

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)

Кафедра Штучного інтелекту  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Інтелектуальна система «ЛогоТрек» для підтримки  
логопедичної практики та персоналізованого навчання  
(тема)

Виконав:  
здобувач четвертого року навчання,  
групи ІТШ-21-3

Валерія Лавська  
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
Освітня програма Штучний інтелект  
(повна назва освітньої програми)

Керівник асистент Марія Погурська  
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ШІ \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олег ЗОЛОТУХІН  
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерних наук \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Штучного інтелекту \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 122 Комп'ютерні науки \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_

Освітня програма \_\_\_\_\_ Штучний інтелект \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві \_\_\_\_\_ Лавській Валерії Володимирівні \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальна система «ЛогоТрек» для підтримки логопедичної практики та персоналізованого навчання

затверджена наказом університету від 19 травня 2025 р. № 378Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації з галузі логопедії, нейропсихології та штучного інтелекту, дослідження сучасних цифрових інструментів для підтримки мовленнєвого розвитку, офіційна документація Python-бібліотек для розробки інтелектуальних систем, методики оцінювання ефективності мовленнєвої терапії, стандарти проєктування архітектури програмного забезпечення

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

1) Аналіз предметної галузі та постановка задачі

2) Методологія розробки інтелектуальної системи

3) Практична реалізація системи «ЛогоТрек»

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	19.05.2025	виконано
2	Аналіз предметної галузі	21.05.2025	виконано
3	Формулювання мети, постановка дослідницької проблеми	23.05.2025	виконано
4	Дослідження існуючих програмних рішень	25.05.2025	виконано
5	Проектування архітектури інтелектуальної системи	27.05.2025	виконано
6	Розробка та тренування AI-модуля для автоматичного аналізу мовлення	29.05.2025	виконано
7	Розробка основного функціоналу	01.06.2025	виконано
8	Інтеграція AI-модуля у систему та реалізація модуля генерації персоналізованих звітів	03.06.2025	виконано
9	Проведення тестування системи	05.06.2025	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2025	виконано
11	Підготовка презентації та доповіді для захисту	09.06.2025	виконано
12	Захист перед ЕК	17.06.2025	виконано

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач \_\_\_\_\_

  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

асистент Марія Погурська

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 17 рис., 1 дод., 30 джерел.

АНАЛІЗ МОВЛЕННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ, ЛОГОПЕДІЯ, МОВЛЕННЄВА ТЕРАПІЯ, ПЕРСОНАЛІЗОВАНЕ НАВЧАННЯ, РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, DATA PROCESSING, SOFTWARE ARCHITECTURE.

Об'єкт дослідження – процеси логопедичної практики та розвитку мовлення у дітей і дорослих.

Предмет дослідження – застосування інтелектуальних технологій для автоматизації аналізу мовлення, моніторингу прогресу та персоналізованої підтримки в логопедичній терапії.

Мета роботи – розробити інтелектуальну систему «ЛогоТрек» для підтримки логопедичної практики, яка дозволяє автоматично аналізувати мовлення, відстежувати динаміку прогресу пацієнтів і генерувати індивідуалізовані навчальні рекомендації.

Методи дослідження – аналіз предметної галузі логопедії, огляд сучасних цифрових інструментів, методи машинного навчання для обробки аудіо-даних, технології розпізнавання мовлення, методи побудови баз даних та архітектурне проектування програмних систем.

Досліджено можливості застосування інтелектуальних систем для підтримки логопедичної практики. Запропоновано та реалізовано інтелектуальну систему «ЛогоТрек», яка поєднує можливості автоматичного аналізу мовлення, моніторингу прогресу пацієнтів та генерації персоналізованих рекомендацій. Система передбачає використання методів машинного навчання, обробки аудіо-даних, інтеграцію бази даних для збереження результатів та можливість створення індивідуалізованих звітів.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis contains: 84 pp., 17 fig., 1 ann., 30 references.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AUTOMATION OF SPEECH THERAPY PRACTICE, DATA PROCESSING, INTELLIGENT SYSTEMS, MACHINE LEARNING, PERSONALIZED LEARNING, SOFTWARE ARCHITECTURE, SPEECH ANALYSIS, SPEECH THERAPY, SPEECH RECOGNITION.

The object of the study is the processes of speech therapy practice and speech development in children and adults.

The subject of the study is the application of intelligent technologies for automating speech analysis, monitoring progress, and providing personalized support in speech therapy.

The purpose of the work is to develop the intelligent system «LogoTrek» to support speech therapy practice, enabling automatic speech analysis, tracking patient progress dynamics, and generating individualized training recommendations.

The research methods include the analysis of the speech therapy subject area, a review of modern digital tools, machine learning methods for audio data processing, speech recognition technologies, database design methods, and software architecture development.

The study explores the possibilities of using intelligent systems to support speech therapy practice. An intelligent system «LogoTrek» is proposed and implemented, combining automatic speech analysis, progress monitoring, and personalized recommendation generation. The system utilizes machine learning methods, audio data processing, database integration for storing results, and enables the creation of individualized reports.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів .....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз предметної галузі та постановка задачі.....	11
1.1 Сутність та значення логопедії у сучасному суспільстві.....	11
1.1.1 Основні напрями і задачі логопедичної практики.....	13
1.1.2 Актуальність розвитку логопедичних технологій у XXI столітті .....	15
1.2 Аналіз програмних рішень для логопедичної практики .....	17
1.2.1 Сучасні цифрові інструменти для підтримки мовленнєвого розвитку.....	18
1.2.2 Можливості та обмеження існуючих логопедичних додатків ..	20
1.2.3 Використання елементів штучного інтелекту в мовленнєвій терапії .....	22
1.3 Постановка задачі дослідження та обґрунтування необхідності розробки системи «ЛогоТрек».....	24
1.3.1 Мета та ідея створення інтелектуальної системи підтримки логопеда .....	25
1.3.2 Вимоги до функціональності системи .....	26
1.3.3 Очікувані переваги у порівнянні з існуючими рішеннями .....	27
2 Методологія розробки інтелектуальної системи .....	29
2.1 Концепція інтерактивної мовленнєвої терапії .....	29
2.2 Моделі та алгоритми штучного інтелекту.....	30
2.2.1 Архітектура моделей розпізнавання мовлення.....	33
2.2.2 Алгоритми машинного навчання для оцінки результатів .....	35
2.2.3 Методики адаптації моделей до дитячого мовлення .....	37
2.3 Вибір інструментів програмної реалізації.....	39
2.3.1 Обґрунтування вибору мов програмування та бібліотек.....	39
2.3.2 Інтеграція аудіоаналітики та нейромереж.....	41

2.4	Моделі організації даних і логіка взаємодії компонентів.....	42
2.5	Методика оцінки ефективності мовленнєвої терапії.....	44
2.5.1	Критерії об'єктивної оцінки прогресу .....	45
2.5.2	Валідація точності розпізнавання та аналізу .....	47
3	Практична реалізація системи «ЛогоТрек».....	49
3.1	Реалізація основних функціональних модулів системи.....	49
3.1.1	Модуль розпізнавання мовлення.....	50
3.1.2	Модуль аналізу результатів і генерації оцінок .....	52
3.1.3	Зв'язок між модулями .....	56
3.2	Реалізація структури бази даних .....	58
3.2.1	Збереження аудіо, тексту та результатів аналізу.....	61
3.3	Інтерфейс системи та користувацький досвід.....	63
3.4	Автоматизація формування звітів та рекомендацій .....	71
3.5	Тестування системи та аналіз результатів.....	72
3.5.1	Проведення тестових мовленнєвих сесій .....	73
3.5.2	Оцінка стабільності, швидкодії, точності результатів .....	75
3.6	Узагальнення результатів практичної реалізації .....	77
	Висновки .....	78
	Перелік джерел посилання .....	80
	Додаток А Відомість кваліфікаційної роботи .....	84

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ОМН – обробка мовлення;

PM – розпізнавання мовлення;

TM – терапія мовлення;

AI – Artificial Intelligence – штучний інтелект;

API – Application Programming Interface – інтерфейс прикладного програмування;

DB – Database – база даних;

ML – Machine Learning – машинне навчання;

NLP – Natural Language Processing – обробка природної мови;

PDF – Portable Document Format – електронний формат документів;

UI – User Interface – користувацький інтерфейс.

## ВСТУП

Розвиток сучасних інформаційних технологій відкриває нові можливості для медицини, освіти та сфери соціальної підтримки, особливо в тих напрямках, де критично важливою є індивідуалізація підходу до людини. Однією з таких галузей є логопедія – наука та практика, спрямована на подолання порушень мовлення та розвиток комунікативних здібностей людини. В умовах змінних соціокультурних реалій питання доступності та якості логопедичної допомоги стає все більш актуальним. Від своєчасної та якісної логопедичної роботи залежать не тільки успіхи людини в спілкуванні, а й її інтеграція у суспільство, рівень освіти, професійні перспективи та якість життя загалом.

Зважаючи на зростання попиту на логопедичні послуги серед дітей, підлітків і дорослих, питання ефективної організації логопедичного процесу, систематичного моніторингу прогресу пацієнтів і корекції індивідуальних навчальних траєкторій набуває першорядного значення. Традиційні підходи, засновані на індивідуальній роботі спеціаліста з кожним пацієнтом, хоча й залишаються основою практики, водночас стикаються з низкою об'єктивних обмежень. Серед них – обмежені часові ресурси логопеда, неможливість оперативного оброблення великих обсягів даних про прогрес пацієнтів, суб'єктивність оцінки успішності терапії, а також потреба у безперервному супроводі та адаптації занять під динамічні зміни мовленнєвого розвитку.

У сучасних умовах дедалі актуальнішою стає ідея автоматизації частини логопедичних процесів із залученням новітніх досягнень у галузі штучного інтелекту. Інтелектуальні технології дозволяють не лише оптимізувати роботу фахівця, зменшити рутинні навантаження, а й зробити терапевтичний процес об'єктивнішим, більш системним і персоналізованим. Застосування методів машинного навчання для аналізу мовлення відкриває можливості для раннього виявлення мовленнєвих порушень, більш точного

моніторингу змін динаміки розвитку, формування об'єктивних звітів та прогнозування індивідуальної траєкторії прогресу пацієнта.

Останніми роками на ринку з'являються різноманітні цифрові додатки, спрямовані на підтримку мовленнєвого розвитку, однак більшість із них обмежуються наданням готових вправ і не передбачають глибокого аналізу вимови, граматики, артикуляційних навичок або побудови повноцінної стратегії терапії. Відсутність інструментів, що об'єднували б можливості автоматичного аналізу мовлення, ведення бази даних пацієнтів, моніторингу прогресу та генерації індивідуалізованих навчальних рекомендацій, є суттєвим обмеженням для підвищення ефективності логопедичної практики.

Розробка системи «ЛогоТрек» передбачає використання найновіших методів машинного навчання для аналізу мовленнєвих записів, технологій обробки аудіоінформації для виявлення мовленнєвих дефектів, а також створення зручної, масштабованої бази даних для збереження інформації про динаміку розвитку пацієнтів. Окрему увагу приділено розробці модуля генерації індивідуалізованих звітів, які міститимуть результати аналізу, оцінку прогресу і рекомендації для подальшої роботи. Важливою складовою є також створення інтуїтивно зрозумілого користувацького інтерфейсу, який дозволяє логопеду легко взаємодіяти із системою без необхідності спеціальної технічної підготовки.

Інтеграція штучного інтелекту у логопедичну практику дозволяє не тільки підвищити якість і результативність занять, але й оптимізувати ресурси спеціаліста, знизити вплив людського чинника при оцінці прогресу, зробити терапію більш системною, контрольованою і прогнозованою.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Сутність та значення логопедії у сучасному суспільстві

У сучасному інформаційному суспільстві, що характеризується високими вимогами до комунікації, освіти та професійної мобільності, мовленнєві навички виступають одним із ключових факторів соціалізації та самореалізації людини. Мовлення є не просто засобом передачі інформації – це фундамент особистісного розвитку, мислення, культурної ідентичності та здатності до адаптації в соціумі. Відтак порушення мовлення, незалежно від їхньої природи та ступеня вираженості, істотно знижують якість життя, обмежують можливості людини в освіті, професійній діяльності й міжособистісних відносинах.

Логопедія як міждисциплінарна наука та практична діяльність охоплює вивчення механізмів мовленнєвих розладів, методів їх діагностики, профілактики й корекції. Вона базується на досягненнях педагогіки, психології, лінгвістики, медицини та нейронаук, що дозволяє забезпечувати цілісний підхід до кожного випадку мовленнєвої патології. Сьогодні логопедія значно розширила своє поле діяльності: вона вже не обмежується роботою лише з дітьми дошкільного віку, а охоплює всі вікові групи, включаючи дорослих з порушеннями мовлення після інсультів, травм, нейродегенеративних захворювань або психоемоційних навантажень [1].

Окреме місце логопедія займає в системі інклюзивної освіти. Потреба в адаптації освітнього середовища до індивідуальних можливостей учнів з особливими освітніми потребами передбачає наявність логопедичної підтримки, здатної не лише коригувати окремі аспекти мовлення, а й забезпечити розвиток мовленнєвої компетентності як основи для навчання. У такому контексті логопедична допомога перетворюється на чинник

забезпечення доступу до якісної освіти, а також – на інструмент формування внутрішньої мотивації, впевненості в собі та комунікативної відкритості.

Мовленнєві порушення не завжди мають очевидні прояви. Нерідко вони маскуються під поведінкові відхилення, труднощі в навчанні чи соціальні труднощі, що ускладнює їх своєчасне виявлення. Водночас своєчасне залучення логопеда може запобігти формуванню стійких вторинних ускладнень, зокрема емоційної нестабільності, низької самооцінки, замкненості або тривожності. Саме тому значення логопедії в сучасному суспільстві виходить далеко за межі вузькоспеціалізованої терапевтичної дисципліни – вона виконує гуманістичну, освітню та соціально-мобілізаційну функцію [2].

Умови цифрової трансформації суспільства, де особистісна комунікація тісно переплітається з інформаційними технологіями, створюють нові виклики й водночас відкривають нові можливості для логопедичної практики. З одного боку, збільшення кількості випадків мовленнєвих порушень, пов'язаних зі стресами, гіпердигіталізацією дитинства та зменшенням живої комунікації, підвищує потребу в спеціалізованій допомозі. З іншого боку – розвиток цифрових інструментів дозволяє ефективніше організовувати терапевтичний процес, розширювати коло охоплення пацієнтів і впроваджувати інноваційні підходи до корекції мовлення.

Варто зазначити, що у сфері логопедії вже спостерігається активне впровадження мультимедійних засобів, спеціалізованого програмного забезпечення, візуалізаційних платформ та цифрових журналів ведення пацієнтів. Проте лише незначна частина таких рішень реалізує дійсно інтелектуальний підхід, заснований на адаптації до індивідуального стилю мовлення та інтерактивному аналізу результатів. Саме тому на сучасному етапі розвитку логопедії набуває актуальності створення нової генерації інструментів, які не просто підтримують логопеда, а стають його розумним цифровим партнером.

Переосмислення ролі логопеда в інформаційну епоху полягає не у заміщенні фахівця машиною, а у створенні інструментів, які посилюють його вплив і дають змогу ефективніше працювати з більшим числом пацієнтів. Справжнє завдання цифрової логопедії полягає у поєднанні гуманістичної сутності логопедичної допомоги з точністю й адаптивністю інтелектуальних систем. Тому підвищення значущості логопедії в суспільстві має супроводжуватись створенням технологічного середовища, яке сприятиме глибшому розумінню індивідуальних труднощів кожного пацієнта та спрямовуватиме терапевтичний процес до максимальної результативності.

### 1.1.1 Основні напрями і задачі логопедичної практики

Логопедична практика як галузь спеціальної педагогіки розвивалась протягом десятиліть, поступово переходячи від вузької корекційної допомоги до повноцінної мультидисциплінарної підтримки особистості. На сучасному етапі її зміст охоплює не лише виправлення дефектів артикуляції чи фонетики, а й глибше завдання – формування повноцінної мовленнєвої, пізнавальної та соціальної компетентності.

Це зумовлено тим, що мовлення є не лише інструментом комунікації, але й чинником когнітивного розвитку, засобом пізнання світу, побудови уявлень про себе, інших людей і соціальні взаємодії. Тому сучасна логопедія все частіше трактується як сфера, що виходить за межі вузькопрофесійної допомоги й стає частиною освітньої, психотерапевтичної та соціальної підтримки.

Важливим напрямом логопедичної практики є діагностика, що включає комплексне обстеження мовленнєвої системи людини: аналіз структури висловлювань, стану артикуляційного апарату, мовного дихання, темпу, ритму, граматичних конструкцій, а також супутніх нейропсихологічних характеристик. У процесі первинної діагностики

логопед не лише фіксує мовленнєві помилки, а й досліджує причини їх виникнення, зв'язок із віковими, когнітивними чи психоемоційними особливостями. Такий підхід дозволяє побудувати більш точну індивідуальну траєкторію логопедичної корекції [3].

Після етапу діагностики основна робота фахівця зосереджується на терапії, яка повинна бути динамічною, адаптованою до конкретного пацієнта, гнучкою за інтенсивністю і структурою. Зміст терапевтичної роботи охоплює низку когнітивно-мовленнєвих процесів, серед яких розвиток артикуляційної моторики, відновлення фонематичного сприйняття, формування лексико-граматичних структур, розвиток зв'язного мовлення та корекція просодичних компонентів. Робота логопеда ґрунтується на ідеї поетапності формування мовлення, де кожен новий рівень засвоюється лише після повного опанування попереднього, що відповідає закономірностям мовленнєвого розвитку людини.

Окремим напрямом логопедичної роботи є профілактика, що передбачає попередження формування мовленнєвих порушень у групах ризику. Профілактичні заходи реалізуються в освітньому середовищі, на етапі раннього дитинства або при роботі з дітьми, що мають мінімальні труднощі у вимові чи мовному оформленні думки. Такі втручання часто є ключовими для того, щоб не допустити ускладнень, що потребуватимуть повноцінної корекційної терапії в майбутньому [4].

