необхідно підтримувати нормальний рівень глюкози в крові. Визначення цього показника є обов'язковою процедурою при взятті загального аналізу крові кожного пацієнта, що потрапляє в поліклініку або стаціонар. Проте для хворих на цукровий діабет дану маніпуляцію необхідно проводити постійно. Регулярне визначення рівня глюкози в крові дозволяє хворим розраховувати кількість інсуліну або цукрознижуючих препаратів, що потрібно ввести в організм [3].

Контроль глюкози є важливим компонентом життя кожної людини хворої на цукровий діабет, тому найважливіше, якщо такий процес буде максимально швидким, безболісним та точним.

На даний момент найрозповсюдженішим методом є проколання пальця людини і вилучення краплі крові на тест-смужку, що є складовою глюкометра, який наразі найчастіше використовується для вимірювання рівня цукру в крові. Тест-смужка містить на собі хімічні речовини, чутливі до глюкози в зразку крові. Цей метод є найбільш доступним, але не завжди зручним.

В кваліфікаційній роботі слід розв'язати наступну задачу: розробити мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідатиме за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також здійснення попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АЛГОРИТМИ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЦУКРУ В КРОВІ

2.1 Алгоритми неінвазивного моніторингу рівня цукру в крові

Контроль глюкози можна виконувати різними способами: звичайним глюкометром або за допомогою сучасної технології безперервного моніторингу. Найбільш точним та ефективним на сьогодні є другий варіант. Використовуючи для визначення рівня цукру глюкометр, люди з діабетом змушені робити від 7 до 10 проколів пальців на день. Аналіз потрібно проводити натщесерце після пробудження, до їди та після неї, перед початком тренування та після закінчення занять, а також 1-2 рази вночі. Тому не всі люди з діабетом міряють рівень цукру в крові стільки разів на добу, скільки це справді необхідно. Особливо складно виміряти рівень глюкози в крові вночі. Для того, щоб діагностувати можливі гіпо- та гіперглікемії, які людина з діабетом пропускає, використовуючи глюкометр, можна встановити професійну систему добового моніторингу. Це компактний електронний прилад, який складається з приймача і датчика (сенсора глюкози). Датчик передає на приймач дані в онлайн-режимі – під час сну, на роботі, на тренуванні тощо. Рівень цукру в крові аналізується автоматично, інформація записується в пам'ять пристрою кожні 5 хвилин. Отримані дані дають змогу скоригувати лікування, щоб уникнути гіпо-, або гіперглікемій.

Як було зазначено вище, глюкозо-моніторингові системи поділяються на інвазивні, мінімально інвазивні та неінвазивні (рис. 2.1). Зараз все більшої популярності набувають неінвазивні глюкозо-моніторингові системи.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

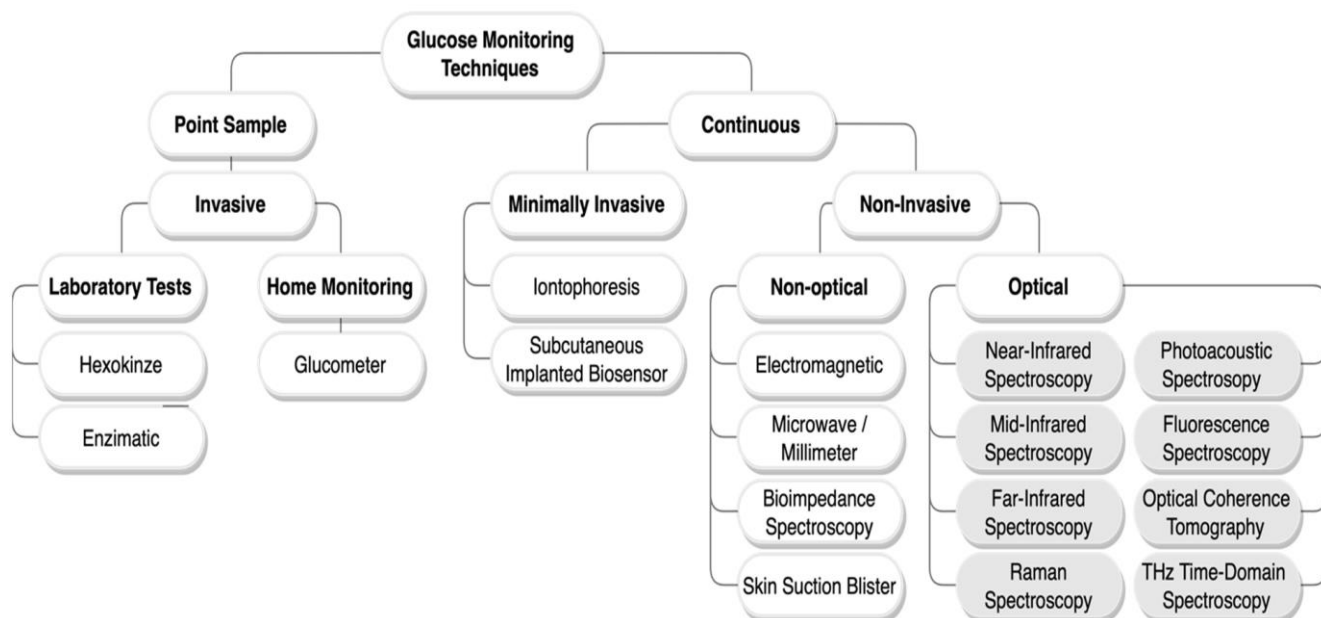


Рисунок 2.1 – Системи моніторингу рівня глюкози [47]

Неінвазивні глюкозо-моніторингові системи мають кілька переваг, які роблять їх привабливими для користувачів:

1) безболісність: однією з найбільших переваг неінвазивних систем є відсутність необхідності в проколі шкіри для вимірювання рівня глюкози; це означає, що пацієнтам більше не потрібно виконувати болісні і неприємні процедури з отримання крові для вимірювання глюкози; безболісний характер вимірювань сприяє збереженню комфорту та покращенню якості життя пацієнтів;

2) зменшений ризик інфекцій: пов'язані з проколом шкіри процедури можуть створювати ризик інфекцій; використання неінвазивних систем глюкозомоніторингу допомагає уникнути цього ризику, оскільки не вимагає проколу шкіри та контакту з кров'ю;

3) постійне спостереження: багато неінвазивних глюкозо-моніторингових систем пропонують постійне моніторингове спостереження; це дозволяє пацієнтам отримувати регулярну інформацію про рівень глюкози протягом дня, а не обмежуватися декількома вимірюваннями на добу; постійне спостереження допомагає виявляти тренди та зміни в рівні глюкози, що важливо для ефективного керування цукровим діабетом;

4) зручність та простота використання: неінвазивні системи глюкозомоніторингу зазвичай мають носійні пристрої, які легко використовувати в повсякденному житті; вони можуть мати компактний розмір і бути зручними для носіння на собі; користувачам потрібно просто розмістити пристрій на шкірі, і він автоматично здійснює вимірювання рівня глюкози; це полегшує процес моніторингу для пацієнтів, особливо для тих, хто має обмежені навички або можливості виконувати традиційні методи вимірювання;

5) дискретність: неінвазивні системи глюкозомоніторингу можуть бути менш помітними та дискретними, що дозволяє користувачам зберігати приватність щодо свого стану глюкози; вони можуть бути розроблені як носимі пристрої, що легко приховуються під одягом або використовуються безпосередньо на шкірі.

Варто зазначити, що на сьогоднішній день розробка неінвазивних глюкозомоніторингових систем продовжується, і деякі аспекти, такі як точність та надійність вимірювань, можуть бути предметом подальшого вдосконалення. Проте, загальний напрямок розвитку полягає в створенні технологій, які надають зручність, безболісність та постійний моніторинг рівня глюкози для поліпшення якості життя людей, що страждають від цукрового діабету.

Отже, розроблятимемо мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів як неінвазивну глюкозо-моніторингову систему. Для цього детально розглянемо алгоритми функціонування існуючих неінвазивних глюкозо-моніторингових систем.

Неінвазивні методи визначення рівня глюкози, що вивчалися в останні роки, можна згрупувати відповідно до їхніх технологій. В основному, вони відносяться до категорії електромагнітного (ЕМ) хвильового зондування, трансдермального та ферментативного зондування [48]. ЕМ-зондування всебічно визначає всю роботу, пов'язану з неіонізуючим ЕМ-випромінюванням, яке включає ультрафіолетовий (УФ), інфрачервоний, мікрохвильовий та видимий світловий спектр. Він включає середньо-інфрачервону (MIR), ближню інфрачервону (NIR), мікрохвильову (MW), теплову емісію (TE), фотоакустичну, раманівську та оклюзійну спектроскопію.

Оптична поляриметрия (ОП) та оптична когерентна томографія (ОКТ) також належать до цієї категорії. Імпедансна спектроскопія та електромагнітне зондування є прикладами трансдермальних технологій, оскільки вони передбачають розміщення датчиків на шарі епідермісу шкіри людини. Ферментативна технологія включає неінвазивні біологічні рідини, такі як слина і сльози, для вимірювання рівня глюкози. На рис. 2.2 показано розподіл неінвазивних технологій.

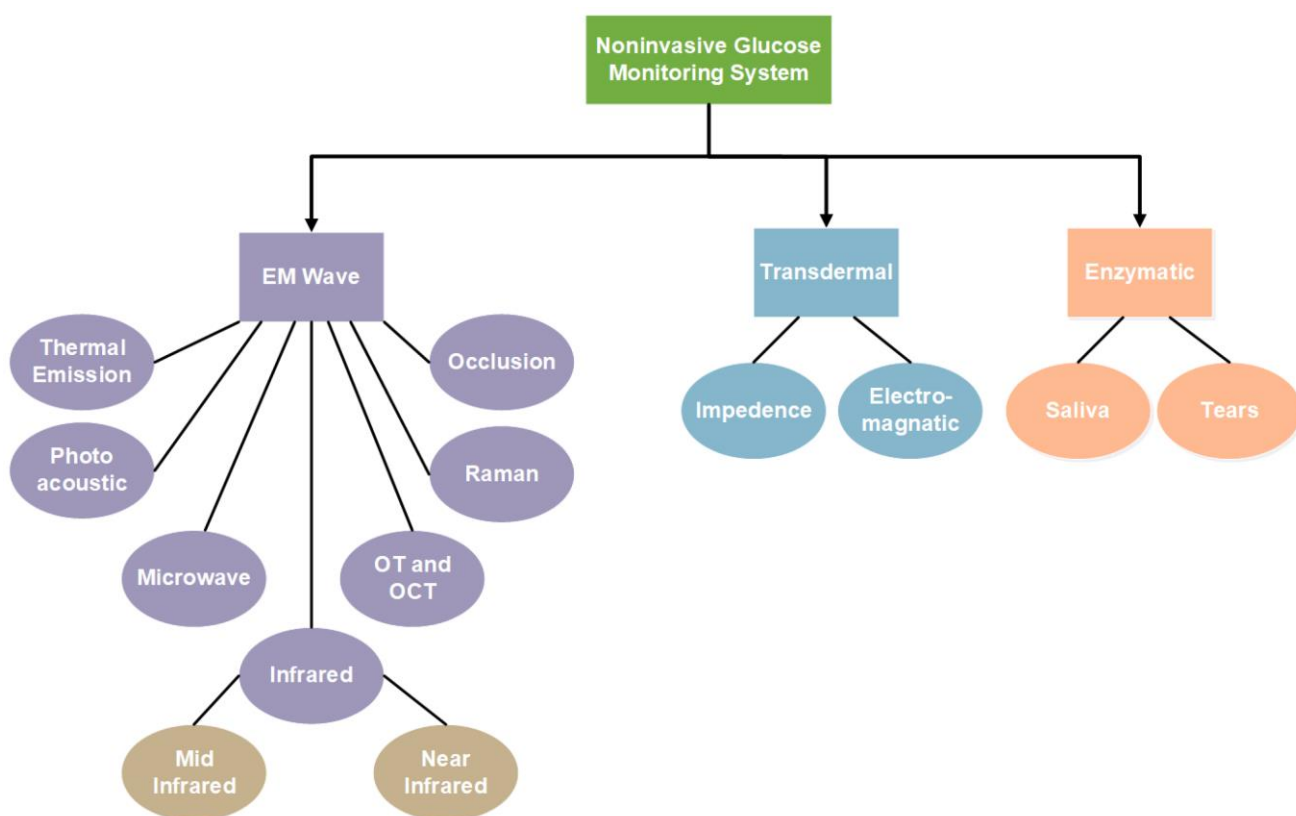


Рисунок 2.2 – Неінвазивні системи моніторингу рівня глюкози [48]

Інфрачервона спектроскопія, або коливальна спектроскопія, вимірює, як інфрачервоне випромінювання взаємодіє з речовиною. Поглинання, випромінювання та відбиття інфрачервоних хвиль вимірюють і вивчають, щоб ідентифікувати функціональні групи або хімічні речовини, присутні в речовині. Інфрачервону область електромагнітного спектра зазвичай поділяють на три підобласті: ближній, середній і дальній інфрачервоний діапазони, які названі за

їхнім відношенням до видимого спектра. На рис. 2.3 показано загальну схему інфрачервоної спектроскопії. Для неінвазивного моніторингу рівня глюкози більш вивченими є середній та ближній інфрачервоний діапазони, оскільки проникнення зменшується зі збільшенням хвильового числа.

