

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЙ
(повне назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка застосунку для аналізу рівня глюкози на основі
машинного навчання»

Виконала: здобувач 4 курсу, групи 4ПР5
напряму підготовки (спеціальності)

121 «Інженерія програмного забезпечення»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Юдіна Вікторія Павлівна

(прізвище та ініціали)

Керівник

ст. викладач Комісаров О. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

к.т.н., доцент Вишемирська С.В.

(прізвище та ініціали)

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет, відділення

Інформаційних технологій та дизайну

Кафедра, циклова комісія

Програмних засобів і технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень

бакалавр

ОПП

Програмування смарт-пристроїв та вбудованих систем

(шифр і назва)

Спеціальність

121 – Інженерія програмного забезпечення

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова
циклової комісії програмних
засобів і технологій

к.т.н.; доцент О. Є. Огнєва

« 20 » січня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Юдіна Вікторія Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи)

«Розробка застосунку для аналізу рівня

глюкози на основі машинного навчання»

керівник проєкту (роботи)

старший викладач Комісаров Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» січня 2025 року № 98-с

2. Строк подання здобувачем проєкту (роботи)

17.06.2025

3. Вихідні дані до проєкту (роботи)

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

Дослідження та аналіз предметної області, архітектура системи, аналіз та підготовка даних, розробка та оцінка ефективності моделі, програмна реалізація застосунку.

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

Комп'ютерна презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Отримання завдання	20.01.2025	Виконано
2.	Підбір літератури	10.02.2025 – 25.02.2025	Виконано
3.	Аналіз предметної області	28.02.2025 – 10.03.2025	Виконано
4.	Розробка концептуальної моделі	12.03.2025 – 22.03.2025	Виконано
5.	Розробка проєктної системи	25.03.2025 – 30.03.2025	Виконано
6.	Розробка та проєктування баз даних	02.04.2025 – 10.04.2025	Виконано
7.	Розробка інтерфейсу застосунку	12.04.2025 – 20.04.2025	Виконано
8.	Написання вихідного коду програми	21.04.2025 – 20.05.2025	Виконано
9.	Оформлення пояснювальної записки	21.05.2025- 01.06.2025	Виконано
10.	Захист кваліфікаційної роботи	17.06.2025	Виконано

Здобувач _____

(підпис)

В.П. Юдіна

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____

(підпис)

О.С. Комісаров

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної дипломної роботи: «Розробка застосунку для аналізу рівня глюкози на основі машинного навчання».

Дипломна робота виконана на 145 сторінках, містить 15 таблиць, 42 рисунки, 3 додатки, 42 джерела.

Мета роботи: створення мобільного застосунку для моніторингу та прогнозування рівня глюкози у пацієнтів з діабетом 1 типу з використанням методів машинного навчання для покращення якості глікемічного контролю.

Завдання дослідження: проаналізувати сучасні підходи до контролю глікемії у хворих на ЦД1 та системи безперервного моніторингу глюкози; дослідити методи машинного навчання для прогнозування глікемії; розробити та оптимізувати модель прогнозування на основі LightGBM; створити архітектуру мобільного застосунку з інтеграцією ML-моделі; реалізувати систему аналітики та персоналізованих рекомендацій; забезпечити безпеку зберігання медичних даних.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу та контролю рівня глюкози у пацієнтів з цукровим діабетом, а також технології, що використовуються для його реалізації.

Предмет дослідження – використання мобільного застосунку та методів машинного навчання для аналізу та прогнозування рівня глюкози у крові.

Результат роботи: розроблено та навчено модель LightGBM для прогнозування глюкози з точністю $RMSE = 1,893$ ммоль/л та $R^2 = 0,605$; створено мобільний застосунок на платформі Flutter з інтеграцією ML-моделі через формат ONNX; реалізовано систему аналітики з розрахунком Time in Range та виявленням патернів глікемії; забезпечено захист медичних даних через шифрування та безпечне зберігання.

Ключові слова: ДІАБЕТ 1 ТИПУ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ МОНІТОРИНГ ГЛЮКОЗИ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, LIGHTGBM, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК, ПРОГНОЗУВАННЯ ГЛІКЕМІЇ, FLUTTER, TIME IN RANGE, DEXCOM G6.

