НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«___»_____2026 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»

спеціальності 163 Біомедична інженерія

на тему: «Програмний комплекс підтримки клінічного аналізу специфічних патернів ЕЕГ на основі машинного навчання»

Виконала:
студентка IV курсу, групи БМ-22
Сидоренко Аріанна Олексіївна _____

Керівник:
ст. викл. каф. БМІ
Овчаренко Ганна Романівна _____

Рецензенти:
асистент кафедри ББЗЛ
Гришин Іван Леонідович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біомедичної інженерії
Кафедра біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 163 Біомедична інженерія

Освітньо-професійна програма Медична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Владислав ШЛИКОВ
«___»_____2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Сидоренко Аріанні Олексіївні

1. Тема проєкту «**Програмний комплекс підтримки клінічного аналізу специфічних патернів ЕЕГ на основі машинного навчання**», керівник проєкту Овчаренко Ганна Романівна, ст. викл. каф. БМІ, затверджені наказом по університету від «27»травня 2026 р. №1924-с

2. Термін подання студентом проєкту «7» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту наукові статті та панентна література (в електронному вигляді), програмне забезпечення: мова програмування *Python,* мова розмітки та стилів *HTML, CSS*, мова запитів *SQLite*, бібліотеки *numpy, Django, matlib, MTLpy*

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд методів реєстрації та класифікації ЕЕГ-сигналів, розробка та навчання штучної нейронної мережі для класифікації патернів ЕЕГ-сигналів, створення програмного продукту, тестування та аналіз ефективності системи.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): презентація у форматі *MS Power Point*.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Демчук Г.В., к.т.н., доцент кафедри ОППЦБ		

7. Дата видачі завдання «27» травня 2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Отримання завдання на ДР	27 травня 2026 р.	
2	Ознайомлення з технікою безпеки	27-31 травня 2026.р	
3	Огляд літератури за темою	27 травня – 2 червня 2026 р.	
4	Розробка та навчання нейромережі	30 травня – 2 червня 2026 р.	
5	Розробка застосунку для обробки та зберігання ЕЕГ записів	30 травня – 2 червня 2026 р.	
6	Тестування та аналіз ефективності системи	2-3 червня 2026 р.	
7	Проходження нормконтролю по оформленню ДР	4 червня 2026 р.	
8	Подання ДР рецензенту. Отримання рецензії	4 червня 2026 р.	
9	Подання в електронному вигляді ДР та анотації	7 червня 2026 р.	
10	Подання документів у друкованому вигляді	10 червня 2026 р.	
11	Захист ДР	17 червня 2026 р.	

Студент Аріанна СИДОРЕНКО

Керівник Ганна ОВЧАРЕНКО

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Програмний комплекс підтримки клінічного аналізу специфічних патернів ЕЕГ на основі машинного навчання».

Обсяг дипломної роботи становить 63 сторінки, міститься 24 ілюстрації, 15 таблиць. Загалом опрацьовано 26 джерел.

Актуальність пов’язана зі зростанням кількості неврологічних захворювань, зокрема епілепсії, яка є одним із найбільш поширених розладів нервової системи. Своєчасне виявлення епілептиформних патернів у ЕЕГ сигналах дозволяє значно підвищити ефективність лікування та покращити якість життя пацієнтів.

Мета: автоматизація виявлення відхилень та специфічних патернів ЕЕГ у системі підтримки прийняття рішень в нейрофізіологічній клінічній практиці сигналів із використанням методів штучного інтелекту та веб-технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести літературний аналіз предметної області та існуючих методів обробки;
2. Розробити алгоритм обробки ЕЕГ-сигналів та модель машинного навчання для автоматизованого виявлення епілептиформних патернів;
3. Розробити веб-застосунок для завантаження, аналізу та збереження результатів досліджень ЕЕГ;
4. Провести тестування та оцінку ефективності системи.

Ключові слова: електроенцефалографія, аналіз ЕЕГ, нейромережевий модуль, інтериктальні епілептиформні розряди, *EEG-BIDS*.

ANNOTATION

Thesis topic: “A Software System for Supporting the Clinical Analysis of Specific EEG Patterns Based on Machine Learning.”

The thesis consists of 63 pages and includes 24 figures and 15 tables. A total of 26 sources were reviewed.

The relevance of the topic is associated with the increasing prevalence of neurological disorders, particularly epilepsy, which is one of the most common disorders of the nervous system. Timely detection of epileptiform patterns in EEG signals can significantly improve treatment effectiveness and enhance patients’ quality of life.

Aim: to automate the detection of abnormalities and specific EEG patterns in a decision-support system for neurophysiological clinical practice using artificial intelligence methods and web technologies.

To achieve this aim, the following tasks must be completed:

1. To conduct a literature review of the subject area and existing processing methods;
2. Develop an algorithm for processing EEG signals and a machine learning model for the automated detection of epileptiform patterns;
3. Develop a web application for uploading, analyzing, and saving EEG test results;
4. To test and evaluate the effectiveness of the system.

Keywords: electroencephalography, EEG analysis, neural network module, interictal epileptiform discharges, EEG-BIDS.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ 8
1.1 Аналіз основних характеристик ЕЕГ сигналів та особливостей епілептиформних патернів 8
1.2 Сучасні методи автоматичного виявлення патернів 10
1.3 Огляд існуючих програмних рішень для аналізу ЕЕГ 12
1.4 Визначення вимог до програмного комплексу 14
Висновок до розділу 1 18
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 19
2.1 Методи попередньої обробки ЕЕГ сигналів 19
2.2 Архітектура моделі штучного інтелекту 22
2.3 Алгоритм навчання моделі 23
2.4 Навчання та валідація моделі 28
Висновок до розділу 2 30
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ 31
3.1 Технологічний стек веб-застосунку 31
3.2 Структура бази даних системи 33
3.3 Серверна частина веб-застосунку 38
3.4 Інтерфейс користувача для аналізу ЕЕГ 40
3.5 Інтеграція моделі штучного інтелекту у веб-застосунок 43
Висновок до розділу 3 45
РОЗДІЛ 4 47
ОХОРОНА ПРАЦІ 47
4.1 Характеристика виробничого приміщення 47

4.1.1 Загальна характеристика кабінету електроенцефалографії 47

4.1.2 Характер взаємодії об’єкту в системі «людина–об’єкт» 48

4.2 Виявлення та оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів у кабінеті електроенцефалографії 49

4.2.1 Електронебезпека 50

4.2.2 Біологічна небезпека 52

4.2.3 Мікроклімат як допоміжний шкідливий фактор 54

4.3 Розробка інструкції з охорони праці при роботі у кабінеті електроенцефалографії з програмним комплексом виявлення епілептиформних патернів на ЕЕГ 55

Висновок до розділу 4 59

ВИСНОВКИ 60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 61

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз основних характеристик ЕЕГ сигналів та особливостей епілептиформних патернів

Електроенцефалографія є одним із базових неінвазивних методів дослідження функціонального стану головного мозку. Незважаючи на розвиток сучасних методів нейровізуалізації, ЕЕГ зберігає важливе значення у діагностиці епілепсії, оцінці нападоподібних станів та моніторингу патологічної мозкової активності [1]. Особливість ЕЕГ полягає в тому, що сигнал є багатоканальним, нестаціонарним і дуже чутливим до різних типів завад. На запис істотно впливають м’язові артефакти, рухи очей, зміщення електродів, електромережеві наведення, а також індивідуальні особливості пацієнта. Через це одна з головних проблем аналізу ЕЕГ полягає не лише у виявленні патологічних компонентів, а й у відокремленні їх від фонової активності та артефактів [2, 3].

Для задач, пов’язаних з епілепсією, особливе значення мають інтериктальні епілептиформні розряди — *interictal epileptiform discharges*. До них належать *spikes, sharp waves* та комплекси *spike-and-wave*. Такі патерни є короткочасними, морфологічно різкими та мають важливе діагностичне значення, однак їхня форма не є строго сталою. Вони можуть відрізнятися за амплітудою, тривалістю, полярністю, локалізацією та контекстом появи в сигналі. Це ускладнює створення універсального алгоритму, який однаково добре працював би для різних пацієнтів і різних типів записів [4, 5].

Ще одна важлива особливість ЕЕГ полягає в тому, що навіть наявність епілепсії не гарантує постійного виявлення епілептиформної активності в кожному записі. Водночас окремі атипові або прикордонні патерни можуть помилково інтерпретуватися як патологічні. Саме тому автоматизований аналіз ЕЕГ повинен бути достатньо чутливим до коротких відхилень, але водночас не надто схильним до хибнопозитивних спрацювань [2, 6].

Важливою характеристикою електроенцефалографічного сигналу є його поділ на частотні діапазони, кожен з яких пов’язаний із певними функціональними станами головного мозку. У клінічній практиці виділяють дельта-ритм (0,5–4 Гц), тета-ритм (4–8 Гц), альфа-ритм (8–13 Гц) та бета-ритм (13–30 Гц). У деяких дослідженнях також розглядається гамма-ритм із частотами понад 30 Гц. Аналіз співвідношення цих ритмів дозволяє оцінювати функціональний стан центральної нервової системи та виявляти ознаки патологічних змін.

При аналізі епілептиформної активності особливу увагу приділяють короткочасним високоамплітудним подіям, які суттєво відрізняються від фонової активності. До таких подій належать спайки (*spikes*), гострі хвилі (*sharp waves*) та комплекси *spike-and-wave*. Їх поява може свідчити про підвищену збудливість нейронних структур і розглядається як один із важливих маркерів епілептичної активності.

Складність автоматизованого аналізу полягає також у значній міжпацієнтній варіабельності сигналів. ЕЕГ-записи можуть відрізнятися залежно від віку пацієнта, типу використовуваної апаратури, кількості каналів, умов проведення дослідження та наявності супутніх захворювань. У зв’язку з цим сучасні системи аналізу ЕЕГ повинні бути достатньо гнучкими для роботи з різнорідними даними та забезпечувати стабільність результатів за різних умов реєстрації сигналу.

Однією з важливих характеристик ЕЕГ є наявність кількох частотних діапазонів, які відповідають різним функціональним станам головного мозку. Основні ритми електроенцефалографічного сигналу наведено на рис. 1.1.

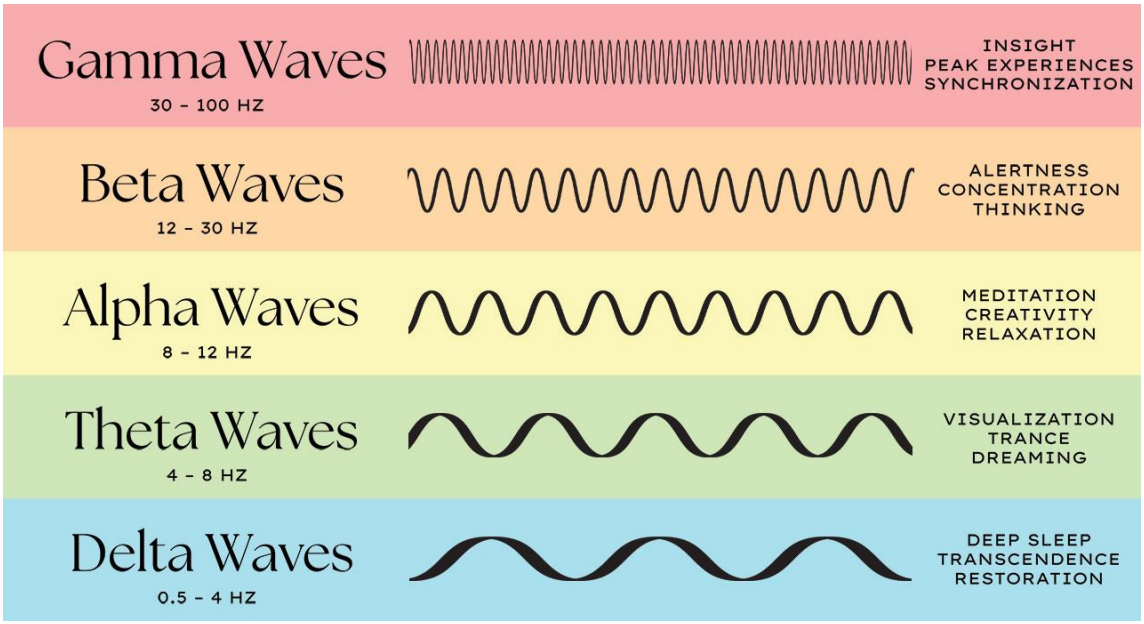

Рисунок 1.1 – Основні частотні діапазони електроенцефалографічного сигналу [1]

Як видно з рис. 1.1, кожен ритм характеризується власним частотним діапазоном та асоціюється з певними фізіологічними станами організму.

1.2 Сучасні методи автоматичного виявлення патернів

Підходи до автоматичного виявлення епілептиформних патернів на ЕЕГ істотно еволюціонували. У ранніх системах переважали методи шаблонного пошуку та ручно сконструйованих ознак, коли дослідник задавав набір часових, амплітудних або спектральних характеристик, а далі застосовував класифікатор. У сучасних роботах дедалі більшу роль відіграють методи машинного навчання та глибокого навчання, які дозволяють моделі самостійно виявляти складні закономірності в сигналі [4].

Серед сучасних досліджень можна виділити роботи, де використовуються згорткові нейронні мережі для автоматичного виявлення *IED*, а також двоетапні системи, які спочатку виконують первинне виділення підозрілих фрагментів, а потім проводять уточнювальну класифікацію [5, 8, 9]. Окремий інтерес становлять роботи, присвячені *reduced-channel EEG*, оскільки вони демонструють прагнення спростити

апаратну частину систем і водночас зберегти прийнятну якість автоматизованого виявлення [10].

У сучасній літературі дедалі частіше підкреслюється, що автоматизовані системи аналізу ЕЕГ доцільно розглядати як інструменти підтримки клінічного рішення, а не як повністю автономні діагностичні модулі. Саме тому результат роботи моделі бажано подавати не у вигляді безапеляційного висновку, а у вигляді градуйованої оцінки: індексу ризику, ймовірності або відсотка відхилень у записі[11].

Серед сучасних підходів до автоматизованого аналізу ЕЕГ особливе місце займають методи машинного навчання. На відміну від класичних алгоритмів, які базуються на заздалегідь визначених правилах та порогових значеннях, методи машинного навчання дозволяють виявляти складні закономірності у сигналах на основі навчальних даних.

Для задач класифікації ЕЕГ-сигналів широко використовуються алгоритми *Random Forest, Support Vector Machine (SVM), Logistic Regression* та *Gradient Boosting*. Такі методи зазвичай працюють із попередньо обчисленими ознаками сигналу, серед яких можуть використовуватись статистичні характеристики, спектральні показники та параметри часових рядів.

Окремим напрямом є використання глибокого навчання. Згорткові нейронні мережі (*CNN*) дозволяють автоматично виділяти інформативні ознаки із сигналу без необхідності їх ручного проєктування. Також для аналізу послідовностей можуть застосовуватись рекурентні нейронні мережі та їх модифікації. Незважаючи на високу ефективність, такі моделі потребують значних обсягів навчальних даних та обчислювальних ресурсів.

У практичних системах аналізу ЕЕГ часто використовуються комбіновані підходи, які поєднують попередню обробку сигналів, виділення ознак та алгоритми машинного навчання. Такий підхід дозволяє забезпечити прийнятний баланс між точністю виявлення патернів, швидкістю роботи та складністю реалізації програмного продукту.

Як показано на рис. 1.2, процес автоматизованого аналізу ЕЕГ зазвичай складається з кількох послідовних етапів: попередньої обробки сигналу, формування

набору ознак, застосування алгоритму класифікації та інтерпретації отриманого результату. Якість роботи всієї системи значною мірою залежить від ефективності кожного із зазначених етапів.