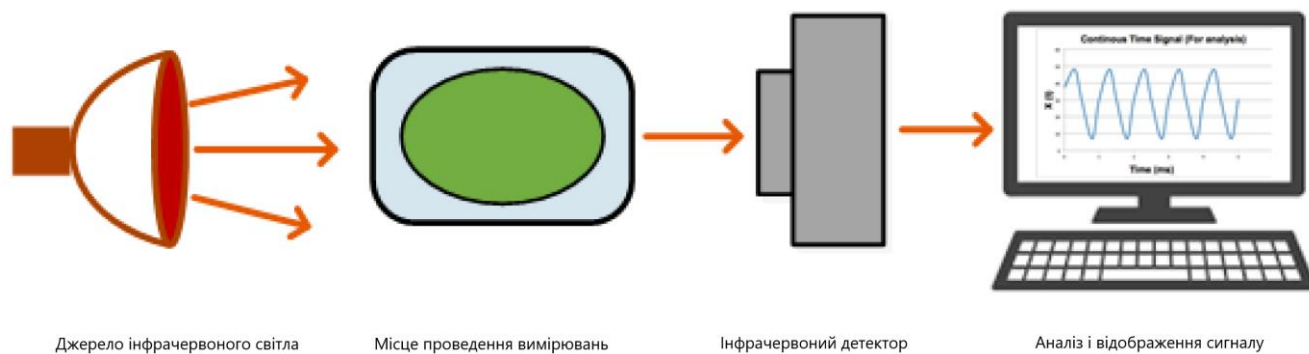


Рисунок 2.3 – Інфрачервона спектроскопія [48]

Середньоінфрачервоні хвилі (MIR) лежать в області 2500-25 мкм електромагнітних хвиль. Вони використовують принцип відбиття для виявлення концентрації глюкози в інтерстиціальній рідині. Середньоінфрачервоні хвилі мають гострі піки відгуку для виявлення глюкози і мають низьке розсіювання. Основним обмеженням середньоінфрачервоних хвиль є те, що їх можна використовувати лише в режимі відбиття, оскільки вони мають погане проникнення в тканини людини і не можуть визначати концентрацію глюкози, присутню в кровоносних судинах. Вміст води та тканин людини впливає на відбите світло, що призводить до поганої кореляції глюкози з інтерстиціальною рідиною.

Раманівська спектроскопія (SNR) базується на вимірюванні розсіювання падаючого монохроматичного (лазерного) світла внаслідок коливального та обертового руху досліджуваних частинок. Зміна довжини світлової хвилі внаслідок розсіювання (раманівський зсув) вимірюється для ідентифікації молекул глюкози, в яких коливальні моди пов'язані з вуглецевими, водневими та кисневими зв'язками. Спектроскопія комбінаційного розсіювання має більш гострий спектр порівняно з іншими інфрачервоними хвилями. Вона менш чутлива до води,

навколишнього світла і змін температури. Нестабільність лазера за довжиною хвилі та інтенсивністю є його основним обмеженням. Інтенсивність лазера повинна бути меншою, щоб він був нешкідливим для людського організму, тому він має низьке співвідношення сигнал/шум.

Термоемісійна спектроскопія (TES) використовує принцип теплового випромінювання людського тіла в далекому інфрачервоному діапазоні (8 мкм-14 мкм). Коли тіло випромінює тепло, частина його поглинається різними тканинами і молекулами, в тому числі глюкозою. Довжина хвилі, що поглинає найбільше, становить близько 9,4 мкм. Фаналіз випромінювання може надати інформацію про концентрацію глюкози в крові. На рис. 2.4 показано установку для термоемісійної спектроскопії. TES найменш чутлива до розсіювання порівняно з іншими інфрачервоними хвилями, вона має ряд обмежень. Інтенсивність випромінювання також залежить від температури і товщини ділянки вимірювання. TES має сильне поглинання води, що ускладнює точне і раптове виявлення змін рівня глюкози.

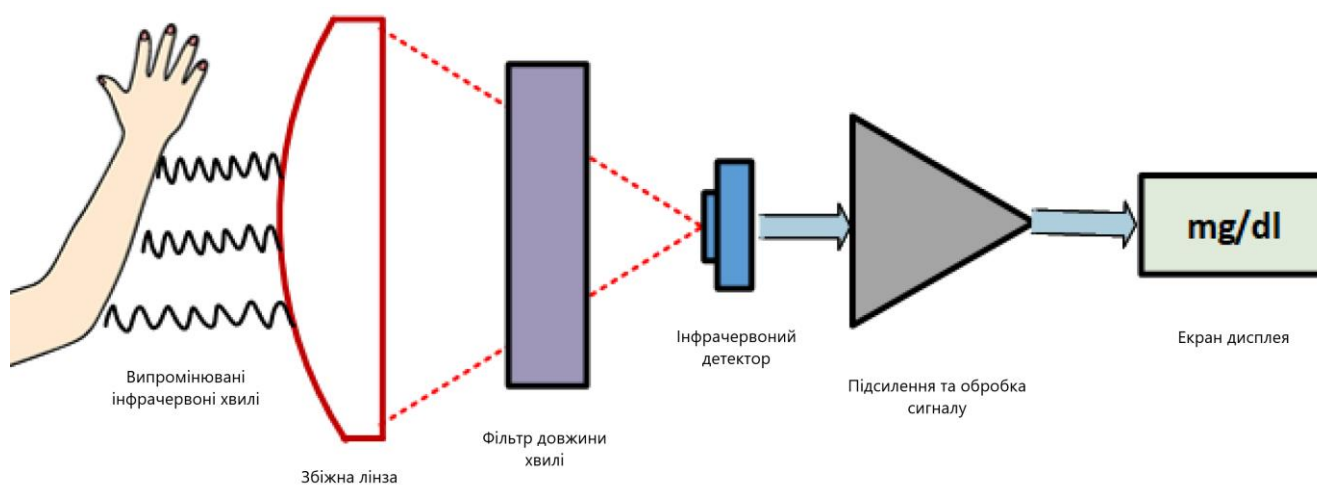


Рисунок 2.4 – Термоемісійна спектроскопія [48]

Мікрохвильова спектроскопія (MWS) – мікрохвилі знаходяться в діапазоні від 1 мм до 1 м в спектрі ЕМ хвиль. Вони широко використовуються у сферах виявлення, зв'язку та медицини. Оскільки вони легко проникають крізь середовища міліметрової товщини, вони можуть проникати глибоко в тканину шкіри,

досягаючи кровоносних судин у шарі дерми. Теорія відбиття, поглинання і передачі мікрохвиль через тканини шкіри може корелювати зі змінами діелектричних властивостей, відносної діелектричної проникності і провідності при коливаннях концентрації глюкози. Отже, ці хвилі можуть бути використані для оцінки глюкози крові. На рис. 2.5 показано принцип роботи мікрохвильової спектроскопії. Датчик підключений до векторного мережевого аналізатора (VNA), який виявляє зміни амплітуди і фази, що відповідають змінам діелектричної проникності зразка, як показано на рис. 2.5. MWS чутливий до невеликих концентрацій глюкози; його можна легко сконструювати і він має низьку вартість. На жаль, він має низьку селективність, оскільки компоненти крові впливають на параметри вимірювання, такі як діелектрична проникність. MWS також чутливий до фізіологічних параметрів, таких як дихання, потовиділення та фізична активність.

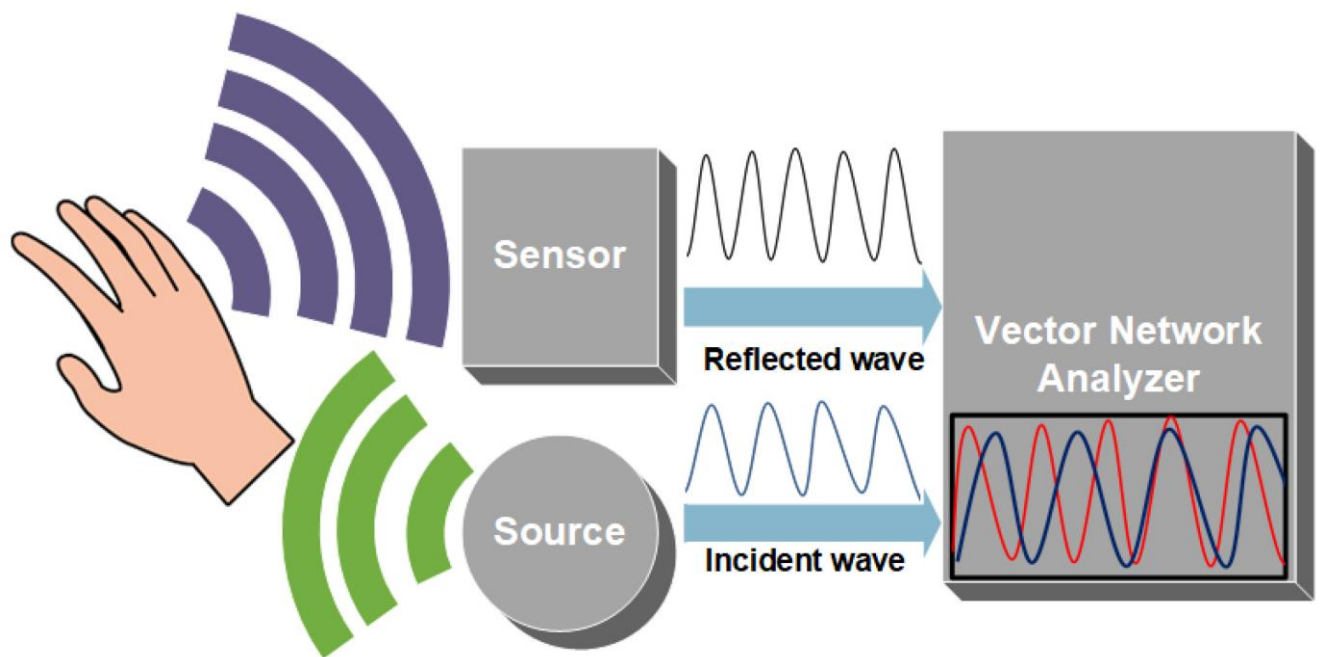


Рисунок 2.5 – Мікрохвильова спектроскопія [48]

Технологія метаболічної теплової конформації оцінює рівень глюкози в крові шляхом вимірювання різних фізіологічних параметрів за допомогою методів багатохвильової спектроскопії разом з датчиками вологості та температури. Теорія, що лежить в основі цього методу, полягає в тому, що кількість глюкози і рівень

кисню, присутніх в організмі, корелюють з кількістю тепла, що виробляється в результаті метаболічного окислення глюкози в клітинах людини. Тепло, що виділяється з організму у вигляді випромінювання, випаровування та конвекції, вимірюється за допомогою датчиків і спектроскопії. Для оцінки рівня глюкози проводиться статистичний аналіз даних. Хоча фізіологічний параметр добре вимірюється в цьому методі, він має меншу точність, оскільки чутливий до потовиділення і умов навколишнього середовища, таких як вологість і коливання температури.

Фотоакустична спектроскопія використовує фотоакустичний метод для визначення рівня глюкози. Теорія стверджує, що якщо джерело енергії випромінює на поверхню шкіри, воно викликає теплове розширення на освітленій ділянці. Внаслідок теплового розширення генеруються акустичні або ультразвукові хвилі, які можуть бути виявлені датчиками тиску. Варіація виявленого сигналу від піку до піку може корелювати з рівнем глюкози в крові. Цей метод простий і стійкий до поглинання води. Як джерела збудження можна використовувати широкий спектр лазерних імпульсів – від ультрафіолетових до інфрачервоних хвиль. Однак цей метод вразливий до змін температури, тиску та навколишнього середовища. Він має низьке співвідношення сигнал/шум, а прилади є дорогими.

Оклюдійна спектроскопія – це метод, в якому вимірюється розсіяне світло від ділянки тканини під тиском. Потік крові в цій ділянці обмежується на кілька секунд шляхом застосування тиску. Динамічні зміни кровотоку збільшують інтенсивність розсіяного світла. Розсіяне світло вимірюється для оцінки концентрації глюкози в крові. Як і на інші джерела світла, на оцінку глюкози за допомогою оклюдійної спектроскопії впливають фізіологічні фактори та навколишні джерела світла.

Оптична поляриметрія використовує поняття хіральних молекул глюкози для оцінки її концентрації. Хіральні молекули можуть повертати площину поляризації падаючого світлового променя на певний кут. Величина повороту залежить від довжини оптичного шляху, температури, довжини хвилі падаючого променя і концентрації аналіту. Оптична поляриметрія непридатна для вимірювань на шкірі

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плазматичну рідину можна співвіднести з молекулами глюкози. Це відносно простий і легкий у виконанні метод, але похибка вимірювань зростає під час потовиділення. Цей метод також чутливий до зміни температури та інших фізіологічних умов.

Електромагнітне зондування використовує діелектричні властивості крові для оцінки концентрації глюкози. Коливання напруги або струму, що виникають внаслідок електромагнітного зв'язку індукторів, вказують на різну концентрацію молекул глюкози в крові. Електромагнітне зондування є специфічним і зводить до мінімуму перешкоди з боку навколишнього середовища, але воно є дуже чутливим до змін температури.

Неінвазивна ферментативна технологія включає методику, яка передбачає визначення глюкози в крові з використанням людських рідин, таких як сльози, слина і піт. Очна технологія також підпадає під цю категорію. Вона використовує спеціально розроблені контактні лінзи, які визначають вміст глюкози в сльозах. Слина в ротовій порожнині також досліджується на наявність глюкози. Основною перешкодою в неінвазивних ферментних технологіях є те, що ці рідини не обов'язково відображають рівень глюкози в крові, а отже, можуть давати хибну оцінку рівня глюкози крові.