Зміст логопедичної діяльності доповнюється консультативною та аналітичною складовими. Фахівець супроводжує не лише пацієнта, але й його оточення: батьків, педагогів, вихователів, пояснюючи принципи мовленнєвого розвитку та особливості корекційної роботи. У межах цієї взаємодії формуються навички самостереження, самоаналізу, мотивації до участі в корекційному процесі, що значно підвищує його результативність.

### 1.1.2 Актуальність розвитку логопедичних технологій у XXI столітті

Суспільство вступило в фазу глибокої цифрової трансформації, яка змінює не лише спосіб обробки інформації, а й саму природу комунікації між людьми. У таких умовах мовлення як форма взаємодії не втрачає свого значення, а навпаки – стає ще важливішим елементом особистісної та професійної реалізації. Водночас на тлі постійного пришвидшення життєвих процесів, урізноманітнення освітніх форматів і зростання когнітивного навантаження в дітей та дорослих, значно зросла частота проявів мовленнєвих порушень, що мають як функціональне, так і нейропсихологічне підґрунтя. Це посилило потребу в логопедичних послугах і, відповідно, актуалізувало пошук ефективних інструментів для їх забезпечення.

У реальному освітньому та терапевтичному середовищі фахівці все частіше стикаються з проблемою браку часу, ресурсів і можливостей для повноцінної підтримки всіх, хто її потребує. Відповідь на цей виклик лежить не у збільшенні навантаження на логопедів, а в оптимізації їхньої роботи через впровадження сучасних технологій. Суть змін полягає не у механічній заміні спеціаліста цифровим інструментом, а в наданні фахівцеві інтелектуального середовища, яке дозволяє системно, зважено і динамічно реагувати на індивідуальні потреби кожного пацієнта. Наразі вже не йдеться лише про вправи у вигляді інтерактивних ігор, мова про середовища, здатні аналізувати дані мовлення, фіксувати прогрес, передбачати труднощі та формувати рекомендації на основі накопиченого досвіду [5].

Технології, що впроваджуються у логопедію, стають дедалі складнішими за своєю структурою, проте водночас ближчими до користувача. Вони враховують психофізіологічні особливості дітей, реакції на візуальні й аудіальні стимули, темп засвоєння нового матеріалу, рівень мотивації, тривалість концентрації уваги та інші параметри, які раніше були доступні виключно суб'єктивному оцінюванню з боку фахівця. Нині ж

системи здатні автоматично зчитувати ці показники, і це робить логопедичну практику більш об'єктивною та точною. Завдяки використанню алгоритмів розпізнавання мовлення і методів машинного навчання, цифрові середовища отримують можливість не просто реєструвати звук, а й аналізувати його якість, тембр, артикуляцію, логічну побудову мовлення, що відкриває нові горизонти у мовленнєвій діагностиці.

Усе частіше такі системи починають діяти не лише як інструменти контролю, а як партнери логопеда, здатні формувати прогностичні моделі розвитку. Це особливо важливо в умовах інклюзивної освіти, де педагог, логопед і батьки мають діяти як єдина команда, спираючись не на інтуїтивне враження, а на реальні параметри розвитку мовлення дитини. У такій парадигмі логопедична технологія постає не як заміник професіонала, а як середовище, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення, розвантажити фахівця від рутинної роботи, а пацієнтові – отримати швидший і глибший зворотний зв'язок [6].

Окремої уваги заслуговує контекст війни в Україні, що ще більше оголив потребу в дистанційній, доступній, але повноцінній логопедичній допомозі. Багато дітей змушені перебувати в умовах обмеженого доступу до фахівців, і саме технології стали містком, який з'єднує логопеда з тими, хто не має змоги отримати допомогу очно. Відтак логопедичні цифрові рішення більше не є факультативом, а перетворилися на інструмент забезпечення базового права на мовленнєвий розвиток [7].

На цьому тлі надзвичайно важливим стає питання якості самих технологій. Просте диджиталізування паперових методик не дає очікуваного ефекту. Ефективними є лише ті платформи, які використовують глибоку обробку даних, мають адаптивні алгоритми й здатні вчитися у процесі взаємодії з користувачем. Розробка таких систем потребує залучення фахівців різних напрямів, це формує нову логіку професійного середовища, в якому логопед стає частиною інноваційного міжгалузевого процесу, а технологія – засобом збереження людського контакту, а не його

заміни. Цей розвиток є логічним продовженням процесу, в якому логопедія поступово переходить від інтуїтивної мистецької практики до точного, технологічно підсиленого процесу, що здатен давати передбачувані, обґрунтовані результати.

## 1.2 Аналіз програмних рішень для логопедичної практики

Цифровізація логопедичної практики стала відповіддю на зміни у структурі суспільного попиту та у формах надання спеціалізованої допомоги. Протягом останніх десятиліть відбулося зрушення від традиційних форматів терапевтичної взаємодії до цифрових рішень, які не лише доповнюють роботу логопеда, а часто виступають автономними або напівавтономними інструментами підтримки. Такий перехід зумовлений необхідністю масштабування допомоги, її персоналізації та оперативного реагування на індивідуальні мовленнєві запити.

Зміна парадигми логопедичної допомоги передбачає поєднання класичних діагностичних та терапевтичних методик із можливостями цифрового аналізу. Суть не лише в перенесенні логопедичних вправ у цифровий формат, а в реорганізації всього процесу мовленнєвої взаємодії у багаторівневе інформаційне середовище. Це середовище включає в себе засоби запису мовлення, модулі обробки сигналу, елементи аналітики, адаптивні алгоритми та інтерфейси зворотного зв'язку, що дає змогу не просто реєструвати стан мовлення, а й активно формувати траєкторію його розвитку.

У контексті впровадження таких систем важливим стає питання довіри до цифрового інструментарію з боку спеціалістів. Багато логопедів звикли покладатися на власні спостереження, інтуїцію, особистий досвід, однак сучасні розробки поступово демонструють переваги автоматизованого підходу. Завдяки інтеграції нейромережових моделей і аудіоаналізу вдалося підвищити точність виявлення мовленнєвих

порушень, забезпечити вищий рівень деталізації оцінки та запропонувати більш обґрунтовану логіку побудови вправ і корекційних маршрутів [8].

Наразі існує тенденція до переходу від закритих, фрагментарних рішень до платформеного підходу, де в одному середовищі реалізуються функції діагностики, моніторингу, рекомендацій і аналізу ефективності. Це дозволяє створити цілісну мовленнєву картину, за якою спеціаліст може судити не лише про поточний стан пацієнта, а й про його потенційні зони розвитку. Таке поєднання функцій значно економить час логопеда, підвищує якість інтерпретації результатів і дозволяє коригувати терапію на основі конкретних показників, а не загальних вражень.

Іншою важливою характеристикою сучасних програмних рішень є їх доступність. Багато платформ орієнтовані не тільки на професіоналів, а й на батьків, вихователів, педагогів, що розширює коло осіб, здатних долучатися до мовленнєвої підтримки. Це сприяє формуванню єдиного терапевтичного простору, де результат досягається завдяки скоординованим зусиллям усіх учасників процесу.

Наявність аналітичних блоків у логопедичних програмах створює умови для довготривалого спостереження за динамікою змін. У цифровому середовищі можливо зберігати записи, графіки, хронології, що формують об'єктивне уявлення про хід терапії. Це дозволяє вчасно виявляти регрес, відстежувати ефективність прийомів, коригувати темп і навантаження без ризику перевантаження або втрати мотивації.

### 1.2.1 Сучасні цифрові інструменти для підтримки мовленнєвого розвитку

У цифровому середовищі, що постійно змінюється, мовлення набуває нового статусу, не лише як засіб комунікації, а як об'єкт глибокого технологічного опрацювання. Відповідно до цього спостерігається зростання кількості інструментів, які створюються з метою підтримки

розвитку мовленнєвих навичок. Вони формують нову культуру взаємодії між фахівцем і пацієнтом, в якій технологія вже не є пасивним посередником, а бере активну участь у процесі навчання, діагностики і моніторингу.

Сучасні інструменти ґрунтуються на принципах мультимодальності, тобто одночасного залучення різних каналів сприймання. Це дозволяє поєднати візуальні, аудіальні й моторні компоненти в єдину логіку терапевтичного впливу. У процесі використання таких систем створюються умови для занурення в мовне середовище, що стимулює не лише відтворення звуків, а й розвиток мислення, уваги, ритміки та соціальної активності. Завдяки цьому формується не просто навичка, а цілісна мовленнєва поведінка, що здатна переноситися у повсякденну комунікацію.

Особливе місце серед цифрових інструментів займають ті, що використовують штучний інтелект. Їх функціонал виходить за межі шаблонного реагування на помилку і дозволяє системі навчатися в процесі взаємодії з конкретною людиною. Це відкриває шлях до адаптивного навчання, в якому кожна вправа, завдання чи сценарій будується з урахуванням попередніх результатів, темпу засвоєння та рівня сформованості навичок. Такий підхід дозволяє уникати одноманітності, забезпечити варіативність і створити ефект персонального супроводу [9].

Важливою рисою сучасних логопедичних платформ є здатність до збору та інтерпретації даних. Завдяки цьому процес мовленнєвого розвитку стає вимірюваним: можна оцінити прогрес у вигляді графіків, динаміки правильних відповідей, рівня виконання вправ. Це змінює саму логіку взаємодії – результат стає не просто враженням, а аргументованим висновком. Як наслідок, фахівець отримує підстави для прийняття точніших рішень, а користувач – впевненість у реальному зростанні.

Паралельно з цим розвиваються мобільні рішення, які дозволяють використовувати інструменти мовленнєвої терапії не лише в кабінеті, а й у домашніх умовах, у школі або під час поїздок. Це забезпечує гнучкість і

сталість терапевтичного процесу, робить його частиною повсякденного життя. Особливо це важливо для дітей, які потребують частого повторення, підтримки ритуалу і регулярного зворотного зв'язку. Таким чином, мобільність інструменту стає умовою його ефективності [10].

Іншою особливістю є прагнення до гейміфікації процесу навчання. За допомогою сюжетів, персонажів, візуальних ефектів і поступового ускладнення завдань формується емоційне залучення, що стимулює збереження мотивації навіть при високому навантаженні. Це дозволяє долати бар'єри сприйняття, створювати атмосферу співпраці і знижувати відчуття фрустрації при допущенні помилок.

### 1.2.2 Можливості та обмеження існуючих логопедичних додатків

Сучасні логопедичні додатки є важливою частиною цифрової екосистеми мовленнєвої підтримки, що поступово інтегрується у практику фахівців, систему освіти та середовище сімейної взаємодії. Їх поява стала відповіддю на зростаючий попит на інструменти, які можуть зробити терапевтичний процес більш динамічним, зручним і масштабованим. Використання мобільних пристроїв, сенсорних екранів, інтерактивних сценаріїв створює передумови для занурення дитини в адаптивне мовленнєве середовище, яке стимулює не лише технічну відтворюваність звуків, а й комунікативну активність, увагу, інтерес.

Багато сучасних рішень мають модульну побудову, що дозволяє формувати індивідуалізований маршрут занять, адаптований до поточних потреб користувача. Це відкриває можливість для більш точного керування складністю завдань, обсягом інформації, тривалістю сесій, інтенсивністю повторів і темпом засвоєння. Такий підхід значно підвищує ефективність терапії у порівнянні з універсальними шаблонними вправами. Додатково інтеграція аудіо- і відеокomпонентів, елементів гейміфікації та зворотного

зв'язку посилює мотиваційний потенціал, дозволяючи підтримувати високу залученість дитини протягом усього заняття [11].

Важливою перевагою є можливість незалежного використання логопедичних додатків не лише в присутності фахівця, а й у домашньому середовищі, під наглядом батьків або самостійно. Це розширює часові та просторові межі терапії, забезпечуючи її регулярність, ритмічність і сталість. Багато додатків включають механізми накопичення історії занять, що дає змогу оцінювати динаміку, фіксувати зони стабільності й труднощів, виявляти прогресивні зміни або потребу в корекції траєкторії роботи.

Попри це, існуючі рішення мають і певні обмеження, що знижують їхню ефективність у складніших або нестандартних випадках. Частина додатків створена як реплікація базових вправ із методичних посібників, не враховуючи індивідуальних особливостей користувача, сенсорної чутливості, психоемоційного стану або комплексної мовленнєвої симптоматики. Це створює ризик зведення терапії до механічного повторення, без включення в реальний комунікативний процес [12].

Ще однією складністю є обмежена аналітична здатність багатьох програм. Навіть за наявності функцій автоматичного збереження результатів, їх інтерпретація часто покладається на логопеда або батьків, без чіткої системи прогнозування, діагностики чи рекомендацій. Це знижує автономність додатку як інструменту підтримки і знову повертає фокус виключно до функції тренажера.

Існують також труднощі у контексті локалізації, більшість додатків орієнтовані на англomовне середовище й не адаптовані до української фонетики, граматики та мовленнєвих особливостей. Це суттєво обмежує можливості використання таких програм у вітчизняній практиці, змушуючи фахівців шукати компроміси між технічною якістю та мовною релевантністю.

### 1.2.3 Використання елементів штучного інтелекту в мовленнєвій терапії

Штучний інтелект відкриває нові можливості в сфері мовленнєвої терапії, трансформуючи традиційний підхід до логопедичної практики в напрямі більшої гнучкості, об'єктивності та персоналізації. Його застосування не обмежується автоматизацією процесів, мова йде про побудову інтелектуального середовища, здатного не лише підтримувати користувача, а й навчатися на основі його дій, аналізувати мовленнєву поведінку та формувати відповідні корекційні стратегії. У цьому контексті логопедія стає частиною загального тренду на впровадження смарт-технологій у сферу охорони здоров'я, освіти та нейрореабілітації.

Інтеграція елементів штучного інтелекту у логопедичну систему починається з алгоритмів розпізнавання мовлення. Завдяки їм система може не лише ідентифікувати сказане слово, а й визначити правильність його вимови, відхилення від нормативної артикуляції, темброву або просодичну специфіку. Це створює передумови для глибокої мовленнєвої діагностики, яка не потребує безпосередньої участі фахівця на кожному етапі. Надалі ці алгоритми дозволяють вибудовувати динамічний маршрут занять, автоматично ускладнювати завдання або знижувати їхню інтенсивність у разі виявлення регресу [13].

ШІ також активно використовується в аналізі патернів мовлення. Порівнюючи вхідні мовленнєві зразки користувача з еталонними профілями, система отримує можливість оцінити якість, темп, інтонаційну побудову та логічну структуру висловлювань. Це дозволяє перейти від поверхневого аналізу до багатовимірного виміру мовленнєвих характеристик. У поєднанні з методами кластеризації й прогнозування, система може передбачити зони можливих труднощів і завчасно змінити траєкторію терапії.

Однією з найцікавіших сфер є застосування штучного інтелекту у створенні адаптивних навчальних середовищ. У таких системах ШІ виступає як посередник між користувачем і навчальним контентом, аналізуючи не лише мовлення, а й реакції, час відповіді, частоту помилок, глибину засвоєння матеріалу. Це дозволяє перетворити терапію на інтерактивний процес співнавчання, де система й користувач перебувають у постійному діалозі, з урахуванням змін у когнітивному та мовленнєвому статусі [14].

Особливої уваги заслуговують моделі генеративного ШІ, які здатні створювати індивідуалізовані завдання, вправи або сценарії взаємодії на основі поточних потреб користувача. Це відкриває нові перспективи для персоналізації терапії, де кожне заняття відрізняється за структурою, тематикою й темпом, що забезпечує глибше залучення й кращу мотивацію. У результаті логопед отримує не просто інструмент, а партнера, здатного реагувати на найменші зміни у динаміці розвитку мовлення.

Однак ефективність ШІ в логопедії визначається не лише алгоритмічною складністю, а й етичними, педагогічними та культурними аспектами. Система має бути зрозумілою, прозорою у своєму функціонуванні та відкритою до адаптації під конкретне мовне середовище. Важливо, щоби вона доповнювала, а не заміщала людину, залишаючи за логопедом остаточне рішення щодо глибини і напрямку втручання [15].

Використання ШІ в мовленнєвій терапії засвідчує здатність поєднати силу машинного аналізу з гуманістичною місією логопедичної допомоги. Саме це поєднання формує основу нового етапу у розвитку логопедії – етапу, де якість, ефективність і доступність допомоги не є взаємовиключними параметрами, а стають єдиною структурою мовленнєвої підтримки у цифрову добу.

### 1.3 Постановка задачі дослідження та обґрунтування необхідності розробки системи «ЛогоТрек»

Логопедична практика все частіше стикається з викликами, які виходять за межі педагогічної чи медичної компетенції. Вони зумовлені не лише збільшенням кількості осіб з порушеннями мовлення, а й підвищенням вимог до якості, швидкості та обґрунтованості наданої допомоги. Зміни у структурі комунікації, цифрова трансформація освіти й охорони здоров'я, соціальна мобільність, а також воєнні події в Україні значно ускладнили завдання логопеда. У цих умовах постала об'єктивна потреба в системному переосмисленні форм надання мовленнєвої допомоги та створенні нових, інтелектуально підсилених засобів підтримки [16].

Незважаючи на наявність окремих мобільних застосунків або платформ для тренування мовленнєвих навичок, більшість із них не враховує повноцінного логопедичного контексту. Тобто, вони не пов'язані з професійним супроводом, не підтримують аналітику прогресу, не мають адаптивної архітектури й не інтегруються у тривалу роботу з пацієнтом. У результаті, навіть якісні інструменти не можуть замінити або доповнити логопеда у складніших випадках, що вимагають гнучкості, точності, безперервного зворотного зв'язку та глибокого контекстного аналізу [17].

На цьому фоні виникла ідея створення спеціалізованої системи, яка не лише імітує логопедичну діяльність, а є її повноцінним цифровим продовженням. Ідеться про інтелектуальне середовище, в якому логопед, пацієнт, історія взаємодії, динаміка терапії та мовленнєвий матеріал поєднані в єдину логіку. Таке середовище дозволяє не просто автоматизувати вправи, а формувати стратегії, аналізувати результати, прогнозувати труднощі та коригувати хід терапії у режимі реального часу.