Рисунок 1.2 – Основні підходи до автоматизованого аналізу ЕЕГ-сигналів (створено автором у *Microsoft PowerPoint*)

1.3 Огляд існуючих програмних рішень для аналізу ЕЕГ

Серед найвідоміших *open-source* рішень для аналізу ЕЕГ одним із найуживаніших є *EEGLAB* — інтерактивний *Matlab toolbox* для обробки безперервних та подієво-орієнтованих *EEG/MEG*-даних, що включає *ICA*, *time-frequency analysis, artifact rejection* і засоби візуалізації [12]. Його перевагою є великий набір функцій і широка поширеність у науковому середовищі. Водночас самі розробники прямо вказують, що *EEGLAB* є дослідницьким інструментом і не призначений для клінічного використання [13]. Це показує важливий розрив між дослідницькими платформами та програмними продуктами, орієнтованими на практичну роботу лікаря.

Іншим потужним середовищем є *MNE-Python*, яке підтримує повний *EEG/MEG workflow*: завантаження сирих даних, епохування, усереднення, побудову графіків та інші етапи аналізу [14]. Для задач перегляду та мультиформатної роботи з даними важливим є також *Brainstorm*, що позиціонується як *open-source* застосунок для аналізу *MEG, EEG, fNIRS, ECoG* та інших записів мозкової активності [15]. Такі системи забезпечують широкі можливості для дослідника, але потребують відповідної підготовки користувача і не завжди орієнтовані на простий сценарій «завантажити запис — отримати клінічно зрозумілий результат».

Для перегляду записів у форматі *EDF/EDF+* поширеним інструментом є *EDFbrowser — open-source viewer* та *annotator*, який дозволяє відкривати, перевіряти та анотувати біомедичні time-series файли, зокрема *EEG* (див. табл. 1.1) [16]. Його функціональність є корисною для перегляду та базової перевірки сумісності форматів, однак він не вирішує задачі автоматичного клінічно орієнтованого аналізу. Таким чином, існуючі програмні засоби добре покривають або дослідницький сегмент, або задачу перегляду/редагування сигналів, але не повністю закривають потребу у спеціалізованому програмному комплексі, який об’єднував би автоматизовану оцінку ЕЕГ, ведення даних пацієнта та збереження історії результатів [12, 14–16].

Таблиця 1.1 – Порівняння існуючих програмних рішень для аналізу ЕЕГ

Програмний продукт	**Підтримка EDF**	**Візуалізація сигналів**	**Автоматичний аналіз**	**Веб-інтерфейс**	**Відкрите ПЗ**
EDFbrowser	Так	Так	Ні	Ні	Так
BrainVision Analyzer	Так	Так	Частково	Ні	Ні
EEGLAB	Так	Так	Частково	Ні	Так
MNE-Python	Так	Так	Так	Ні	Так
Розроблена система	Так	Так	Так	Так	Так

Проведений аналіз показав, що більшість існуючих програмних продуктів забезпечують перегляд та обробку електроенцефалографічних записів, однак не всі з

них орієнтовані на автоматизоване виявлення патологічних патернів або інтеграцію засобів машинного навчання. Крім того, значна частина рішень потребує встановлення спеціалізованого програмного забезпечення та не надає веб-орієнтованого інтерфейсу для роботи з даними.

З огляду на це доцільною є розробка програмного продукту, який поєднує можливості завантаження та візуалізації ЕЕГ-сигналів із засобами автоматизованого аналізу та зручним веб-інтерфейсом. Такий підхід дозволяє спростити роботу користувача та забезпечити централізоване зберігання результатів досліджень. Приклади існуючих програмних засобів для аналізу ЕЕГ зображені на рис. 1.3.

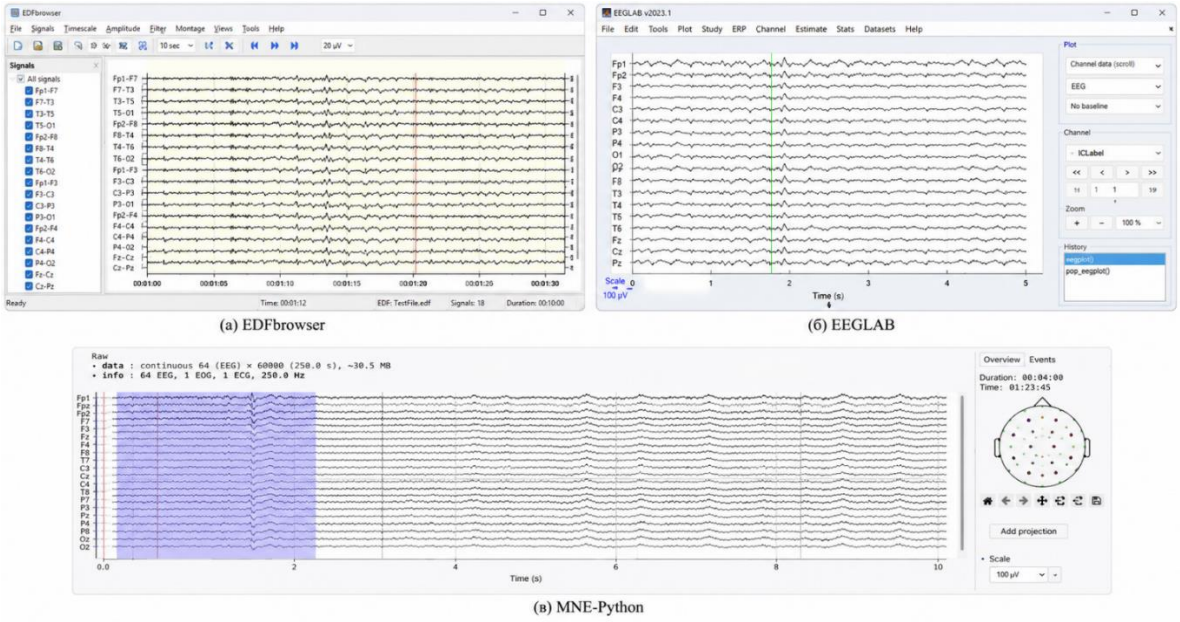

Рисунок 1.3 – Приклади існуючих програмних засобів для аналізу ЕЕГ [12–16]

1.4 Визначення вимог до програмного комплексу

Насамперед система повинна враховувати неуніфікованість форматів електроенцефалографічних даних. *EEG-BIDS* прямо вказує, що в спільноті використовується кілька форматів сирих ЕЕГ-записів, а для інтероперабельного використання рекомендуються *EDF/EDF+* або *BrainVision* разом із супровідними метаданими [10, 17, 18]. Це означає, що майбутній програмний комплекс має або

підтримувати кілька форматів входу, або забезпечувати їхнє приведення до єдиного внутрішнього представлення зі збереженням необхідного контексту запису.

Другою ключовою вимогою є наявність модуля автоматизованого аналізу, який працює як інструмент підтримки клінічного рішення, а не як абсолютний діагност. Вихід системи повинен бути інтерпретованим для користувача: це може бути текстовий висновок, ризиковий показник або відсоток наявності відхилень, графічне виділення підозрілих сегментів, а також можливість повторного перегляду результату [7, 11, 18]. Такий формат подання є більш корисним для практики, ніж жорстка бінарна відповідь.

Третьою вимогою є побудова системи навколо повного сценарію роботи користувача. Згідно з сучасними дослідженнями вимог до *data-driven EEG software*, фахівці очікують від таких систем не лише аналітичного ядра, а й можливості працювати в структурованому цифровому середовищі: створювати або відкривати картку пацієнта, завантажувати кілька досліджень, зберігати історію, порівнювати записи та отримувати результат у формі, придатній для документування [11, 18].

До функціональних вимог програмного комплексу належать можливості, які система повинна забезпечувати під час роботи користувача. Насамперед програмний продукт повинен підтримувати завантаження електроенцефалографічних записів у форматах *EDF* та *CSV*, що дозволяє працювати як зі спеціалізованими медичними даними, так і з попередньо підготовленими наборами сигналів.

Система повинна забезпечувати попередню обробку сигналів, включаючи нормалізацію даних та підготовку їх до подальшого аналізу. Важливою функцією є автоматизоване визначення рівня відхилень у сигналі за допомогою алгоритмів машинного навчання. Отримані результати мають відображатися у зрозумілому для користувача вигляді та зберігатися для подальшого перегляду [18].

Також програмний комплекс повинен забезпечувати ведення бази даних пацієнтів, збереження історії проведених досліджень та формування звітів за результатами аналізу.

Окрім функціональних можливостей, програмний комплекс повинен відповідати низці нефункціональних вимог. Система має забезпечувати стабільну

роботу при обробці електроенцефалографічних записів різної тривалості та кількості каналів. Інтерфейс користувача повинен бути зрозумілим та не вимагати спеціальної підготовки у сфері інформаційних технологій [18].

Важливою вимогою є забезпечення цілісності даних та коректного збереження результатів аналізу. Також система повинна підтримувати можливість подальшого розширення функціональності, інтеграції нових алгоритмів аналізу та адаптації до інших форматів медичних даних [18]. Основні вимоги до програмного комплексу сформовані у таблиці 1.2 та на рис. 1.4.

Таблиця 1.2 – Основні вимоги до програмного комплексу

Категорія	**Вимога**
Вхідні дані	Підтримка *EDF* та *CSV*
Аналіз	Автоматизована оцінка сигналів
Інтерфейс	Веб-орієнтований доступ
База даних	Збереження результатів
Звіти	Формування *PDF*-документів
Масштабованість	Можливість розширення системи

Таким чином, сформульовані вимоги визначають основні функціональні можливості майбутнього програмного комплексу та створюють основу для подальшого проєктування архітектури системи, структури бази даних і модулів аналізу електроенцефалографічних сигналів.

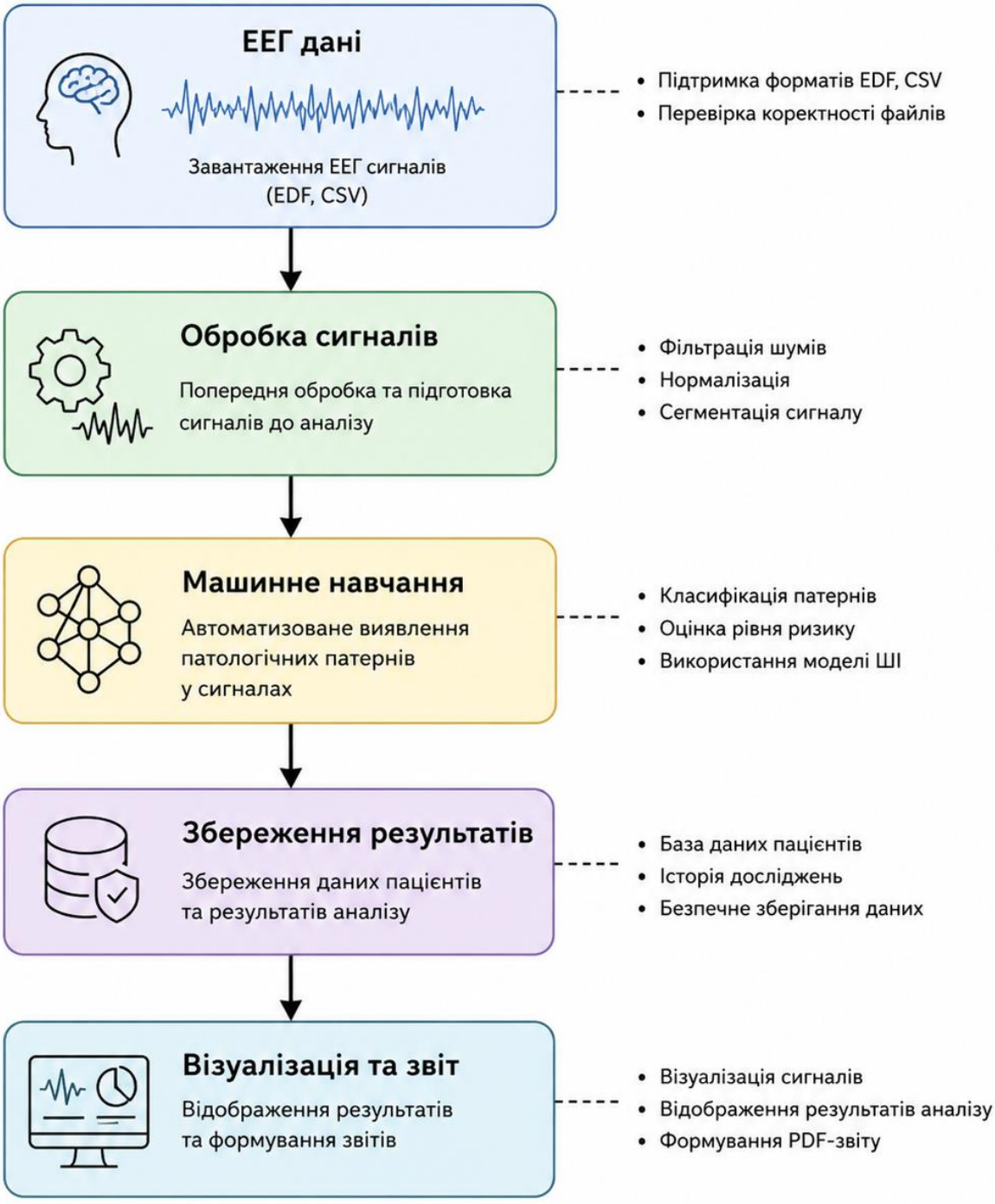

Рисунок 1.4 – Основні вимоги до програмного комплексу (створено автором у *Microsoft PowerPoint*)

Висновок до розділу 1

У першому розділі було проведено аналіз предметної області, пов’язаної з електроенцефалографією, особливостями ЕЕГ-сигналів та специфічними епілептиформними патернами. Визначено, що ЕЕГ є важливим неінвазивним методом дослідження функціонального стану головного мозку, однак її автоматизований аналіз ускладнюється нестаціонарністю сигналу, наявністю артефактів, міжпацієнтною варіабельністю та складністю морфології епілептиформних розрядів.

Розглянуто сучасні підходи до автоматизованого виявлення патологічних патернів, зокрема методи машинного навчання, глибокого навчання та комбіновані алгоритми, що поєднують попередню обробку сигналів, виділення ознак і класифікацію. Показано, що автоматизовані системи аналізу ЕЕГ доцільно розглядати не як автономні діагностичні засоби, а як інструменти підтримки клінічного рішення, які допомагають лікарю швидше виявляти потенційно значущі фрагменти запису.

Також було проаналізовано існуючі програмні рішення для роботи з ЕЕГ-даними, зокрема *EEGLAB, MNE-Python, Brainstorm* та *EDFbrowser*. Встановлено, що наявні інструменти забезпечують широкі можливості для дослідницької обробки та перегляду сигналів, однак не повністю відповідають потребі у простому веборієнтованому програмному комплексі, який поєднує завантаження ЕЕГ-записів, автоматизований аналіз, збереження результатів і формування клінічно зрозумілого висновку. На основі проведеного аналізу сформульовано основні функціональні та нефункціональні вимоги до розроблюваної системи.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА МОДЕЛІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1 Методи попередньої обробки ЕЕГ сигналів

У даній роботі для аналізу електроенцефалографічних (ЕЕГ) сигналів використовуються дані у форматі *EDF* (*European Data Format*). Цей формат широко застосовується в медичних дослідженнях, оскільки дозволяє зберігати багатоканальні сигнали разом із часовою інформацією та параметрами запису [1].

ЕЕГ сигнал відображає електричну активність мозку і використовується для діагностики різних неврологічних станів, зокрема епілепсії та інших порушень [2], [3]. Тому правильна обробка такого сигналу є важливим етапом перед подальшим аналізом. Для роботи з ЕЕГ у даній системі використовується бібліотека *MNE-Python*, яка дозволяє зчитувати *EDF*-файли та працювати з сирими сигналами (*raw data*) [14]. Використання сирого сигналу було обрано спеціально, щоб не втрачати важливу інформацію, яка може зникнути при складній фільтрації. Попередня обробка сигналу у даній роботі є відносно простою і включає кілька основних етапів. Спочатку відбувається зчитування сигналу з *EDF*-файлу. Оскільки такі записи можуть містити багато каналів, у системі використовується лише частина з них — перші п’ять. Це дозволяє зменшити обсяг даних і пришвидшити обробку без суттєвої втрати інформації [9]. Далі сигнал масштабується до мікровольт (μV), що є стандартною одиницею вимірювання ЕЕГ. Це необхідно для того, щоб значення сигналу були зрозумілими та придатними для подальшого аналізу [4]. Після цього сигнали з усіх вибраних каналів об’єднуються в один масив. Це дає змогу оцінити загальний стан сигналу та виконати подальші розрахунки [18].