Електрохімічні сенсори є одним з найпоширеніших методів для вимірювання глюкози в крові. Вони використовують електрохімічні реакції для виявлення та вимірювання глюкози. Основний принцип дії електрохімічних сенсорів полягає в окисно-відновних реакціях, які відбуваються на поверхні електрода.

Основні компоненти електрохімічного сенсора для глюкози включають:

1) робочий електрод – це електрод, на поверхні якого відбуваються окисно-відновні реакції глюкози; зазвичай використовуються платинові або вуглецеві електроди; глюкоза окислюється на робочому електроді, і це викликає зміну струму або потенціалу, який можна виміряти;

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) допоміжний електрод – це електрод, який використовується для забезпечення зворотного потоку електронів під час реакції; зазвичай використовуються срібні або срібло-хлоридні електроди;

3) опорний електрод – це електрод, який служить для встановлення сталого потенціалу у системі; зазвичай використовуються срібло-хлоридні або агарозні електроди;

4) електроліт – використовується для проведення іонів між електродами та забезпечення електронної провідності.

При взаємодії глюкози з робочим електродом відбувається окислення глюкози, що призводить до виникнення електричного сигналу, який може бути вимірний.

Інтенсивність струму або потенціал, що виникають на робочому електроді, пропорційні концентрації глюкози в крові. Цей сигнал передається до приладу для обробки та відображення результатів.

Одна з найпоширеніших технологій електрохімічних сенсорів – це глюкозооксидазна методика. Вона використовує фермент глюкозооксидазу, який окислює глюкозу, що призводить до зміни струму або потенціалу на робочому електроді. Цей сигнал може бути вимірний і перетворений в числове значення, що відображає рівень глюкози.

Електрохімічні сенсори для вимірювання глюкози в крові мають декілька переваг:

1) швидкість – електрохімічні сенсори зазвичай здатні вимірювати глюкозу швидко, з результатами, які доступні за кілька секунд; це дозволяє користувачам швидко контролювати рівень глюкози в реальному часі;

2) висока точність – електрохімічні сенсори зазвичай мають високу точність вимірювань глюкози, що важливо для ефективного управління цукровим діабетом; вони здатні забезпечити стабільні та повторювані результати;

3) простота використання – електрохімічні сенсори легкі в використанні; більшість з них працюють зі звичайними краплями крові, що наносяться на сенсор, і не вимагають складних процедур підготовки або обробки;

4) мала кількість крові – деякі електрохімічні сенсори потребують дуже мало крові для вимірювання, що зручно для користувачів; це особливо важливо для пацієнтів, які мають обмежену доступність до крові або відчувають дискомфорт від багаторазових проколів;

5) мобільність – багато електрохімічних сенсорів мають компактний розмір і можуть бути легко перенесені користуваче; це дозволяє пацієнтам здійснювати вимірювання глюкози в будь-якому зручному для них місці і в будь-який час;

б) віддалений моніторинг – деякі сучасні електрохімічні сенсори можуть бути пов'язані зі смартфонами або іншими пристроями, що дозволяють віддалений моніторинг глюкози; це дозволяє медичним працівникам або рідним стежити за рівнем глюкози пацієнта та надавати необхідну допомогу або поради.

Важливо відзначити, що електрохімічні сенсори для вимірювання глюкози крові потребують регулярних калібрування та заміни, а також правильного зберігання та догляду.

Оптичні датчики для вимірювання глюкози крові використовуються у неінвазивних глюкозомоніторингових системах. Ці датчики використовують оптичні методи для виявлення і вимірювання глюкози без необхідності проколювання шкіри.

Основний принцип дії оптичних датчиків полягає в тому, що вони використовують світло різних довжин хвиль, яке проходить через шкіру або відбивається від неї, і вимірюють зміну відбитого або проходячого світла, пов'язану з концентрацією глюкози. Деякі типи оптичних датчиків використовують флуоресценцію або раманівське розсіяння для вимірювання глюкози.

Оптичні датчики мають кілька переваг для вимірювання глюкози:

1) неінвазивність – оптичні датчики дозволяють вимірювати глюкозу без необхідності проколювання шкіри, що зменшує дискомфорт і ризик інфекції;

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) безпечність – вимірювання глюкози за допомогою оптичних датчиків не вимагає використання хімічних речовин або електричного струму, що забезпечує безпеку для користувачів;

3) безперервний моніторинг – оптичні датчики можуть бути використані для безперервного моніторингу рівня глюкози протягом тривалого часу, що дає змогу отримувати детальну інформацію про динаміку глюкози в організмі;

4) зручність використання – оптичні датчики можуть бути вбудовані у портативні пристрої, які легко використовувати в повсякденному житті;

5) малі вимоги до зразка – оптичні датчики не вимагають великої кількості крові для вимірювання; для отримання результатів може бути достатньо невеликої краплі крові або навіть безпосередньо контакту з шкірою;

6) менш вразливі до впливу зовнішніх факторів – оптичні датчики можуть бути менш вразливими до факторів, таких як електромагнітні поля, температурні зміни або вологість, порівняно з іншими технологіями вимірювання глюкози;

7) потенціал для безперервного моніторингу – оптичні датчики мають потенціал для реалізації безперервного моніторингу глюкози; це означає, що користувач може отримувати постійну інформацію про рівень глюкози в режимі реального часу, що дозволяє більш ефективно контролювати цукровий діабет.

Важливо відзначити, що оптичні датчики для вимірювання глюкози крові також мають свої обмеження. Наприклад, вони можуть збоїти під впливом факторів, такими як рівень освітленості, шкіра або інші специфічні фізіологічні умови. Крім того, точність оптичних датчиків може бути піддана впливу від індивідуальних варіацій, таких як тип шкіри, стан циркуляції крові та інші фактори. Перед використанням оптичного датчика для вимірювання глюкози крові, важливо ретельно ознайомитися з інструкціями виробника та консультуватися з медичним фахівцем.

На сьогоднішній день крові активно розвиваються і досліджуються безконтактні технології для вимірювання глюкози. Ідея безконтактного вимірювання глюкози полягає в тому, щоб отримати інформацію про рівень

глюкози без необхідності проколювання шкіри або контакту з кров'ю. Однак, варто відзначити, що ці технології ще не настільки поширені, як і інші методи вимірювання, такі як електрохімічні або оптичні сенсори.

Безконтактні методи включають використання радіохвиль, мікрохвильового випромінювання, інфрачервоного теплового випромінювання та інших фізичних принципів для вимірювання глюкози без проколювання шкіри. Деякі з цих методів все ще знаходяться у стадії досліджень і розробок, і вимагають подальшого вдосконалення, перш ніж будуть доступні для широкого застосування.

Важливо відзначити, що безконтактні технології для вимірювання глюкози крові повинні бути дуже точними і надійними.

Оскільки безконтактні технології для вимірювання глюкози крові все ще розвиваються, є кілька викликів і обмежень, з якими доводиться зіткнутися:

1) точність – одним з основних викликів є досягнення достатньої точності вимірювання без проколювання шкіри; фактори, такі як вплив інших речовин в організмі, зміни кровотоку та інші фізіологічні зміни, можуть впливати на точність вимірювання;

2) специфічність – безконтактні технології повинні бути специфічними до глюкози і не реагувати на інші речовини або забруднення, які можуть присутні в шкірі або оточуючому середовищі;

3) вплив зовнішніх факторів – різні зовнішні фактори, такі як освітлення, вологість, температура та інші, можуть впливати на безконтактні вимірювання глюкози; необхідно вирішити ці проблеми, щоб забезпечити стабільні і точні результати в будь-яких умовах;

4) ергономіка і зручність – розробка безконтактних пристроїв, які будуть зручними у використанні і відповідатимуть потребам користувачів, також є важливим аспектом; пристрої повинні бути компактними, переносними і мало навантажувати користувача;

5) стандартизація і регулювання – розробка безконтактних технологій вимагає встановлення стандартів і регулювань для забезпечення їх якості, безпеки та ефективності; також необхідно вирішити питання щодо ліцензування.

Деякі дослідники вивчають можливості безконтактного вимірювання глюкози через видихуване повітря. Ідея полягає в тому, що хімічні зміни, які відбуваються в організмі при метаболізмі глюкози, можуть відбиватися в складі видихуваного повітря.

Проте, слід відзначити, що ці методи досі знаходяться на ранній стадії досліджень і розвитку, і їх точність та надійність потребують додаткового вдосконалення. Більше часу і досліджень буде потрібно для того, щоб така технологія стала доступною для практичного застосування.

2.2 Неінвазивне вимірювання глюкози крові на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії

Враховуючи найбільший рівень дослідження, найбільшу точність методики, а також наявну елементну базу для цієї методики, оберемо для розроблення неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів ближню інфрачервону спектроскопію.

Ближня інфрачервона (NIR) спектроскопія – це оптичний метод, в якому вивчається розсіяне, пропущене або відбите світло від освітлюваної поверхні. Хвилі ближньої інфрачервоної спектроскопії лежать в діапазоні 700-2500 нм. NIR спектроскопія знаходить своє застосування в багатьох галузях, таких як медицина, фармацевтика, аналіз харчових продуктів, контроль якості хімічних продуктів, матеріалознавство, астрономія та сільське господарство. Останні кілька десятиліть її досліджували для визначення глюкози. NIR-хвилі мають глибше проникнення порівняно з MIR-хвилями, тому вони можуть легко досягати шару дерми шкіри і взаємодіяти з компонентами крові. Таким чином, NIR-спектрометрія може бути використана для оцінки рівня глюкози в крові. Ця технологія недорога і проста, але

страждає від розсіювання, а нижня смуга пропускання погано корелює з рівнем глюкози в крові. Інший підхід полягає в отриманні сигналів оптичним методом PPG, який виявляє об'ємні зміни в кровообігу, з використанням хвиль NIR з певною шириною смуги для оцінки рівня глюкози в крові. Сигнали напруги PPG пропорційні кількості крові, що протікає через кровоносні судини. Зміни кровотоку відображаються у вигляді хвильової форми. Характеристики, отримані з цих сигналів PPG, включаються в алгоритми машинного навчання для прогнозування рівня глюкози в крові. Цей метод показав кращу кореляцію з рівнем глюкози в крові.

Глюкозо-моніторингова система на основі спектроскопії ближнього інфрачервоного (NIR) використовується для вимірювання рівня глюкози в організмі без необхідності використання крові. Ця технологія є неінвазивною, оскільки не потребує проколу шкіри для отримання зразка крові.

Принцип роботи системи полягає в тому, що ближній інфрачервоний промінь пропускається через шкіру, і деяка його частина поглинається глюкозою в клітках. Молекули глюкози мають унікальні спектральні характеристики, які можна виявити шляхом аналізу змін в поглинанні променів NIR (рис. 2.7). Збираючи і обробляючи дані про спектральні зміни, система може визначити рівень глюкози в організмі.

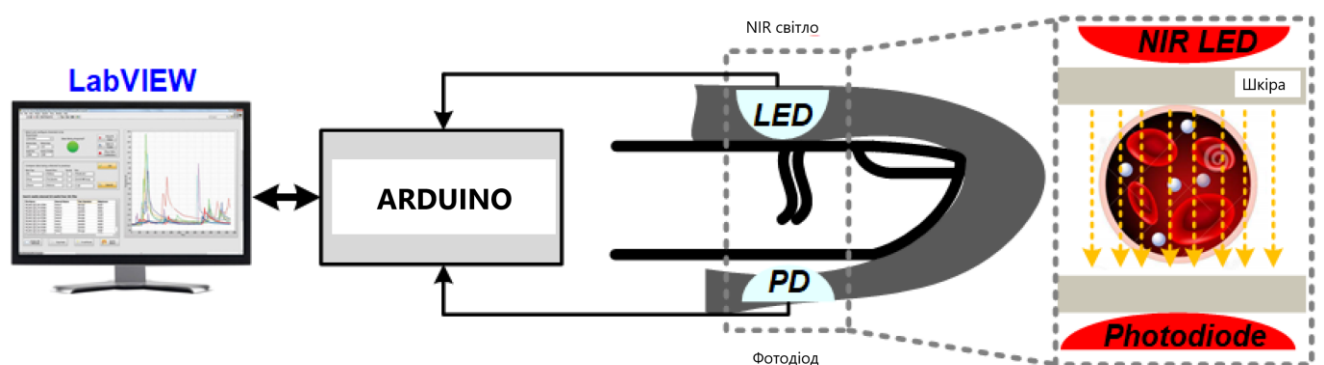


Рисунок 2.7 – Концепція неінвазивного вимірювання глюкози крові на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії [48]

Однією з переваг цієї технології є те, що вона дозволяє постійне безболісне спостереження за рівнем глюкози протягом тривалого часу. Користувачеві не потрібно проводити багаторазові проколи для вимірювання глюкози, що зменшує дискомфорт і ризик інфекцій. Більшість систем на основі спектроскопії NIR мають невеликі носимі пристрої, які можна легко використовувати в повсякденному житті.