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена розробці мобільного застосунку для аналізу рівня глюкози на основі машинного навчання для пацієнтів з цукровим діабетом 1 типу. Актуальність теми обумовлена необхідністю покращення якості самоконтролю глікемії та зниження ризику розвитку ускладнень діабету використовуючи сучасні технології моніторингу та прогнозування.

Метою роботи є створення комплексного програмного рішення, яке поєднує моніторинг глюкози в реальному часі з прогнозуванням майбутніх значень та наданням персоналізованих рекомендацій для оптимізації глікемічного контролю.

У роботі проведено детальний аналіз предметної області, досліджено сучасні підходи до безперервного моніторингу глюкози та методи машинного навчання для прогнозування глікемії. Для прогнозування рівня глюкози обрано модель LightGBM, яка демонструє оптимальний баланс між точністю прогнозування та обчислювальною ефективністю.

Проведено комплексну попередню обробку даних, створено систему інженерії ознак з розрахунком активного інсуліну, активних вуглеводів, швидкості зміни глюкози. Впроваджено стратегію з використанням вагових коефіцієнтів для різних діапазонів глюкози для покращення точності прогнозування, що призвело до зниження RMSE на 7,3%, MAE – на 16,4% та підвищення коефіцієнта детермінації R^2 на 56,3%.

Архітектура мобільного застосунку побудована за принципами Clean Architecture з використанням патерну MVVM та бібліотеки BLoC для управління станом. Реалізовано дворівневу систему зберігання даних з локальною зашифрованою базою SQLite та хмарним резервним копіюванням.

Особливістю розробленої системи є інтеграція ML-моделі у мобільний застосунок через конвертацію LightGBM у формат ONNX. Створено комплексну систему аналітики з розрахунком Time in Range, генерацією амбулаторного профілю глюкози та автоматичним виявленням патернів глікемії.

ABSTRACT

The thesis is dedicated to developing a mobile application for glucose level analysis based on machine learning for patients with type 1 diabetes mellitus. The relevance of the topic is determined by the need to improve the quality of glycemic self-control and reduce the risk of diabetes complications using modern monitoring and prediction technologies.

The aim of the work is to create a comprehensive software solution that combines real-time glucose monitoring with prediction of future values and provision of personalized recommendations for optimizing glycemic control.

The work conducted a detailed analysis of the subject area, investigated modern approaches to continuous glucose monitoring and machine learning methods for glycemia prediction. The LightGBM model was selected for glucose level prediction, which demonstrates an optimal balance between prediction accuracy and computational efficiency.

Comprehensive data preprocessing was conducted, and a feature engineering system was created with calculation of active insulin, active carbohydrates, and glucose rate of change. A strategy using weighting coefficients for different glucose ranges was implemented to improve prediction accuracy, which led to a reduction in RMSE by 7.3%, MAE by 16.4%, and an increase in the coefficient of determination R^2 by 56.3%.

The mobile application architecture is built on Clean Architecture principles using the MVVM pattern and BLoC library for state management. A two-tier data storage system was implemented with a local encrypted SQLite database and cloud backup.

A distinctive feature of the developed system is the integration of the ML model into the mobile application through conversion of LightGBM to ONNX format. A comprehensive analytics system was created with Time in Range calculation, ambulatory glucose profile generation, and automatic detection of glycemic patterns.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	13
1.1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ ТА ЙОГО КЛАСИФІКАЦІЯ	13
1.2. ОЦІНКА ЦІЛЬОВИХ ПОКАЗНИКІВ ГЛІКЕМІЇ	14
1.3. БЕЗПЕРЕРВНИЙ МОНІТОРИНГ ГЛЮКОЗИ (CGM).....	19
1.4. СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ КЛІНІЧНИХ РІШЕНЬ	22
1.4.1. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ.....	25
1.4.2. ПЕРСОНАЛІЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК БОЛЮСУ ІНСУЛІНУ НА ОСНОВІ ДАНИХ CGM	26
1.4.3. ПРОГНОЗУВАННЯ ГІПОГЛІКЕМІЧНИХ СТАНІВ	28
1.4.4. ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ НА ОСНОВІ ДАНИХ CGM.....	29
1.5. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ СППР ДЛЯ АНАЛІЗУ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	31
1.5.1. CODEX ALLIE	31
1.5.2. CENTER HEALTH ARIA.....	33
1.5.3. DIABITS.....	34
1.6. ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1.....	36
РОЗДІЛ 2. АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ.....	38
2.1. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....	38
2.2. ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ АРХІТЕКТУРИ	40
2.3. ЗАГАЛЬНА АРХІТЕКТУРА БАЗИ ДАНИХ	44
2.4. ПРОЕКТУВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ	48
2.5. ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2.....	52
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТА ПІДГОТОВКА ДАНИХ.....	53
3.1. ВИКОРИСТАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА БІБЛІОТЕКИ.....	53