Для виявлення аномалій використовується простий статистичний метод. Обчислюється середнє значення сигналу та його стандартне відхилення. На основі цих значень визначається поріг:

$$T = \mu + 2\sigma, \tag{2.1}$$

де T — порогове значення для визначення аномалій у сигналі; μ — середнє значення амплітуди ЕЕГ сигналу; σ — стандартне відхилення сигналу; 2σ — коефіцієнт, який враховує допустиме відхилення від середнього значення.

Усі значення, які перевищують цей поріг, вважаються аномальними. Такий підхід дозволяє виявляти різкі сплески сигналу, які можуть бути пов’язані з патологічною активністю мозку [7], [8].

Окремо варто зазначити, що система також підтримує роботу з даними у форматі *CSV*. Для таких даних виконується перетворення у числовий формат, обробка пропущених значень, приведення до фіксованої довжини (178 значень).

Попередня обробка є одним із найважливіших етапів аналізу електроенцефалографічних сигналів, оскільки якість вхідних даних безпосередньо впливає на ефективність подальшого автоматизованого аналізу. Реальні ЕЕГ-записи часто містять шуми, артефакти рухів, мережеві наведення та інші спотворення, які можуть негативно впливати на результати роботи алгоритмів машинного навчання.

У розробленій системі після завантаження файлу виконується перевірка його структури та коректності вхідних даних. Далі сигнал перетворюється у внутрішній формат подання, який використовується для подальшої обробки. Для забезпечення однакового масштабу даних застосовується нормалізація значень сигналу. Це дозволяє зменшити вплив відмінностей між окремими записами та підвищити стабільність роботи моделі.

Після нормалізації виконується сегментація сигналу. Аналіз не всього запису одразу, а окремих його фрагментів дозволяє більш ефективно виявляти локальні відхилення та потенційні епілептиформні патерни. Отримані сегменти використовуються як вхідні дані для подальших етапів аналізу та оцінювання [18, 22]. Основні етапи попередньої обробки ЕЕГ сигналу зображені на рис. 2.1.

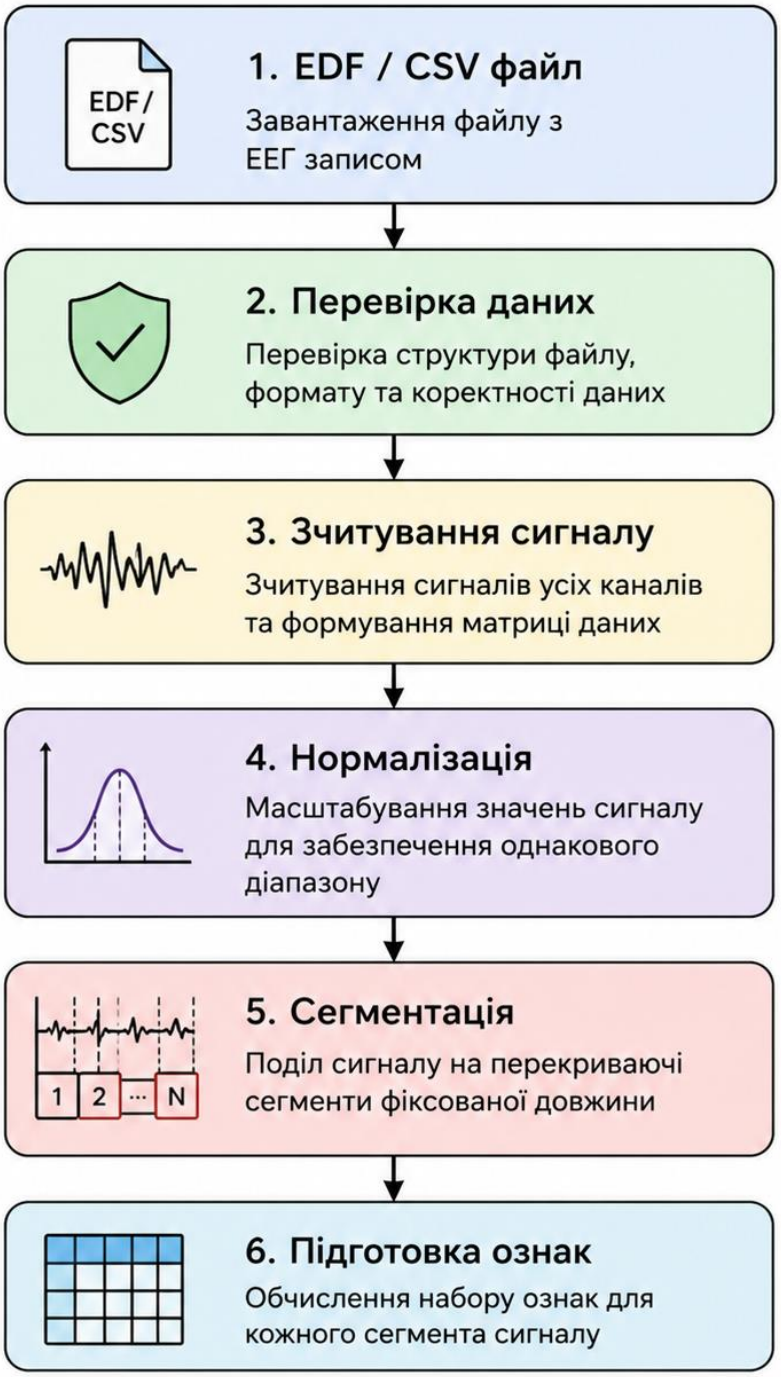

Рисунок 2.1 – Основні етапи попередньої обробки ЕЕГ сигналу (створено автором у *Draw.io*)

Таким чином, попередня обробка забезпечує підготовку електроенцефалографічних даних до подальшого аналізу та створює основу для стабільної роботи алгоритмів машинного навчання.

2.2 Архітектура моделі штучного інтелекту

У даній роботі для аналізу ЕЕГ сигналів використовується комбінований підхід, який поєднує прості алгоритмічні методи та елементи машинного навчання. Такий підхід було обрано для того, щоб система працювала швидко, не вимагала великих обчислювальних ресурсів і при цьому давала зрозумілий результат. Система працює з двома типами даних: *EDF* та *CSV*. В залежності від формату використовується різний спосіб аналізу.

Одним із ключових параметрів є середнє значення амплітуди сигналу. На його основі розраховується показник ризику:

$$Risk = \min\left(\frac{avg_signal}{100}, 1.0\right), \tag{2.2}$$

де *Risk* — показник ризику або рівень ймовірності наявності патологічної активності; *avg_signal* — середнє значення амплітуди ЕЕГ сигналу; 100 — коефіцієнт нормалізації, який використовується для приведення значення до діапазону від 0 до 1; *min()* — функція, яка обмежує максимальне значення показника *Risk* до 1.0.

Це значення знаходиться у діапазоні від 0 до 1 і використовується для оцінки стану пацієнта. Якщо значення перевищує певний поріг, система визначає стан як підвищений ризик. Крім того, для виявлення аномалій використовується пороговий метод на основі середнього значення та стандартного відхилення сигналу. Такий підхід дозволяє знаходити різкі зміни сигналу, які можуть бути ознаками патологічної активності [7], [8].

Для даних у форматі *CSV* використовується модель машинного навчання, яка була попередньо навчена і збережена у файл формату *.pkl*. Завантаження моделі виконується за допомогою бібліотеки *joblib*. Модель використовує метод *predict_proba*, який дозволяє отримати ймовірність того, що сигнал належить до класу з патологією. На основі цього значення формується висновок [18]:

- більше 0.6 — високий ризик;
- менше або дорівнює 0.6 — низький ризик.

Такий підхід є поширеним у задачах медичного аналізу, оскільки дозволяє оцінювати не тільки клас, а й ступінь впевненості моделі [5].

Таким чином, обрана архітектура є простою, зрозумілою та ефективною для реалізації у веб-додатку, що відповідає сучасним підходам до побудови систем аналізу ЕЕГ сигналів [7]. Приклад виявлення аномалій у ЕЕГ сигналі наведено на рис. 2.2.

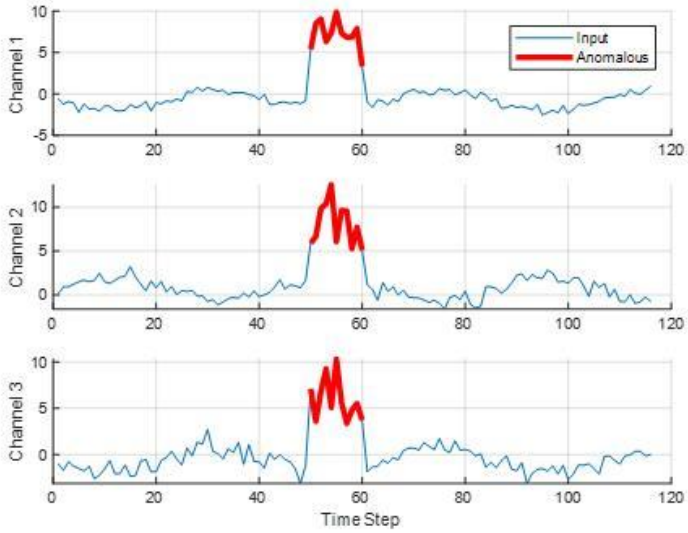

Рисунок 2.2 – Приклад ЕЕГ сигналу з виявленими аномаліями (створено автором за допомогою *Python Matplotlib*)

2.3 Алгоритм навчання моделі

Реалізація алгоритму аналізу електроенцефалографічних сигналів у розробленому програмному комплексі передбачає послідовне виконання етапів завантаження даних, попередньої обробки сигналу, формування ознак, виявлення потенційних відхилень та оцінювання рівня ризику за допомогою моделі машинного навчання. Алгоритм запускається автоматично після завантаження користувачем електроенцефалографічного запису через веб-інтерфейс системи.

Після завантаження файлу система виконує перевірку його формату та структури. Для роботи з електроенцефалографічними записами використовується бібліотека *MNE*, яка забезпечує зчитування даних з *EDF*-файлів та отримання часових

рядів сигналів для кожного каналу. Отримані дані перетворюються у внутрішній формат подання, придатний для подальшої обробки та аналізу.

На етапі попередньої обробки виконується нормалізація сигналу та обчислення основних статистичних характеристик. Для кожного сегмента сигналу визначаються середнє значення, стандартне відхилення, мінімальне та максимальне значення амплітуди. Отримані параметри використовуються як ознаки для подальшого аналізу та класифікації.

Після завантаження електроенцефалографічного запису до системи виконується його зчитування та перетворення у внутрішнє подання, придатне для подальшої обробки. Для роботи з файлами формату *EDF* використовується бібліотека *MNE*, яка дозволяє отримати часові ряди для кожного каналу запису та необхідну службову інформацію.

На етапі попередньої обробки виконується нормалізація сигналу та обчислення основних статистичних характеристик. Для кожного сегмента сигналу визначаються середнє значення, стандартне відхилення, мінімальне та максимальне значення амплітуди. Отримані параметри використовуються як ознаки для подальшого аналізу та класифікації.

Значення сигналу, які перевищують розрахований поріг, розглядаються як потенційно аномальні та враховуються під час подальшого аналізу [18].

Після формування набору ознак вони передаються до моделі *Random Forest* [18], [24]. Алгоритм використовує ансамбль дерев рішень, кожне з яких формує власний прогноз щодо наявності відхилень у сигналі. Підсумковий результат визначається на основі узагальнення прогнозів усіх дерев, що дозволяє підвищити стабільність та надійність класифікації.

Отриманий показник використовується для формування підсумкової оцінки та відображається користувачу у веб-інтерфейсі системи. Алгоритм аналізу ЕЕГ сигналів у програмному комплексі графічно зображено на рис. 2.3.

Рисунок 2.3 – Алгоритм аналізу ЕЕГ сигналів у програмному комплексі (створено автором у *Draw.io*)

Таким чином, реалізований алгоритм забезпечує автоматизовану обробку електроенцефалографічних сигналів, виявлення потенційних відхилень та формування інтегральної оцінки ризику. Отримані результати зберігаються у базі даних та можуть бути використані для подальшого аналізу й формування звітів.

Для виявлення потенційно аномальних ділянок використовується статистичний підхід, заснований на визначенні порогового значення. Порогове значення формується на основі середнього значення сигналу та його стандартного відхилення. Значення сигналу, які перевищують встановлений поріг, розглядаються як потенційно аномальні та враховуються під час формування оцінки ризику [18].

Після формування набору ознак вони передаються до моделі *Random Forest*, яка виконує класифікацію даних та визначає ймовірність наявності відхилень у сигналі. Результати аналізу окремих сегментів узагальнюються та використовуються для розрахунку інтегрального показника ризику для всього дослідження.

Отримані результати зберігаються в базі даних та відображаються користувачу у вигляді числових показників, графічних візуалізацій і текстового висновку.

У даній роботі модель машинного навчання використовується для обробки даних у форматі *CSV/EDF*. Навчання моделі виконувалося заздалегідь (*offline*), після чого вона була збережена у файл формату *.pkl* і підключена до веб-системи.

Після підготовки дані поділялися на дві частини: навчальну та тестову. На навчальній вибірці модель навчалася, а на тестовій перевірялася її якість.

Як видно з таблиці 2.1, для навчання моделі використано 80 % даних, тоді як 20 % вибірки застосовано для тестування. Такий підхід дозволяє забезпечити об’єктивну оцінку якості роботи моделі на даних, які не використовувалися під час навчання.

Таблиця 2.1 – Характеристика навчальної та тестової вибірок

Показник	**Навчальна вибірка**	**Тестова вибірка**
Кількість записів	120	60
Частка	80 %	20 %
Нормальні сигнали	60	30
Патологічні сигнали	60	30

Такий підхід є стандартним у задачах машинного навчання.

У самій системі використовується метод *predict_proba*, який повертає ймовірність того, що сигнал належить до класу з патологією. Це зручно, оскільки дозволяє не тільки визначити результат, але і оцінити рівень впевненості моделі.

Інтерпретація результату виконується так:

- якщо значення більше 0.6 — визначається високий ризик (*High Risk*);
- якщо менше або дорівнює 0.6 — низький ризик (*Low Risk*).

Загальний принцип роботи системи показано на схемі (рисунок 2.4). Спочатку користувач завантажує файл ЕЕГ, після чого система перевіряє його, виконує обробку та аналіз, зберігає результат і відображає його користувачу.