Наразі така технологія показує високу точність прогнозування рівня глюкози в крові за допомогою систем на основі інфрачервоного випромінювання. Вони були розроблені в режимах відбиття та пропускання. NIR-спектроскопія тут поділяється на дві основні підкатегорії: NIR спектрометричний аналіз і NIR PPG аналіз сигналу. При аналізі NIR-спектрометрії вимірюються зареєстровані значення напруги після поглинання і відбиття, тоді як при аналізі NIR PPG-сигналів сигнали PPG реєструються за допомогою NIR-світлодіодів. Технологія на основі NIR підтвердила доказ концепції сильної кореляції між поглинанням/затуханням NIR з різною концентрацією глюкози.

Проте, варто відзначити, що системи на основі спектроскопії NIR для глюкозо-моніторингу все ще розвиваються і не досягли повної комерційної доступності на ринку. Деякі з проблем, які виникають, включають вплив факторів зовнішнього середовища, таких як рух або зміна температури, на точність вимірювань.

Завдяки постійному розвитку технологій спектроскопії ближнього інфрачервоного діапазону, велика увага приділяється вирішенню проблем, пов'язаних з точністю та надійністю глюкозо-моніторингу на основі NIR. Деякі з напрямків досліджень і розробок включають наступні аспекти:

1) калібрування і алгоритми: одні з головних викликів полягають у розробці ефективних алгоритмів калібрування, які забезпечують точність вимірювань; калібрування включає побудову моделей, які пов'язують спектральні дані з реальними значеннями глюкози; важливо забезпечити стабільність та надійність калібрувальних моделей з метою отримання точних вимірювань в різних умовах;

2) вплив зовнішніх факторів: порушення вимірювань можуть виникати внаслідок руху пацієнта, зміни температури або вологості шкіри; розробка технологій, які зменшують вплив цих факторів, є важливою задачею; наприклад, використання додаткових сенсорів або алгоритмів компенсації може допомогти управляти впливом зовнішніх факторів на точність вимірювань;

3) мініатюрність та носійність: розвиток мініатюрних та зручних пристроїв є важливим аспектом для глюкозо-моніторингових систем на основі спектроскопії NIR; малогабаритність і портативність дозволяють користувачам комфортно використовувати ці системи в повсякденному житті.

Слід зазначити, що для впровадження таких систем на ринок потрібні обширні клінічні дослідження. Клінічні дослідження включають випробування глюкозо-моніторингової системи на різних групах пацієнтів для оцінки її ефективності, точності та безпеки. Ці дослідження допомагають збирати дані, порівнювати результати вимірювань з традиційними методами глюкозметрії та встановлювати параметри, необхідні для валідації системи.

Розвиток неінвазивних глюкозо-моніторингових систем на основі спектроскопії ближнього інфрачервоного (NIR) діапазону є активною областю досліджень. Ці системи мають потенціал стати зручними та безпечними засобами вимірювання глюкози без необхідності проколювання шкіри.

Принцип роботи таких систем полягає в тому, що вони використовують світло ближнього інфрачервоного діапазону для аналізу спектральних характеристик тканин, зокрема шкіри. Глюкоза має властивості абсорбції світла в цьому діапазоні, тому зміни в спектрі можуть вказувати на рівень глюкози в крові.

Одним з підходів є використання спектроскопії просвічування, де світло проходить через тканину (наприклад, палець) і реєструється детектором з пристроєм для аналізу спектра. Інший підхід – спектроскопія відбивання, де світло відбивається від шкіри, і його спектр аналізується.

Після успішного завершення клінічних досліджень глюкозо-моніторингова система на основі спектроскопії NIR може подати заявку на схвалення відповідних

органів з контролю якості і безпеки. Зазвичай це включає отримання сертифікатів і ліцензій, що забезпечують відповідність медичним стандартам і нормам безпеки.

Урахування питань конфіденційності та захисту даних має велике значення для успішного впровадження глюкозо-моніторингової системи на основі спектроскопії NIR.

Забезпечення безпеки та захисту особистих медичних даних є важливими аспектами, зокрема з урахуванням збирання і передачі інформації з носимих пристроїв до сховищ даних.

Загалом, розвиток неінвазивних глюкозо-моніторингових систем на основі спектроскопії ближнього інфрачервоного діапазону є перспективним напрямом у сфері медичних технологій.

2.3 Висновки

В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз алгоритмів моніторингу рівня цукру в крові.

Оскільки загальний напрямок розвитку полягає в створенні технологій, які надають зручність, безболісність та постійний моніторинг рівня глюкози для поліпшення якості життя людей, що страждають від цукрового діабету, то прийнято рішення розробляти мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів як неінвазивну глюкозо-моніторингову систему.

Враховуючи найбільший рівень дослідження, найбільшу точність методики, а також наявну елементну базу для цієї методики, оберемо для розроблення неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів ближню інфрачервону спектроскопію.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МОБІЛЬНА КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЦУКРУ В КРОВІ ІНСУЛІНОЗАЛЕЖНИХ ПАЦІЄНТІВ

3.1 Проектування архітектури мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Кіберфізична система (КФС) – це інтеграція фізичних процесів з комп'ютерними та інформаційними системами, де взаємодія між фізичними та кібернетичними компонентами створює нові можливості та функціональність.

КФС поєднує реальний світ з віртуальним середовищем, дозволяючи обмінюватись даними, керувати та оптимізувати фізичні процеси в реальному часі. Вони використовують сенсори, актуатори, мережі зв'язку та обчислювальні системи для спостереження, контролю та автоматизації різних систем, таких як транспорт, енергетика, виробництво, медицина та багато інших.

Основні характеристики кіберфізичних систем:

1) взаємозв'язаність – кіберфізичні системи об'єднують фізичні та кібернетичні компоненти в єдину систему, де зміни в одній частині можуть впливати на роботу інших компонентів;

2) реальний час – КФС працюють у реальному часі, де важливо швидко реагувати на зміни у фізичному середовищі та забезпечувати надійне та швидке прийняття рішень;

3) автономність – кіберфізичні системи можуть функціонувати автономно, без постійного контролю людей, здатні приймати рішення та виконувати дії на основі внутрішніх алгоритмів та зовнішніх вхідних даних;

4) масштабованість – КФС можуть бути використані в різних масштабах, від малих систем до великих розподілених мереж, де багато компонентів працюють разом.

Мобільні кіберфізичні системи – це кіберфізичні системи, які інтегруються з мобільними пристроями, такими як смартфони, планшети, тощо. Вони

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовують мобільні мережі зв'язку та можливості цих пристроїв для забезпечення взаємодії між фізичними процесами та комп'ютерними системами.

Мобільні кіберфізичні системи відкривають широкий спектр можливостей та застосувань:

1) мобільне здоров'я (mHealth): використання мобільних кіберфізичних систем у сфері охорони здоров'я дозволяє віддалено моніторити показники здоров'я, здійснювати діагностику, надавати поради та підтримку пацієнтам (наприклад, вимірювання пульсу, кров'яного тиску або рівня глюкози за допомогою сенсорів, вбудованих у мобільні пристрої);

2) розумне місто (Smart City): мобільні кіберфізичні системи можуть бути використані для моніторингу та управління різними аспектами життя в місті, включаючи транспорт, енергетику, водопостачання, відходи тощо (наприклад, використання мобільних додатків для спостереження за рухом транспорту, оптимізації маршрутів або контролю рівня забруднення повітря);

3) розумне виробництво (Smart Manufacturing): мобільні кіберфізичні системи можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів, моніторингу стану обладнання, збір даних про виробництво та робочих процесах (наприклад, використання мобільних додатків для віддаленого моніторингу параметрів виробництва, управління робочими процесами або взаємодії зі спеціалістами через мобільні пристрої);

4) розумні будинки (Smart Homes): мобільні кіберфізичні системи можуть використовуватись для управління різними системами в будинку, такими як освітлення, опалення, безпека, аудіо-відео системи та інші; вони дозволяють користувачам здійснювати контроль та налаштування систем за допомогою мобільних додатків, навіть здалеку;

5) розумні розваги (Smart Entertainment): мобільні кіберфізичні системи можуть покращити взаємодію користувачів з розважальними системами, такими як відеоігри, віртуальна реальність, аудіо-відео стрімінг та інші; вони можуть

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропонувати інтерактивні та персоналізовані досвіди, враховуючи предпочинення та контекст користувача;

б) розумний спорт та фітнес (Smart Sports and Fitness): мобільні кіберфізичні системи можуть використовуватись для моніторингу фізичної активності, вимірювання показників тренувань, аналізу даних про здоров'я та надання рекомендацій для поліпшення фітнесу та спортивних досягнень.

Розвиток мобільних кіберфізичних систем надає нові можливості для зручної та ефективної взаємодії між фізичними та кібернетичними світами. Вони дозволяють людям отримувати розширені функціональність та контроль над різними аспектами свого життя, поліпшувати ефективність процесів та забезпечувати більш зручний та персоналізований підхід до життя.

Мобільні кіберфізичні системи в сфері охорони здоров'я (mHealth) відкривають нові можливості для віддаленого моніторингу та управління здоров'ям за допомогою мобільних пристроїв. Вони поєднують фізичні процеси з мобільними технологіями та забезпечують зручний доступ до медичної інформації та послуг.

Деякі з основних застосувань мобільних кіберфізичних систем у сфері mHealth включають:

1) віддалений моніторинг здоров'я: завдяки сенсорам, вбудованим у мобільні пристрої, можна моніторити різні показники здоров'я, такі як пульс, кров'яний тиск, рівень глюкози в крові, рівень кисню в крові та інші; ці дані можуть передаватись до медичних систем або застосунків на мобільних пристроях для подальшого аналізу та спостереження з боку медичних фахівців;

2) дистанційне консультування та телемедицина: мобільні кіберфізичні системи дозволяють пацієнтам звертатися до медичних спеціалістів через відеозв'язок або мобільні додатки; це полегшує отримання медичних консультацій, надання діагнозу та навіть проведення деяких процедур на віддаленій основі, що забезпечує зручність та доступність медичних послуг, особливо для віддалених або обмежених в руху пацієнтів;

3) мобільні додатки для здоров'я та фітнесу: існує велика кількість мобільних додатків, які допомагають вести здоровий спосіб життя, контролювати фізичну активність, виконувати дієти, вести щоденник здоров'я та багато іншого; ці додатки використовують функціонал мобільних пристроїв, такі як сенсори руху та GPS, для вимірювання активності, відстеження калорійного спалювання, надання рекомендацій щодо здорового способу життя та фітнесу;

4) управління хронічними захворюваннями: мобільні кіберфізичні системи дозволяють пацієнтам з хронічними захворюваннями, такими як діабет, серцеві захворювання, астма та інші, відстежувати та керувати своїм станом здоров'я; це може включати регулярний моніторинг показників, ведення щоденника симптомів, сповіщення про прийом медикаментів та надання освіти щодо управління захворюванням;

5) електронна медична історія та обмін даними: завдяки мобільним кіберфізичним системам, пацієнти можуть мати доступ до своєї електронної медичної історії, медичних результатів та звітів; вони також можуть легко передавати ці дані між різними медичними працівниками та закладами, спрощуючи обмін інформацією та покращуючи координацію медичної допомоги.

Мобільні кіберфізичні системи mHealth дозволяють пацієнтам бути більш активними у керуванні своїм здоров'ям, отримувати персоналізовану медичну підтримку та забезпечують зручний доступ до медичних послуг незалежно від місця та часу.

Розглянемо відомі неінвазивні мобільні кіберфізичні системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Автори [49] розробили систему для вимірювання рівня глюкози в крові на основі NIR-спектрометрії. Спочатку вони розробили прототип для вимірювання глюкози *in vitro*, використовуючи світлодіод з довжиною хвилі 940 нм. Збільшення концентрації глюкози в розчині показало зменшення вихідної напруги датчика. Пізніше вони розробили сенсорний пластр з світлодіодом і фотодіодом. Датчик розміщували на передпліччі і проводили вимірювання напруги спектрів дифузного

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбиття. Спектри аналізували до і після прийому їжі. Після прийому їжі спостерігалось зниження рівня напруги, що свідчить про кореляцію між напругою і концентрацією глюкози. До і після прийому їжі визначали рівень глюкози за допомогою комерційного глюкометра, що свідчить про збільшення концентрації глюкози в крові. Технологія на основі NIR підтвердила доказ концепції сильної кореляції між поглинанням/затуханням NIR з різною концентрацією глюкози. Проведена робота складалася здебільшого з двох етапів. На першому етапі були проведені прості лабораторні експерименти *in vitro* для визначення впливу різних концентрацій розчинів глюкози на передачу інфрачервоного випромінювання. На другому етапі були залучені люди, у яких вимірювали вольтаж NIR у різний час доби, до або після прийому їжі. Зміни напруги лінійно корелювали з концентрацією глюкози.

Дослідження, проведені у [50] і [51], підтверджують сильну кореляцію між ослабленням NIR і концентрацією глюкози. Автори [52] пропонують подвійну (940 нм і 1300 нм) короткохвильову систему детектування на основі NIR-хвиль, що працює на основі спектроскопії поглинання і відбиття. Регресійна модель, заснована на методі Губера, використовується для покращення регресійної моделі постобробки. Запропонована модель встановлює взаємозв'язок між вихідною напругою датчика та референтною концентрацією глюкози в крові (BGC). Модель розроблена з використанням 25 суб'єктів з вікової групи 18-70 років. Референтний рівень глюкози в крові вимірюється за допомогою пальцевого методу (глюкометр SD-check GOLD one-touch). Запропонована система валідована на 200 індивідуальних суб'єктах.