3.2.	ОПИС ТА СТРУКТУРА НАБОРУ ДАНИХ.....	55
3.3.	ОСОБЛИВОСТІ ДАНИХ DEXSOM G6.....	59
3.4.	ПОГЛИБЛЕНИЙ АНАЛІЗ ТА ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ДАНИХ	63
3.4.1.	ОБРОБКА ПРОПУЩЕНИХ ЗНАЧЕНЬ.....	63
3.4.2.	ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ	64
3.5.	ПІДГОТОВКА ДАНИХ ДО МОДЕЛЮВАННЯ.....	66
3.5.1.	СТВОРЕННЯ ОЗНАК.....	67
3.5.2.	СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ОБРОБКА АНОМАЛІЙ.....	70
3.6.	ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3.....	73
	РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ.....	74
4.1.	ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ LIGHTGBM.....	74
4.2.	НАВЧАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛІ.....	76
4.3.	ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ.....	78
4.4.	ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛІ.....	82
4.5.	ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4.....	84
	РОЗДІЛ 5. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСТОСУНКУ.....	86
5.1.	ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	86
5.2.	АРХІТЕКТУРА ЗАСТОСУНКУ	87
5.3.	РЕАЛІЗАЦІЯ БАЗИ ДАНИХ	89
5.4.	РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ.....	93
5.5.	СИСТЕМА СПОВІЩЕНЬ	97
5.6.	БЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ДАНИХ	101
5.7.	ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 5.....	104
	ВИСНОВКИ.....	105
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106
	ДОДАТОК А.....	113
	ДОДАТОК Б	118
	ДОДАТОК В.....	123

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

IoT – Інтернет речей (Internet of Things)

ІКТ – Інформаційно-комунікаційні технології

IDF – Міжнародна діабетична федерація (International Diabetes Federation)

ЦД – цукровий діабет

AGP – амбулаторний профіль глюкози (Ambulatory Glucose Profile)

A1C – гемоглобін A1C (глікований гемоглобін)

CGM – безперервний моніторинг глюкози (Continuous Glucose Monitoring)

GMI – індикатор контролю рівня глюкози (Glucose Management Indicator)

TIR – час в цільовому діапазоні (Time In Range)

TAR – час вище цільового діапазону (Time Above Range)

TBR – час нижче цільового діапазону (Time Below Range)

IOB – активний інсулін (Insulin On Board)

ROC – швидкість зміни рівня глюкози (Rate of Change)

ICR – вуглеводний коефіцієнт, співвідношення інсулін/вуглеводи (Insulin-to-Carb Ratio)

СППР – система підтримки прийняття клінічних рішень (CDSS – Clinical Decision Support System)

DL – глибоке навчання (Deep Learning)

RNN – рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks)

CNN – згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks)

NLP – обробка природної мови (Natural Language Processing)

REST – архітектура передачі репрезентативного стану (REpresentational State Transfer)

ВСТУП

Сфера охорони здоров'я постійно розвивається і пропонує безліч можливостей для досліджень. Ця еволюція базується на використанні технологій і додатків Інтернету речей (IoT). Він поєднує в собі інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), використання датчиків, генерацію великих масивів даних і застосування великих даних, методи машинного навчання і штучного інтелекту. Використання нових технологій в основному застосовується для безперервного моніторингу пацієнтів, які страждають на хронічні захворювання, кількість яких за останні роки зросла. Зокрема, технологія IoT надає нові рішення для хворих на цукровий діабет.