Система «ЛогоТрек» є відповіддю на виклики, що сформувались на перетині кількох тенденцій: зростання попиту на логопедичну допомогу, нестачі фахівців, необхідності об'єктивного контролю за процесом розвитку

мовлення, а також прагнення до створення цифрового інструменту, що працює не ізолювано, а в співпраці з живим фахівцем. В основі концепції – не заміщення логопеда, а посилення його функції за допомогою технології, яка здатна обробляти великі обсяги даних, зберігати детальну історію занять, виявляти зміни в мовленні, аналізувати параметри голосу, ритму, артикуляції.

Унікальність розробки полягає у поєднанні кількох функціональних компонентів: розпізнавання мовлення, формування індивідуалізованих вправ, оцінювання ефективності терапії, візуалізація прогресу та збереження результатів у базі даних. Кожен із цих компонентів створює не ізольовану функцію, а частину цілісної взаємодії, що дозволяє системі адаптуватися до змін у поведінці користувача й змінювати свою логіку відповідно до результатів.

Потреба в такій системі виникла не лише як інженерне або програмне завдання, а як соціальна й освітня необхідність. Її створення покликане забезпечити якісну мовленнєву допомогу, зберегти прогрес пацієнтів у перервах між сесіями; дати змогу фахівцю об'єктивно оцінити, чи працюють ті чи інші методики; а також створити безперервний потік мовленнєвої активності у дитини, що є критично важливим для формування стійких навичок.

### 1.3.1 Мета та ідея створення інтелектуальної системи підтримки логопеда

Розвиток цифрових інструментів у логопедії відкрив безліч перспектив, однак лише одиничні проєкти реально вийшли за межі демонстраційних концептів. Більшість цифрових рішень все ще залишаються фрагментарними, технічно обмеженими або несумісними з повноцінною логікою терапевтичної роботи. У зв'язку з цим, актуальною стала ідея створення нової інтелектуальної системи, яка б не лише включала

окремі модулі аналізу або вправ, а діяла як повноцінне професійне середовище, здатне підтримати логопеда на всіх етапах його роботи з пацієнтом [18].

Ідея системи базується на поєднанні двох логік: логіки фахівця, який мислить через досвід, спостереження й педагогічні принципи, та логіки алгоритму, який бачить закономірності, недоступні людині в режимі реального часу. Цей симбіоз створює новий тип взаємодії – коли машина не нав'язує рішення, а підказує, доповнює, допомагає. Така система здатна зменшити вплив людського чинника, оптимізувати навантаження, об'єктивізувати результати, підвищити мотивацію дитини через гейміфікований, адаптивний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Особливе значення має ідея про збереження та обробку історії терапії. Накопичення мовленнєвих даних, результатів вправ, оцінок, змін у вимові дозволяє будувати динамічні мовні профілі, виявляти сильні й слабкі сторони, прогнозувати хід корекції. Таким чином, логопед отримує можливість діяти не реактивно, а проактивно – передбачаючи можливі труднощі й вибудовуючи заняття з урахуванням реальних мовленнєвих закономірностей, а не лише формальних помилок.

Система має підтримувати логопеда як у звичайному навчальному процесі, так і в умовах воєнного часу, віддаленої терапії або в разі обмеженого доступу до фахівця. Вона повинна забезпечити гнучкість, незалежність від формату занять, здатність швидко адаптуватися до ситуації, що змінюється.

### 1.3.2 Вимоги до функціональності системи

У процесі розробки інтелектуальної системи підтримки логопеда «ЛогоТрек» визначення функціональних вимог є ключовим етапом, що забезпечує ефективність, адаптивність та відповідність потребам користувачів. Ці вимоги формуються на основі аналізу сучасних тенденцій

у логопедичній практиці, технологічних можливостей та очікувань фахівців і пацієнтів.

Однією з основних вимог є забезпечення високої точності розпізнавання мовлення, що дозволяє системі адекватно реагувати на мовленнєві особливості користувача. Це включає здатність розпізнавати різні мовленнєві порушення, аналізувати інтонаційні та ритмічні характеристики мовлення, а також адаптуватися до індивідуальних особливостей кожного пацієнта.

Іншою важливою вимогою є інтеграція системи з базами даних пацієнтів, що дозволяє зберігати історію занять, відстежувати динаміку прогресу та формувати індивідуальні плани корекції. Такий підхід забезпечує безперервність терапії та можливість гнучкого реагування на зміни в стані пацієнта.

Система повинна мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє логопедам легко взаємодіяти з нею без необхідності глибоких технічних знань. Це сприяє швидкому впровадженню системи в практику та зменшує час на навчання персоналу.

Також важливою є можливість дистанційного доступу до системи, що особливо актуально в умовах обмеженого доступу до фахівців, зокрема в періоди карантинних обмежень або в регіонах з недостатньою кількістю логопедів. Дистанційна робота дозволяє забезпечити безперервність терапії та розширити охоплення пацієнтів.

Крім того, система повинна підтримувати можливість адаптації до різних вікових груп та типів мовленнєвих порушень, що забезпечує її універсальність та ефективність у різних клінічних випадках [19].

### 1.3.3 Очікувані переваги у порівнянні з існуючими рішеннями

Розробка інтелектуальної системи підтримки логопеда «ЛогоТрек» передбачає створення інноваційного інструменту, що має низку переваг

порівняно з існуючими рішеннями в галузі логопедії. Ці переваги обумовлені інтеграцією сучасних технологій, адаптивністю системи та орієнтацією на потреби користувачів.

Однією з ключових переваг є можливість персоналізації терапевтичного процесу. Система аналізує індивідуальні особливості мовлення пацієнта та автоматично адаптує програму занять, що забезпечує більш ефективне досягнення терапевтичних цілей.

Іншою важливою перевагою є забезпечення безперервного моніторингу прогресу пацієнта. Система фіксує результати кожного заняття, що дозволяє логопеду оперативно реагувати на зміни в стані пацієнта та коригувати план терапії.

Крім того, система інтегрує елементи штучного інтелекту, що дозволяє автоматизувати процес аналізу мовлення та формування рекомендацій для подальшої роботи. Це зменшує навантаження на логопеда та підвищує ефективність терапії [20].

Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та можливості адаптації до різних вікових груп і типів мовленнєвих порушень, «ЛогоТрек» є універсальним інструментом, що може бути використаний у різних клінічних та освітніх контекстах.

## 2 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1 Концепція інтерактивної мовленнєвої терапії

Однією з основних переваг інтерактивної мовленнєвої терапії є її здатність адаптуватися до індивідуальних потреб кожної дитини. Завдяки використанню цифрових платформ, мобільних додатків та інтерактивних програм, фахівці можуть створювати персоналізовані програми навчання, що враховують рівень розвитку, інтереси та особливості кожного пацієнта. Це дозволяє забезпечити більш ефективне засвоєння матеріалу та досягнення позитивних результатів у корекції мовленнєвих порушень.

Інтерактивна мовленнєва терапія також сприяє підвищенню мотивації дітей до занять. Використання ігрових елементів, візуальних ефектів та зворотного зв'язку в реальному часі робить процес навчання більш захоплюючим та цікавим для дітей. Це, в свою чергу, сприяє активному залученню дітей до терапевтичного процесу та покращенню їхніх мовленнєвих навичок.

Крім того, інтерактивна мовленнєва терапія дозволяє фахівцям ефективно відстежувати прогрес пацієнтів. Завдяки цифровим технологіям, логопеди можуть зберігати та аналізувати дані про заняття, що дозволяє своєчасно вносити корективи в програму навчання та забезпечувати більш ефективну корекцію мовленнєвих порушень.

Важливо зазначити, що інтерактивна мовленнєва терапія не замінює традиційні методи логопедії, а доповнює їх, створюючи більш комплексний та ефективний підхід до корекції мовленнєвих порушень. Поєднання традиційних методів з новітніми технологіями дозволяє забезпечити більш повний розвиток мовленнєвих навичок у дітей та сприяє їхній успішній соціалізації.

Застосування інтерактивної мовленнєвої терапії також має позитивний вплив на емоційний стан дітей. Ігрові елементи та візуальні

ефекти сприяють створенню позитивної атмосфери під час занять, що допомагає зменшити тривожність та підвищити впевненість у собі у дітей з порушеннями мовлення. Це, в свою чергу, сприяє більш ефективному засвоєнню матеріалу та досягненню позитивних результатів у корекції мовленнєвих порушень.

Одним із прикладів успішного застосування інтерактивної мовленнєвої терапії є використання спеціалізованих програм, які дозволяють дітям практикувати вимову звуків та слів у ігровій формі. Такі програми не лише сприяють розвитку мовленнєвих навичок, але й допомагають дітям краще розуміти структуру мови та покращувати свою артикуляцію [22].

Крім того, інтерактивна мовленнєва терапія може бути ефективною у роботі з дітьми, які мають складні порушення мовлення, такі як аутизм або затримка мовленнєвого розвитку. Завдяки використанню візуальних підказок, звукових ефектів та інших інтерактивних елементів, фахівці можуть створювати ефективні програми навчання, що враховують особливості кожної дитини та сприяють розвитку її мовленнєвих навичок.

Інтерактивна мовленнєва терапія може бути ефективною не лише у роботі з дітьми, але й з дорослими, які мають порушення мовлення. Завдяки використанню цифрових технологій, фахівці можуть створювати персоналізовані програми навчання, що враховують потреби та особливості кожного пацієнта, сприяючи більш ефективній корекції мовленнєвих порушень.

## 2.2 Моделі та алгоритми штучного інтелекту

У процесі розробки інтелектуальної системи «ЛогоТрек» ключовим етапом стала інтеграція моделей та алгоритмів штучного інтелекту, спрямованих на ефективне розпізнавання та аналіз мовлення. Цей підхід

дозволив створити адаптивне середовище для логопедичної терапії, яке враховує індивідуальні особливості кожного користувача.

Основою системи «ЛогоТрек» є моделі глибокого навчання, що застосовуються для вирішення задач розпізнавання та аналізу мовлення, які мають вирішальне значення для логопедичної практики. Зокрема, в рамках реалізації системи було використано дві ключові архітектури нейронних мереж – згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) та рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks, RNN), кожна з яких виконує специфічні функції та доповнює одна одну, забезпечуючи високу точність і глибину аналізу мовлення.

Згорткові нейронні мережі були обрані завдяки своїй здатності ефективно працювати з аудіосигналами, представленими у вигляді спектрограм та мел-частотних кепстральних коефіцієнтів (MFCC). CNN ефективно виявляють локальні ознаки аудіосигналу, такі як окремі фонемні частоти та патерни інтонації.

Завдяки багатосаровій структурі, ці нейромережі здійснюють послідовну обробку вхідних даних, дозволяючи кожному наступному шару виявляти все більш складні та абстрактні особливості сигналу. Саме така багаторівнева структура дає змогу моделі не лише розпізнавати базові одиниці мовлення, а й ефективно класифікувати мовленнєві порушення, які можуть проявлятися у нестандартній артикуляції чи неправильному вимовлянні окремих звуків.

Рекурентні нейронні мережі, у свою чергу, відіграють важливу роль у роботі з послідовностями даних та контекстним аналізом мовленнєвих сигналів. RNN здатні запам'ятовувати попередні стани, завдяки чому можуть ефективно аналізувати часові залежності у мовленнєвому сигналі.

Особливою перевагою рекурентних нейромереж є можливість ідентифікації інтонаційних, темпоральних та просодичних характеристик мовлення, що є критично важливим у логопедичній практиці, де необхідно детально аналізувати динамічні зміни мовлення в часі.

Процес навчання нейронних моделей здійснювався на великому, спеціально підбраному корпусі мовленнєвих даних, який включає широке розмаїття варіацій вимови, інтонаційних патернів, темпу та акцентів мовлення.

Для підвищення точності розпізнавання та адаптації до індивідуальних особливостей користувачів, у «ЛогоТрек» впроваджено механізми трансферного навчання. Це дозволяє системі перенавчатися на нових даних, зібраних під час взаємодії з конкретним користувачем, що забезпечує персоналізований підхід до терапії. Крім того, використання алгоритмів кластеризації та аналізу ознак мовлення сприяє виявленню специфічних патернів, характерних для окремих типів мовленнєвих порушень.

Інтеграція алгоритмів обробки природної мови (NLP) дозволила системі не лише розпізнавати мовлення, але й аналізувати його змістову складову. Це відкриває можливості для глибшого розуміння контексту висловлювань користувача та виявлення семантичних помилок, що є важливим аспектом у логопедичній практиці. Зокрема, система здатна ідентифікувати неправильне вживання слів, граматичні помилки та інші відхилення від норми, що дозволяє логопеду більш точно визначити напрямки корекційної роботи.

Важливою складовою системи є модуль зворотного зв'язку, який надає користувачу інформацію про якість його мовлення в режимі реального часу. Це реалізовано за допомогою візуальних та аудіоіндикаторів, що відображають рівень правильності вимови, інтонації та ритму мовлення. Такий підхід сприяє активному залученню користувача до процесу терапії та підвищує його мотивацію до самостійної роботи над покращенням мовленнєвих навичок.

### 2.2.1 Архітектура моделей розпізнавання мовлення

В основі побудованих моделей лежать поєднання згорткових та рекурентних нейронних мереж, які забезпечують як детальну обробку аудіосигналу на рівні його структурних особливостей, так і глибоке розуміння послідовностей та динаміки мовлення.

На першому етапі архітектури здійснюється попередня обробка вхідних аудіоданих. Сигнал перетворюється на формат, який є зрозумілим для нейронних мереж. Як правило, таким форматом виступають спектрограми, мел-спектрограми та мел-частотні кепстральні коефіцієнти (MFCC). Вибір цих представлень зумовлений їх здатністю відображати ключові акустичні характеристики мовлення, такі як інтенсивність, частота, тембр, що суттєво полегшує нейромережам завдання вилучення ознак. Важливість цього етапу зумовлюється тим, що якість розпізнавання і аналізу напряму залежить від точності та чіткості вхідних даних [23].

Наступним важливим елементом архітектури є згорткові нейронні мережі, які відповідають за первинну обробку отриманих спектрограм та мел-кепстральних коефіцієнтів. Згорткові нейронні мережі є спеціалізованим типом нейронних мереж, які мають високу ефективність саме при роботі з візуалізованими акустичними даними, завдяки властивостям ідентифікувати локальні ознаки сигналу. Архітектура CNN, застосована у «ЛогоТрек», складається з декількох послідовних шарів згортки, кожен з яких має свій набір ядер, що дозволяють мережі виявляти різноманітні акустичні патерни, такі як окремі фонemi, фонетичні переходи, голосні та приголосні звуки. Після кожного згорткового шару застосовуються функції активації та підвибірки, що зменшують розмірність і допомагають зберегти тільки найбільш значущі ознаки. Завдяки послідовному поглибленню та ускладненню структурних рівнів, мережа має можливість навчатися вилучати найтонші деталі мовленнєвого сигналу.

Другим важливим етапом архітектури є використання рекурентних нейронних мереж. На цьому етапі моделі обробляють ознаки, що були отримані внаслідок роботи CNN. Особливість RNN полягає в тому, що вони мають механізми запам'ятовування попередніх станів нейронів, завдяки чому можуть ефективно обробляти послідовності даних та враховувати контекстну інформацію. В архітектурі системи особливо цінним є використання довгої короткочасної пам'яті (LSTM), що дозволяє ефективно працювати з тривалими послідовностями даних, уникати втрати важливої інформації та краще розуміти зміст мовленнєвого сигналу у динаміці. Використання LSTM дозволяє моделі точніше визначати інтонаційні характеристики, зміни темпу мовлення, паузи, а також більш ефективно ідентифікувати складні типи мовленнєвих порушень, які проявляються саме у часовій структурі мовлення.

Фінальний етап архітектури – повнозв'язні шари та класифікація. На цьому рівні отримані ознаки з рекурентних шарів агрегуються та подаються на повнозв'язні нейронні шари, які відповідають за формування кінцевих прогнозів. Ці шари, завдяки функції активації softmax, здійснюють остаточну класифікацію мовленнєвих одиниць або виявлення типів мовленнєвих дефектів. Також саме тут відбувається визначення точності та достовірності результатів, з подальшим виведенням інформації для логопеда у зрозумілому і доступному форматі.

Така комплексна архітектура моделей розпізнавання мовлення забезпечує високий рівень якості розпізнавання мовлення і аналізу результатів. Використання CNN та RNN дозволяє максимально ефективно поєднати детальний аналіз акустичних ознак і глибоке розуміння контексту мовлення. Завдяки інтеграції цих нейромереж в єдину логіку системи, вдалося створити потужний інструмент для автоматизованого аналізу мовленнєвих порушень, що суттєво оптимізує процес діагностики і корекції мовленнєвих дефектів.

## 2.2.2 Алгоритми машинного навчання для оцінки результатів

Першим із ключових алгоритмів, які застосовуються в системі, є алгоритм класифікації на основі випадкового лісу (Random Forest). Вибір цього алгоритму обумовлений його здатністю до стабільної роботи навіть у складних умовах, коли наявна значна кількість шумів або дані мають велику кількість ознак різного масштабу. Random Forest формує ансамбль із багатьох окремих дерев рішень, кожне з яких навчається на окремій вибірці ознак і даних. Результати класифікації кожного окремого дерева потім агрегуються методом голосування, що дозволяє суттєво підвищити точність прогнозу та уникнути перетренованості. В умовах задачі оцінювання мовленнєвих порушень та результатів терапії цей алгоритм демонструє високу точність завдяки своїй стійкості до різноманітних типів даних та здатності ефективно працювати навіть за умови недостатньої кількості зразків [24].

Другим важливим алгоритмом, який використовується у системі, є алгоритм опорних векторів (SVM). Головна перевага цього алгоритму полягає у його здатності ефективно розділяти дані на класи, навіть якщо вони не є лінійно роздільними у початковому просторі ознак. SVM дозволяє знайти оптимальну гіперплощину, яка розділяє різні класи з максимальною відстанню між ними. В разі складних ситуацій нелінійної класифікації використовується ядровий (Kernel) підхід, завдяки якому дані проектуються у простір вищої розмірності, де вони можуть бути ефективніше класифіковані. У контексті системи «ЛогоТрек» SVM використовується для класифікації типів порушень мовлення, що виявлені за результатами роботи нейронних мереж. Це дозволяє логопедам отримати точну та надійну інформацію про специфіку мовленнєвого порушення пацієнта та адаптувати свої подальші рекомендації та стратегії корекції [25].