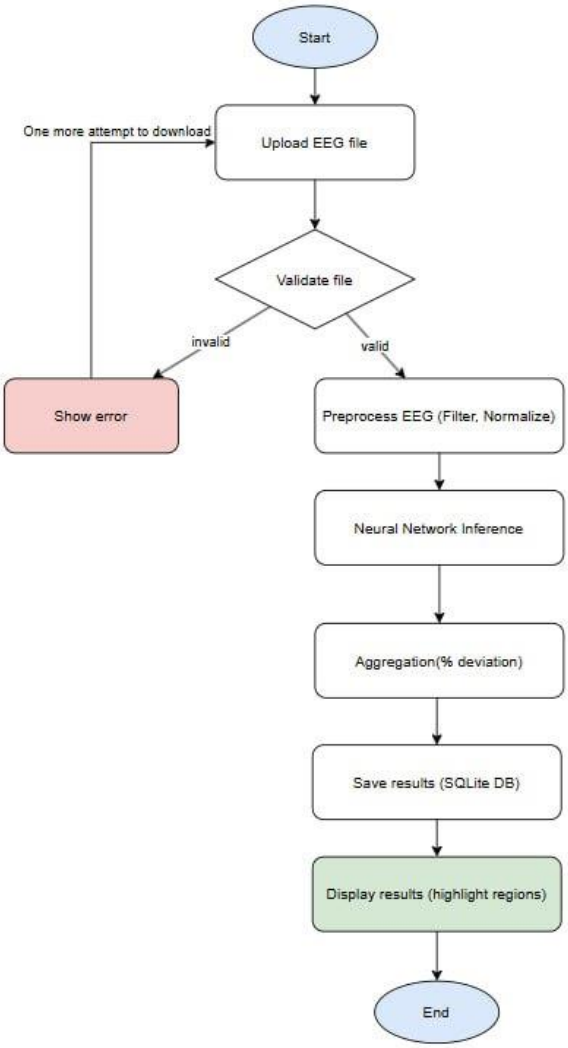

Рисунок 2.4 – Схема роботи системи аналізу ЕЕГ сигналів (створено автором у *Draw.io*)

2.4 Навчання та валідація моделі

Для автоматизованого аналізу електроенцефалографічних сигналів було використано модель машинного навчання *Random Forest*. Перед використанням моделі виконувалась підготовка вхідних даних, що включала обчислення статистичних характеристик сигналу та формування набору ознак для кожного дослідження. Отримані ознаки використовувались як вхідні параметри для навчання та подальшого прогнозування.

*Random Fore*st є ансамблевим методом машинного навчання, який формує множину дерев рішень та об’єднує результати їх роботи шляхом голосування. Такий підхід дозволяє підвищити стійкість моделі до шумів у даних та зменшити ризик перенавчання порівняно з використанням одного дерева рішень [23, 18]. Схема навчання та використання моделі *Random Forest* зображено на рис. 2.5.

Для оцінювання роботи моделі використовувались результати класифікації електроенцефалографічних записів після попередньої обробки. Отримані прогнози аналізувалися з точки зору здатності моделі виявляти потенційно аномальні ділянки сигналу та формувати узагальнену оцінку ризику. Практичне тестування показало стабільну роботу алгоритму на різних наборах даних та можливість його використання як складової системи підтримки клінічного аналізу.

Обраний підхід забезпечує прийнятний баланс між точністю аналізу, швидкістю роботи та складністю реалізації програмного комплексу.

У межах даної роботи модель машинного навчання була підготовлена заздалегідь і використовується в системі для аналізу нових даних. Основна задача цього етапу — перевірити, наскільки добре модель працює на практиці.

Для цього використовувався стандартний підхід: частина даних застосовувалася для навчання, а інша — для перевірки. Це дозволяє зрозуміти, чи зможе модель правильно працювати з новими сигналами, а не тільки з тими, на яких вона навчалась.

У роботі системи використовується не просто результат класифікації, а ймовірність, яку повертає модель (*predict_proba*). Це дозволяє оцінити рівень ризику більш гнучко. Для *EDF*-файлів використовується інший підхід — без навчання моделі. Тут система аналізує сигнал напряму, що дозволяє отримати результат швидше. Така комбінація двох підходів (модель + простий аналіз) робить систему більш універсальною [18].

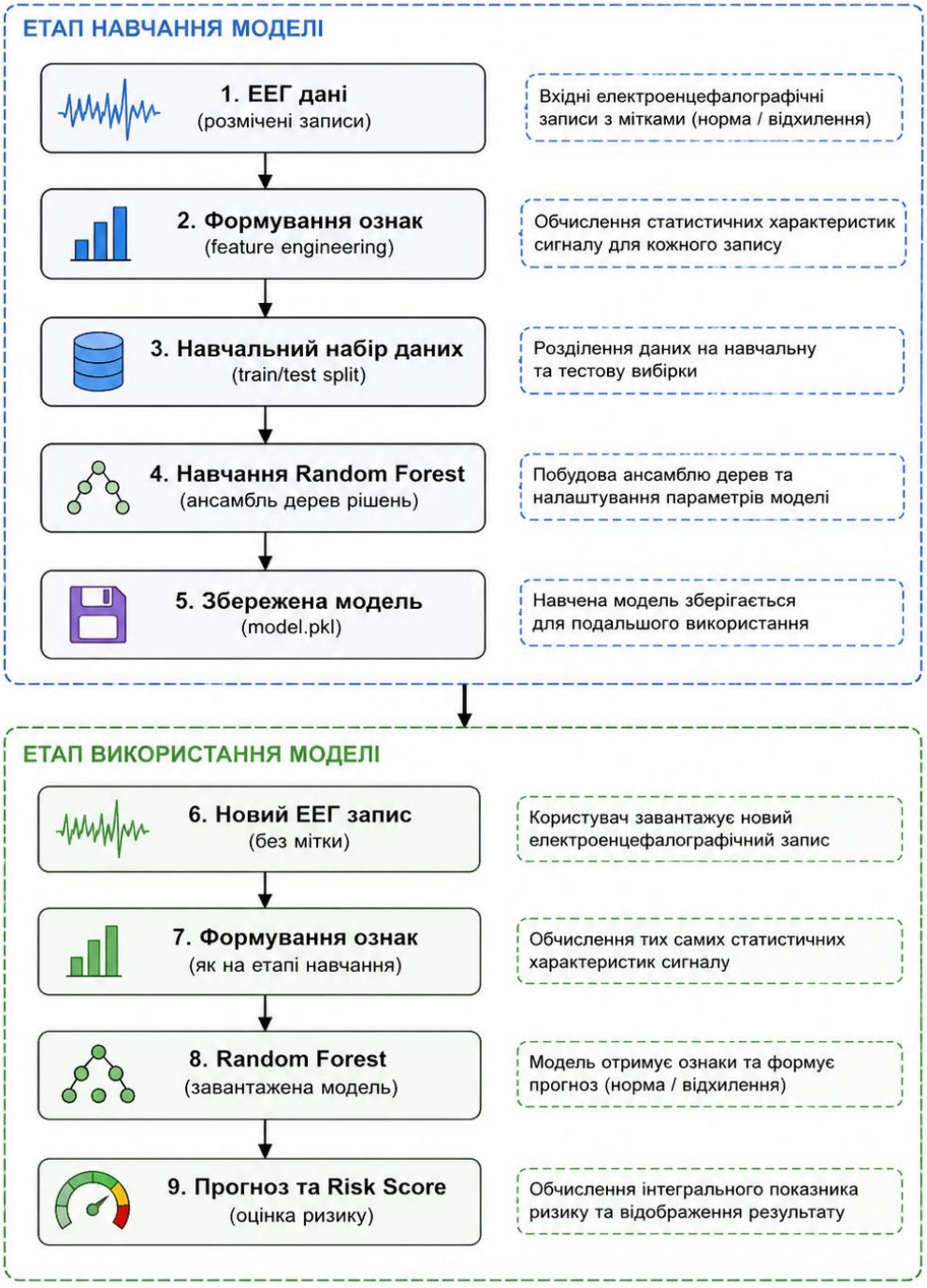

Рисунок 2.5 – Схема навчання та використання моделі *Random Forest* (створено автором у *Draw.io*)

Таким чином, використання алгоритму *Random Forest* дозволяє автоматизувати аналіз електроенцефалографічних сигналів та формувати оцінку ризику на основі сукупності статистичних характеристик сигналу.

Висновок до розділу 2

У другому розділі було розроблено алгоритмічну основу програмного комплексу для автоматизованого аналізу ЕЕГ-сигналів. Визначено послідовність основних етапів обробки даних, яка включає завантаження ЕЕГ-файлу, перевірку його формату, зчитування сигналу, нормалізацію, сегментацію, формування набору ознак, виявлення потенційних аномалій та розрахунок інтегрального показника ризику.

Для роботи з ЕЕГ-записами у форматі *EDF* передбачено використання бібліотеки *MNE-Python*, що забезпечує зчитування багатоканальних сигналів та подальшу роботу з часовими рядами. Для виявлення потенційно аномальних ділянок використано статистичний підхід на основі середнього значення та стандартного відхилення сигналу. Такий метод дозволяє виділяти різкі амплітудні зміни, які можуть бути пов’язані з патологічною активністю.

Для класифікації даних використано модель машинного навчання *Random Forest*, яка працює на основі попередньо сформованих статистичних ознак сигналу. Обраний підхід дозволяє поєднати простоту реалізації, достатню швидкодію та можливість отримання інтерпретованого результату у вигляді ймовірності або рівня ризику. Результати роботи моделі використовуються не як остаточний діагноз, а як допоміжна оцінка для підтримки клінічного аналізу ЕЕГ-запису.

Таким чином, у розділі було обґрунтовано вибір методів попередньої обробки сигналів, архітектури моделі та алгоритму аналізу. Реалізований підхід забезпечує автоматизоване виявлення потенційних відхилень у ЕЕГ-сигналах і створює основу для подальшої інтеграції аналітичного модуля у веб-застосунок.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ

3.1 Технологічний стек веб-застосунку

Розроблений програмний комплекс реалізовано у вигляді веб-орієнтованої системи, що забезпечує завантаження, обробку та аналіз електроенцефалографічних даних. Архітектура системи побудована за принципом розподілу функціональності між окремими компонентами, що спрощує підтримку програмного забезпечення та забезпечує можливість його подальшого розширення [18].

Основу програмного комплексу становить веб-застосунок, реалізований із використанням фреймворку *Django*. Серверна частина відповідає за обробку запитів користувача, взаємодію з базою даних, керування файлами електроенцефалографічних записів та запуск алгоритмів аналізу. Клієнтська частина забезпечує взаємодію користувача із системою через веб-браузер.

Для зберігання інформації використовується реляційна база даних *SQLite* [23]. У базі даних зберігаються облікові записи користувачів, інформація про пацієнтів, результати аналізу електроенцефалографічних записів та службові дані, необхідні для роботи системи. Такий підхід забезпечує централізоване зберігання результатів досліджень і можливість їх подальшого використання [18].

Модуль аналізу сигналів реалізований окремо від веб-інтерфейсу та виконує обробку електроенцефалографічних записів після їх завантаження користувачем. Для роботи з ЕЕГ-даними використовуються бібліотеки *MNE*, *NumPy* та *Pandas*, а для виконання класифікації застосовується попередньо навчена модель *Random Forest* [20], [21].

Як показано на рис. 3.1, усі основні функції системи зосереджені на серверній стороні. Такий підхід дозволяє мінімізувати вимоги до клієнтського пристрою та забезпечує виконання аналізу незалежно від апаратних характеристик комп’ютера користувача.

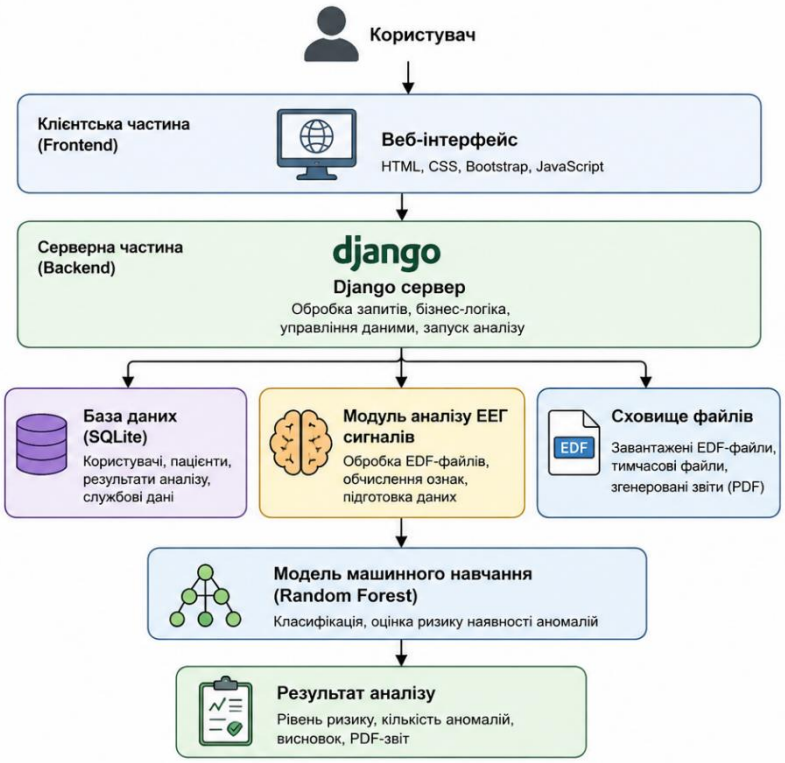

Рисунок 3.1 – Архітектура програмного комплексу (створено автором у *Draw.io*)

Для розробки веб-застосунку, який виконує аналіз ЕЕГ сигналів, було обрано простий та зручний технологічний стек: *Python, Django* та *SQLite*.

Основою системи є фреймворк *Django*, який працює на *Python* [25]. Його було обрано через те, що він добре підходить для швидкої розробки веб-застосунків і вже має багато готових рішень. Наприклад, у *Django* є вбудована система роботи з базою даних, обробка запитів та зручна робота з формами.

Також важливо, що *Django* легко поєднується з бібліотеками для аналізу даних, які використовуються у цій роботі (*NumPy*, *MNE* та інші). Це дозволяє без проблем інтегрувати алгоритм обробки ЕЕГ сигналів у веб-застосунок [14, 18].

Для зберігання даних використовується *SQLite*. Це проста база даних, яка не потребує встановлення окремого серверу. Вона зберігається у вигляді одного файлу, що значно спрощує розробку та запуск проєкту.

У базі даних зберігається інформація про пацієнтів, їхні ЕЕГ файли, результати аналізу та інші допоміжні дані.

Таким чином, обраний стек (*Django* + *SQLite* + *Python*) є зручним для реалізації даного проєкту, не потребує складного налаштування та дозволяє швидко отримати робочу систему для аналізу ЕЕГ сигналів [18].

3.2 Структура бази даних системи

Користувацький інтерфейс програмного комплексу реалізовано у вигляді веб-застосунку, доступ до якого здійснюється через браузер. Основною метою інтерфейсу є забезпечення зручної взаємодії користувача із системою аналізу електроенцефалографічних даних, спрощення процесу введення інформації про пацієнтів та перегляду результатів аналізу.

Інтерфейс побудований на основі технологій *HTML*, *CSS* та шаблонів Django. Для навігації між основними функціями використовується бічне меню, яке забезпечує швидкий доступ до головної сторінки, списку пацієнтів та форми додавання нового пацієнта. Така структура дозволяє користувачу виконувати основні операції без переходу між великою кількістю сторінок.

Головна сторінка містить короткий опис функціональних можливостей системи та забезпечує швидкий доступ до основних сценаріїв роботи користувача. Через головне меню користувач може перейти до перегляду пацієнтів або створення нової картки пацієнта. Головна сторінка програмного комплексу зображена на рис. 3.2.

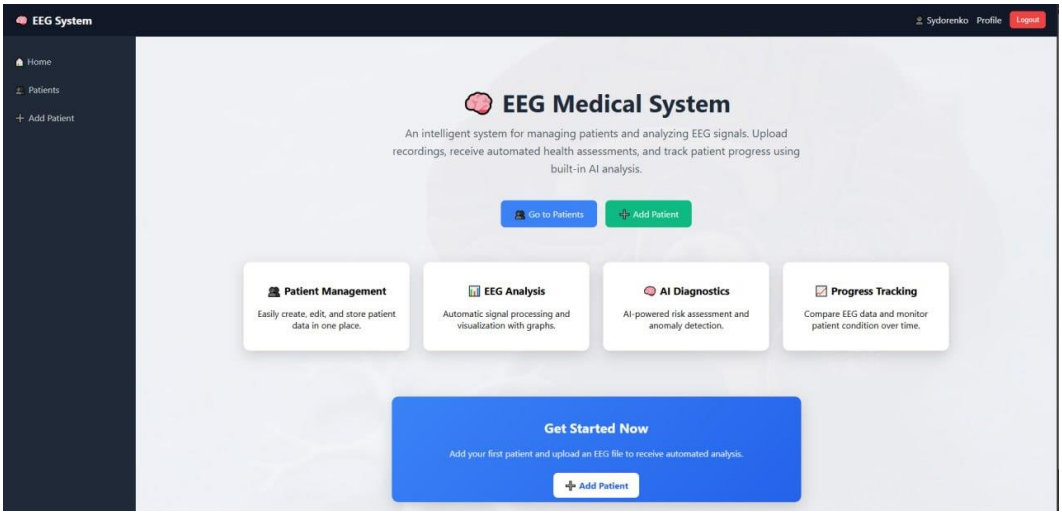

Рисунок 3.2 – Головна сторінка програмного комплексу (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Для роботи з медичними даними реалізовано модуль керування пацієнтами. Користувач має можливість створювати нові картки пацієнтів, редагувати інформацію, переглядати історію досліджень та відкривати результати раніше проведеного аналізу, що зображено на рис. 3.3.