Автори [53] досліджували виявлення глюкози в крові за допомогою моделі прогнозування на основі поглинання 1550 нм NIR. Модель прогнозування використовує оптимізацію рою частинок і модель двох штучних нейронних мереж. Ця модель враховує нелінійну залежність між поглинанням світла та рівнем глюкози в крові. Дві нейромережі слугують базовою структурою загальної моделі, а вагові коефіцієнти двох нейромереж покращуються за допомогою оптимізації

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рою частинок. Основним недоліком цієї роботи є те, що експериментальні набори даних дуже малі. Він містить лише три середні значення від шести здорових людей. Отже, точність запропонованої моделі необхідно перевірити на великих масивах даних, включаючи пацієнтів з діабетом.

Автори [54] пропонують натільний неінвазивний споживчий пристрій, який може використовуватися споживачами для точного безперервного моніторингу рівня глюкози в крові. Цей пристрій використовує короткі довжини хвиль NIR (940 нм і 1300 нм) зі спектроскопією поглинання і відбиття. Він інтегрований з Інтернетом медичних речей (IoMT) для «розумної» охорони здоров'я. Регресійна модель глибокої нейронної мережі прогнозує значення глюкози. Продуктивність пристрою перевіряється за допомогою глюкози в сироватці та капілярній крові. Дані були зібрані у переддіабетичних, діабетичних та здорових пацієнтів у віці від 17 до 80 років. Автори відзначають, що середня похибка для сироваткової глюкози відображають кращі результати калібрування і валідації порівняно з капілярною глюкозою. Оцінені зразки значень глюкози в сироватці крові спостерігаються на рівні 100%. Прогнозування глюкози в крові приладом має діапазон 80-420 мг/дл. Ефективність приладу представлена середньою похибкою та середньою абсолютною відносною різницею. Для глюкози в капілярній крові середня похибка та середня абсолютна відносна різниця розраховуються як 6,09% і 6,07% відповідно, тоді як для глюкози в сироватці крові середня похибка та середня абсолютна відносна різниця оцінюються як 4,88% і 4,86% відповідно.

На сьогоднішній день деякі компанії розробляють неінвазивні мобільні кіберфізичні системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії. Ось декілька прикладів таких систем:

1) GlucoWise: ця система використовує ближньоінфрачервону спектроскопію для вимірювання рівня глюкози в крові шляхом сканування шкіри пацієнта на вуху; вона є інтегрованою з мобільним додатком для зручного спостереження та аналізу даних; має невеликий розмір і простий у використанні;

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрій розміщується на вусі, а потім відбувається безконтактне сканування шкіри, щоб отримати дані про рівень глюкози; отримані дані передаються до мобільного додатка, де вони аналізуються та відображаються для подальшого спостереження пацієнта та консультацій з медичними фахівцями; GlucoWise знаходиться на етапі розробки і клінічних випробувань, і його точність та доступність на ринку можуть залежати від подальшого розвитку та регуляторних затверджень (рис. 3.1);

2) Glucair: ця система також використовує ближньоінфрачервону спектроскопію для вимірювання рівня глюкози в крові; вона має форму навушників, які надіваються на вухо пацієнта, і дані передаються до мобільного додатка для аналізу та моніторингу; пристрій Glucair сканує шкіру в районі вуха та вимірює спектральні характеристики, що пов'язані з рівнем глюкози в крові; отримані дані передаються до мобільного додатка, де вони аналізуються та відображаються для подальшого спостереження та консультацій з медичними фахівцями; Glucair також знаходиться на етапі розробки та клінічних випробувань, і його точність та доступність на ринку також можуть залежати від подальшого розвитку та регуляторних затверджень;

3) CNOGA Medical: ця компанія розробляє неінвазивні мобільні кіберфізичні системи для моніторингу рівня глюкози в крові; вони використовують спеціальний датчик, який наноситься на шкіру пацієнта, і вимірюють відбиття ближньоінфрачервоного світла для визначення рівня глюкози; використовує спеціальні датчики, які наносяться на шкіру пацієнта, зазвичай на пальці або вухо; ці датчики вимірюють відбиття ближньоінфрачервоного світла і аналізують його спектральні характеристики, пов'язані з рівнем глюкози в крові; отримані дані передаються до мобільного додатка, де вони аналізуються та відображаються для моніторингу та аналізу пацієнтом та медичним персоналом; CNOGA Medical також перебуває на етапі розробки та випробувань, і точність та доступність їх систем також можуть залежати від подальшого розвитку та регуляторних затверджень.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Мобільна кіберфізична система GlucoWise

Варто зазначити, що деякі з цих систем знаходяться на етапі розробки та клінічних випробувань, а їх точність та ефективність можуть варіювати. Перед використанням будь-якої такої системи варто консультуватися з медичним фахівцем.

Як було описано вище, було прийнято рішення розробляти мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів як неінвазивну глюкозо-моніторингову систему на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії.

Узагальнена архітектура неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії представлена на рис. 3.2.

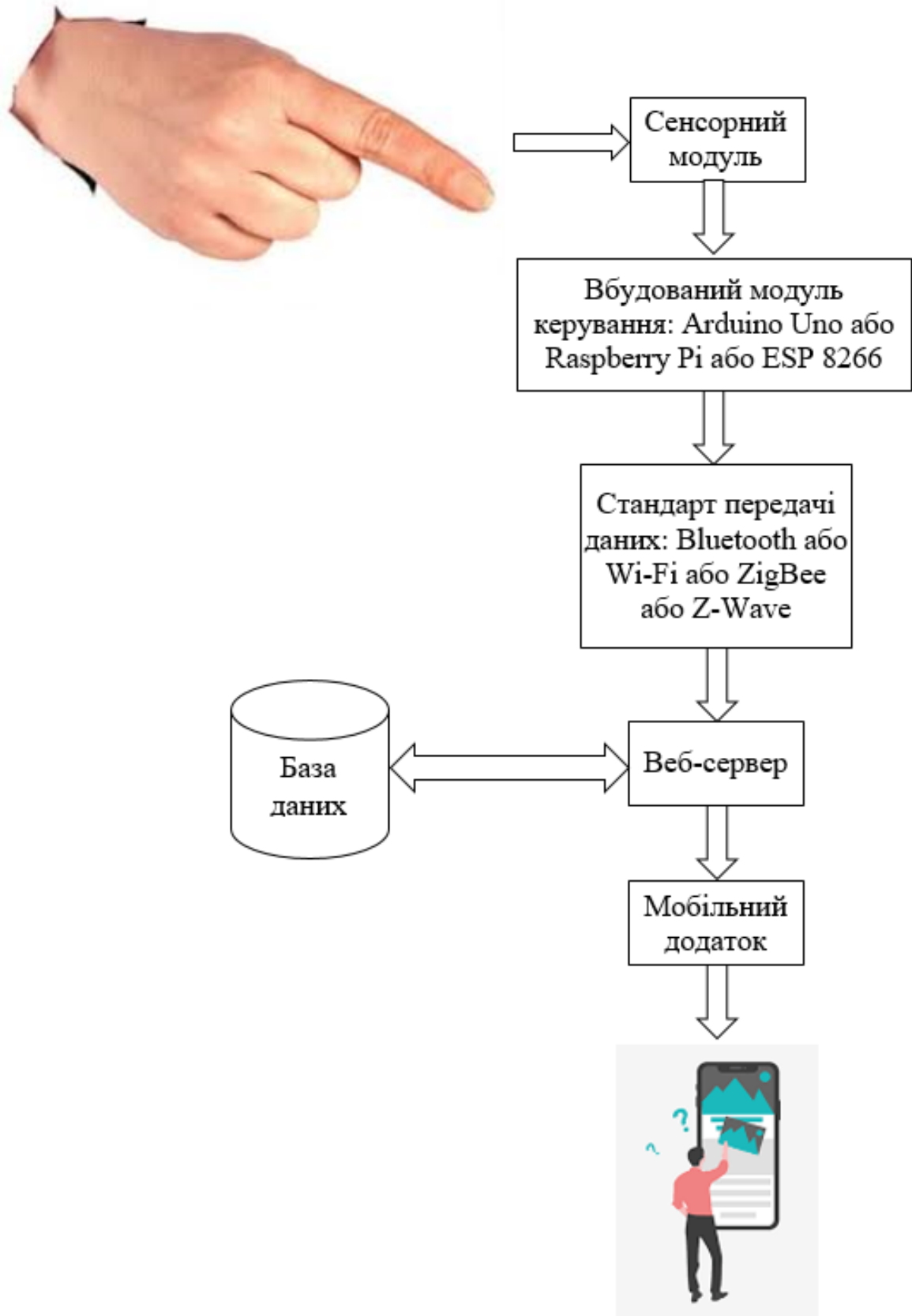


Рисунок 3.2 – Узагальнена архітектура неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2 Структура мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Деталізуємо запропоновану архітектуру неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії.

В якості сенсорного модуля використовуватимемо оптоелектронний датчик з лазерним або світлодіодом (рис. 3.3), який є пристроєм, що використовує світлові сигнали для вимірювання певних параметрів або виявлення об'єктів, та інфрачервоний фотоприймач (рис. 3.4), який є пристроєм, призначеним для реєстрації і прийому інфрачервоного випромінювання, що використовується для сприймання інфрачервоного світла з довжиною хвилі, яка знаходиться поза видимим діапазоном людського ока (зазвичай від 700 нм до 1 мм).

Виходи оптоелектронного датчика та фотоприймача приєднані через підсилювач сигналу (рис. 3.5), спеціальний електронний пристрій, що використовується для збільшення амплітуди або потужності вхідного сигналу без спотворень, що поліпшує якість та дальність передачі сигналу, на аналого-цифровий перетворювач (рис. 3.6) – електронний пристрій, що використовується для перетворення аналогового сигналу на цифровий формат, який може бути оброблений іншими цифровими пристроями, такими як мікроконтролери, комп'ютери, сенсорні системи тощо.

Виходи аналого-цифрового перетворювача подаються на вбудований модуль керування (мікроконтролер).

В якості вбудованого модуля керування можуть бути використані наступні плати: Arduino Uno, Raspberry Pi або ESP 8266.

Arduino Uno є однією з найпопулярніших і поширених платформ для прототипування і розробки електронних проектів. Вона базується на мікроконтролері ATmega328P і має вбудоване середовище розробки Arduino, яке дозволяє легко програмувати плату з використанням мови програмування C/C++.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Arduino Uno має ряд входів та виходів, що дозволяють підключати різноманітні датчики, пристрої вводу-виводу та інші компоненти. Вона підтримує широкий спектр додаткових модулів та розширень, таких як сенсори, LCD-дисплеї, бездротові модулі, реле, тощо. Це робить Arduino Uno універсальною платформою для розробки різноманітних проектів, включаючи домашню автоматизацію, робототехніку, моніторинг і керування, і багато іншого. Arduino Uno має простий інтерфейс, що робить її доступною навіть для початківців у світі електроніки і програмування. Вона підтримується активною спільнотою розробників, яка надає багато прикладів коду, документацію та підтримку. Більшість проектів, створених на Arduino Uno, можуть бути безпроблемно перенесені на інші моделі Arduino з аналогічним мікроконтролером. В загальному, Arduino Uno є потужним і гнучким інструментом для розробки електронних проектів, який використовується як для навчання, так і для створення функціональних прототипів.

Raspberry Pi включає в себе процесор, оперативну пам'ять, графічний процесор, входи та виходи, а також можливість підключення різноманітних периферійних пристроїв, таких як дисплеї, камери, сенсори, датчики, мережеві модулі та багато іншого. Raspberry Pi працює на базі операційної системи Linux і має широкий спектр програмних засобів для розробки і програмування. Raspberry Pi може використовуватися для різних проектів, включаючи домашню автоматизацію, медіацентри, інтернет речей, робототехніку, сервери, кластери обчислювальних вузлів та інше. Одна з переваг Raspberry Pi полягає в його доступності і відкритості. Вона є відносно дешевою і має велику активну спільноту розробників, яка надає підтримку, документацію та приклади проектів. Крім того, існує багато розширень і аксесуарів, які роблять Raspberry Pi більш гнучкою і функціональною платформою. Загалом, Raspberry Pi є потужним і розширюваним комп'ютером.

ESP8266 – це мікроконтролер з вбудованим модулем Wi-Fi, що розроблений компанією Espressif Systems. Він поєднує в собі функції мікроконтролера та можливості бездротового зв'язку Wi-Fi, що робить його популярним у проектах

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтернету речей (IoT) та зв'язку з мережами. ESP8266 має вбудований процесор, оперативну пам'ять, виходи та входи загального призначення, а також можливість підключення до різних периферійних пристроїв. Його основними перевагами є низька вартість, низький споживання енергії і висока ефективність роботи. ESP8266 підтримує протоколи Wi-Fi, TCP/IP і має можливості роботи в режимі клієнта або точки доступу. Це дозволяє йому здійснювати зв'язок з іншими пристроями через мережу Wi-Fi і обмінюватися даними. ESP8266 також підтримує програмування у середовищі Arduino, що робить його доступним для багатьох розробників. За допомогою Arduino IDE можна легко програмувати ESP8266 за допомогою мови програмування C/C++. Загалом, ESP8266 є потужним і зручним мікроконтролером.

В якості вбудованого модуля керування для мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів обрано Arduino UNO (рис. 3.7) завдяки його популярності, відкритості, можливості програмувати, доступності, доступним бібліотекам і проектам, а також доступній елементній базі.