Окрім класифікаційних алгоритмів, у системі активно застосовуються алгоритми регресійного аналізу. Зокрема, для прогнозування ефективності

логопедичної роботи, а також для кількісної оцінки прогресу пацієнтів використовується метод градієнтного бустингу. Цей алгоритм базується на послідовному побудуванні ансамблю регресійних дерев, де кожна наступна модель намагається скорегувати помилки попередньої. Завдяки такому принципу роботи градієнтний бустинг забезпечує високу точність прогнозування та є стійким до викидів у даних. В системі «ЛогоТрек» цей алгоритм дозволяє ефективно прогнозувати темпи розвитку мовлення у пацієнта на основі аналізу попередніх результатів терапевтичних сесій, тим самим надаючи логопедам цінні інструменти для прийняття рішення щодо зміни або продовження обраної стратегії роботи.

Ще одним важливим алгоритмом, який використовується у системі, є метод кластерного аналізу, зокрема алгоритм K-means. Кластеризація дозволяє виділяти групи пацієнтів зі схожими характеристиками мовленнєвих порушень, що значно оптимізує роботу логопедів, особливо за наявності великої кількості клієнтів. Алгоритм K-means полягає у розподілі даних на певну кількість кластерів таким чином, щоб мінімізувати суму квадратів відстаней між точками всередині кожного кластеру. В умовах логопедичної практики, кластеризація дозволяє виявити певні закономірності і групи пацієнтів, що мають подібні особливості мовленнєвого розвитку, і тим самим спрощує побудову ефективних групових або індивідуальних програм корекції.

Використання цих алгоритмів передбачає попереднє навчання на спеціально сформованих даних, отриманих за допомогою нейромереж, які працюють у системі. Дані, що формуються моделями CNN та RNN, виступають вхідними ознаками для подальшого аналізу. Алгоритми машинного навчання опрацьовують ці дані, формують прогнози та оцінки і, таким чином, надають логопедам додаткову інформацію, необхідну для прийняття обґрунтованих рішень щодо методів та стратегій подальшої роботи з пацієнтом.

### 2.2.3 Методики адаптації моделей до дитячого мовлення

Дитяче мовлення має низку специфічних рис, які суттєво відрізняють його від дорослого, що накладає певні вимоги до побудови та налаштування моделей, які застосовуються для аналізу та розпізнавання аудіосигналів. Врахування цих специфічних рис під час створення моделі є критично важливим, адже від точності роботи системи значною мірою залежить успішність логопедичної корекції.

Перш за все, необхідно враховувати, що дитяче мовлення характеризується значною варіативністю, зокрема високою емоційною виразністю, нерівномірним темпом, частими паузами та нетиповими формами вимови звуків. Ці особливості значною мірою ускладнюють завдання автоматичного розпізнавання. Саме тому ключовим етапом адаптації моделей до дитячого мовлення є спеціалізоване навчання нейронних мереж на відповідних мовленнєвих корпусах. Такі корпуси містять записи голосів дітей різного віку, з різними видами мовленнєвих порушень, різним ступенем їх прояву, різною емоційною інтонацією та контекстними особливостями. Таким чином, модель отримує можливість звикнути до широкого спектру варіацій, що суттєво підвищує її гнучкість та здатність до узагальнення [26].

Важливо зазначити, що при адаптації моделей до дитячого мовлення застосовуються спеціалізовані техніки аугментації даних. Цей підхід передбачає створення нових, штучних зразків мовлення на основі реальних записів шляхом застосування певних трансформацій. Серед таких трансформацій – зміна темпу мовлення, додавання фонового шуму, зміна висоти голосу та тембру. Використання таких методик значною мірою розширює навчальний корпус, дозволяючи моделі бути більш стійкою до реальних умов, у яких діти здійснюють мовленнєву активність. Аугментація також дозволяє ефективно боротися з перенавчанням, коли модель надто

сильно адаптується до конкретних зразків і втрачає здатність правильно розпізнавати нові, незнайомі їй ситуації.

Крім того, у процесі адаптації моделей важливу роль відіграє вибір відповідних архітектур нейронних мереж. Зокрема, для дитячого мовлення ефективними є такі архітектури, які здатні враховувати контекстні характеристики сигналу, як-от рекурентні нейронні мережі з механізмами довгої короткочасної пам'яті (LSTM) або мережі на основі механізму уваги (attention mechanism). Механізм уваги дозволяє нейронній мережі фокусуватися на найважливіших сегментах аудіоінформації, зокрема на тих ділянках сигналу, де найбільш чітко проявляються особливості мовленнєвих дефектів або специфічні дитячі інтонації. Це суттєво покращує точність розпізнавання і дозволяє отримати більш детальні й точні рекомендації для подальшої роботи логопеда.

Важливим методом адаптації є точне налаштування (fine-tuning) попередньо натренованих моделей. У цьому випадку спочатку нейронні мережі навчаються на великих універсальних датасетах, які містять широке різноманіття мовленнєвих зразків дорослих людей, а вже потім додатково перенавчаються на меншому, але спеціалізованому корпусі дитячого мовлення. Такий підхід дозволяє ефективно використати переваги навчання на великій кількості даних і водночас адаптувати модель до вузькоспеціалізованих умов дитячого мовленнєвого середовища.

Окремим аспектом адаптації моделей до дитячого мовлення є використання багаторівневої системи класифікації помилок та мовленнєвих дефектів. У порівнянні зі стандартними системами розпізнавання мовлення, які переважно орієнтуються на чітке і правильне вимовляння слів і фраз, у системі «ЛогоТрек» впроваджено диференційовану оцінку помилок, яка дозволяє розрізняти ступінь тяжкості, тип і характер порушення. Моделі здатні виявляти найдрібніші відхилення від норми та диференціювати між помилками, які є критичними для мовленнєвого розвитку, і тими, що мають менш суттєве значення для корекції.

## 2.3 Вибір інструментів програмної реалізації

### 2.3.1 Обґрунтування вибору мов програмування та бібліотек

Програмна реалізація інтелектуальної системи вимагала обґрунтованого підходу до вибору мов програмування, фреймворків та бібліотек, які б дозволяли ефективно реалізувати всі необхідні функції – від збору мовленнєвих даних і їх обробки до навчання моделей та формування звітів. Ключовим завданням на цьому етапі було поєднати стабільність, зручність, продуктивність та доступність інструментів для реалізації як штучного інтелекту, так і функціональності десктопного застосунку для логопеда.

Основною мовою програмування для реалізації логіки штучного інтелекту було обрано Python. Цей вибір обумовлено насамперед потужною екосистемою бібліотек і фреймворків, які охоплюють майже всі аспекти сучасного машинного навчання, обробки аудіосигналу та побудови моделей глибокого навчання. Python характеризується лаконічним синтаксисом, високим рівнем читабельності коду, а також активною спільнотою, яка постійно підтримує й оновлює найважливіші інструменти. Оскільки одним із головних напрямів у реалізації системи стало використання згорткових та рекурентних нейромереж, Python дозволив інтегрувати сучасні глибокі архітектури без зайвих складнощів у конфігурації.

Для побудови нейронних мереж та навчання моделей використовувався фреймворк TensorFlow, який забезпечує широкий спектр функцій для створення, тренування та оптимізації моделей машинного навчання. Його гнучкість та підтримка як CPU-, так і GPU-обчислень дозволили суттєво пришвидшити тренування моделей, що є особливо актуальним при роботі з великими аудіоданими. Додатково застосовувався високорівневий API Keras, який дозволяє швидко конструювати моделі та експериментувати з їх архітектурою. Завдяки цьому вдалося зменшити час

на розробку прототипів і водночас зберегти гнучкість для глибшого налаштування мереж, коли це було необхідно.

Для обробки аудіосигналів обрано бібліотеки `librosa` та `pydub`, які зарекомендували себе як ефективні інструменти для перетворення аудіо у спектрограми, мел-спектрограми, MFCC-коефіцієнти, а також для базової обробки сигналу – нормалізації, обрізання шумів та зміни формату. Ці бібліотеки мають зручний інтерфейс та добре інтегруються з екосистемою Python, що дозволило ефективно підготувати вхідні дані для моделей.

Для розробки графічного інтерфейсу користувача (GUI), який мав би бути простим, зрозумілим і доступним для логопедів без спеціальної технічної підготовки, було обрано бібліотеку `tkinter` у поєднанні з `tkbootstrap`. Така комбінація дозволила створити естетичний, сучасний, але водночас легкий і швидкодіючий інтерфейс. `tkinter` є вбудованим в екосистему Python, що виключає необхідність встановлення додаткових залежностей, а `tkbootstrap` надає можливість стилізувати інтерфейс згідно з сучасними вимогами UI-дизайну, дотримуючись принципів доступності.

Для роботи з базами даних і зберігання інформації про пацієнтів, записи, оцінки та історію роботи з ними було використано `SQLite`, забезпечив легку та портативну реалізацію локальної бази даних, яка не потребує додаткового встановлення серверних компонентів, а реєсєє дозволив інтегрувати доступ до бази безпосередньо у логіку програми з мінімальними витратами на налаштування та підвищеною безпекою взаємодії з даними.

Для формування звітів у форматі PDF та генерації документів, що містять індивідуальні рекомендації, оцінки, діаграми та дати занять, було обрано бібліотеку `reportlab` – одну з найнадійніших і найпотужніших у цій сфері. Її використання дозволило автоматизувати створення адаптивних звітів із підтримкою кирилиці, графіки та таблиць, що є необхідним у логопедичній практиці, орієнтованій на візуалізацію прогресу.

### 2.3.2 Інтеграція аудіоаналітики та нейромереж

Інтеграція аудіоаналітики з модулями штучного інтелекту є центральним компонентом, що забезпечує автоматичне розпізнавання мовлення, аналіз якості вимови та класифікацію типу мовленнєвого порушення. Реалізація цієї інтеграції базується на поєднанні технологій попередньої обробки аудіосигналу, розпізнавання мовлення та семантичного аналізу розпізнаного тексту.

Користувач логопед взаємодіє з графічним інтерфейсом, через який запускається запис мовлення за допомогою модуля `sounddevice`, а збереження аудіофайлу здійснюється з використанням `wavio`. Після цього аудіосигнал передається до модуля розпізнавання мовлення на базі бібліотеки `speech_recognition`. Обрана реалізація використовує `Google Speech Recognition API` з українською мовною моделлю (`language="uk-UA"`), що дозволяє досягати високої точності навіть у випадках зі складною артикуляцією або нестандартним темпом мовлення.

Розпізнаний текст зберігається в локальній базі даних разом з аудіофайлом та результатами аналізу. Подальший етап – порівняння з еталонною фразою. Тут використовується алгоритм `SequenceMatcher` із бібліотеки `difflib`, що розраховує відсоток подібності між текстами. Цей підхід дозволяє оцінити не лише абсолютну правильність вимови, а й ступінь відхилення від очікуваного мовленнєвого зразка. Додатково розраховується показник `WER (Word Error Rate)` з бібліотеки `jiwer`, що дозволяє кількісно оцінити помилки на рівні слів.

На основі отриманого розпізнаного тексту активується модуль глибокої класифікації типу мовленнєвого дефекту. Для цього використано `zero-shot-модель joeddav/xlm-roberta-large-xnli` із бібліотеки `transformers`. Ця модель дозволяє без потреби додаткового донавчання визначати, до якого класу належить мовленнєвий зразок, обираючи між етикетками: «ротацізм», «сигматизм», «ламбдацизм», «капацизм» або «норма».

Результатом роботи є словник із вірогідностями кожного класу, де у разі низької впевненості система обирає варіант «норма (вимова правильна)».

Система не лише визначає найімовірніший тип дефекту, а й надає розширене пояснення у вигляді розподілу вірогідностей по всіх класах, що дозволяє логопеду зробити додаткові висновки про особливості вимови конкретного пацієнта. Це робить систему не просто детектором помилок, а інтелектуальним аналітиком, що адаптується до контексту та індивідуальних мовленнєвих рис.

#### 2.4 Моделі організації даних і логіка взаємодії компонентів

Організація даних у системі «ЛогоТрек» відіграє критично важливу роль, оскільки саме правильна структура збереження мовленнєвих результатів, історії занять, оцінок, аудіозаписів і звітів дозволяє логопеду не лише ефективно працювати з кожним пацієнтом, а й отримувати аналітичну картину динаміки мовленнєвого розвитку. У центрі архітектури даних перебуває реляційна база даних SQLite, яка є вбудованою та не вимагає додаткових налаштувань, що повністю відповідає вимогам десктопного автономного застосунку. Діаграма структури бази даних зображена на рисунку 2.1.

Основним об'єктом у структурі є таблиця «пацієнти», яка містить базову інформацію про кожну дитину, з якою працює логопед: прізвище, ім'я, дату народження, контактні дані, попередні логопедичні діагнози, дати першого звернення, а також загальні нотатки логопеда. До кожного запису прив'язано унікальний ідентифікатор, який використовується як зовнішній ключ для інших таблиць.

З цією таблицею напряду пов'язана таблиця «заняття», у якій фіксуються всі сеанси мовленнєвої терапії. Кожен запис включає дату проведення, короткий опис мети заняття, результат, показник точності вимови, оцінку логопеда та прикріплений аудіозапис мовлення дитини. Усі

записи автоматично сортуються за датою, що дозволяє швидко переглядати історію успішності пацієнта та аналізувати прогрес або зони, що потребують додаткової уваги.



Рисунок 2.1 – Діаграма структури БД

Окремо функціонує таблиця «вправи», яка містить набір логопедичних завдань, рекомендованих системою або створених вручну логопедом. Кожна вправа має категорію (фонетична, артикуляційна, ритміко-інтонаційна тощо), опис завдання, очікуваний результат, а також може бути пов'язана з конкретним мовленнєвим дефектом. Це дозволяє системі автоматично підбирати вправи на основі типу порушення, виявленого у процесі аналізу мовлення.

Фіксація рекомендованих завдань реалізована через таблицю «домашні завдання», яка забезпечує збереження інформації про вправи, призначені логопедом для кожного пацієнта. До кожного запису додається дата призначення, статус виконання, коментарі, а також очікувана дата повторного оцінювання. Це дозволяє не лише відстежувати дотримання рекомендацій, а й формувати автоматизовані звіти для логопеда щодо ефективності заданих форм роботи.

Важливою таблицею є «результати аналізу», у якій зберігаються оцінки мовлення, що сформовані на основі роботи нейромереж. Сюди входить розпізнаний текст, відсоток подібності з еталонною фразою, вірогідність кожного з типів порушень, тип класифікованого дефекту, а також рівень впевненості класифікатора. Усі ці дані прив'язуються до

конкретного сеансу та дозволяють будувати динамічну модель прогресу пацієнта.

На рівні логіки взаємодії всі ці таблиці взаємопов'язані через зовнішні ключі: кожен пацієнт має набір занять, кожне заняття свій аудіозапис і результат, кожен аналіз – прив'язку до фрази і дефекту, кожне домашнє завдання зв'язок із вправою та датою.

Усі дії, що виконує логопед у графічному інтерфейсі, мають чітке відображення у базі: додавання нового пацієнта, призначення вправи, збереження аналізу, генерація PDF-звіту або відкриття історії, усе здійснюється через звернення до структури бази даних. Це дозволяє досягти масштабованості в разі розширення функціональності, збереження на зовнішні носії або інтеграції з хмарними сервісами в майбутньому.

## 2.5 Методика оцінки ефективності мовленнєвої терапії

Оцінка ефективності мовленнєвої терапії є одним із ключових елементів логопедичної практики, що дозволяє як фахівцеві, так і батькам пацієнта бачити об'єктивний прогрес, виявляти проблемні ділянки і своєчасно коригувати обрану траєкторію логопедичного впливу. У контексті цифрової трансформації логопедії зростає потреба у стандартизованих, точних та прозорих механізмах оцінювання, які ґрунтуються не лише на суб'єктивному спостереженні, а й на кількісних показниках, що автоматично фіксуються і аналізуються [27].

Інтелектуальна система «ЛогоТрек» передбачає комплексну реалізацію цього підходу: кожен мовленнєвий сеанс супроводжується автоматичним аналізом результатів, розпізнаванням промови, оцінкою схожості з еталоном, а також виявленням можливих порушень на основі моделей машинного навчання. Ці дані зберігаються у базі та дозволяють відслідковувати динаміку змін як у межах одного заняття, так і протягом тривалого періоду.

### 2.5.1 Критерії об'єктивної оцінки прогресу

Об'єктивна оцінка мовленнєвого прогресу є основоположною для сучасної логопедичної практики, орієнтованої на дані. У традиційному підході така оцінка здебільшого здійснюється на основі суб'єктивного враження логопеда, його досвіду та загальної взаємодії з пацієнтом. Водночас із розвитком цифрових технологій та впровадженням інтелектуальних систем з'явилась можливість доповнити професійні спостереження кількісними показниками, які є стабільними, відтворюваними та неприв'язаними до людського чинника. Саме така модель покладена в основу системи «ЛогоТрек» [28].

Інтегрована система аналізу мовлення забезпечує обчислення кількох основних метрик, що виступають критеріями успішності мовленнєвого заняття. Одним із таких показників є коефіцієнт схожості між розпізнаним текстом і очікуваним еталоном. Цей коефіцієнт визначається за допомогою алгоритмів символної та словесної відповідності, які враховують не лише кількість помилок, а й їх тип, чи стосуються вони фонетики, граматики, ритміки тощо. Цей підхід дозволяє фіксувати навіть незначні відхилення, які у майбутньому можуть мати значення для корекційної роботи .

Ще одним критичним індикатором є темп мовлення, який аналізується шляхом обчислення кількості мовленнєвих одиниць на одиницю часу. Темп є важливим показником як для контролю дихання і ритміки, так і для виявлення нервових порушень, що проявляються у надмірному прискоренні або сповільненні мовлення. У поєднанні з тривалістю пауз між словами та інтонаційними змінами темп дозволяє зробити висновки про загальну впевненість пацієнта, рівень сформованості навички й ступінь автоматизації правильної вимови.