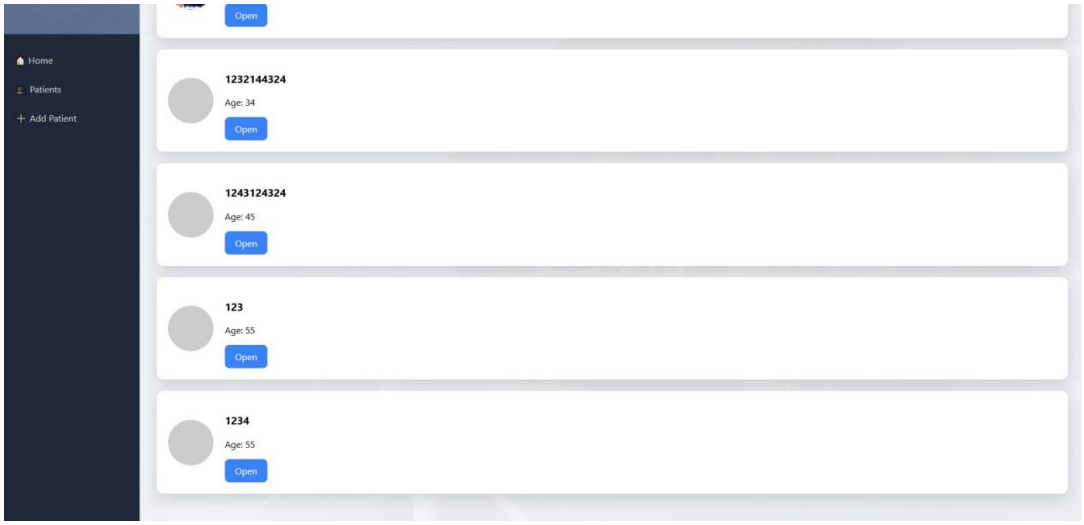

Рисунок 3.3 – Сторінка перегляду пацієнтів (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Для додавання нового пацієнта використовується окрема форма введення даних, зображена на рис. 3.4. Користувач може вказати персональні дані пацієнта, завантажити фотографію, додати електроенцефалографічний запис та залишити додаткові коментарі щодо дослідження.

Після завантаження електроенцефалографічного запису користувач отримує доступ до результатів аналізу. Система відображає рівень ризику, короткий текстовий висновок та графічне представлення сигналу, як зображено на рис. 3.5. Результати автоматично зберігаються у картці пацієнта та можуть бути використані для подальшого порівняння [18].

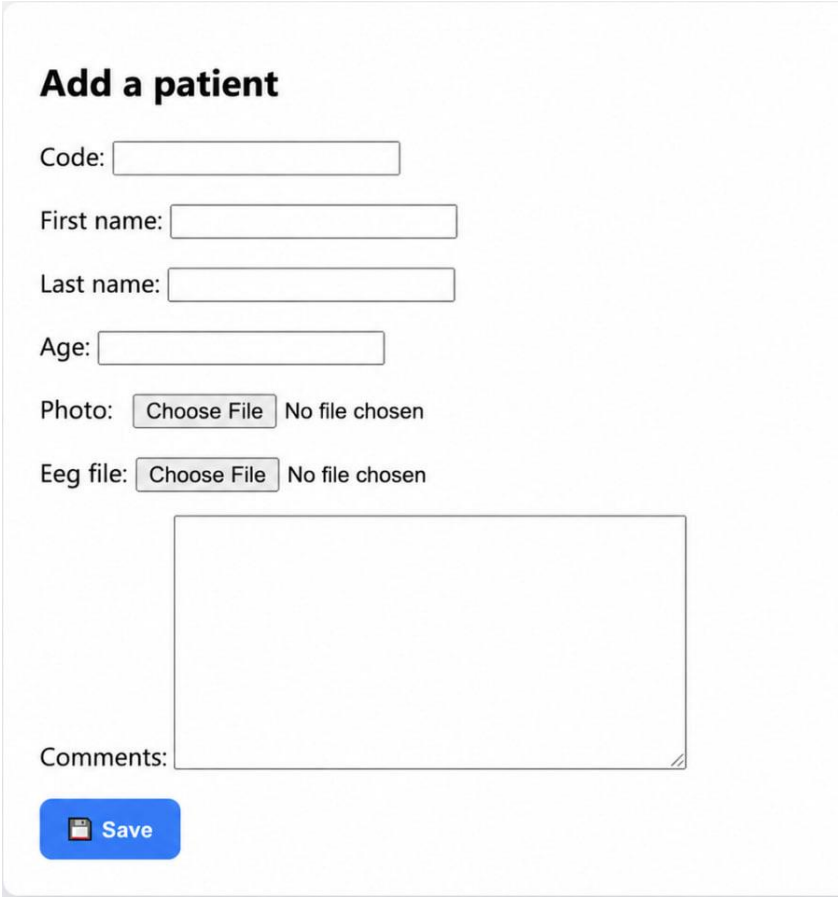

Рисунок 3.4 – Форма додавання нового пацієнта (скриншот розробленого програмного забезпечення)

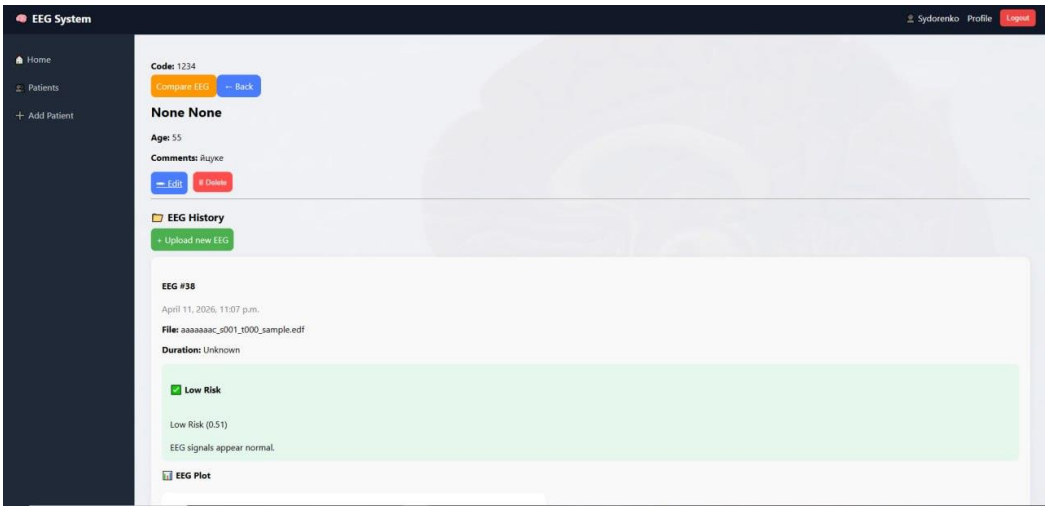

Рисунок 3.5 – Відображення результатів аналізу ЕЕГ (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Для більш детального аналізу передбачено модуль візуалізації сигналів та порівняння результатів різних досліджень (рис. 3.6). Користувач може переглядати графіки сигналів, аналізувати зміни показника ризику та оцінювати динаміку стану пацієнта між окремими обстеженнями.

Рисунок 3.6 – Інтерфейс порівняння результатів досліджень (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Окремою функцією системи є автоматичне формування звіту за результатами аналізу. Після завершення обробки даних користувач може сформувати *PDF*-документ, який містить інформацію про пацієнта, результати оцінювання ризику та графічні матеріали (рис. 3.7.) [18].

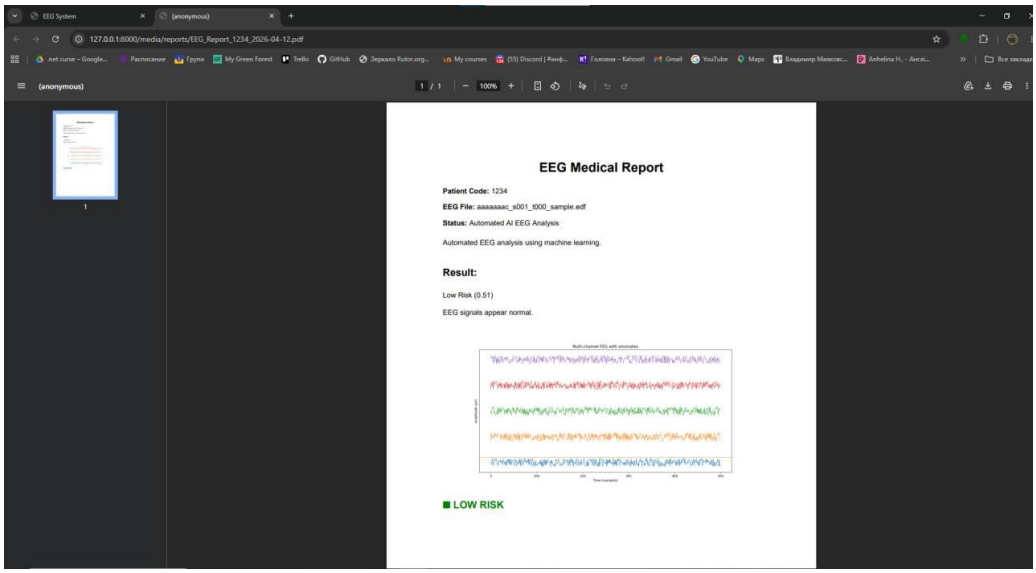

Рисунок 3.7 – Автоматично сформований звіт у форматі *PDF* (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Таким чином, реалізований користувацький інтерфейс забезпечує зручну взаємодію з програмним комплексом та підтримує повний цикл роботи з електроенцефалографічними даними: від створення картки пацієнта та завантаження запису до отримання результатів аналізу, їх візуалізації та формування звітної документації.

Для роботи веб-застосунку було спроєктовано базу даних, яка зберігає інформацію про пацієнтів, їхні ЕЕГ дослідження та результати аналізу.

База даних побудована за допомогою *SQLite* і реалізована через *ORM Django*, що дозволяє працювати з даними у вигляді об’єктів, а не *SQL*-запитів. Це значно спрощує розробку та підтримку системи.

У системі використовується дві основні таблиці: Patient та *EEGRecord*.

У цій таблиці Patient (Пацієнти) (таблиця 3.1.) зберігається основна інформація про пацієнта.

Таблиця 3.1 – Структура таблиці *Patient*

Поле	**Тип**	**Опис**
id	*Integer*	Унікальний ідентифікатор
code	*String*	Унікальний код пацієнта
first_name	*String*	Ім’я (необов’язково)
last_name	*String*	Прізвище (необов’язково)
age	*Integer*	Вік
photo	*Image*	Фото (необов’язково)
created_at	*DateTime*	Дата створення

Таблиця 3.2. *EEGRecord* (ЕЕГ дослідження) містить інформацію про завантажені ЕЕГ файли та результати аналізу.

Таблиця 3.2 – Структура таблиці *EEGRecord*

Поле	**Тип**	**Опис**
id	*Integer*	Унікальний ідентифікатор
patient	*ForeignKey*	Зв’язок з пацієнтом
eeg_file	*File*	Завантажений файл
original_filename	*String*	Назва файлу

Продовження таблиці 3.2.

result	*String*	Результат аналізу
risk	*Float*	Рівень ризику
duration	*Float*	Тривалість сигналу
created_at	*DateTime*	Дата дослідження

Один пацієнт може мати багато ЕЕГ записів.

Тому використовується зв’язок: один-до-багатьох (*One-to-Many*). Структура бази даних системи наведена на рис. 3.8.

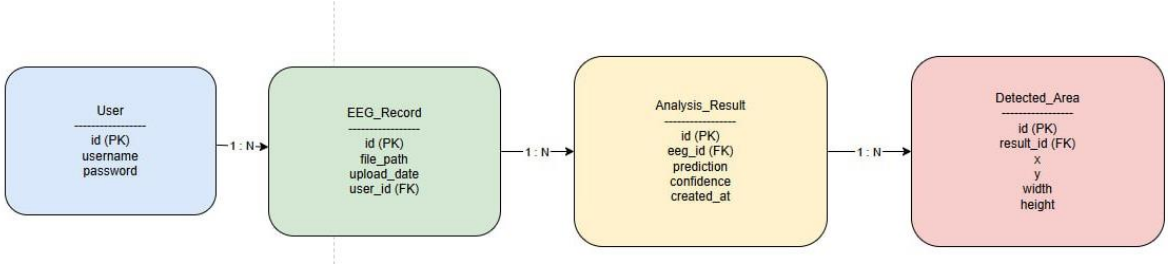

Рисунок 3.8 – Структура бази даних системи (створено автором у *Draw.io*)

Спроєктована структура бази даних дозволяє зручно зберігати інформацію про пацієнтів та їхні дослідження, а також швидко отримувати доступ до результатів аналізу. Використання зв’язків між таблицями забезпечує цілісність даних та спрощує роботу із системою.

3.3 Серверна частина веб-застосунку

Для забезпечення збереження інформації про користувачів, пацієнтів та результати аналізу електроенцефалографічних записів у програмному комплексі реалізовано реляційну базу даних. Як систему керування базами даних обрано *SQLite*, яка інтегрується з *Django* та не потребує встановлення додаткового серверного програмного забезпечення [18].

База даних використовується для централізованого зберігання інформації, необхідної для роботи системи. У ній зберігаються облікові записи користувачів, дані пацієнтів, історія електроенцефалографічних досліджень та результати

автоматизованого аналізу. Використання бази даних дозволяє забезпечити цілісність інформації, можливість повторного перегляду результатів та накопичення історії спостережень для кожного пацієнта.

Як показано на рис. 3.9, центральним елементом структури є сутність *EEG_Record*, яка зберігає інформацію про завантажені електроенцефалографічні записи. Кожен запис пов'язаний із користувачем системи та може містити результати автоматизованого аналізу.