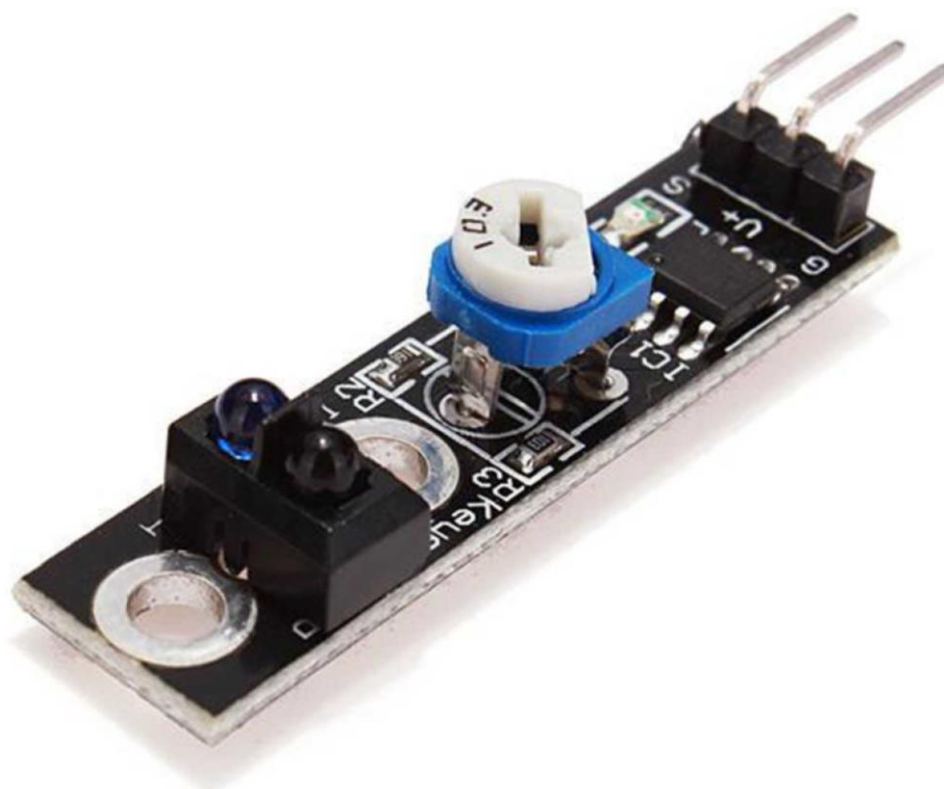


Рисунок 3.3 – Оптиелектронний датчик

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

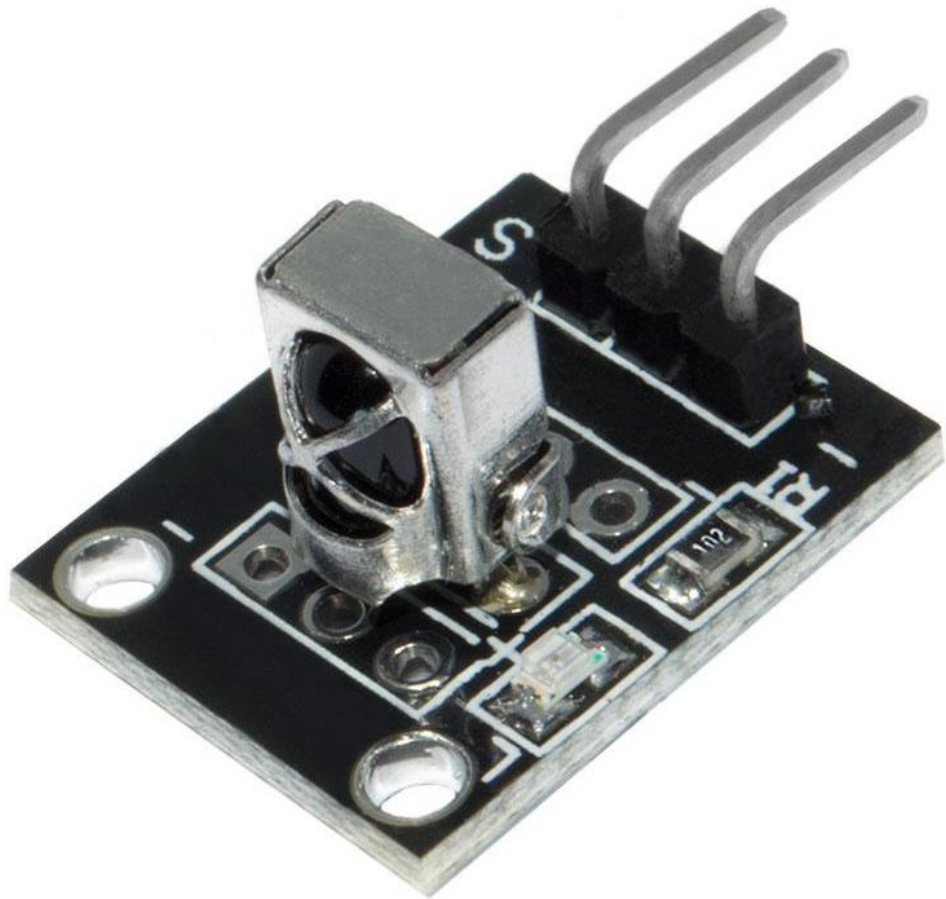


Рисунок 3.4 – Інфрачервоний фотоприймач

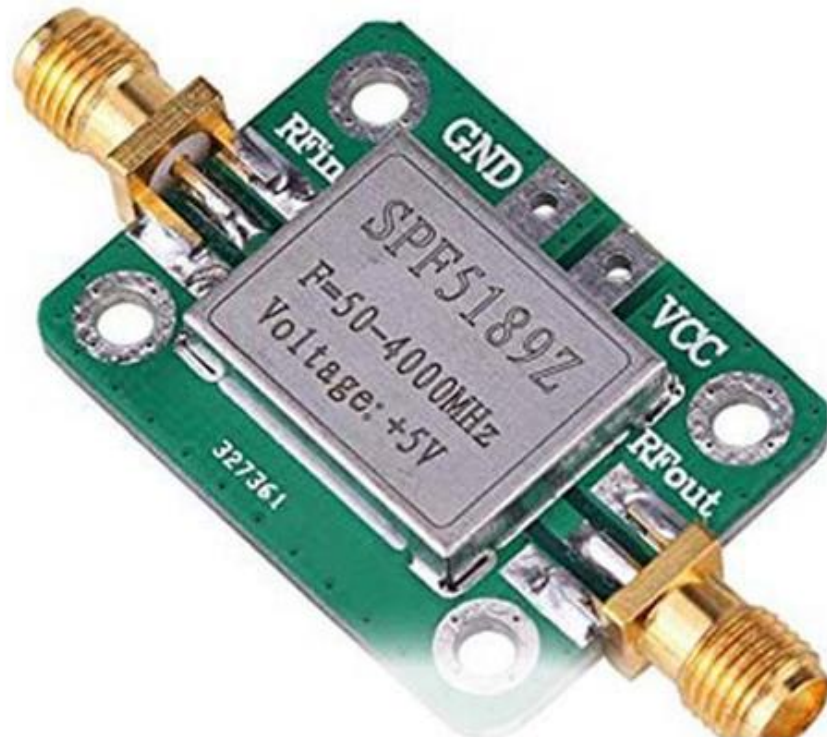


Рисунок 3.5 – Підсилювач сигналу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ

Арк.
51

В якості стандарту передачі даних можуть бути використані: Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee або Z-Wave.

Bluetooth є бездротовим протоколом передачі даних, який використовується для обміну інформацією між різними електронними пристроями на невеликій відстані. Він дозволяє підключати та обмінюватися даними між сумісними пристроями, такими як смартфони, планшети, навушники, комп'ютери, аудіо- та відеопристрої, фітнес-трекери та інші. Bluetooth забезпечує надійний і енергоефективний спосіб передачі даних через бездротове з'єднання. Він працює на частоті 2.4 ГГц і підтримує високу якість передачі аудіо та відео, а також обмін даними, управління пристроями та інші функції. Bluetooth використовується в пристроях Інтернету речей (IoT), які можуть бути керовані та моніторитися за допомогою смартфона або іншого Bluetooth-сумісного пристрою.

Wi-Fi є бездротовим протоколом мережі, який дозволяє підключати пристрої до бездротової локальної мережі та забезпечувати доступ до Інтернету. Він базується на стандарті IEEE 802.11. Wi-Fi працює на частоті 2.4 ГГц або 5 ГГц і забезпечує бездротовий обмін даними між пристроями, що підключені до одної мережі. Це дозволяє підключати різні пристрої, такі як смартфони, планшети, комп'ютери, принтери, телевізори та інші, до мережі і обмінюватися даними, доступом до Інтернету, передачею файлів, стрімінгом відео та аудіо, грою в онлайн-ігри та багато іншого. Wi-Fi також може бути використано для створення мережі між пристроями без доступу до Інтернету, таких як бездротове спілкування між смартфонами, стрімінг медіа від одного пристрою до іншого, передача файлів тощо. Wi-Fi є широко поширеним та популярним протоколом мережі завдяки своїй швидкості передачі даних, зручності використання та широкій підтримці у багатьох пристроях та системах.

ZigBee є бездротовим протоколом комунікації, розробленим для мереж низького споживання енергії та великої масштабованості. Він базується на стандарті IEEE 802.15.4 і використовується для зв'язку між різними пристроями в інтернеті речей (IoT), сенсорних мережах та інших додатках, де важлива низька

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживання енергії та велика відстань передачі даних. Завдяки низькому споживанню енергії ZigBee може передавати дані на великі відстані, що робить його ідеальним для застосувань, де потрібно довгі бездротові зв'язки. ZigBee дозволяє створювати великі мережі, в яких можуть бути сотні або навіть тисячі пристроїв, що співпрацюють між собою.

Z-Wave є бездротовим протоколом, розробленим для мереж «розумного дому», Інтернету речей (IoT). Він забезпечує надійний та енергоефективний зв'язок між пристроями, такими як освітлення, термостати, датчики безпеки, замки дверей та інші. Z-Wave використовує мережу "маршрутизації мультискорості", що забезпечує надійну передачу сигналів між пристроями шляхом автоматичного вибору оптимального шляху між ними. Z-Wave використовує шифрування трафіку та аутентифікацію пристроїв для забезпечення безпеки мережі.

В якості стандарту передачі даних обрано бездротовий стандарт Bluetooth, який дає змогу пристроям зв'язуватися один з одним на короткій відстані, оскільки його достатньо для керування пристроями мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів за допомогою мобільного телефона.

Модуль керування обчислює дані, зареєстровані фотоприймачем та перетворені в цифрове значення аналого-цифровим перетворювачем, порівнює з еталонними даними, записаними в постійній пам'яті модуля керування та через Bluetooth передає на веб-сервер, який організовує запис даних до бази даних та передачу результатів вимірювання у мобільний додаток пацієнта, його членів сім'ї або лікаря. Можливим є варіант, коли ці дані передаються на інсулінову помпу для забезпечення розрахунку дози інсуліну та виконання ін'єкції інсуліну за потреби.

Деталізована структура неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії з врахуванням обраних елементів представлена на рис. 3.8.

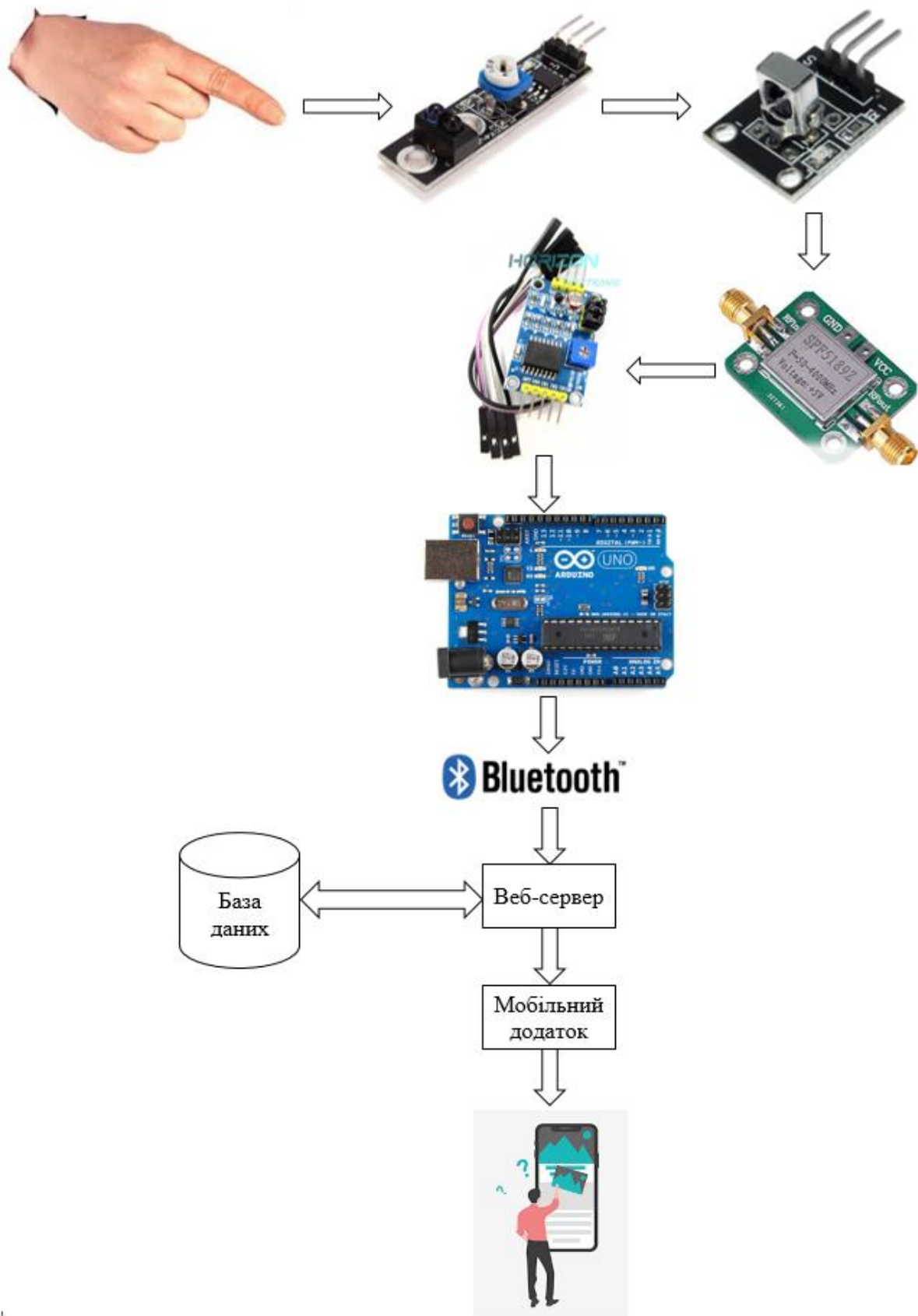


Рисунок 3.8 – Деталізована структура неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії

3.3 Висновки

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування архітектури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії.