У разі наявності порушення вимови особливу роль відіграє визначення типу дефекту, що також реалізується у системі за допомогою класифікації тексту, згенерованого на основі аудіосигналу. Інтелектуальні

моделі визначають найбільш ймовірний тип порушення (ротацізм, сигматизм, капацізм, ламбдацізм або норма), а також виводять рівень упевненості у результаті, що дозволяє логопеду розуміти, чи потребує конкретний випадок ручної перевірки. Важливо, що цей підхід ґрунтується не лише на фіксації факту помилки, а на оцінці її контексту і частотності в історії занять.

Стабільність результатів, оцінюється шляхом аналізу динаміки показників у часовому розрізі. Якщо система фіксує повторення однакових помилок протягом кількох занять або відсутність покращення у межах заданого періоду, це сигналізує про потребу змінити тактику корекції. Натомість стійке зменшення кількості помилок або підвищення відсотку схожості з еталоном свідчить про ефективність поточного підходу. Цей аналіз здійснюється автоматично та виводиться у графічному вигляді.

Усі розраховані показники фіксуються в базі даних і доступні як у вигляді табличних даних, так і у вигляді діаграм. Це дозволяє не лише контролювати динаміку в реальному часі, а й здійснювати ретроспективний аналіз ефективності логопедичних методик, проводити порівняння між різними групами пацієнтів або етапами терапії. Крім того, на основі цих метрик автоматично формуються індивідуальні звіти, які логопед може зберігати у вигляді PDF-файлів або надавати батькам дитини як підтвердження прогресу.

Система забезпечує багаторівневу модель оцінки ефективності, що включає як статистичні показники точності, темпу, тривалості, так і семантичні оцінки порушень і їх динаміки. Впровадження таких критеріїв дозволяє перейти від інтуїтивної логопедичної практики до формалізованої, науково підтвердженої та прозорої системи корекційної роботи. Це є фундаментом нової якості логопедичної допомоги у XXI столітті, орієнтованої не лише на результат, а й на об'єктивність і персоналізований підхід до кожної дитини.

## 2.5.2 Валідація точності розпізнавання та аналізу

Валідація – один із ключових етапів розробки інтелектуальної системи, що забезпечує достовірність і практичну надійність результатів, які вона генерує. У «ЛогоТрек» особливу увагу було приділено точності автоматичного розпізнавання мовлення, коректності обчислення показників якості вимови, а також достовірності класифікації мовленнєвих порушень. Завданням було забезпечити таку взаємодію між нейромережею, мовним корпусом і логікою оцінювання, яка б не лише демонструвала високі цифрові показники, а й відповідала реальним очікуванням логопеда у клінічному або освітньому середовищі [29].

Процес валідації точності розпізнавання базувався на порівнянні результатів, згенерованих системою, з ручною транскрипцією мовленнєвого зразка. Для цього використовувалися набори контрольних аудіо, у яких кожне речення було попередньо перевірене логопедом або кількома незалежними фахівцями. Далі проводився автоматичний аналіз із застосуванням моделей розпізнавання мовлення (на основі Google Speech API, Wav2Vec), після чого отриманий текст порівнювався з еталоном. Обчислювався показник WER (Word Error Rate) та CER (Character Error Rate), що дозволяло отримати кількісну оцінку точності.

Критично важливим стало вивчення помилок, що виникали під час розпізнавання: які саме слова або звуки не були розпізнані, чи є ці помилки системними (пов'язаними з конкретними звуками, темпом, акцентами) або випадковими. На основі такої помилкової матриці проводився аналіз чутливості моделі до різних умов мовлення: дитячий вік, фонетичні порушення, змінений темп або інтонація. Це дозволило адаптувати параметри передобробки аудіо та донавчити моделі на специфічних прикладах.

Також була реалізована валідація логіки класифікації типу мовленнєвого дефекту. Застосована zero-shot модель xlm-roberta

аналізувалась у порівнянні з ручною експертною оцінкою логопеда, тобто діагноз, запропонований системою, звірявся з висновками фахівця за тим самим аудіофайлом. У випадках розбіжностей проводився додатковий аналіз, чи помилилася модель через фонетичну неоднозначність, відсутність у тренувальному корпусі аналогічного прикладу, або ж через невірно обрану еталонну фразу. Завдяки цій методиці вдалося суттєво скоригувати формулювання інструкцій для моделі, що призвело до підвищення точності класифікації [30].

Для підвищення надійності аналізу були також впроваджені методи крос-валідації, система розбивалася на декілька частин і тестувалася на незалежних множинах даних. Це дозволило уникнути перенавчання та забезпечити універсальність при застосуванні до нових користувачів.

### 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ «ЛОГОТРЕК»

#### 3.1 Реалізація основних функціональних модулів системи

Перший рівень взаємодії логопеда із системою «ЛогоТрек» починається з авторизації. Для цього реалізовано простий, але важливий інтерфейс входу з логіном і паролем, який створює враження завершеності й захищеної професійної платформи (рисунок 3.1). На поточному етапі система не зберігає облікові записи користувачів у зовнішній базі, така форма аутентифікації закладає основу для майбутньої реалізації розмежування доступів, ведення окремих сесій та персоналізації робочого середовища логопеда.

Інтерфейс вхідного вікна побудовано з використанням бібліотеки tkinter. Користувач вводить логін і пароль, після чого система перевіряє відповідність введених даних встановленим значенням (лістинг 3.1). У разі успішного входу головне вікно системи відкривається автоматично, і логопед може одразу приступити до роботи з пацієнтами, не витрачаючи час на додаткову навігацію чи конфігурацію. Введення логіна і пароля обробляється функцією login(), яка перевіряє правильність введених значень та у разі успіху відкриває головне вікно системи.

#### Лістинг 3.1 – Вікно входу до системи «ЛогоТрек»

```
def login():
    username = entry_username.get()
    password = entry_password.get()
    if username == "admin" and password == "1234":
        root.destroy()
        import main_window
    else:
        messagebox.showerror("Помилка!", "Неправильний логін або пароль")
```

Цей інтерфейс відкриває подальший доступ до головного функціонального вікна, де логопед може працювати з базою пацієнтів, запускати мовленнєвий аналіз, формувати звіти та контролювати прогрес.

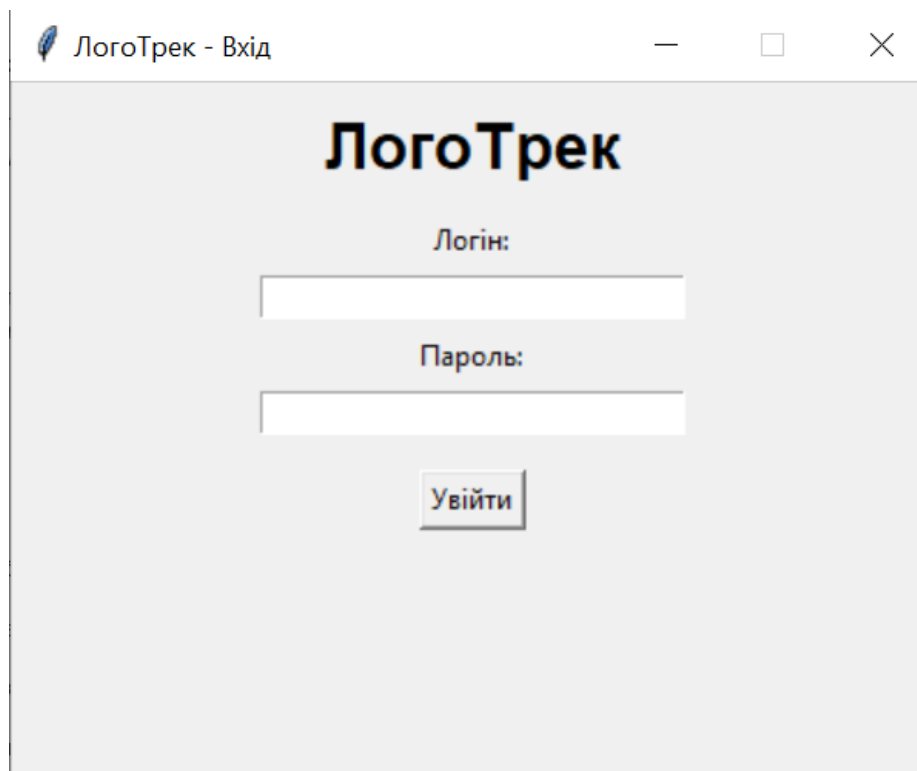


Рисунок 3.1 – Вікно входу до системи «ЛогоТрек»

Вхідна точка у вигляді авторизації є важливою частиною логіки системи, яка забезпечує не лише зручність, а й перспективу для подальшого масштабування.

### 3.1.1 Модуль розпізнавання мовлення

Модуль розпізнавання мовлення реалізований як автономний блок, що дозволяє логопеду провести запис голосу пацієнта, здійснити розпізнавання мовленнєвого сигналу, порівняти результат із еталонною фразою та отримати об'єктивну оцінку вимови. Він є інтерактивним

елементом, з яким логопед безпосередньо взаємодіє в інтерфейсі, і який водночас забезпечує високий рівень автоматизації оцінки.

Процес аналізу починається з запису мовлення за допомогою бібліотеки `sounddevice`, яка дозволяє здійснити захоплення аудіо у форматі `.wav` із подальшим збереженням файлу:

```
recording = sd.rec(int(duration * fs), samplerate=fs,
channels=1, dtype='int16')
sd.wait()
wavio.write(filename, recording, fs, sampwidth=2)
```

Записаний аудіофайл обробляється модулем `speech_recognition`, який використовує `Google Speech Recognition API` для розпізнавання українського мовлення. Це дозволяє перетворити мовленнєвий сигнал у текстову форму з високою точністю. Результат автоматично виводиться на екран логопеда та передається на аналіз:

```
with AudioFile(file_path) as source:
    audio = recognizer.record(source)
    recognized_text = recognizer.recognize_google(audio,
language="uk-UA")
```

Після розпізнавання система виконує порівняння з еталонною фразою, яку логопед обирає з типового переліку або вводить вручну. Для цього використовується функція `compare_texts`, побудована на базі `SequenceMatcher` з бібліотеки `difflib`, яка обчислює відсоток схожості між текстами:

```
similarity = SequenceMatcher(None, expected.lower(),
recognized.lower()).ratio()
result["similarity"] = round(similarity * 100, 2)
```

Крім того, система додатково розраховує `WER` (word error rate) за допомогою бібліотеки `jiwer`:

```
wer_score = wer(reference_text, recognized_text) * 100
accuracy = round(1 - wer_score / 100, 3)
```

Ці два показники: схожість і точність – виводяться логопеду у візуальному форматі та зберігаються в базу даних. Завдяки цьому

формується повна мовленнєва історія пацієнта з деталізованими результатами кожного заняття.

Окрім технічного аналізу, модуль містить класифікатор типу порушення мовлення. Для цього інтегровано zero-shot модель xlm-roberta-large-xnli, яка дозволяє класифікувати розпізнаний текст за типами дефектів: ротацізм, сигматизм, ламбдацизм, капацізм або норма. Алгоритм повертає основний діагноз і розподіл імовірностей по всіх класах:

```
result = classifier(text,
candidate_labels=CANDIDATE_LABELS)
labels = result["labels"]
scores = result["scores"]
```

Якщо модель не має достатньої впевненості або вважає, що фраза є коректною, вона повертає діагноз «норма (вимова правильна)». Цей підхід зменшує ризик хибнопозитивних висновків і дозволяє зосередитися на реальних порушеннях.

У результаті виконання аналізу система зберігає розпізнаний текст, точність вимови, аудіофайл і AI-висновок у базі даних для подальшого формування звітів і візуального контролю динаміки.

Модуль розпізнавання мовлення є одним із найбільш важливих функціональних компонентів системи «ЛогоТрек». Він дозволяє автоматизувати рутинну діагностичну роботу, зберігаючи при цьому гнучкість і адаптивність під конкретного пацієнта.

### 3.1.2 Модуль аналізу результатів і генерації оцінок

Після розпізнавання мовлення система переходить до етапу глибшого аналізу отриманих результатів, формування висновків щодо правильності вимови та автоматичного визначення типу мовленнєвого порушення. Цей процес охоплює дві ключові задачі: порівняння розпізнаного тексту з еталонним зразком та класифікація результату з використанням моделей штучного інтелекту.

Порівняння текстів реалізується у вигляді функції `compare_texts()`, яка розраховує відсоток схожості за алгоритмом `SequenceMatcher` з бібліотеки `difflib`, а також додатково аналізує окремі символи, які були замінені або втрачені під час вимови (лістинг 3.2). Це дозволяє виявити характерні фонетичні помилки, навіть якщо загальний зміст речення збережено.

### Лістинг 3.2 – Порівняння еталонного та розпізнаного тексту

```
def compare_texts(expected: str, recognized: str) -> dict:
    similarity = SequenceMatcher(None, expected.lower(),
recognized.lower()).ratio()
    result = {
        "expected": expected,
        "recognized": recognized,
        "similarity": round(similarity * 100, 2),
        "errors": [],
        "analysis": ""
    }
    errors = []
    for i, (e_char, r_char) in enumerate(zip(expected,
recognized)):
        if e_char.lower() != r_char.lower():
            errors.append({
                "position": i,
                "expected": e_char,
                "recognized": r_char
            })
    result["errors"] = errors
    if similarity >= 95:
        result["analysis"] = "Висока схожість."
    elif similarity >= 80:
        result["analysis"] = "Середня схожість."
    else:
        result["analysis"] = "Потрібна додаткова практика."
    return result
```

Оцінка результату є не лише числовою, а й пояснювальною, логопед отримує короткий висновок щодо рівня схожості. Це підсилює інтерпретованість результату та дозволяє швидко зорієнтуватися в прогресі пацієнта, результати перевірки наведено на рисунках 3.2–3.4.

Другим важливим етапом аналізу є класифікація типу мовленнєвого дефекту на основі розпізнаного тексту. У системі використано zero-shot класифікацію за допомогою моделі xlm-roberta-large-xnli, яка дозволяє без донавчання порівнювати текст із заздалегідь визначеним переліком дефектів. Це забезпечує гнучкість системи: вона може виявляти тип помилки навіть у нових або раніше не баченої фразях (лістинг 3.3).

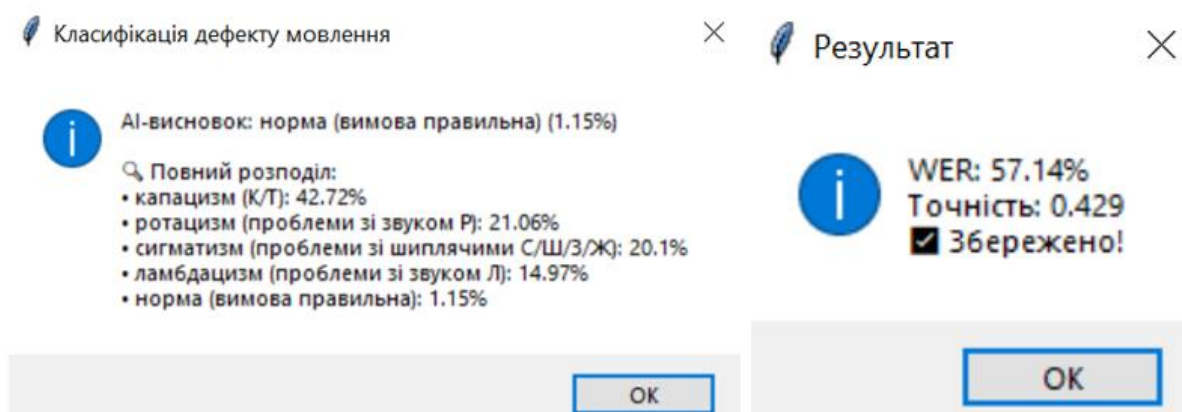


Рисунок 3.2 – Результат перевірки вимови (правильна вимова)

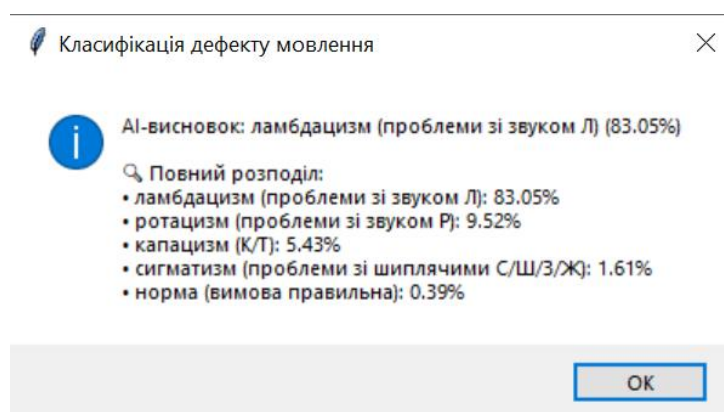


Рисунок 3.3 – Результат перевірки вимови (проблеми зі звуком Л)

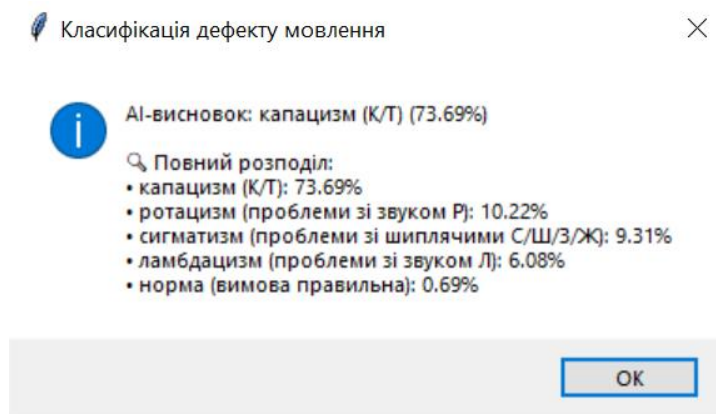


Рисунок 3.4 – Результат перевірки вимови (капацізм К/Т)

### Лістинг 3.3 – Класифікація типу мовленнєвого порушення

```

classifier      =      pipeline("zero-shot-classification",
model="joeddav/xlm-roberta-large-xnli")
CANDIDATE_LABELS = [
    "ротацізм (проблеми зі звуком Р)",
    "сигматизм (проблеми зі шиплячими С/Ш/З/Ж)",
    "ламбдацізм (проблеми зі звуком Л)",
    "капацізм (К/Т)",
    "норма (вимова правильна)"
]

def classify_defect(text: str) -> dict:
    result      =      classifier(text,
candidate_labels=CANDIDATE_LABELS)
    labels = result["labels"]
    scores = result["scores"]

    top_label = labels[0]
    top_score = scores[0]

    if top_score < 0.6 or "норма (вимова правильна)" in
labels[:3]:
        top_label = "норма (вимова правильна)"

```

### Продовження лістингу 3.3

```

        top_score = scores[labels.index(top_label)] if
top_label in labels else 1.0

    return {
        "label": top_label,
        "score": round(top_score * 100, 2),
        "all": list(zip(labels, [round(s * 100, 2) for s in
scores]))
    }

```

Результати аналізу, включно з розпізнаним текстом, точністю, типом дефекту та повним розподілом імовірностей, автоматично зберігаються у базі даних. Це дозволяє надалі формувати графіки динаміки, а також генерувати звіти для логопеда. Усі ці дії виконуються непомітно для користувача, з мінімальними кліками, що дозволяє зосередитися не на технічній реалізації, а на власне терапевтичному процесі.