Факти та цифри про діабет свідчать про зростаючий глобальний тягар для окремих людей, сімей та країн. Атлас діабету IDF (2021) повідомляє, що 10,5% дорослого населення (20-79 років) у всьому світі хворіють на діабет, причому майже половина з них не знають, що живуть з цим захворюванням [1]. Зокрема, постійно збільшується кількість людей, що живуть із діабетом 1-го типу (ЦД 1), що є одним з найбільш швидкозростаючих неінфекційних хронічних захворювань на планеті. Люди з діабетом 1 типу потребують щоденного введення інсуліну та моніторингу рівня глюкози в крові, регулярної фізичної активності та здорового харчування, щоб контролювати свій стан здоров'я, уникнути ускладнень та передчасної смерті.

За даними Індексу цукрового діабету 1 типу (T1D Index) станом на 2024 рік [2]:

- 9,4 мільйонів людей живуть з діабетом 1 типу у всьому світі;
- 64% (329,000) нових випадків припадає у людей у віці 20 років або старше;
- 182 тисяча людей помирає щороку року через цукровий діабет 1 типу діабету.

За прогнозами IDF, до 2045 року 1 з 8 дорослих, тобто приблизно 783 мільйони, житиме з діабетом, що на 46% більше, ніж зараз.

Сучасні технології пропонують широкий спектр рішень для людей з ЦД.

Інноваційні методи моніторингу та управління захворюванням, зокрема, мобільні додатки, пристрої з можливістю підключення до IoT та використання штучного інтелекту, стали критично важливими для підтримки якості життя пацієнтів. Серед таких рішень – системи безперервного моніторингу глюкози (CGM), інсулінові помпи з закритою петлею, які автоматично регулюють подачу інсуліну, а також програми для аналізу даних та підтримки прийняття рішень для пацієнтів та медичних фахівців. Ці технології не тільки дозволяють більш ефективно контролювати рівень глюкози в крові, але й зменшують ризик ускладнень, пов'язаних із ЦД.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка мобільного застосунку для аналізу рівня глюкози у пацієнтів з цукровим діабетом на основі сучасних IoT технологій та методів машинного навчання.

Основні задачі дослідження:

1. Проаналізувати предметну область, включаючи сучасні методи моніторингу та контролю рівня глюкози в крові.
2. Дослідити можливості застосування машинного навчання для аналізу рівня глюкози та надання рекомендацій на основі отриманих даних.
3. Розробити прототип мобільного додатку для аналізу рівня глюкози, що дозволяє інтегрувати дані від різних програм та систем, які використовує людина з ЦД для контролю свого стану.
4. Оцінити ефективність запропонованого додатку на основі тестування зібраних даних.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу та контролю рівня глюкози у пацієнтів з цукровим діабетом, а також технології, що використовуються для його реалізації.

Предмет дослідження – використання мобільного додатку та методів машинного навчання для аналізу та прогнозування рівня глюкози у крові.

Наукова новизна дослідження. Наукова новизна полягає в розробці мобільного додатку, що застосовує алгоритми машинного навчання для аналізу рівня глюкози на основі даних користувача, отриманих з програм, що

використовує людина з ЦД для ведення контролю за своїм станом. Це забезпечує новий підхід до персоналізованого управління захворюванням, адаптуючи рекомендації під індивідуальні особливості пацієнтів.

Практичне значення дослідження. Практичне значення дослідження полягає у створенні інструменту, що дозволяє пацієнтам та лікарям більш ефективно контролювати перебіг захворювання, знижуючи ризик ускладнень та покращуючи якість життя хворих на ЦД. Додаток може бути впроваджений у клінічну практику або використовуватись безпосередньо пацієнтами для самоконтролю.

Теоретичне значення дослідження. Теоретичне значення роботи полягає у розробці та перевірці моделей аналізу рівня глюкози на основі методів машинного навчання, що може бути корисним для подальших досліджень в області цифрової медицини та застосування IoT у сфері охорони здоров'я.

Апробація результатів. Результати проекту можуть бути використані для подальшого вдосконалення методів розробки систем контролю рівня глюкози в крові, а також як основа для створення комерційного продукту чи дослідницького прототипу в цій галузі.

Структура: курсова робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Курсова робота складається з 145 сторінок, 42 рисунків, 7 таблиць, 3 додатків, 42 джерел.