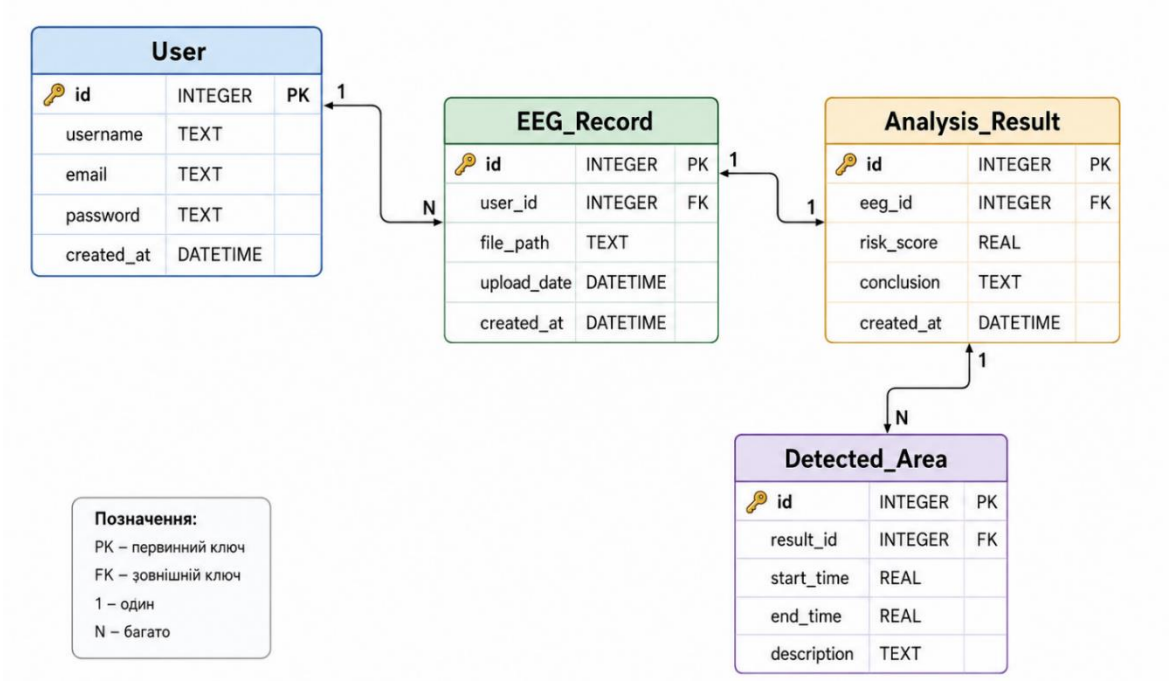

Рисунок 3.9 – Структура бази даних програмного комплексу (створено автором у *Draw.io*)

Серверна частина веб-застосунку реалізована за допомогою фреймворку *Django* і відповідає за обробку запитів користувача, взаємодію з базою даних та виконання аналізу ЕЕГ сигналів. Вона є основною частиною системи, яка об'єднує всі інші компоненти в єдину робочу структуру.

Особливу увагу приділено обробці ЕЕГ файлів. Після завантаження файл зберігається на сервері, після чого запускається функція аналізу. Вона отримує шлях до файлу, зчитує сигнал і виконує його обробку. У залежності від формату файлу використовується різний підхід: для *EDF*-файлів застосовується аналіз сигналу на основі статистичних показників, а для *CSV/EDF* - файлів використовується модель

машинного навчання. Логіку роботи серверної частини веб-застосунку показано на рис. 3.10.

Таким чином, розроблена структура бази даних забезпечує надійне зберігання інформації про пацієнтів та результати аналізу електроенцефалографічних записів. Використання реляційної моделі дозволяє ефективно організувати взаємозв’язки між сутностями та забезпечити можливість подальшого розширення функціональних можливостей програмного комплексу.

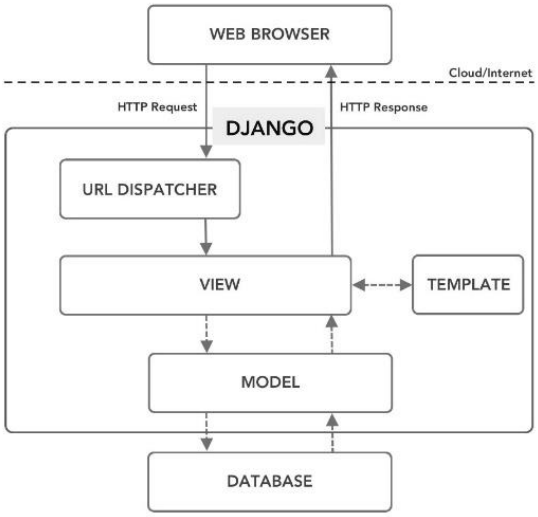

Рисунок 3.10 – Логіка роботи серверної частини веб-застосунку (створено автором у *Draw.io*)

3.4 Інтерфейс користувача для аналізу ЕЕГ

Модуль аналізу електроенцефалографічних сигналів є основною функціональною складовою розробленого програмного комплексу. Його призначення полягає в автоматизованій обробці ЕЕГ-записів, виявленні потенційно аномальних ділянок сигналу та формуванні оцінки ризику на основі методів машинного навчання.

Після завантаження користувачем електроенцефалографічного запису система виконує його зчитування за допомогою бібліотеки *MNE*. Дана бібліотека забезпечує

підтримку формату *EDF* та надає інструменти для отримання часових рядів сигналів із окремих каналів електроенцефалографа. Отримані дані використовуються для подальшої математичної обробки та аналізу.

На етапі попередньої обробки здійснюється нормалізація сигналів та обчислення статистичних характеристик. Для кожного дослідження визначаються середнє значення сигналу, стандартне відхилення, мінімальні та максимальні значення амплітуди. Отримані параметри використовуються як набір ознак для подальшого аналізу за допомогою моделі машинного навчання.

Візуалізація сигналу дозволяє користувачу переглядати структуру електроенцефалографічного запису та аналізувати окремі його ділянки. Для побудови графіків використовуються засоби бібліотеки *Plotly*, що забезпечують інтерактивну взаємодію з даними.

Для накопичення історії спостережень реалізовано механізм збереження результатів аналізу в базі даних. Це дозволяє виконувати повторний перегляд досліджень, порівнювати результати різних обстежень та аналізувати зміну показника ризику в динаміці.

Окрім відображення результатів у веб-інтерфейсі, програмний комплекс забезпечує автоматичне формування звітної документації у форматі *PDF*. До звіту включаються відомості про дослідження, результати аналізу, рівень ризику та графічне представлення сигналу.

Інтерфейс користувача веб-застосунку розроблено з урахуванням простоти та зручності використання. Основною метою було створити зрозумілий інтерфейс, який дозволяє користувачу швидко виконувати основні дії: додавання пацієнтів, завантаження ЕЕГ файлів та перегляд результатів аналізу [26].

Інтерфейс реалізований за допомогою *HTML* та *CSS* і інтегрований у *Django* через систему шаблонів. Це дозволяє динамічно відображати дані, отримані з серверної частини, та забезпечує зручну взаємодію користувача з системою. Головна сторінка веб-застосунку наведена на рис. 3.11.

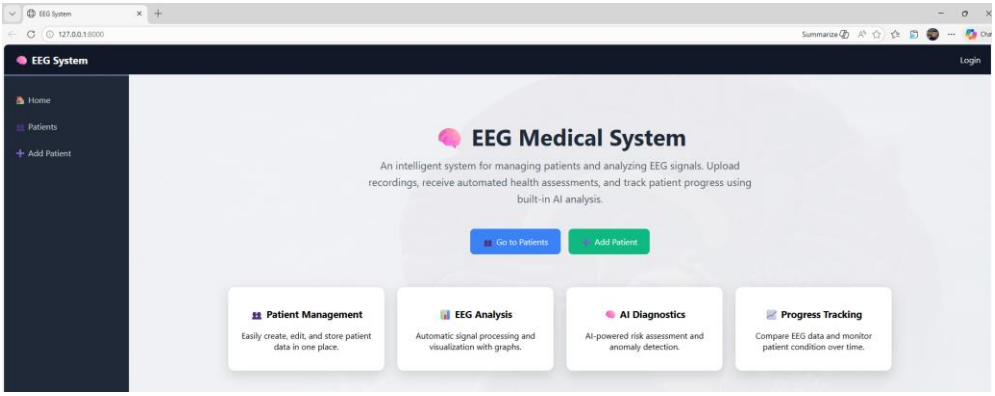

Рисунок 3.11 – Головна сторінка веб-застосунку (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Інтерфейс перегляду списку пацієнтів наведено на рис. 3.12.

Рисунок 3.12 – Список пацієнтів (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Форма завантаження ЕЕГ файлу показана на рис. 3.13.

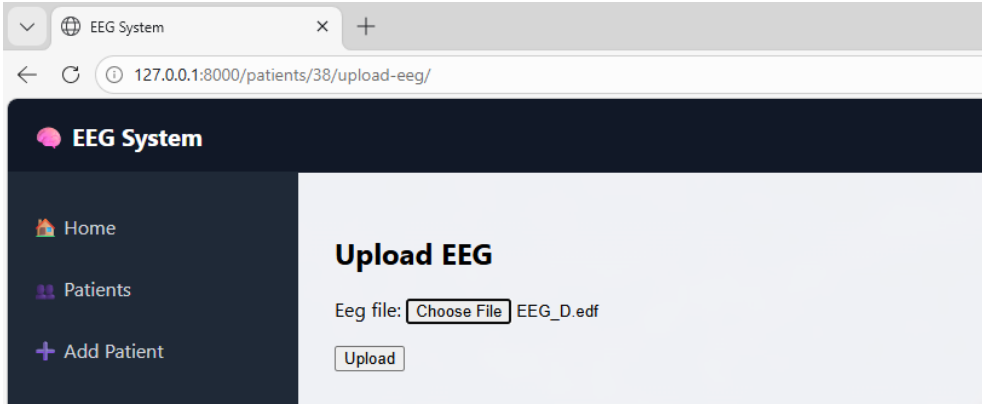

Рисунок 3.13 – Завантаження ЕЕГ файлу (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Приклад відображення результатів аналізу наведено на рис. 3.14.

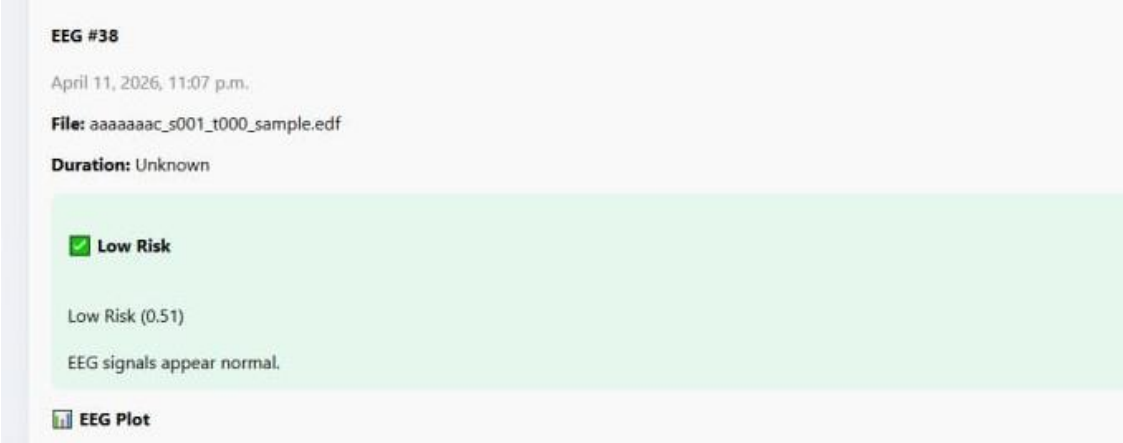

Рисунок 3.14 – Відображення результатів аналізу (скриншот розробленого програмного забезпечення)

Таким чином, реалізований модуль аналізу забезпечує повний цикл автоматизованої обробки електроенцефалографічних записів: від зчитування даних та їх попередньої обробки до формування результатів аналізу, візуалізації сигналів і генерації звітної документації. Запропонований підхід дозволяє скоротити час аналізу досліджень та підвищити зручність роботи користувача із системою.

3.5 Інтеграція моделі штучного інтелекту у веб-застосунок

Для перевірки працездатності розробленого програмного комплексу було проведено функціональне тестування основних модулів системи. Метою тестування була перевірка коректності роботи інтерфейсу користувача, завантаження електроенцефалографічних записів, виконання аналізу сигналів, збереження результатів та формування звітної документації.

Тестування виконувалося шляхом послідовного проходження основних сценаріїв роботи користувача. Перевірялася можливість реєстрації та авторизації користувача, створення картки пацієнта, завантаження ЕЕГ-файлів, запуску аналізу, перегляду результатів та експорту звіту у форматі *PDF*.

Результати тестування (таблиця 3.3.) показали коректну роботу всіх основних компонентів системи. У процесі перевірки не було виявлено критичних помилок, які могли б перешкоджати виконанню основних функцій програмного комплексу.

Таблиця 3.3 – Результати функціонального тестування системи

№	**Функція**	**Очікуваний результат**	**Результат**
1	Авторизація користувача	Успішний вхід до системи	Виконано
2	Створення пацієнта	Створення нової картки	Виконано
3	Завантаження *EDF*-файлу	Файл успішно завантажується	Виконано
4	Аналіз ЕЕГ	Формування результату аналізу	Виконано
5	Відображення графіка	Побудова графіка сигналу	Виконано
6	Порівняння досліджень	Відображення динаміки результатів	Виконано
7	Формування *PDF*-звіту	Генерація звіту	Виконано

У даному проєкті алгоритм аналізу ЕЕГ сигналів інтегрований безпосередньо у веб-застосунок. Це означає, що після завантаження файлу користувачем обробка даних виконується одразу на сервері, без використання сторонніх сервісів.

У системі підтримуються два формати даних — *EDF* та *CSV*. Для них використовуються різні підходи.

EDF-файли містять сирі сигнали, тому для них використовується простий аналіз на основі статистичних показників. Після зчитування сигналу обчислюються середні значення, відхилення та інші характеристики, на основі яких визначається рівень ризику. Такий підхід дозволяє швидко отримати результат і не потребує складного навчання моделі [4].

Для *CSV*-файлів використовується вже навчена модель машинного навчання. Вона підключається до системи і застосовується для аналізу нових даних. Перед обробкою дані приводяться до однакового формату, після чого модель визначає ймовірність наявності патології. Для цього використовується метод, який повертає не тільки результат, але і ступінь впевненості [7].

Після завершення аналізу система формує результат, який включає рівень ризику, текстовий висновок, а також додаткову інформацію. Усі ці дані зберігаються у базі та відображаються користувачу. Крім того, система дозволяє сформувати *PDF*-звіт із результатами аналізу.

Таким чином, проведене тестування підтвердило працездатність розробленого програмного комплексу та можливість його використання для автоматизованого аналізу електроенцефалографічних записів. Реалізовані функції працюють коректно та забезпечують виконання поставлених завдань щодо зберігання, аналізу та візуалізації даних.

Висновок до розділу 3

У третьому розділі було розроблено веб-застосунок для завантаження, обробки, аналізу та збереження результатів ЕЕГ-досліджень. Програмний комплекс реалізовано як веборієнтовану систему, що дозволяє користувачу працювати із записами через браузер без необхідності використання спеціалізованого локального програмного забезпечення. Такий підхід спрощує доступ до функцій системи та робить її зручнішою для практичного використання.

Основу програмного комплексу становить фреймворк *Django*, який забезпечує серверну логіку, обробку запитів користувача, взаємодію з базою даних і запуск алгоритмів аналізу. Для зберігання інформації використано реляційну базу даних *SQLite*, у якій передбачено збереження даних користувачів, пацієнтів, завантажених ЕЕГ-записів, результатів аналізу та службової інформації. Центральним елементом структури бази даних є сутність *EEG_Record*, яка пов’язує

електроенцефалографічний запис із користувачем і результатами автоматизованої обробки.

Реалізовано серверну частину, яка забезпечує завантаження файлів, перевірку їх формату, збереження на сервері та запуск функції аналізу. Залежно від типу вхідного файлу система застосовує відповідний підхід до обробки: статистичний аналіз для *EDF*-файлів або використання попередньо навченої моделі машинного навчання для підготовлених даних. Результати аналізу відображаються користувачу у зрозумілому вигляді та зберігаються для подальшого перегляду.

Таким чином, у межах розділу було створено функціональну структуру веб-застосунку, що поєднує інтерфейс користувача, серверну логіку, базу даних і модуль машинного навчання. Розроблений програмний комплекс забезпечує повний цикл роботи з ЕЕГ-дослідженням: від завантаження запису до отримання результату аналізу та збереження історії досліджень.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Характеристика виробничого приміщення

4.1.1 Загальна характеристика кабінету електроенцефалографії

Робоче місце оператора програмного комплексу розташоване у кабінеті електроенцефалографії. Основні характеристики приміщення наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики виробничого приміщення

Параметр	Значення
Площа приміщення	18,0 м²
Об’єм приміщення	52,2 м³
Висота стелі	2,9 м
Тип приміщення	Кабінет електроенцефалографії (адміністративно-клінічне)
Кількість робочих місць	1 (лікар-лаборант / лікар-невролог)
Тривалість роботи за зміну	8 год/добу
Категорія важкості праці	Іб — легка фізична, переважно сидяча
Природне освітлення	Бічне (вікно 1,7 м × 1,5 м, орієнтація — північ)
Основне обладнання	

Планування кабінету електроенцефалографії наведено на рисунку 4.1.