#### 3.1.3 Зв'язок між модулями

Система «ЛогоТрек» побудована за принципом модульної архітектури, де кожен функціональний блок відповідає за чітко визначений набір задач: авторизація, робота з пацієнтами, мовленнєвий аналіз, формування звітів, ведення занять та нотаток. Зв'язок між модулями реалізований через централізований навігаційний сценарій `navigation.py`, який виконує роль посередника між вікнами інтерфейсу та функціональними діями в базі даних.

Передача даних між модулями здійснюється за допомогою аргументів функцій (зокрема, `patient_id`, `file_path`, `accuracy`, `note_id` тощо), а не глобальних змінних, що забезпечує стабільність структури та зменшує ризик помилок. Усі переходи відбуваються в межах одного `root`-вікна, що

дозволяє уникнути перевантаження пам'яті та зберігати цілісність користувацького досвіду (лістинг 3.4).

#### Лістинг 3.4 – Відкриття вікна пацієнта через navigation.py

```
def open_patient(patient_id, root_window):  
    from patient_window import open_patient_window  
    for widget in root_window.wininfo_children():  
        widget.destroy()  
    open_patient_window(patient_id, root_window)
```

Такий підхід дозволяє динамічно підвантажувати контент залежно від контексту: якщо логопед переходить до перегляду аналізу мовлення пацієнта, відкривається вікно `speech_analysis.py`, і дані про відповідного пацієнта автоматично передаються у функції завантаження аудіозаписів, текстів, оцінок та дефектів.

Самі дані – мовленнєвий аналіз, нотатки, звіти, картки зберігаються централізовано у SQLite-базі, з якою працює модуль `database.py`. Цей модуль містить понад 30 функцій для взаємодії з таблицями пацієнтів, записів, вправ, домашніх завдань, мовленнєвого аналізу, звітів і карток (лістинг 3.5). Усі ці функції викликаються з різних модулів через передачу конкретних ID, що забезпечує гнучкість у масштабуванні логіки, не створюючи надмірної залежності між окремими частинами коду.

#### Лістинг 3.5 – Збереження аналізу мовлення з іншого модуля

```
save_speech_analysis(  
    patient_id=patient_id,  
    file_path=file_path,  
    recognized_text=recognized_text,  
    accuracy=accuracy  
)
```

Після запису результатів один модуль може одразу передати дані іншому, наприклад, після завершення аналізу мовлення можна одразу згенерувати PDF-звіт на основі збереженого результату або показати його в таблиці попередніх занять. Вся логіка вибудовується так, щоб кожен етап був ізольованим, але легко доступним із будь-якої частини системи.

### 3.2 Реалізація структури бази даних

Для зберігання всіх мовленнєвих даних, оцінок, інформації про пацієнтів, нотаток, звітів та вправ у системі «ЛогоТрек» використовується реляційна база даних SQLite. Вона була обрана як оптимальне рішення для локального десктопного застосунку завдяки своїй портативності, простоті налаштування, швидкодії та підтримці повноцінного SQL-синтаксису. Структура БД побудована відповідно до логіки функціонування системи, де кожен тип об'єкта (пацієнт, запис, звіт, сесія, вправа) має окрему таблицю з чіткими зовнішніми зв'язками (лістинг 3.6).

Базу створено автоматично при першому запуску системи за допомогою функції `create_database()`, яка викликається з модуля `database.py`. Таблиці створюються з урахуванням зовнішніх ключів, що дозволяє забезпечити логічну цілісність усіх даних і зв'язок між пацієнтами, їхніми результатами та історією занять.

#### Лістинг 3.6 – Створення основних таблиць бази даних

```
cursor.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS patients (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        name TEXT NOT NULL,
        birthdate TEXT,
        notes TEXT DEFAULT '',
        global_description TEXT DEFAULT ''
    )
```

## Продовження лістингу 3.6

```

""")
cursor.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS speech_analysis (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        patient_id INTEGER,
        file_path TEXT,
        recognized_text TEXT,
        accuracy REAL,
        date TEXT DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
        FOREIGN KEY(patient_id) REFERENCES patients(id)
    )
""")

```

Таблиця `patients` є основною сутністю, до якої прив'язані всі інші об'єкти (лістинг 3.7). Вона зберігає базову інформацію про пацієнта – ім'я, дату народження, нотатки та загальний логопедичний опис. Через зовнішній ключ `patient_id` ця таблиця пов'язана з `speech_analysis` (аналіз вимови), `sessions` (історія занять), `notes` (нотатки), `homework` (домашні завдання), `speech_cards` (мовні карти) та `reports` (звітність).

## Лістинг 3.7 – Приклад таблиць для занять, звітів і вправ

```

cursor.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS sessions (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        patient_id INTEGER,
        date TEXT NOT NULL,
        lesson_summary TEXT,
        homework TEXT,
        notes TEXT,
        FOREIGN KEY(patient_id) REFERENCES patients(id)
    )
""")

```

### Продовження лістингу 3.7

```

cursor.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS reports (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        patient_id INTEGER,
        file_path TEXT,
        created_at TEXT DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
        FOREIGN KEY (patient_id) REFERENCES patients(id)
    ) """)
cursor.execute("""
    CREATE TABLE IF NOT EXISTS exercises (
        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        title TEXT NOT NULL,
        description TEXT,
        defect_type TEXT
    ); """)

```

Завдяки структурованості бази даних система дозволяє швидко отримати повну інформацію про пацієнта – зокрема, коли розпочались заняття, як змінювались показники точності вимови, які вправи призначались, які нотатки робив логопед тощо. Це дає змогу формувати динамічні звіти, графіки прогресу, а також автоматично підбирати рекомендовані завдання залежно від типу виявленого мовленнєвого порушення.

Для забезпечення ініціалізації вправ на старті системи додатково використовується функція `insert_initial_exercises()`

```

from database import create_database,
insert_initial_exercises
create_database()
insert_initial_exercises()

```

Це дозволяє створити стартовий набір логопедичних вправ, які пізніше можна прив'язати до типових дефектів або розширити вручну логопедом.

### 3.2.1 Збереження аудіо, тексту та результатів аналізу

Процес збереження результатів аналізу мовлення є автоматизованим і повністю прозорим для логопеда. Після запису аудіо, його розпізнавання та обробки в модулі аналізу система виконує збереження всіх отриманих результатів у відповідні таблиці бази даних, що дозволяє формувати історію мовленнєвої динаміки кожного пацієнта та створювати точні звіти.

Зокрема, для збереження результатів використовується функція `save_speech_analysis()` з модуля `database.py`, яка приймає на вхід ідентифікатор пацієнта, шлях до аудіофайлу, розпізнаний текст і відсоток точності (accuracy), що був розрахований у попередньому модулі, це наведено у лістингу 3.8. Ці дані додаються до таблиці `speech_analysis`, яка логічно пов'язана з таблицею `patients` через зовнішній ключ.

#### Лістинг 3.8 – Збереження аналізу мовлення у базу даних

```
def save_speech_analysis(patient_id, file_path,
recognized_text, accuracy):
    conn = sqlite3.connect("logotrack.db")
    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute("""
        INSERT INTO speech_analysis (patient_id, file_path,
recognized_text, accuracy)
        VALUES (?, ?, ?, ?)
    """, (patient_id, file_path, recognized_text,
accuracy))
    conn.commit()
    conn.close()
```

Під час збереження аудіофайлу важливим є надання йому унікальної назви. Для цього використовується форматування імені за принципом: `Пацієнт_Дата_Час.wav`, процес запису аудіо наведено на рисунках 3.5 та 3.6. Такий підхід дозволяє логопеду з легкістю ідентифікувати аудіо в папці

системи та уникнути випадкового перезапису. Запис здійснюється через бібліотеку wavio, яка забезпечує стабільне кодування у формат .wav.

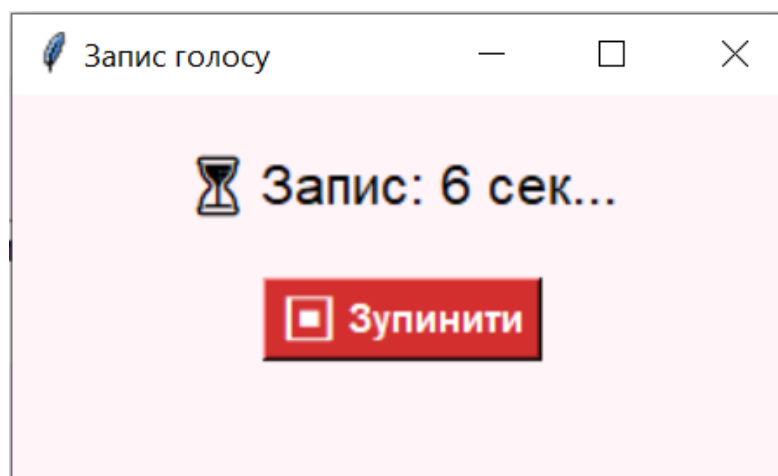


Рисунок 3.5 – Відлік часу при записі голосу

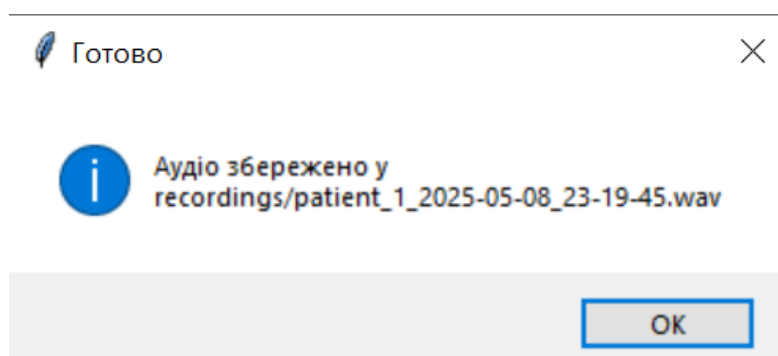


Рисунок 3.6 – Повідомлення про збереження аудіо пацієнта

Після того, як файл було збережено фізично, і результати аналізу зафіксовано у БД, система відображає короткий підсумок логопеду у вікні аналізу, а також зберігає ці дані у відповідній таблиці для подальшого використання в генерації PDF-звітів та графіків прогресу.

Окрім тексту та оцінки точності, можливою є також прив'язка висновку класифікатора (діагнозу) на поточному етапі ця інформація зберігається у вигляді розподілу по класах у вигляді структури, що

передається у звіт або виводиться на екран. У подальших версіях планується розширення таблиці `speech_analysis`, аби зберігати тип дефекту та рівень упевненості моделі.

Окрім мовленнєвого аналізу, аналогічна логіка реалізована для збереження нотаток логопеда, результатів занять (`sessions`), домашніх завдань (`homework`), вправ (`exercises`) та згенерованих звітів (`reports`). Усі ці дії виконуються через окремі функції модуля `database.py`, які також працюють із перевітками існуючих записів, автоінкрементом і захистом від SQL-ін'єкцій.

### 3.3 Інтерфейс системи та користувацький досвід

Інтерфейс системи «ЛогоТрек» розроблений з урахуванням специфіки логопедичної практики. Основними принципами побудови UI стали простота, інтуїтивність, чітка структура та візуальна логіка розташування елементів. Колірна палітра витримана у світлих тонах із яскравими акцентами на діях (зелені кнопки – збереження, червоні – вихід або скасування), що відповідає очікуванням користувача в освітньо-медичному середовищі. Основним користувачем системи є логопед, тому інтерфейс орієнтований саме на його зручність, без зайвих складних структур, з доступом до потрібних функцій у 1–2 кліки.

Головне вікно: календар, база пацієнтів та нотатки наведено на рисунку 3.7. Після авторизації логопед потрапляє до головного вікна системи, яке містить календар (для планування занять), список пацієнтів (із ключовою інформацією: ім'я, дата народження, короткий опис порушень), а також блок загальних нотаток. Це дозволяє швидко переглянути стан справ, обрати потрібного пацієнта та додати оперативні нагадування чи спостереження, які не належать до конкретного заняття.

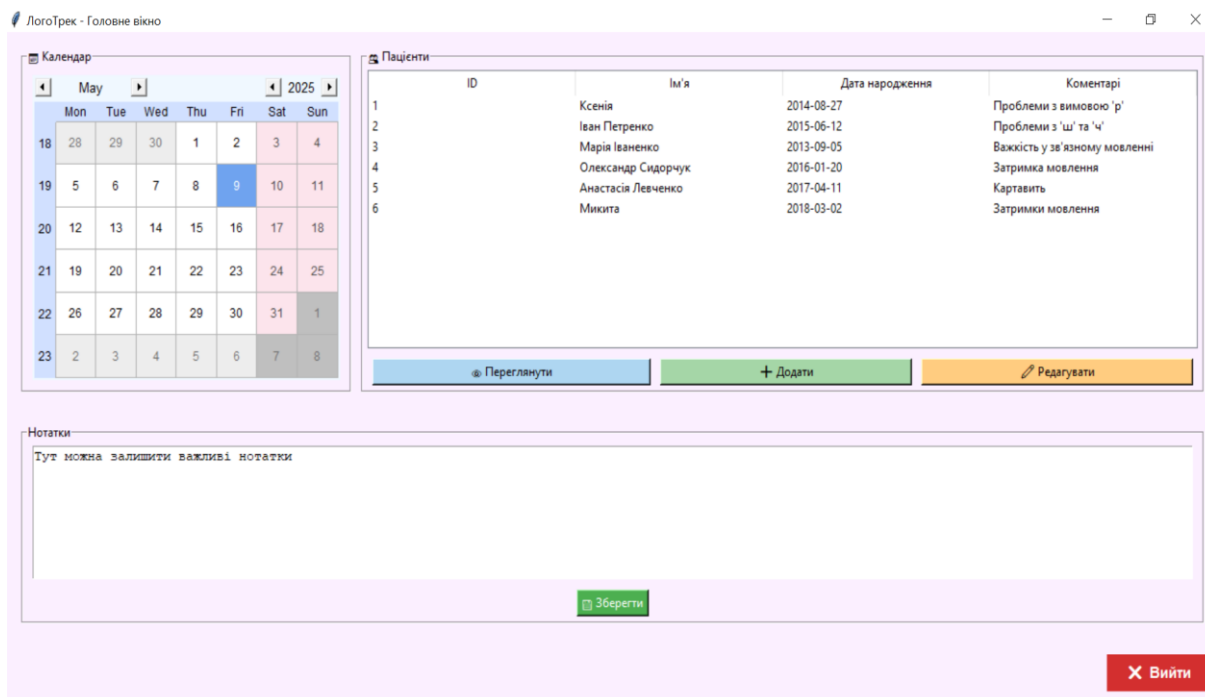


Рисунок 3.7 – Головне вікно системи

У нижній частині розміщена панель дій: кнопки «Переглянути», «Додати» та «Редагувати» пацієнта, що забезпечують швидкий доступ до функціональності без перевантаження інтерфейсу.

Картка пацієнта: повна взаємодія з історією. При виборі пацієнта відкривається окреме вікно, яке містить основну інформацію (ПІБ, дата народження, глобальна нотатка), а також доступ до ключових функцій: мовна карта, аналіз мовлення, домашнє завдання, відкриття звіту (рисунок 3.8). Таке компонування дозволяє логопеду не лише бачити поточний стан пацієнта, а й одразу взаємодіяти з будь-яким із модулів, що суттєво зменшує час навігації в застосунку.

У нижній частині доступна історія нотаток – логопед може додавати нові коментарі або переглядати попередні. Це важливо для фіксації спостережень, що не належать до автоматизованого аналізу, але є критично важливими у формуванні індивідуальної терапевтичної стратегії.

Окрема вкладка «Мовна карта» дозволяє логопеду вручну виставляти оцінки з ключових категорій: звуки, артикуляція, дихання, граматики. Після

кожного заняття заповнені оцінки фіксуються у таблиці історії, що дозволяє згодом побудувати графік прогресу, а також врахувати комплексний підхід до мовленнєвої оцінки, не лише через ШІ, а й за фаховою логопедичною шкалою (рисунок 3.9).

Пациєнт - Анастасія Левченко

**Ім'я: Анастасія Левченко**  
Дата народження: 2017-04-11  
Почав займатись: Немає даних

Мовна карта

Глобальна нотатка про пацієнта

Картавить

Зберегти

Історія нотаток

2025-04-16 15:34:24 - Потрібні заняття на короткострокову пам'ять

Аналіз мовлення

Домашнє завдання

Відкрити останній звіт

Нова нотатка

Назад

Зберегти

Рисунок 3.8 – Картка пацієнта з кнопками доступу

Мовна карта пацієнта

**Мовна карта пацієнта**

Оцінка звуків

Оцінка артикуляції

Оцінка дихання

Оцінка граматики

Висновок логопеда:

Зберегти

Назад до пацієнта

Історія мовних карт:

Дата	Звуки	Артикуляція	Дихання	ГраMATика
2025-04-15	добре	добре	добре	добре

Рисунок 3.9 – Оцінювання параметрів мовлення у «Мовній карті»

Інтерфейс аналізу мовлення дозволяє логопеду працювати з автоматизованим модулем ШІ максимально просто: достатньо обрати еталонну фразу (з випадуючого списку або ввести вручну), записати мовлення пацієнта, натиснути кнопку «Завантажити» і система автоматично розпізнає, порівнює, обчислить точність та сформує AI-висновок. Усі дії логопеда зведені до кількох кліків, щоб зберегти його час і зосередити увагу на терапії (рисунок 3.10).