Виконано вибір елементної бази для проектування деталізованої структури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії.

В якості вбудованого модуля керування для мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів обрано Arduino UNO завдяки його популярності, відкритості, можливості програмувати, доступності, доступним бібліотекам і проектам, а також доступній елементній базі. В якості стандарту передачі даних обрано бездротовий стандарт Bluetooth, який дає змогу пристроям зв'язуватися один з одним на короткій відстані, оскільки його достатньо для керування пристроями мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів за допомогою мобільного телефона.

Розроблено також деталізовану структуру неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії з врахуванням обраних елементів.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВКИ

Людам з захворюванням на цукровий діабет життєво необхідно підтримувати нормальний рівень глюкози в крові. Визначення цього показника є обов'язковою процедурою при взятті загального аналізу крові кожного пацієнта, що потрапляє в поліклініку або стаціонар. Проте для хворих на цукровий діабет дану маніпуляцію необхідно проводити постійно. Регулярне визначення рівня глюкози в крові дозволяє хворим розраховувати кількість інсуліну або цукрознижуючих препаратів, що потрібно ввести в організм.

Контроль глюкози є важливим компонентом життя кожної людини хворої на цукровий діабет, тому найважливіше, якщо такий процес буде максимально швидким, безболісним та точним.

На даний момент найрозповсюдженішим методом є проколання пальця людини і вилучення краплі крові на тест-смужку, що є складовою глюкометра, який наразі найчастіше використовується для вимірювання рівня цукру в крові. Тест-смужка містить на собі хімічні речовини, чутливі до глюкози в зразку крові. Цей метод є найбільш доступним, але не завжди зручним.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено неінвазивну мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідає за постійний моніторинг рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також за попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові

Об'єктом дослідження є процес моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Предметом дослідження є мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

Для досягнення поставленої мети використовуються такі методи дослідження, як методи синтезу, аналізу та моделювання процесів, принципи системного аналізу, теоретико-множинні підходи.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В першому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз задачі моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, а також досліджено основи розроблення кіберфізичних систем. Крім цього, в першому розділі виконано постановку задачі подальшого дослідження.

В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз алгоритмів моніторингу рівня цукру в крові. Оскільки загальний напрямок розвитку полягає в створенні технологій, які надають зручність, безболісність та постійний моніторинг рівня глюкози для поліпшення якості життя людей, що страждають від цукрового діабету, то прийнято рішення розробляти мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів як неінвазивну глюкозо-моніторингову систему. Враховуючи найбільший рівень дослідження, найбільшу точність методики, а також наявну елементну базу для цієї методики, оберемо для розроблення неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів ближню інфрачервону спектроскопію.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано проєктування архітектури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії. Виконано вибір елементної бази для проєктування деталізованої структури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії. В якості вбудованого модуля керування для мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів обрано Arduino UNO завдяки його популярності, відкритості, можливості програмувати, доступності, доступним бібліотекам і проєктам, а також доступній елементній базі. В якості стандарту передачі даних обрано бездротовий стандарт Bluetooth, який дає змогу пристроям зв'язуватися один з одним на короткій відстані, оскільки його достатньо для керування пристроями мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів за допомогою мобільного телефона.

Розроблено також деталізовану структуру неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії з врахуванням обраних елементів.

Практичне значення має спроектована та реалізована мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідає за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також здійснення попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ахманов М., Астамірова Х. Настольна книга діабетика. Київ: Ексмо, 2015. 496 с.
2. Статистика захворювання цукровим діабетом [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.who.int/diabetes/>.
3. Карамишева Т. В. Діабет. Сучасна енциклопедія з рекомендаціями. Київ: Ексмо, 2016. 464 с.
4. Древаль О. Цукровий діабет. Фармокологічний довідник. Київ: Вершина, 2016. 680 с.
5. Гуров Н. Цукровий діабет 2-го типу. Харків: Онікс, 2016. 136 с.
6. Тронько Д. Н., Соколова Л. К., Ковзун К. Р. Інсулінотерапія. Вчора. Сьогодні. Завтра. Запоріжжя: Медкнига, 2014. 192 с.
7. R. G. Sanfelice, D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice. CRC Press, 2016. 348 p.
8. Грудзинський Ю. Є. Технології сучасних кібер-фізичних систем: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 327 с.
9. Гаркуша І.М. Конспект лекцій з дисципліни “Проектування інформаційних систем” для студентів галузі знань 12 “Інформаційні технології” спеціальності 126 “Інформаційні системи та технології”. Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 75 с.
10. Свєрстюк А. С. Моделі та методи компартментного математичного моделювання кіберфізичних систем медико-біологічних процесів: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02. Тернопіль, 2020. 611 с.
11. Пархоменко А. В., Гладкова О. М., Пархоменко А. В. Прототипування біомедичних пристроїв та конструкцій: навчальний посібник. Житомир: ПП «Євро-Волинь», 2021. 202 с.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Protective and risk factors of impaired awareness of hypoglycemia in patients with type 1 diabetes: a cross-sectional analysis of baseline data from the PR-IAH study / N. Sakane et al. *Diabetology & Metabolic Syndrome*. 2023. Vol. 15, no. 1.

13. Factors influencing foot care behavior among patients with type 2 diabetes mellitus who have a high-risk diabetic foot in China / Y.-J. Cheng et al. *Nursing Practice Today*. 2023.

14. Reversal of the diabetic bone signature with anabolic therapies in mice / S. Marino et al. *Bone Research*. 2023. Vol. 11, no. 1.

15. Electrically assisted cycling for individuals with type 2 diabetes mellitus: a pilot randomized controlled trial / J. E. Bourne et al. *Pilot and Feasibility Studies*. 2023. Vol. 9, no. 1.

16. Optimal statin use for prevention of sepsis in type 2 diabetes mellitus / M. Sun et al. *Diabetology & Metabolic Syndrome*. 2023. Vol. 15, no. 1.

17. L-Arginine in diabetes: clinical and preclinical evidence / I. Forzano et al. *Cardiovascular Diabetology*. 2023. Vol. 22, no. 1.

18. Liver biomarkers, lipid metabolites, and risk of gestational diabetes mellitus in a prospective study among Chinese pregnant women / P. Wu et al. *BMC Medicine*. 2023. Vol. 21, no. 1.

19. Effectiveness of self-financing patient-led support groups in the management of hypertension and diabetes in low- and middle-income countries: systematic review / R. E. Sanya et al. *Tropical Medicine & International Health*. 2022.

20. Differences in Glucose Control of Diabetic Patients with Family Care Support Interventions / I. Fradianto et al. *Malaysian Journal of Nursing*. 2023. Vol. 14, no. 03. P. 110–115.

21. Sharma A., Singh H. P., Nilam. A methodical survey of mathematical model-based control techniques based on open and closed loop control approach for diabetes management. *International Journal of Biomathematics*. 2022.

22. Clinical and demographic profile of diabetic patients from Central India - Results from diabetes registry / A. Sahasrabuddhe et al. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2022. Vol. 26, no. 5. P. 471.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Almomani M. H., AL-Tawalbeh S. Glycemic Control and Its Relationship with Diabetes Self-Care Behaviors Among Patients with Type 2 Diabetes in Northern Jordan: A Cross-Sectional Study. *Patient Preference and Adherence*. 2022. Volume 16. P. 449–465.

24. Feng X.-H., Shen S.-J., Jin G.-J. Effect of narrative nursing model on self-management ability and quality of life of patients with advanced pancreatitis and diabetes. *World Chinese Journal of Digestology*. 2021. Vol. 29, no. 22. P. 1316–1322.

25. Sugar feeding patterns of New York *Aedes albopictus* mosquitoes are affected by saturation deficit, flowers, and host seeking / K. Fikrig et al. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 2020. Vol. 14, no. 10.

26. Point-of-Care Biosensors for Glucose Sensing / T. Vyas et al. *Nanobiosensors for point-of-care medical diagnostics*. Singapore, 2022. P. 107–136.

27. Dual Wavelength based Approach with Partial Least Square Regression for the Prediction of Glucose Concentration / Y. Deepshikha et al. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. 2022.

28. Comprehensive Review on Wearable Sweat-Glucose Sensors for Continuous Glucose Monitoring / H. Zafar et al. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 2. P. 638.

29. Chen Q., Zhao Y., Liu Y. Current development in wearable glucose meters. *Chinese Chemical Letters*. 2021.

30. IoT and Machine Learning based Self Care System for Diabetes Monitoring and Prediction / A. Hebbale et al. *2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangalore, India, 1–3 October 2021. 2021.

31. Smartphone-based colorimetric detection systems for glucose monitoring in the diagnosis and management of diabetes / Ö. Kap et al. *The Analyst*. 2021. Vol. 146, no. 9. P. 2784–2806.

32. Experimental Based Blood Glucose Monitoring with a Noninvasive Cylindrical Biosensor Antenna / Y. Rahayu et al. *Progress In Electromagnetics Research M*. 2023. Vol. 115. P. 71–81.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Hossain S., Kim K.-D. Non-Invasive In Vivo Estimation of HbA1c Using Monte Carlo Photon Propagation Simulation: Application of Tissue-Segmented 3D MRI Stacks of the Fingertip and Wrist for Wearable Systems. *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 1. P. 540.

34. A Non-Invasive IoT-Based Glucose Level Monitoring System / S. Paul et al. *Current Signal Transduction Therapy*. 2022. Vol. 17.

35. Development of a Non-Invasive Blood Glucose Monitoring System Prototype: Pilot Study. (Preprint) / M. Valero et al. *JMIR Formative Research*. 2022.

36. Non-invasive sensing techniques for glucose detection: a review / J. Al-Nabulsi et al. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2022. Vol. 11, no. 4. P. 1926–1937.

37. Non-Invasive Detection System for Blood Sugar, Cholesterol, Uric Acid, and Body Temperature Using MAX30105 and MLX90614 Sensors / R. N. Fauzi et al. 2022 *International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, Surabaya, Indonesia, 22–23 November 2022. 2022.

38. Novel Approach to Non-Invasive Blood Glucose Monitoring Based on Visible Laser Light / J. T et al. 2022 *International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)*, Pudukkottai, India, 13–15 December 2022. 2022.

39. IR-RING: Non-invasive Continuous Blood Glucose Monitor / S. Sathishkumar et al. 2022 *6th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, Coimbatore, India, 1–3 December 2022. 2022.

40. Study of Non-Invasive Methods of Measuring Glucose for Patients with Diabetes Mellitus / T. Sarsembayeva et al. 2022 *International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan, 28–30 April 2022. 2022.

41. Umiatin U., Stella Y. N. M. Placement Optimization of Infrared Sensors as Non-Invasive Blood Sugar Measurements. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. Vol. 2377, no. 1. P. 012025.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

42. Ibrahim H., Darweesh M. S., Soltan A. An Optimized Non-Invasive Blood Glucose and Temperature Body Measurement System. *2022 11th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, Bremen, Germany, 8–10 June 2022. 2022.

43. Chakravarthula K., Shah T. S., Pathak D. Non-invasive Measurement of Blood Sugar Using Near-Infrared Spectroscopy. *Smart Intelligent Computing and Applications*, Volume 2. Singapore, 2022. P. 85–92.

44. Engineering digital biomarkers of interstitial glucose from noninvasive smartwatches / B. Bent et al. *Digital Medicine*. 2021. Vol. 4, no. 1.

45. Mathew A. A., Vivekanandan S. A Review of Existing Non-invasive Techniques for Glucose Monitoring. *Advances in Automation, Signal Processing, Instrumentation, and Control*. Singapore, 2021. P. 2409–2420.

46. A Non-Invasive Blood Glucose Monitoring Device / A. Kassem et al. *2020 IEEE 5th Middle East and Africa Conference on Biomedical Engineering (MECBME)*, Amman, Jordan, 27–29 October 2020. 2020.

47. A Review of Non-Invasive Optical Systems for Continuous Blood Glucose Monitoring / B. Alsunaidi et al. *Sensors*. 2021. Vol. 21, no. 20. P. 6820.