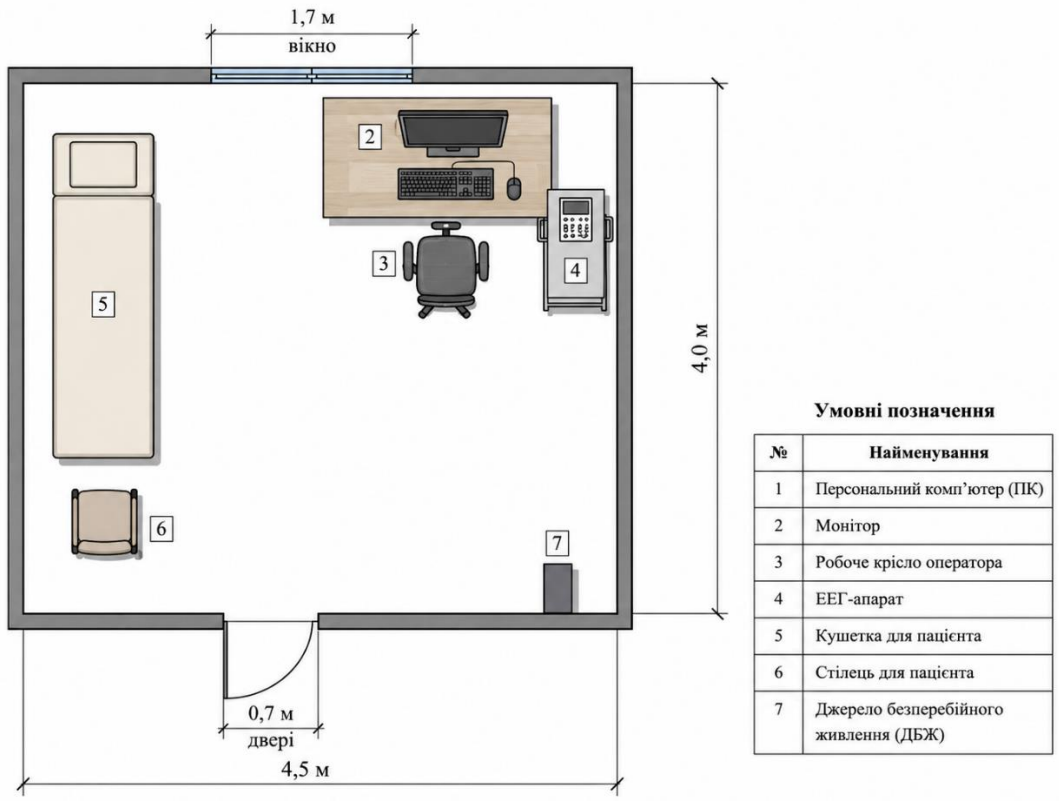

Рисунок 4.1 – Планування кабінету електроенцефалографії

4.1.2 Характер взаємодії об'єкту в системі «людина–об'єкт»

Засоби відображення інформації про стан роботи комплексу та характер взаємодії оператора з об'єктом наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія об'єкту в системі «людина–об'єкт»

№	Найменування компонента	Вид відображення інформації	Кількість
1	Монітор (головна сторінка)	Веб-інтерфейс: список пацієнтів, меню навігації	1
2	Монітор (модуль аналізу)	Графік ЕЕГ-сигналу, рівень ризику (*High/Low Risk*), текстовий висновок, кількість виявлених аномалій	1
3	Монітор (*PDF*-звіт)	Сформований звіт із результатами аналізу для документування	1
4	Клавіатура та маніпулятор «миша»	Введення даних пацієнта, завантаження *EDF/CSV* файлів, навігація веб-інтерфейсом	1 комплект

4.2 Виявлення та оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів у кабінеті електроенцефалографії

Технологічний процес у кабінеті електроенцефалографії включає підготовку пацієнта, накладання ЕЕГ-електродів або електродної шапочки, реєстрацію біопотенціалів, перенесення або завантаження *EDF/CSV*-файлу до програмного комплексу, автоматичний аналіз запису та формування *PDF*-звіту. Тому основні ризики пов’язані не стільки із загальними офісними умовами, скільки з одночасною роботою електромедичного обладнання біля пацієнта та контактом персоналу з багаторазовими електродами, гелем і поверхнями після обстеження (таблиця 4.3.).

Таблиця 4.3 – Ранжування небезпечних і шкідливих факторів технологічного процесу

Пріоритет	**Фактор**	**Джерело у технологічному процесі**	**Можливі наслідки**	**Рівень значущості**
1	Електронебезпека	ЕЕГ-апарат, ПК, монітор, блоки живлення, мережеві кабелі, подовжувачі, ДБЖ; контакт пацієнта з електродами під час реєстрації ЕЕГ	Ураження електричним струмом персоналу або пацієнта, локальний перегрів кабелю, коротке замикання, пожежонебезпечна ситуація	Критичний
2	Біологічна небезпека	Контакт із пацієнтом, волоссям і шкірою голови; багаторазові електроди/електродна шапочка; електродний гель; кушетка, підголівник, робочі поверхні	Передавання збудників через контактні поверхні, забруднення рук і ЗІЗ, ризик інфікування при мікропошкодженнях шкіри	Критичний
3	Незадовільний мікроклімат	Тривала робота ПК та монітора, перебування пацієнта й оператора у закритому приміщенні, недостатній повітрообмін	Зниження концентрації уваги, дискомфорт пацієнта, передчасна стомлюваність оператора під час аналізу ЕЕГ	Допоміжний

4.2.1 Електронебезпека

Електронебезпека є першочерговим фактором для кабінету електроенцефалографії, оскільки під час дослідження пацієнт підключається до ЕЕГ-апарата через електроди, а оператор одночасно працює з ПК, монітором та периферійними пристроями. Програмний комплекс не створює електричного впливу на пацієнта, однак функціонує в єдиному робочому середовищі з електромедичним обладнанням, мережевими кабелями, блоками живлення та, за потреби, джерелом безперебійного живлення (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Оцінка факторів електронебезпеки

Фактор	**Конкретне джерело**	**Причини виникнення**	**Наслідки впливу**
Пошкодження ізоляції або вилки живлення	Кабель живлення ПК, монітора, ЕЕГ-апарата, зарядні блоки, мережеві подовжувачі	Згинання кабелів під столом, механічне перетирання, використання подовжувачів без захисного контакту PE, самовільне підключення додаткових пристроїв	Ураження електричним струмом, іскріння, коротке замикання, відмова обладнання під час обстеження
Підвищений струм витоку у колі пацієнта	ЕЕГ-апарат, електродні кабелі, електродна шапочка, інтерфейс підключення до ПК	Використання несправного або немедичного обладнання, відсутність періодичної технічної перевірки, порушення вимог ДСТУ *EN* 60601-1:2019 щодо медичних електричних виробів	Небезпечний вплив на пацієнта, спотворення ЕЕГ-сигналу, зупинка обстеження
Потрапляння вологи або електродного гелю до електричних з’єднань	Роз’єми електродів, *USB*/мережеві порти, блоки живлення, клавіатура, миша	Нанесення гелю поруч із роз’ємами, очищення обладнання без відключення від мережі, розміщення рідин на робочому столі	Коротке замикання, корозія контактів, пошкодження обладнання, ризик пожежонебезпечної ситуації
Перевантаження електромережі робочого місця	Одна розеткова група для ПК, монітора, ЕЕГ-апарата, ДБЖ та периферії	Підключення кількох приладів через один побутовий подовжувач, відсутність автоматичного захисту або ПЗВ	Нагрів проводки, спрацювання захисту, аварійне вимкнення під час аналізу даних

Для електронебезпеки першими впроваджуються технічні засоби захисту, оскільки вони безпосередньо зменшують імовірність ураження електричним

струмом. Організаційні, режимні та експлуатаційні заходи є наступним рівнем захисту і спрямовані на підтримання справності обладнання у щоденній роботі (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Заходи захисту від електронебезпеки

Ранг	**Група заходів**	**Тип / маркування засобу**	**Зміст заходу для кабінету ЕЕГ**
1	Технічні	ЕЕГ-апарат за ДСТУ *EN* 60601-1:2019; прикладна частина типу *BF* або *CF* згідно з паспортом виробника	Для реєстрації ЕЕГ використовувати лише справний електромедичний виріб, призначений для підключення до пацієнта. Не підключати пацієнта до саморобних перехідників, немедичних підсилювачів або кабелів без підтвердженої електробезпеки.
1	Технічні	Захисне заземлення *PE*; обладнання класу *I* або *II*; розетки із захисним контактом	ПК, монітор, ЕЕГ-апарат і ДБЖ підключати до справної розеткової групи із PE-контактом. Заборонити використання перехідників, які від'єднують захисний контакт. Для адаптерів класу *II* перевіряти цілісність корпусу та заводське маркування подвійної ізоляції.
1	Технічні	ПЗВ/ВДТ типу *A*, *IΔn* = 30 мА; автоматичний вимикач *C10–C16*; *IP20* для сухого внутрішнього приміщення	Захистити розеткову групу кабінету пристроєм захисного вимкнення та автоматичним вимикачем. ПЗВ має відключати живлення при струмі витоку, а автоматичний вимикач — при перевантаженні або короткому замиканні.
1	Технічні	ДБЖ *line-interactive 600–1000 VA* з *AVR*, захистом від перевантаження та заземленими виходами	Використовувати ДБЖ для безпечного завершення запису/аналізу ЕЕГ та коректного вимкнення ПК, а не для тривалої автономної роботи без нагляду. Кабель ДБЖ розміщувати так, щоб пацієнт і персонал не перечіплялися.
2	Організаційні	Візуальний чек-лист перед початком зміни	Перед роботою перевіряти цілісність кабелів живлення, корпусів блоків живлення, відсутність вологи біля роз'ємів, правильність підключення ЕЕГ-апарата та ПК. Пошкоджений кабель або подовжувач вилучати з експлуатації.
2	Режимні	Правило «сухої зони` для електроніки	Електродний гель, дезінфектанти та ємності з рідинами тримати окремо від клавіатури, миші, портів ПК і роз'ємів ЕЕГ-апарата. Очищення проводити тільки після відключення обладнання від живлення, якщо це передбачено інструкцією виробника.
3	Експлуатаційні	Журнал технічного огляду; періодична перевірка ПЗВ кнопкою *TEST*; облік несправностей	Фіксувати результати огляду, випадки перегрівання, запаху горілого, нестабільної роботи ДБЖ або самовільного вимкнення. Технічне обслуговування й ремонт виконувати тільки відповідальним фахівцем.

4.2.2 Біологічна небезпека

Біологічна небезпека є критичною для ЕЕГ-кабінету через безпосередній контакт персоналу з пацієнтом і багаторазовими елементами, що торкаються шкіри голови. До таких елементів належать чашечкові або місткові електроди, електродна шапочка, провідники, підголівник кушетки, серветки для зняття гелю та поверхні робочого місця (таблиця 4.6). Навіть якщо обстеження не є інвазивним, контакт зі шкірою, волоссям, потом, мікропошкодженнями шкіри або залишками біологічних забруднень потребує санітарно-протиепідемічного контролю.

Таблиця 4.6 – Оцінка біологічних небезпек у кабінеті ЕЕГ

Фактор	**Джерело фактора**	**Причини виникнення**	**Наслідки впливу**
Контактне забруднення рук персоналу	Шкіра голови пацієнта, волосся, електродний гель, серветки після зняття електродів	Накладання електродів без рукавичок, повторне торкання клавіатури або миші після контакту з пацієнтом, відсутність гігієни рук між пацієнтами	Перенесення мікроорганізмів на робочі поверхні, підвищення ризику перехресного інфікування
Забруднення багаторазових електродів і шапочки	*Ag*/*AgCl*-електроди, електродна шапочка, провідники, фіксатори	Недостатнє видалення залишків гелю, порушення експозиції дезінфектанта, спільне зберігання чистих і використаних електродів	Передавання забруднень наступному пацієнту, подразнення шкіри, зниження якості контакту електрод–шкіра
Забруднення кушетки та робочих поверхонь	Кушетка, підголівник, спинка стільця, стіл, клавіатура, миша	Відсутність одноразового покриття кушетки, нерегулярна дезінфекція після пацієнта, робота з ПК у тих самих рукавичках	Формування контактного резервуара забруднення, ризик перенесення інфекцій між пацієнтами
Неправильне поводження з використаними матеріалами	Рукавички, серветки, ватні тампони, одноразові електроди або аплікатори після контакту зі шкірою/біологічними забрудненнями	Викидання у побутове сміття, відсутність маркованого контейнера, переповнення ємності для відходів	Епідеміологічний ризик для персоналу при прибиранні та утилізації

Заходи біологічної безпеки поділено на бар’єрні, дезінфекційні та організаційні (таблиця 4.7). У першу чергу мають застосовуватися засоби, що запобігають перенесенню забруднень між пацієнтами, а вже потім — журнальний контроль і допоміжні режимні обмеження.

Таблиця 4.7 – Заходи захисту від біологічної небезпеки

Ранг	**Група заходів**	**Тип / маркування засобу**	**Зміст заходу для кабінету ЕЕГ**
1	Засоби індивідуального захисту	Одноразові нітрилові рукавички, медична маска за потреби, захисний халат або одноразовий фартух	Рукавички надягати перед накладанням електродів і знімати до роботи з чистими документами або особистими речами. При близькому контакті з пацієнтом із респіраторними симптомами використовувати маску; при ризику бризок дезінфектанта — захист очей.
1	Бар’єрні засоби	Одноразова пелюшка/покриття для кушетки; одноразові серветки; одноразові електроди або аплікатори для пацієнтів із пошкодженнями шкіри	Перед кожним пацієнтом застеляти кушетку чистим одноразовим покриттям. Якщо на шкірі голови є подряпини, висипання або ознаки інфекційного ураження, застосовувати одноразові витратні матеріали або переносити обстеження за рішенням лікаря.
1	Дезінфекція багаторазових елементів	Сумісний із виробом дезінфектант: 70% етиловий/ізопропіловий спирт для зовнішніх поверхонь або засіб на основі ЧАС/перекисних сполук згідно з інструкцією виробника	Після кожного пацієнта видаляти залишки гелю з електродів, очищати електродну шапочку та кабелі, витримувати експозицію дезінфектанта, потім висушувати і зберігати чисті елементи окремо від використаних. Не занурювати електричні роз’єми у рідину.
1	Дезінфекція поверхонь	Серветки або розчин для швидкої дезінфекції поверхонь медичного призначення	Після кожного обстеження обробляти кушетку, підголівник, стілець пацієнта, робочий стіл, мишу та клавіатуру, якщо до них торкалися у рукавичках. Для клавіатури доцільно застосовувати змінну силіконову накладку.
2	Поводження з відходами	Ємність/пакет для медичних відходів категорії В; маркування відповідно до наказу МОЗ України № 325	Використані рукавички, серветки, аплікатори та інші матеріали після контакту з пацієнтом збирати окремо від побутових відходів. Контейнер не переповнювати; виносити згідно з маршрутом поводження з медичними відходами закладу.
2	Організаційні	Журнал санітарної обробки; поділ зон «чисто/використано»	На столі або в шафі виділити окремі місця для чистих електродів, використаних електродів до обробки та витратних матеріалів. Фіксувати дату, час і відповідального за дезінфекцію багаторазових елементів.

Продовження таблиці 4.7

3	Режимні	Заборона їжі/напоїв; гігієна рук до і після пацієнта	Не розміщувати їжу, напої та особисту косметику в зоні ЕЕГ-апарата й електродів. Після зняття рукавичок виконувати гігієнічну обробку рук антисептиком або миття рук за наявності видимого забруднення.