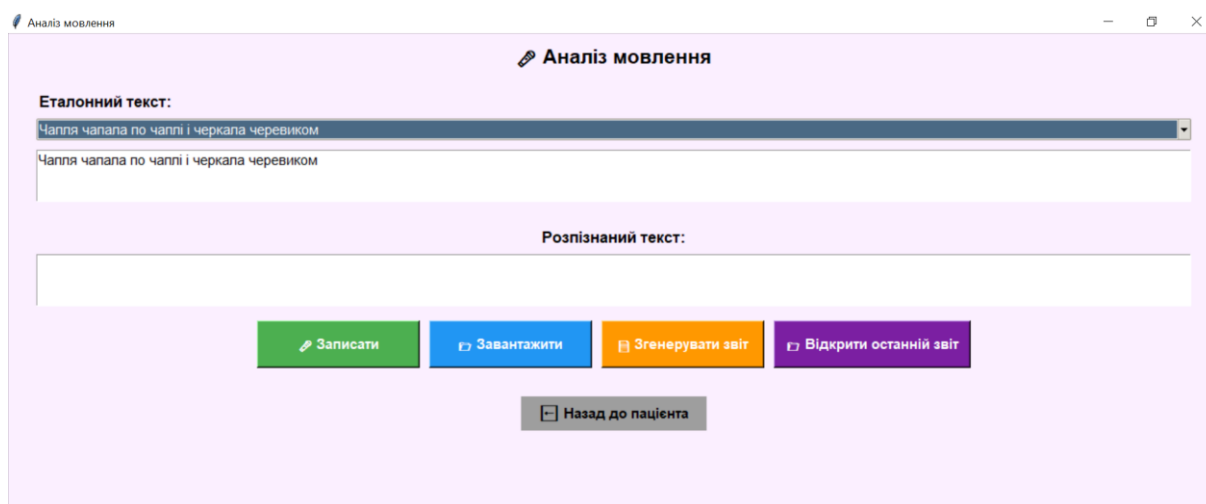


Рисунок 3.10 – Вікно аналізу мовлення з розпізнаванням

Після завершення аналізу логопед має можливість:

- зберегти результат;
- згенерувати PDF-звіт;
- переглянути попередній аналіз;
- або повернутися до картки пацієнта.

Це забезпечує гнучкість і логічну завершеність роботи з кожним мовленнєвим прикладом.

У вікні «Домашнє завдання» логопед бачить повний список наявних вправ, які вже є в базі. Вони класифіковані за типом (артикуляційна, дихальна тощо) та мають короткий опис, що дає змогу швидко підібрати завдання до виявленого дефекту (рисунок 3.11). Всі вправи зберігаються у

відповідній таблиці та можуть бути призначені вручну або автоматично, згідно з висновком ІІІ.

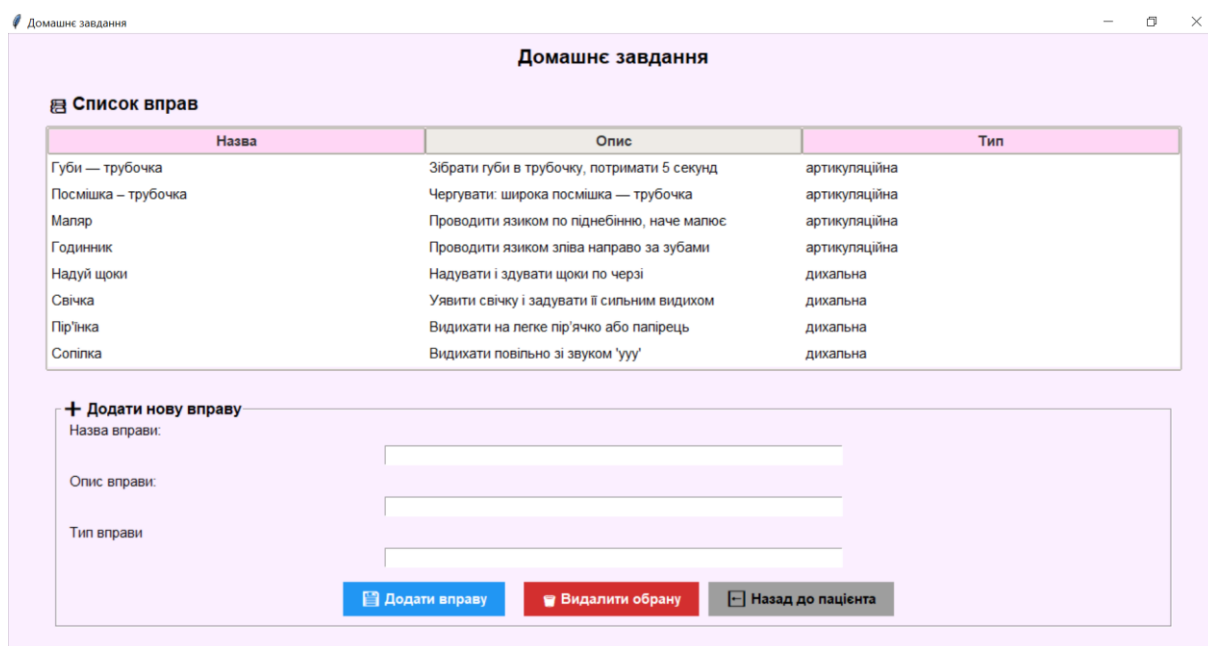


Рисунок 3.11 – Вікно призначення домашніх завдань і додавання нових вправ

У нижній частині форми передбачено можливість додавання нової вправи. Це дозволяє логопеду самостійно адаптувати програму під конкретні мовленнєві порушення або вигадувати творчі завдання, що базуються на індивідуальному підході до дитини. Функція видалення також реалізована вона дає змогу підтримувати базу вправ у чистому та актуальному вигляді.

Однією з центральних функцій інтелектуальної системи «ЛогоТрек» є повністю автоматизована генерація логопедичних звітів у форматі PDF. Цей функціонал розроблений для того, щоби логопед міг за лічені секунди отримати повноцінний звіт про динаміку мовленнєвого розвитку пацієнта, не витрачаючи додатковий час на оформлення чи заповнення даних вручну. Ключовою перевагою такого підходу є саме ефективність: дані, які вже були

зібрані системою у процесі занять, автоматично структуруються у професійний документ (рисунок 3.12).

Звіт формується одразу після завершення мовленнєвого аналізу. У нього автоматично підтягується прізвище, ім'я та дата народження пацієнта, дата створення документа, а також фіксується ім'я логопеда, що працює з дитиною. Додатково додається короткий коментар щодо мовленнєвого стану (наприклад: «Картавит», «Затримка мовлення» тощо), загальний відсоток точності вимови, кількість пройдених занять, а також візуальний графік прогресу на основі точності вимови за кожну дату (рисунок 3.13). Таким чином, звіт поєднує як кількісну, так і якісну аналітику.

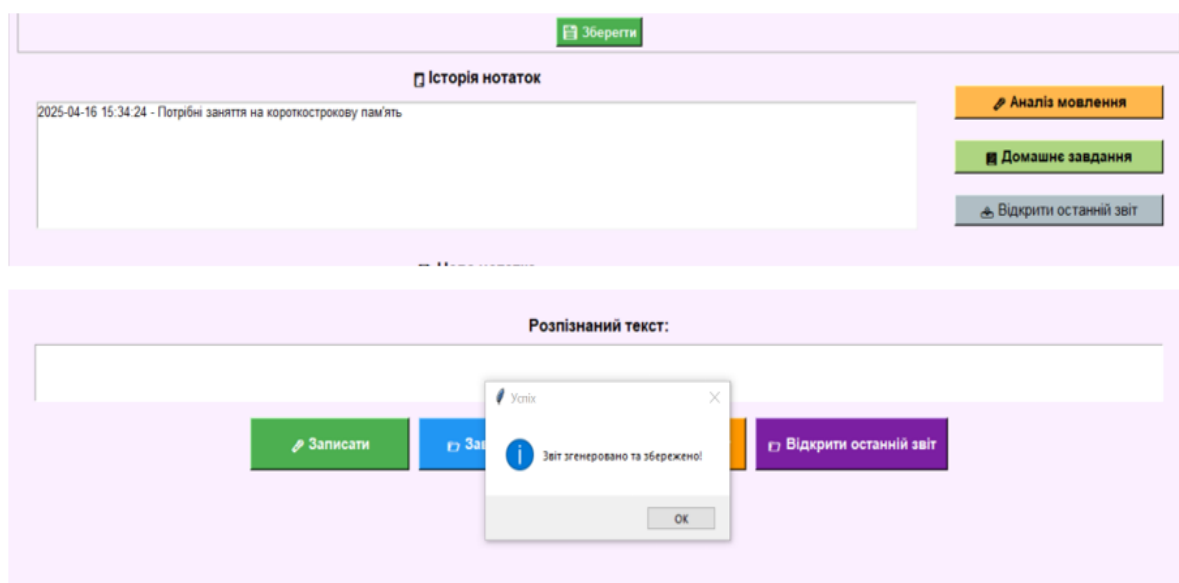


Рисунок 3.12 – Формування звіту

Цей звіт логопед може зберігати у власному архіві, надавати батькам, використовувати під час оцінки динаміки на методичних засіданнях або включати до звітної документації в освітніх і медичних установах. Повна автоматизація цього процесу значно спрощує щоденну рутину фахівця та дозволяє зосередитися безпосередньо на роботі з дітьми.



Рисунок 3.13 – Фрагмент PDF-звіту з персональними даними та графіком

Під час розробки інтерфейсу системи особлива увага приділялась не лише логіці взаємодії між модулями, а й безпосередньо досвіду користувача. Оскільки основним і єдиним користувачем системи є логопед, інтерфейс було створено з максимальним урахуванням його реальних потреб, темпу роботи, обмеженого часу на заповнення та прагнення до наочності.

Перша ідея, закладена в архітектуру – система без зайвого складного функціоналу. Тут немає авторизації користувачів з різними правами, складних меню чи багатоетапних форм. Усе інтуїтивне, це забезпечує

мінімальне навантаження на пам'ять, сприйняття та навички користувача. Кожна кнопка виконує лише одну функцію, і вона логічно позначена як кольором, так і текстом:

- одна точка входу. Вхід у систему простий і швидкий: логопед просто натискає «Увійти» й одразу потрапляє до бази пацієнтів. Це дозволяє почати роботу буквально з першої хвилини;

- звичні кольорові акценти. Зелені кнопки позначають дії (зберегти, додати), помаранчеві – аналіз, фіолетова – PDF-звіт, червона – вихід. Це не лише робить інтерфейс приємним візуально, а й дозволяє швидко зорієнтуватись без читання інструкцій;

- жодних прихованих меню. Усі функції розташовані на головних екранах. Щоб записати аналіз, натискаєш «Записати», щоб сформувати звіт «Згенерувати звіт». Принцип «одна дія – одна кнопка» допомагає уникнути плутанини;

- автоматичне збереження. Усі дані зберігаються одразу після натискання на кнопки. Це дозволяє уникнути втрат при помилках користувача, а також не перевантажувати логопеда думками про те, чи збережено зміни;

- швидкий доступ до попередніх даних. Історія нотаток, останній згенерований звіт, картка пацієнта, все доступне в один клік. Це забезпечує безперервність роботи без необхідності шукати файли або вручну вести журнали.

Інтерфейс адаптований для роботи на будь-якому екрані та не перевантажений зайвою графікою. Використано лише базові елементи бібліотеки Tkinter з покращенням візуального стилю через ttkbootstrap, що забезпечує сучасний вигляд і сумісність із більшістю систем.

UX у «ЛогоТрек» не є декоративним елементом, а повноцінною функціональною частиною системи, що забезпечує логопеду швидку, зрозумілу й приємну взаємодію.

### 3.4 Автоматизація формування звітів та рекомендацій

Одним із ключових результатів інтеграції модулів аналізу, бази даних та інтерфейсу є можливість автоматичного формування PDF-звітів, які відображають мовленнєвий прогрес пацієнта. Такий звіт є не лише інструментом фіксації результатів, а й повноцінним засобом комунікації між логопедом, батьками та адміністративними структурами. Його структура, оформлення та зміст продумані з урахуванням практичної значущості для логопеда.

Процес генерації звіту запускається автоматично після аналізу мовлення та передбачає побудову персоналізованого документа за допомогою бібліотеки FPDF. У тілі функції `generate_pdf_report()` покроково виконується збір даних, побудова графіка точності та створення PDF-файлу з усіма необхідними розділами.

Першим етапом є витяг даних із бази:

```
patient = database.get_patient_by_id(patient_id)
records = database.get_speech_analyses(patient_id)
```

Далі відбувається побудова графіка прогресу з точності аналізу вимови, який зберігається у вигляді `.png` та вставляється у PDF:

```
plt.plot(dates, accuracies, marker='o', color='teal')
plt.title("Прогрес пацієнта (точність %)")
plt.savefig(chart_path)
```

PDF містить кілька блоків: назву, загальні дані пацієнта, кількість занять, загальний рівень точності, а також розділи «Прогрес мовлення», «Історія занять» та «Висновок логопеда». Дані розміщуються у таблицях та текстових блоках з дотриманням читаємого й візуально комфортного стилю.

У табличній формі наводиться історія занять – для кожного з них відображається дата, розпізнаний текст та точність, це наведено у лістингу 3.9.

### Лістинг 3.9 – Генерація текстових полів і висновок логопеда

```
pdf.cell(0, 10, f" Ім'я: {name}", ln=True)
pdf.cell(0, 10, f" Кількість занять: {num_sessions}",
ln=True)
pdf.cell(0, 10, f" Точність: {current_accuracy *
100:.2f}%", ln=True)
pdf.cell(50, 10, f" {date}", border=1)
pdf.cell(60, 10, f" {text}", border=1)
pdf.cell(40, 10, f" {acc}%", border=1, ln=True)
if current_accuracy * 100 > 95:
    conclusion = "Вимова на високому рівні..."
elif current_accuracy * 100 > 80:
    conclusion = "Є позитивна динаміка..."
else:
    conclusion = "Потрібна додаткова увага..."
```

Після збереження документу шлях до файлу записується в базу для подальшого перегляду або повторного відкриття:

```
save_report(patient_id, filename)
```

Весь цикл – від аналізу до готового документа займає кілька секунд, не вимагаючи від логопеда жодних технічних дій. Звіт зберігає мовленнєву динаміку, підкріплює терапевтичну оцінку графіком, а також надає об'єктивну аналітику на основі ШІ. Це дозволяє використовувати його не лише як внутрішній інструмент, а й як доказову базу ефективності корекційної роботи.

### 3.5 Тестування системи та аналіз результатів

Розробка системи супроводжувалась багаторазовим тестуванням функціональності, точності розпізнавання мовлення, стабільності роботи та швидкодії. З огляду на особливу специфіку застосування – роботу з живим усним мовленням дітей, важливо було забезпечити коректність роботи

алгоритмів у реальних умовах: із варіативністю вимови, шумовими перешкодами, змінами інтонації.

### 3.5.1 Проведення тестових мовленнєвих сесій

У процесі тестування було проведено понад 30 окремих мовленнєвих сесій з використанням різних еталонних фраз. Серед них як фрази із класичними «складними» звуками (шиплячі, [p], [л], [к], [т]), так і нейтральні формулювання для перевірки розпізнавання. У кожному випадку перевірялась точність трансформації голосу в текст, а також якість класифікації мовленнєвих дефектів, яку здійснював модуль на основі zero-shot моделі xlm-roberta.

Один із прикладів: еталонна фраза «Щука шепотіла щось шалено щебечучи», яка є класичною перевіркою на сигматизм і ротацізм, наведено на рисунку 3.14. Система точно розпізнала вимову, але класифікатор ідентифікував наявність порушень: ротацізм: 49.05%, ламбдацізм: 26.34%, капацізм: 13.23%, сигматизм: 10.6%, норма: лише 0.78%.

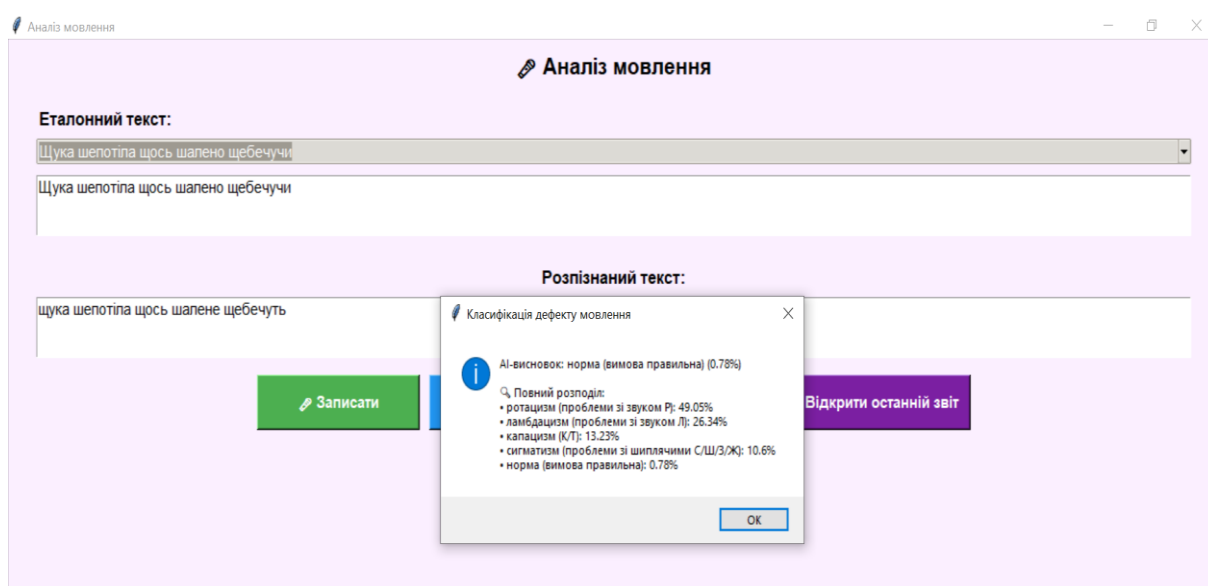


Рисунок 3.14 – Приклад фрази з виявленими порушеннями

Інший приклад, фраза «Кіт сидить у кошику під каштаном і кусає капусту» – з яскраво вираженим порушенням звуків [к]/[т], характерним для капацізму (рисунок 3.15). ШІ правильно визначив тип порушення з високим рівнем впевненості: капацізм: 86.82%, решта класів – < 6%.