48. Hina A., Saadeh W. Noninvasive Blood Glucose Monitoring Systems Using Near-Infrared Technology—A Review. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 13. P. 4855.

49. Near-infrared LED based non-invasive blood glucose sensor / J. Yadav et al. *2014 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, Noida, Delhi-NCR, India, 20–21 February 2014. 2014.

50. Haxha S., Jhoja J. Optical Based Noninvasive Glucose Monitoring Sensor Prototype. *IEEE Photonics Journal*. 2016. Vol. 8, no. 6. P. 1–11.

51. Near-Infrared Light Emitting Diode Based Non-Invasive Glucose Detection System / S. H. Lee et al. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2019. Vol. 19, no. 10. P. 6187–6191.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

52. Jain P., Maddila R., Joshi A. M. A precise non-invasive blood glucose measurement system using NIR spectroscopy and Huber's regression model. *Optical and Quantum Electronics*. 2019. Vol. 51, no. 2.

53. In vivo noninvasive blood glucose detection using near-infrared spectrum based on the PSO-2ANN model / J. Dai et al. *Technology and Health Care*. 2018. Vol. 26. P. 229–239.

54. iGLU 2.0: A New Wearable for Accurate Non-Invasive Continuous Serum Glucose Measurement in IoMT Framework / A. M. Joshi et al. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 2020. Vol. 66, no. 4. P. 327–335.

					КВРКІ 200113.20.01.14 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Додаток А (обов'язковий)

Копія креслення «Глюкозо-моніторингові системи»

ГЛЮКОЗО-МОНІТОРИНГОВІ СИСТЕМИ







Електрода порівняння потенціала
Протипотенціал
ПК
Робочий електрод
Електрод

Полімерна мембрана
Фермент
Металор
Провідниковий полімер
Плівочка-електрод








КвРКІ 200113.20.01.14

Мобільна вібраційна система для контролю рівня інсулінозалежних пацієнтів

Глюкозо-моніторингові системи

Зм. Арк.	№ доум.	Почис. Днів	Після	Місяць
Розроб.	Підпис Л.С.			
Паравир.	Підпис Л.С.		Арсен Т.	Арсен Т.
Н. контр.				ХНУ, гр. КІДс-20-1
Т. контр.	Підпис С.М.			
Затв.	Підпис Л.С.			

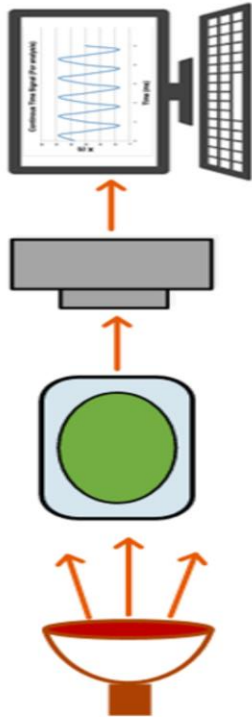
КвРКІ 200113.20.01.14

Додаток Б
(обов'язковий)

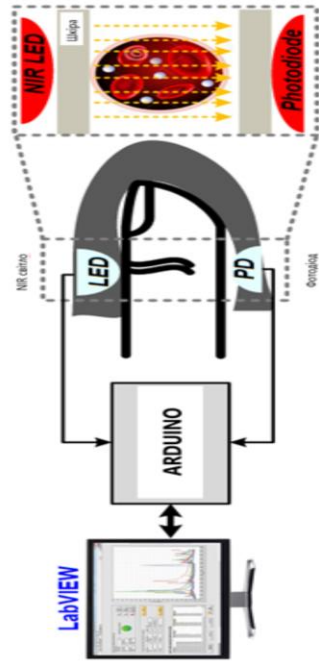
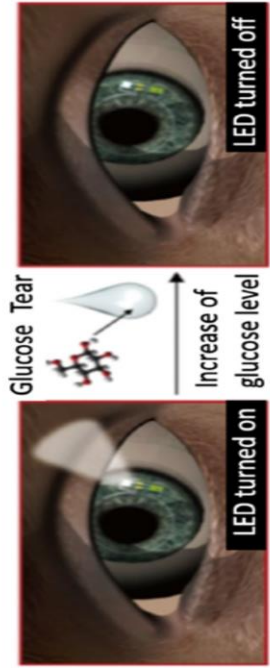
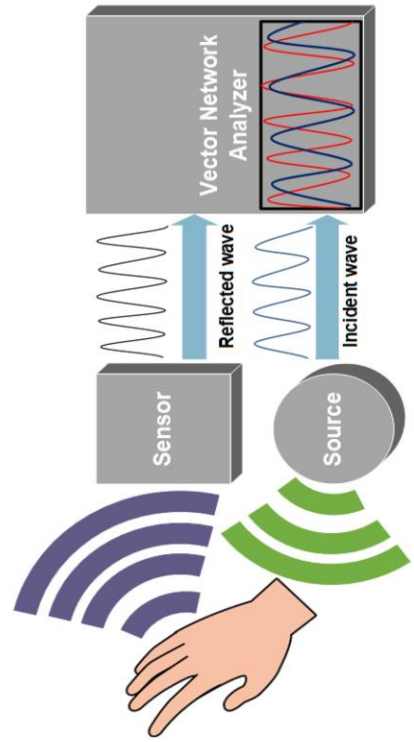
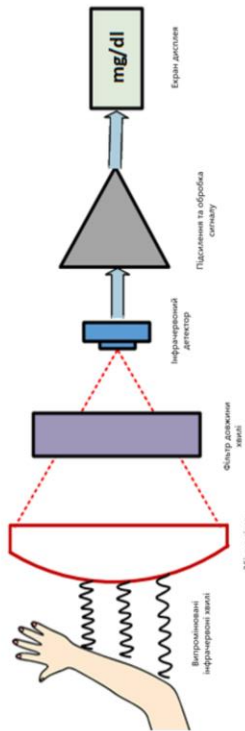
Копія креслення «Неінвазивні системи моніторингу рівня глюкози»

Неінвазивні системи
моніторингу рівня глюкози

КВРКІ 200113.20.01.14



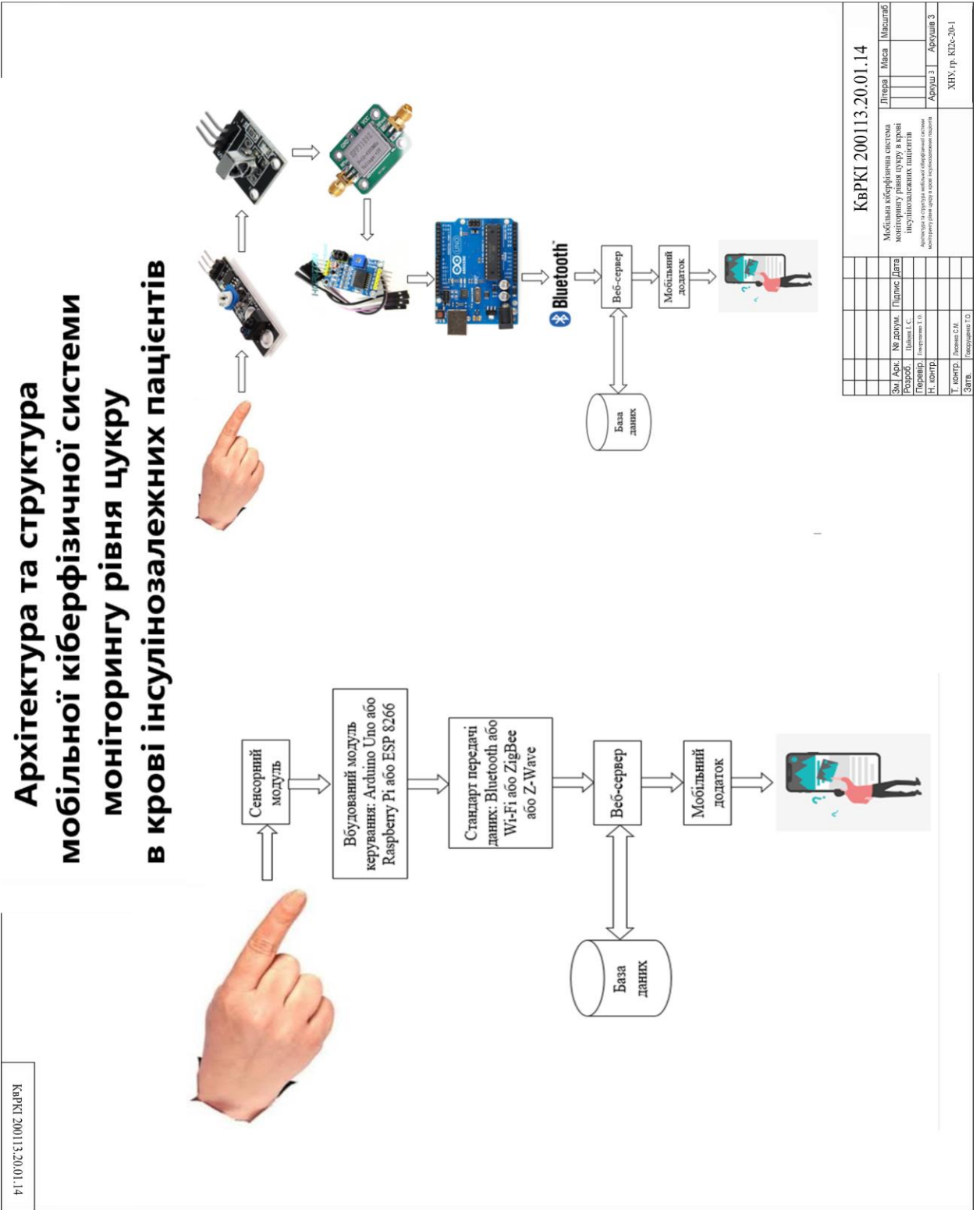
Джерело інфрачервоного світла
Міди провідне вимірвань
Інфрачервоний детектор
Аналіз і візуалізація сигналу



КВРКІ 200113.20.01.14									
Знак	Адрес	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Маса	Місцезнаб.		
Розроб.	Підпис	Л.С.						Аркуш 2	Аркуш 3
Модельна ксерокопія системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів									
Неінвазивна система моніторингу рівня глюкози									
Т. констр.	Діагно. СМ							ХНУ, гр. КД-20-1	
Зав.	Використання ГО								

Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура та структура мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів»



Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 10%

ID: 113724 Назва: БКР Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів Додано в БД: 2023-05-20 Автора: І. С. Пайонк Керівники: Т. О. Говорущенко Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	92924	592	2498 (3%)	21 (4%)

Джерело плагиату

ID	Опис	Наявність плагиату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Пайонк Ілля Сергійович

Тема: Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення постійного моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів шляхом розроблення мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз задачі моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, а також досліджено основи розроблення кіберфізичних систем. Крім цього, в першому розділі виконано постановку задачі подальшого дослідження.

В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз алгоритмів моніторингу рівня цукру в крові. Оскільки загальний напрямок розвитку полягає в створенні технологій, які надають зручність, безболісність та постійний моніторинг рівня глюкози для поліпшення якості життя людей, що страждають від цукрового діабету, то прийнято рішення розробляти мобільну кіберфізичну систему моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів як неінвазивну глюкозо-моніторингову систему. Враховуючи найбільший рівень дослідження, найбільшу точність методики, а також наявну елементну базу для цієї методики, оберемо для розроблення неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів ближню інфрачервону спектроскопію.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування архітектури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії. Виконано вибір елементної бази для проектування деталізованої структури неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії. В якості вбудованого модуля керування для мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів обрано Arduino UNO завдяки його популярності, відкритості, можливості програмувати, доступності, доступним бібліотекам і проєктам, а також доступній елементній базі. В якості стандарту передачі даних обрано бездротовий стандарт Bluetooth, який дає змогу пристроям зв'язуватися один з одним на короткій відстані, оскільки його достатньо для керування пристроями мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів за допомогою мобільного телефона. Розроблено також деталізовану структуру неінвазивної мобільної кіберфізичної системи моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії з врахуванням обраних елементів.

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи. Практичне значення має спроектована та реалізована мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів, яка відповідає за постійний моніторинг (кожні 5 чи 10 хвилин) рівня цукру в крові пацієнтів, хворих на цукровий діабет, а також здійснення попередження про критично низький або критично високий рівень цукру в крові.

5. Негативні сторони роботи: _____

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному інженерно-технічному рівні.


8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3.50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Мартинюк В.В.

д.т.н., проф., зав. каф. АКІТР ХНУ

“22” 05 2023 р.

 (підпис)

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

Пайонка Іллі Сергійовича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-20-1

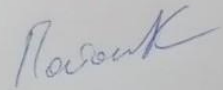
ЗАЯВА

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

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

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

19 травня 2023 року



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

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

Назва: Мобільна кіберфізична система моніторингу рівня цукру в крові інсулінозалежних пацієнтів

Автор: Пайонк Ілля Сергійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

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

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

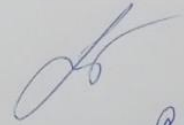
Підтвердження:

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

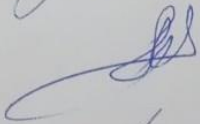
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 6.22% в частині загальноприйнятої термінології.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 3.79% і адресується до 125 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

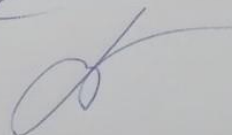
Керівник роботи


Т. О. Говорущенко

Гарант ОПП


С. М. Лисенко

Завідувач кафедри КІС


Т. О. Говорущенко