4.2.3 Мікроклімат як допоміжний шкідливий фактор

Мікроклімат не є специфічною небезпекою саме ЕЕГ-технологічного процесу, однак впливає на тривалість комфортного перебування пацієнта у кабінеті та на уважність оператора під час перегляду графіків ЕЕГ і перевірки автоматичного висновку. Джерелами тепловиділення є ПК, монітор, ЕЕГ-апарат та присутність людей у приміщенні. Контроль параметрів мікроклімату наведено у таблиці 4.8, допоміжні заходи забезпечення нормативного мікроклімату наведено у таблиці 4.9.

Таблиця 4.8 – Контроль параметрів мікроклімату

Параметр	**Орієнтовне значення у кабінеті**	**Нормативне/цільове значення**	**Заходи підтримання**
Температура повітря	20–25 °C залежно від сезону та навантаження ПК	Для легкої роботи категорії *І*б — у межах допустимих значень ДСН 3.3.6.042-99	Провітрювання між пацієнтами, кондиціонування у теплий сезон, недопущення перекриття вентиляційних отворів ПК
Відносна вологість	45–55 %	Орієнтовно 40–60 % для комфортної роботи персоналу та пацієнта	Періодичний контроль гігрометром, вологе прибирання за графіком, недопущення надмірного пересушування повітря
Повітрообмін / CO_2	Залежить від провітрювання та тривалості перебування людей	Свіже повітря без відчуття задухи; концентрація CO_2 не вище прийнятого санітарного орієнтира 0,1 %	Провітрювання після кожного пацієнта або робота припливно-витяжної вентиляції; не проводити тривалі обстеження у непровітреному приміщенні

Таблиця 4.9 – Допоміжні заходи забезпечення нормативного мікроклімату

Ранг	Група заходів	Критерій вибору	Вид заходу
1	Технічні	Підтримання температури та повітрообміну під час роботи ПК і перебування пацієнта	Використання кондиціонера або припливно-витяжної вентиляції; розміщення ПК так, щоб вентиляційні отвори не перекривалися меблями чи шторами.
2	Організаційні	Контроль фактичних параметрів	Вимірювання температури та вологості не рідше двох разів на рік у теплий і холодний періоди; занесення результатів до журналу.
3	Режимні	Зменшення дискомфорту пацієнта та втоми оператора	Провітрювання між пацієнтами; регламентовані короткі перерви під час тривалої роботи з великими *EDF*-файлами.
3	Експлуатаційні	Справність систем вентиляції та кондиціонування	Очищення фільтрів кондиціонера та вентиляційних решіток; перевірка відведення конденсату, щоб волога не потрапляла на електрообладнання.

4.3 Розробка інструкції з охорони праці при роботі у кабінеті електроенцефалографії з програмним комплексом виявлення епілептиформних патернів на ЕЕГ

1. Загальні положення, що стосуються прав і обов’язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог охорони праці:

– до роботи з програмним комплексом та ЕЕГ-обладнанням допускаються лікарі-лаборанти, лікарі-неврологи та інший уповноважений персонал, які пройшли вступний і первинний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з інструкцією виробника ЕЕГ-апарата та правилами санітарної обробки електродів;

– персонал, який користується електрообладнанням, повинен мати інструктаж з електробезпеки для неелектротехнічних працівників; ремонт електромережі, розеток, ДБЖ, ЕЕГ-апарата або ПК виконує тільки відповідальний технічний фахівець;

– технічне адміністрування програмного комплексу, оновлення Django-проєкту, резервне копіювання бази *SQLite* та налаштування доступу виконується фахівцем, відповідальним за інформаційну систему закладу;

– оператор зобов’язаний повідомляти відповідальну особу про пошкодження кабелів, нестабільну роботу ДБЖ, перегрівання ПК, порушення цілісності електродів або відсутність засобів дезінфекції.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи:

– оглянути кабелі живлення ПК, монітора, ЕЕГ-апарата та ДБЖ; переконатися у відсутності пошкодженої ізоляції, тріщин корпусу блоків живлення, слідів перегрівання або запаху горілого;

– переконатися, що обладнання підключене до розетки із захисним контактом *PE*, а подовжувачі без заземлення або побутові трійники не використовуються;

– перевірити, що електродний гель, дезінфектанти та інші рідини не розміщені поруч із роз’ємами ЕЕГ-апарата, *USB*-портами, клавіатурою, мишею або блоками живлення;

– підготувати чисті електроди, електродну шапочку, одноразові серветки, рукавички, покриття для кушетки та ємність для відходів категорії В;

– застелити кушетку одноразовим покриттям, провести гігієнічну обробку рук і надягти рукавички перед контактом із пацієнтом або електродами;

– переконатися у достатньому провітрюванні кабінету та відсутності перегрівання системного блоку ПК.

3. Вимоги безпеки під час роботи:

– накладати електроди акуратно, не допускаючи травмування шкіри голови; при наявності пошкоджень шкіри, висипань або ознак інфекційного процесу діяти за рішенням лікаря та використовувати одноразові витратні матеріали;

– не торкатися одночасно пацієнта та відкритих металевих контактів електрообладнання; не перемикати кабелі ЕЕГ-апарата мокрими руками або у забруднених гелем рукавичках;

– не підключати до системи сторонні немедичні підсилювачі, зарядні пристрої або перехідники; не використовувати пошкоджені електродні кабелі;

– після контакту з пацієнтом не працювати з клавіатурою та мишею у тих самих рукавичках, якщо вони забруднені гелем або біологічними виділеннями;

– під час завантаження *EDF/CSV*-файлів і аналізу даних не блокувати вентиляційні отвори системного блоку; не залишати ПК без нагляду при ознаках перегрівання або нестабільної роботи;

– за необхідності обробки поверхні під час роботи використовувати лише засоби, сумісні з обладнанням, та не допускати потрапляння розчину у роз’єми.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи:

– зняти електроди з пацієнта, видалити залишки гелю одноразовими серветками та розмістити використані багаторазові елементи у визначеній зоні для очищення й дезінфекції;

– рукавички, серветки, одноразові аплікатори та інші забруднені матеріали помістити у марковану ємність для медичних відходів категорії В;

– обробити кушетку, підголівник, стілець пацієнта, робочий стіл, мишу, клавіатуру або її захисну накладку, якщо вони могли бути забруднені;

– провести дезінфекцію багаторазових електродів та електродної шапочки згідно з інструкцією виробника і витримати встановлену експозицію засобу;

– завершити сеанс у веб-браузері, сформувати або зберегти *PDF*-звіт, зупинити локальний сервер програмного комплексу за потреби та коректно вимкнути ПК і монітор;

– зафіксувати у журналі виявлені несправності, санітарну обробку багаторазових елементів та інші відхилення від штатного режиму.

5. Дії у разі аварійної або надзвичайної ситуації:

– при появі запаху горілого, диму, іскріння, перегрівання кабелю або нестабільної роботи ДБЖ негайно припинити обстеження, від’єднати обладнання від мережі без контакту з оголеними провідниками та повідомити відповідального технічного фахівця;

– при ураженні електричним струмом спочатку знеструмити обладнання вимикачем, вилкою або автоматом, не торкаючись потерпілого голими руками до

припинення дії струму; викликати екстрену медичну допомогу та надати домедичну допомогу відповідно до підготовки персоналу;

– при розливі дезінфектанта або електродного гелю негайно обмежити доступ до ділянки, прибрати рідину у рукавичках, після чого висушити поверхню; не вмикати обладнання, якщо рідина могла потрапити до роз’ємів;

– при біологічному забрудненні поверхонь або обладнання провести локальну дезінфекцію, замінити рукавички, виконати гігієну рук і зафіксувати випадок у журналі санітарної обробки;

– при різкому погіршенні стану пацієнта припинити дослідження, від’єднати електроди без ривків і діяти згідно з внутрішнім алгоритмом надання допомоги в медичному закладі.

Отже, у даному розділі за планом №3 було описано небезпечні та шкідливі виробничі фактори саме для технологічного процесу роботи з програмним комплексом у кабінеті електроенцефалографії. Ключовими факторами визначено електронебезпеку, пов’язану з одночасним використанням ЕЕГ-апарата, ПК, ДБЖ, мережевих кабелів і прикладних частин, що контактують із пацієнтом, а також біологічну небезпеку, пов’язану з багаторазовими електродами, електродною шапочкою, гелем, кушеткою та контактними поверхнями. Для цих факторів запропоновано ранжовані технічні, бар’єрні, організаційні, режимні та експлуатаційні заходи: використання справного електромедичного обладнання з відповідним маркуванням, захисного заземлення, ПЗВ, ДБЖ із захистом, засобів індивідуального захисту, одноразових покриттів, дезінфекції багаторазових електродів і належного поводження з відходами категорії В. Мікроклімат залишено як допоміжний фактор, що впливає на комфорт пацієнта й уважність оператора, але не є визначальним для безпеки ЕЕГ-дослідження.

Висновок до розділу 4

У даному розділі проведено аналіз умов праці у кабінеті електроенцефалографії, в якому передбачається використання розробленого програмного комплексу для аналізу ЕЕГ-сигналів. Визначено основні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час роботи з комп’ютерною технікою та медичним обладнанням.

Виконано оцінювання параметрів виробничого середовища, зокрема мікроклімату, освітлення, електробезпеки та ергономічних характеристик робочого місця. Встановлено, що за умови дотримання нормативних вимог робоче місце відповідає вимогам безпечної експлуатації.

Розроблено інструкцію з охорони праці для персоналу, який використовує програмний комплекс у кабінеті електроенцефалографії. Запропоновані організаційні та технічні заходи спрямовані на зниження ризику виникнення виробничих небезпек, забезпечення безпечних умов праці та підвищення ефективності роботи медичного персоналу.

Отримані результати підтверджують можливість безпечного використання розробленого програмного комплексу в умовах медичного закладу за умови дотримання вимог охорони праці та електробезпеки.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розроблено програмний комплекс підтримки клінічного аналізу специфічних патернів ЕЕГ на основі методів машинного навчання.

У ході виконання роботи проведено аналіз сучасних підходів до обробки електроенцефалографічних сигналів та існуючих програмних засобів для їх аналізу. На основі проведеного огляду сформульовано вимоги до програмного комплексу.

Розроблено алгоритм попередньої обробки ЕЕГ-сигналів та реалізовано модель машинного навчання для автоматизованого виявлення потенційно патологічних патернів. Виконано інтеграцію алгоритмів аналізу у веб-застосунок, створений із використанням фреймворку *Django*.

Спроєктовано структуру бази даних для збереження інформації про пацієнтів, результати аналізу та історію досліджень. Реалізовано функції завантаження ЕЕГ-записів, візуалізації сигналів, автоматичного аналізу та формування звітів.

Проведене тестування підтвердило працездатність розробленої системи та коректність реалізованих функціональних можливостей. Отримані результати свідчать про перспективність використання програмного комплексу як інструменту підтримки клінічного аналізу електроенцефалографічних даних.

Практична цінність роботи полягає у створенні веб-орієнтованої системи, яка забезпечує автоматизацію обробки ЕЕГ-записів та спрощує роботу медичних фахівців під час аналізу результатів досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Rayi A. Electroencephalogram* [Електронний ресурс] / *A. Rayi, N. I. Murr // StatPearls. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2026.* — Режим доступу: *https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563295/* (дата звернення: 17.05.2026).
2. *Emmady P. D. EEG Abnormal Waveforms* [Електронний ресурс] / *P. D. Emmady, R. M. D. Asuncion, A. C. Anilkumar // StatPearls. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2026.* — Режим доступу: *https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557655/* (дата звернення: 17.05.2026).
3. *Nayak C. S. Normal EEG Waveforms* [Електронний ресурс] / *C. S. Nayak, A. C. Anilkumar // StatPearls. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2026.* — Режим доступу: *https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539805/* (дата звернення: 17.05.2026).
4. *Abdi-Sargezeh B. A review of signal processing and machine learning techniques for interictal epileptiform discharge detection / B. Abdi-Sargezeh, S. Shirani, S. Sanei [et al.] // Computers in Biology and Medicine. — 2024. — Vol. 168. — Article 107782.*
5. *Chung Y. G. Deep learning-based automated detection and multiclass classification of focal interictal epileptiform discharges in scalp electroencephalograms / Y. G. Chung, W.-J. Lee, S. M. Na [et al.] // Scientific Reports. — 2023. — Vol. 13. — Article 6755.*
6. *Sheng S. EEG Benign Variants* [Електронний ресурс] / *S. Sheng, K. Nalleballe, S. Yadala // StatPearls. — Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2026.* — Режим доступу: *https://www.statpearls.com/point-of-care/20900* (дата звернення: 17.05.2026).
7. *Diniz J. B. C. Advancing epilepsy diagnosis: A meta-analysis of artificial intelligence approaches for interictal epileptiform discharge detection / J. B. C. Diniz, L. S. Santana, M. Leite [et al.] // Seizure. — 2024. — Vol. 122. — P. 80–86.*
8. *Wang X. A Two-Stage Automatic System for Detection of Interictal Epileptiform Discharges from Scalp Electroencephalograms / X. Wang, X. Wang, C. Wang [et al.] // eNeuro. — 2023. — Vol. 10, № 11. — Article ENEURO.0111-23.2023.*

9. *Alkofer M. Automated detection of interictal epileptiform discharges with few electroencephalographic channels / M. Alkofer, C. Yang, W. Ganglberger [et al.] // Epilepsia. — 2025. — Vol. 66, № 7. — P. e114–e120.*
10. *Lin N. An EEG dataset for interictal epileptiform discharge with spatial distribution information / N. Lin, M. Zheng, L. Li [et al.] // Scientific Data. — 2025. — Vol. 12. — Article 229.*
11. *Keikhosrokiani P. Requirement Analysis for Data-Driven Electroencephalography Seizure Monitoring Software to Enhance Quality and Decision Making in Digital Care Pathways for Epilepsy / P. Keikhosrokiani, J. Annunen, J. Komulainen-Ebrahim [et al.] // JMIR Human Factors. — 2025. — Vol. 12. — Article e59558.*
12. *EEGLAB* [Електронний ресурс] *: official project website and documentation.* — Режим доступу: *https://eeglab.org/* (дата звернення: 17.05.2026).
13. *MNE-Python documentation* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: *https://mne.tools/stable/* (дата звернення: 17.05.2026).
14. *Brainstorm* [Електронний ресурс] *: documentation and project page.* — Режим доступу: *https://neuroimage.usc.edu/brainstorm/* (дата звернення: 17.05.2026).
15. *EDFbrowser [Електронний ресурс] : official website and documentation.* — Режим доступу: *https://www.teuniz.net/edfbrowser/* (дата звернення: 17.05.2026).
16. *Brain Imaging Data Structure. Electroencephalography specification* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: *https://bids-specification.readthedocs.io/en/stable/modality-specific-files/electroencephalography.html* (дата звернення: 17.05.2026).
17. *Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. — Cambridge : MIT Press, 2016.*
18. Сидоренко А. О., Овчаренко Г. Р. Інтероперабельна система автоматичного аналізу ЕЕГ на основі машинного навчання. *Біомедична інженерія і технологія*. 2026. № 2(22). С. 146–158. *DOI: https://doi.org/10.20535/.2026.2(22).361208. URL: https://biomedtech.kpi.ua/article/view/361208/349024* (дата звернення: 03.06.2026)
19. *Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825–2830.*

20. *McKinney W. Data Structures for Statistical Computing in Python // Proceedings of the 9th Python in Science Conference. – 2010. – P. 51–56.*

21. *Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J. et al. Array Programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.*

22. *Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E. et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python // Nature Methods. – 2020. – Vol. 17. – P. 261–272.*

23. *Breiman L. Random Forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32.*

24. *SQLite Documentation* [Електронний ресурс]. – Режим доступу*: https://www.sqlite.org/docs.html* . – Дата звернення: 27.05.2026.

25. *Python Software Foundation. Python Documentation* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: *https://docs.python.org/3/* . – Дата звернення: 27.05.2026.

26. *Bootstrap Documentation* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: *https://getbootstrap.com/docs/* . – Дата звернення: 27.05.2026.