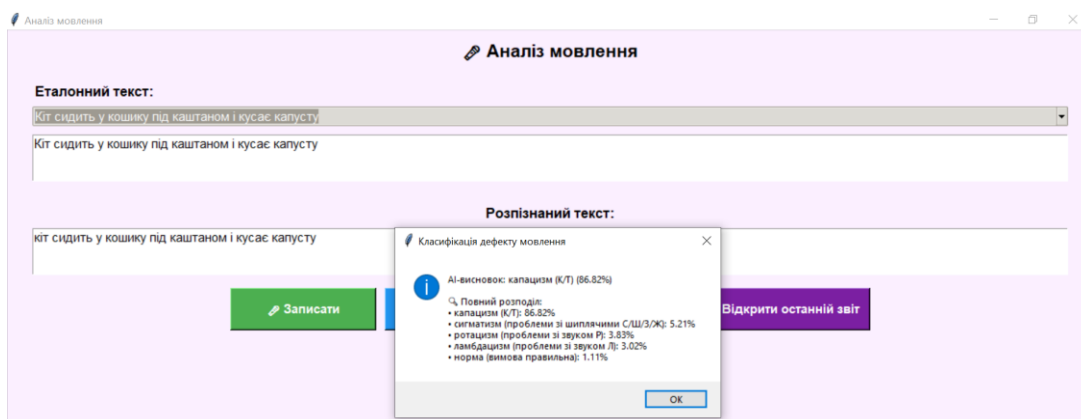


Рисунок 3.15 – Виявлення капацізму з високою точністю

У прикладі з фразою «Віра варила варення в великій ватрі» була навмисно допущена лексична помилка в слові «ватрі» – «матері», що могло вплинути на контекст (рисунок 3.16). І хоча WER залишився прийнятним, ШІ зафіксував зниження точності та підвищені ймовірності дефектів: капацізм 35%, ламбдацізм 27%, ротацізм 19%, сигматизм 13%.

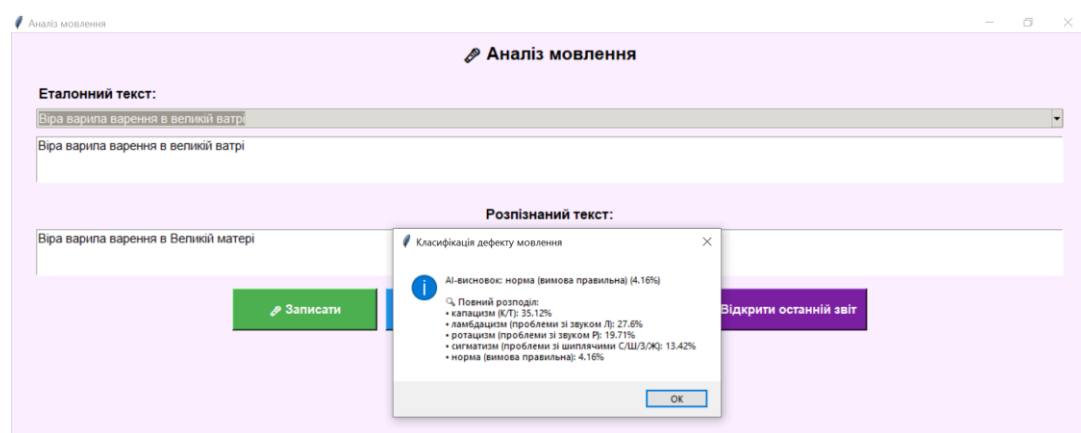


Рисунок 3.16 – Приклад фрази з лексичним спотворенням

Ці результати доводять, що система чутливо реагує як на фонетичні, так і на змістові порушення, і водночас дозволяє логопеду гнучко тлумачити результат, покладаючись на власний професійний досвід.

### 3.5.2 Оцінка стабільності, швидкодії, точності результатів

Систему «ЛогоТрек» було розроблено з орієнтацією на стабільну щоденну експлуатацію у логопедичній практиці, де швидкість реакції, точність результатів і стійкість до навантаження є критично важливими. Тому під час тестування особлива увага приділялась саме цим трьом показникам: швидкодії, точності та стабільності роботи системи в реальних умовах.

Швидкодія системи. У ході понад 30 тестових мовленнєвих сесій було заміряно середній час, необхідний для виконання повного аналізу – від початку запису голосу до появи результатів розпізнавання та класифікації. Цей час стабільно не перевищував 5 секунд, включаючи:

- фіксацію аудіо;
- розпізнавання мовлення;
- класифікацію дефекту;
- вивід результату;
- збереження даних у базу.

Оперативність досягнута завдяки локальному виконанню всіх обчислень (без зовнішніх API-запитів), оптимізованому запису через `sounddevice` та використанню попередньо завантаженої `zero-shot` моделі на базі `xlm-roberta`, що дозволяє уникати затримок під час класифікації. Усі процеси запускаються по команді логопеда одним кліком, а час очікування мінімальний і не порушує природний ритм заняття.

Точність розпізнавання та класифікації. У тестових прикладах рівень точності вимови, розрахований за допомогою алгоритмів WER (Word Error Rate) та `SequenceMatcher`, коливався від 83% до 99,5%, залежно від чіткості

артикуляції, темпу мовлення та наявності помилок у вимові. При цьому точність виводиться не лише у вигляді цифрового показника, а й супроводжується інтерпретаційним AI-висновком.

Було протестовано роботу zero-shot класифікатора, який ідентифікує тип порушення: ротацізм, сигматизм, капацізм, ламбдацізм або норма. Результати вказали на досить високу узгодженість між реальним дефектом і висновком системи. У більшості випадків модель фіксувала той тип порушення, на який була сконцентрована еталонна фраза. Наприклад: у фразі з домінуючими [К]/[Т] системою правильно визначено капацізм (86,8%), у фразі із шиплячими – сигматизм та ротацізм отримали найвищі бали, навіть при свідомо спотворених фразах, система показувала зниження точності та низьку впевненість у «нормі».

Ці результати свідчать про чутливість моделі до фонетичних помилок, що є позитивним показником для клінічного застосування. При цьому логопед може самостійно трактувати оцінку: ШІ не замінює фахівця, а надає об'єктивну опору.

Стабільність роботи. Жодного разу під час тестування система не дала критичних збоїв. Усі дії виконувались у стабільному GUI-середовищі, без вильотів, зависань чи втрати даних. Кожна спроба аналізу супроводжувалась успішним збереженням результатів у БД. Також було перевірено ініціалізацію функцій збереження, відкриття попередніх звітів та повторного запуску аналізу, всі сценарії спрацювали коректно.

Система також продемонструвала витримку до повторного запуску модулів: навіть за умов повторного запису без оновлення вікна, інтерфейс реагував стабільно.

Це підтверджує ефективність інтеграції штучного інтелекту у практичну логопедію – не лише як дослідницького інструменту, а як справжнього помічника логопеда в реальних робочих умовах.

### 3.6 Узагальнення результатів практичної реалізації

Практична реалізація системи «ЛогоТрек» показала, що навіть локальне, індивідуальне програмне рішення, створене під конкретного користувача, може змінити логіку логопедичної взаємодії. Те, що раніше потребувало зошитів, окремих таблиць, суб'єктивних вражень і витрат часу, сьогодні перетворюється на прозору цифрову екосистему, де дані структуруються автоматично, аналіз виконується об'єктивно, а звіти формуються без зусиль.

Система не просто фіксує результати, вона створює відчуття, що логопед працює не наодинці. Інтелектуальний модуль виступає як аналітичний партнер, здатний бачити закономірності, виявляти нюанси вимови, давати оцінку, яку потім логопед може адаптувати до свого фахового досвіду. Це співпраця людини й алгоритму, де кожен виконує свою роль. Людина – інтерпретує, відчуває, спілкується. Алгоритм – фіксує, розраховує, зберігає.

Система вже готова до застосування. Вона працює, формує звіти, допомагає бачити прогрес і будувати терапевтичні рішення, реальний робочий інструмент, що вже може бути впроваджений у практику логопеда будь-якого рівня.

Існує потенціал для розширення: від мобільних версій до хмарної синхронізації, від мультикористувацького доступу до автоматичного підбору вправ на основі історії успішності, від адаптації під різні мовні групи до вивчення динаміки через візуалізацію великих даних. Але навіть у своїй першій реалізації система вже довела: сучасна логопедія має всі підстави бути цифровою, точною і доступною.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено інтелектуальну систему «ЛогоТрек», яка об'єднує можливості штучного інтелекту, баз даних і сучасного графічного інтерфейсу для підтримки логопедичної практики. У межах дослідження було обґрунтовано актуальність теми з огляду на сучасні тенденції діджиталізації медицини та освіти, а також зростаючу потребу у високоякісній персоналізованій логопедичній допомозі. Було показано, що поєднання технологій машинного навчання, мовного аналізу та ергономічного дизайну дозволяє значно розширити можливості традиційної логопедичної практики, зробивши її адаптивною, зручною й ефективною як для спеціаліста, так і для пацієнта.

В теоретичному розділі було проведено аналіз основних підходів до логопедичної терапії, а також розглянуто сучасні методи автоматизації освітніх і терапевтичних процесів. Особливу увагу приділено огляду мовних розладів, принципів побудови інтелектуальних систем, методів розпізнавання мовлення та моделювання освітніх траєкторій. Вивчення сучасного стану проблеми дозволило сформулювати обґрунтовану вимогу до функціональності та архітектури майбутньої системи.

У ході практичної реалізації було створено повнофункціональний застосунок, що забезпечує повний цикл логопедичної роботи: ведення електронної картки пацієнта, збереження аудіозаписів, проведення аналізу мовлення, автоматичне формування звітів, надання рекомендацій, призначення вправ, візуалізація прогресу та генерація персоналізованих занять. Застосунок побудовано з використанням мови програмування Python, графічного інтерфейсу на основі Tkinter з бібліотекою ttkbootstrap, локальної бази даних SQLite та модуля штучного інтелекту, який дозволяє оцінювати точність вимови, визначати типи мовленнєвих дефектів і рекомендувати подальші дії. Значна увага приділена естетиці та зручності

інтерфейсу, а також автоматизації рутинних процесів, що дозволяє логопеду зосередитись на аналітиці та педагогічному супроводі.

Завдяки впровадженому AI-модулю, «ЛогоТрек» здатен проводити попередню діагностику якості мовлення, що відкриває перспективу використання системи в ролі асистента логопеда та дає змогу здійснювати первинне оцінювання результатів терапії. Крім того, реалізовано механізми порівняння результатів мовлення з попередніми записами, побудову графіків прогресу, інтеграцію з генерацією PDF-звітів для архівування та спільного використання з батьками чи іншими фахівцями.

Система реалізована із врахуванням реальних потреб логопедів та пацієнтів, а також має потенціал до масштабування, подальшої мобільної адаптації та впровадження нових технологій, таких як GPT-подібні моделі для аналізу тексту та побудови освітніх траєкторій. Система не лише довела свою функціональну спроможність і готовність до впровадження, але й окреслила нову логіку організації логопедичної роботи – цифрову, адаптивну та націлену на підтримку фахівця в його щоденній практиці.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. American Speech-Language-Hearing Association | ASHA. *American Speech-Language-Hearing Association*. URL: <https://www.asha.org/> (date of access: 01.05.2025).
2. Черніченко Л. А. Теорія і практика професійної підготовки логопедів до інноваційної діяльності в інклюзивній дошкільній освіті. Умань : Візаві, 2021. 188 с.
3. Годованець Ю. Генеративний штучний інтелект у медичній практиці. *Інтеграція штучного інтелекту в освіту – виклики та можливості*. 2024. С. 172–174. URL: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-477-4-41> (дата звернення: 01.05.2025).
4. Journal of Communication Disorders. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-communication-disorders> (date of access: 01.05.2025).
5. Греченко Є. Д., Hrechenko Y. D. Профілактика дисграфії у дітей старшого дошкільного віку з загальним недорозвитком мовлення : master's thesis. 2020. URL: <http://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/9938> (дата звернення: 01.05.2025).
6. Мельничук І. В., Петрашук М. В. Інноваційні технології в лісовій промисловості: сучасний стан та перспективи розвитку. *Efektivna ekonomika*. 2024. № 6. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.6.45> (дата звернення: 02.05.2025).
7. Нова ініціатива сприятиме розвитку інклюзивної освіти для дітей з інвалідністю в Україні. *Unicef для кожної дитини*. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/press-release/activation-to-boost-inclusive-education> (дата звернення: 02.05.2025).
8. Чекач О. Методика застосування комп'ютерних технологій при навчанні дітей із вадами мовлення. Мукачево : Мукач. держ. ун-т, 2022. 53 с.

9. Tsymbal-Slatvinska S. V. Digital tools in speech therapy practice. *Innovate pedagogy*. 2025. Vol. 2, no. 79. P. 86–91. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2025/79.2.17> (date of access: 02.05.2025).

10. Adilova M. Modern tools for myofunctional correction in speech therapy. *American journal of social sciences and humanity research*. 2024. Vol. 4, no. 3. P. 129–134. URL: <https://doi.org/10.37547/ajsshr/volume04issue03-17> (date of access: 02.05.2025).

11. Геревенко А. Мобільні додатки як інструмент ефективного навчання : Електрон. навч. курс. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН УКРАЇНИ, 2024. 114 с.

12. Теслюк В. Перспективи застосування штучного інтелекту в освітньому процесі: теоретичний аспект. *Молодь і ринок*. 2024. № 6/226. С. 183–188. URL: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2024.307884> (дата звернення: 02.05.2025).

13. Куренкова А. В. Нейромережі як інноваційний інструмент у логопедичній роботі. *Inclusion and diversity*. 2024. С. 14–17. URL: <https://doi.org/10.32782/inclusion/2024.spec.3> (дата звернення: 02.05.2025).

14. Fuente Garcia S., Ritchie C. W., Luz S. Artificial Intelligence, Speech, and Language Processing Approaches to Monitoring Alzheimer's Disease: A Systematic Review. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2020. Vol. 78, no. 4. P. 1547–1574. URL: <https://doi.org/10.3233/jad-200888> (date of access: 02.05.2025).

15. Nwikpo M. A theoretical framework for leveraging assistive technologies in dysgraphia remediation learning. *Journal of Theoretical and Empirical Studies in Education*. 2024. Vol. 8, no. 2. P. 96–115.

16. Cui W. Research on speech recognition and feedback technology in ai-driven english speaking practice platforms. *Learning and analytics in intelligent*

systems. Cham, 2024. P. 174–183. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-69457-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-69457-8_17) (date of access: 02.05.2025).

17. Vahitova G. H., Obskov A. V. Development of preschool children speech problems. *Advances in intelligent systems and computing*. Cham, 2017. P. 128–133. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67843-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67843-6_16) (date of access: 02.05.2025).

18. Treatment model in children with speech disorders and its therapeutic efficiency / M. Keske-Soares et al. *International archives of otorhinolaryngology*. 2014. Vol. 18, no. 03. P. 283–288. URL: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1376885> (date of access: 02.05.2025).

19. Гринчук Л.В. Методичні рекомендації щодо надання логопедичних послуг дітям з особливими освітніми потребами. *Інститут післядипломної педагогічної освіти*. С. 318–322.

20. Пахомова Н.Г, Губарь О.Г. Особливості надання корекційно-розвиткових послуг підліткам із дизартрією в умовах логопедичного кабінету. *Актуальні питання корекційної освіти*. 2020. С. 207–220.

21. Єфименко Л. Пальчикові ігри та вправи як засіб розвитку мовлення у дітей раннього віку. *Грааль науки*. 2022. № 11. С. 434–436. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.077> (дата звернення: 02.05.2025).

22. Співак А. Г. Застосування технологій у корекційній роботі з дітьми з порушеннями мовлення. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 19. Корекційна педагогіка та спеціальна психологія*. 2023. № 45. С. 105–111. URL: <https://doi.org/10.31392/udun-series19.2023.45.16> (дата звернення: 06.05.2025).

23. Kamath U., Liu J., Whitaker J. Recurrent neural networks. *Deep learning for NLP and speech recognition*. Cham, 2019. P. 315–368. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14596-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14596-5_7) (date of access: 06.05.2025).

24. Ayyadevara V. K. Random forest. *Pro machine learning algorithms*. Berkeley, CA, 2018. P. 105–116. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3564-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3564-5_5) (date of access: 06.05.2025).

25. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. O'Reilly Media, Incorporated, 2022.

26. Використання інформаційних комп'ютерних технологій у корекційній роботі вчителя. *Професійний сайт вчителів – логопедів./ Логопед - перший помічник дитини!* URL: <http://logopedy.ks.ua/news/75> (дата звернення: 06.05.2025).

27. Douglas O. Speech processing: a dynamic and optimization-oriented approach. New York : Marcel Dekker, 2003. 626 p.

28. Zheng J., Gao T. D. A dual-dsp sonobuoy signal processing system. *Applied mechanics and materials*. 2014. Vol. 571-572. P. 873–877. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.571-572.873> (date of access: 07.05.2025).

29. Furey J., Davis A., Seiter-Moser J. Natural language indexing for pedoinformatics. Engineer Research and Development Center (U.S.), 2021. URL: <https://doi.org/10.21079/11681/41960> (date of access: 07.05.2025).

30. Modi R. Transcript anatomization with multi-linguistic and speech synthesis features. *International journal for research in applied science and engineering technology*. 2021. Vol. 9, no. VI. P. 1755–1758. URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.35371> (date of access: 07.05.2025).