Додаток В  
Специфікація програмного забезпечення

Виявлення аномалій серцевого ритму за допомогою штучного інтелекту

Software Requirements Specification

1.0

12.06.2025

Бут Ростислав Сергійович

**ІСТОРІЯ ЗМІН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Дата** | **Опис** | **Автор** | **Коментарі** |
| 12.06.2025 | Створено специфікацію вимог до програмного забезпечення | Бут Ростислав Сергійович |  |

**ЗАТВЕРДЖЕННЯ ДОКУМЕНТУ**

Наступну специфікацію вимог до програмного забезпечення було прийнято та схвалено:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Підпис** | **Друковане ім’я** | **Назва** | **Дата** |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**ЗМІСТ**

[1 Вступ 4](#_Toc201260449)

[1.1 Мета 5](#_Toc201260450)

[1.2 Сфера застосування 6](#_Toc201260451)

[1.3 Визначення, абревіатури та скорочення 8](#_Toc201260452)

[1.4 Посилання 9](#_Toc201260453)

[1.5 Огляд 10](#_Toc201260454)

[2 Загальний опис 11](#_Toc201260455)

[2.1 Загальна характеристика продукту 12](#_Toc201260456)

[2.1.1 Системні інтерфейси 13](#_Toc201260457)

[2.1.2 Інтерфейси 15](#_Toc201260458)

[2.1.3 Апаратні інтерфейси 18](#_Toc201260459)

[2.1.4 Програмні інтерфейси 19](#_Toc201260460)

[2.1.5 Комунікаційні інтерфейси 21](#_Toc201260461)

[2.1.6 Обмеження пам’яті 22](#_Toc201260462)

[2.1.7 Операції 23](#_Toc201260463)

[2.1.8 Вимоги до адаптації на місці встановлення 25](#_Toc201260464)

[2.2 Функції продукту 27](#_Toc201260465)

[2.3 Характеристики користувачів 29](#_Toc201260466)

[2.4 Обмеження 32](#_Toc201260467)

[2.5 Припущення та залежності 34](#_Toc201260468)

[2.6 Розподіл вимог 36](#_Toc201260469)

[3 Конкретні вимоги 38](#_Toc201260470)

[3.1 Зовнішні інтерфейси 39](#_Toc201260471)

[3.1.1 Входи 39](#_Toc201260472)

[3.1.2 Виходи 43](#_Toc201260473)

[3.2 Функції 48](#_Toc201260474)

[3.2.1 Авторизація 48](#_Toc201260475)

[3.2.2 Обробка файлів ЕКГ 51](#_Toc201260476)

[3.2.3 Управління метаданими 55](#_Toc201260477)

[3.2.4 Аналіз сигналів 57](#_Toc201260478)

[3.2.5 Відображення результатів 63](#_Toc201260479)

[3.2.6 Пошук і сповіщення 66](#_Toc201260480)

[3.2.7 Генерація звітів 68](#_Toc201260481)

[3.2.8 Підтримка користувачів 70](#_Toc201260482)

[3.2.9 Логування та управління ресурсами 71](#_Toc201260483)

[3.3 Вимоги до продуктивності 71](#_Toc201260484)

[3.3.1 Статичні вимоги до продуктивності 72](#_Toc201260485)

[3.3.2 Динамічні вимоги до продуктивності 74](#_Toc201260486)

[3.4 Логічні вимоги до бази даних 77](#_Toc201260487)

[3.4.1 Типи інформації та частота використання 77](#_Toc201260488)

[3.4.2 Можливості доступу 79](#_Toc201260489)

[3.4.3 Сутності та їхні зв’язки 80](#_Toc201260490)

[3.4.4 Обмеження цілісності 81](#_Toc201260491)

[3.4.5 Вимоги до збереження даних 82](#_Toc201260492)

[3.5 Обмеження проєктування 82](#_Toc201260493)

[3.5.1 Відповідність стандартам 82](#_Toc201260494)

[3.5.2 Апаратні обмеження 84](#_Toc201260495)

[3.6 Атрибути програмної системи 85](#_Toc201260496)

[3.6.1 Надійність 85](#_Toc201260497)

[3.6.2 Доступність 86](#_Toc201260498)

[3.6.3 Безпека 88](#_Toc201260499)

[3.6.4 Підтримуваність 90](#_Toc201260500)

[3.6.5 Портативність 91](#_Toc201260501)

[3.6.6 Таблиця пріоритетів атрибутів 93](#_Toc201260502)

[3.7 Організація конкретних вимог 94](#_Toc201260503)

[3.7.1 Режими роботи системи 95](#_Toc201260504)

[3.7.2 Класи користувачів 96](#_Toc201260505)

[3.7.3 Об’єкти 97](#_Toc201260506)

[3.7.4 Функціональність 98](#_Toc201260507)

[3.7.5 Стимули 99](#_Toc201260508)

[3.7.6 Реакція 100](#_Toc201260509)

[3.7.7 Функціональна ієрархія 100](#_Toc201260510)

[3.8 Додаткові коментарі 101](#_Toc201260511)

[4. Процес управління змінами 103](#_Toc201260512)

[5. Затвердження документа 107](#_Toc201260513)

[6. Допоміжна інформація 109](#_Toc201260514)

[6.1 Зміст 110](#_Toc201260515)

[6.2 Індекс 110](#_Toc201260516)

[6.3 Використання додаткової інформації 110](#_Toc201260517)

[6.4 Рекомендація щодо структури розділу “Specific Requirements” 111](#_Toc201260518)

[6.5 Обґрунтування вибору структури 112](#_Toc201260519)

1 Вступ

Цей документ Software Requirements Specifications (SRS) визначає вимоги до системи HeartSync Analyzer, веб-застосунку, розробленого для автоматизації аналізу електрокардіограм у лікарняному середовищі з метою підтримки лікарів-кардіологів у діагностиці серцевих захворювань, таких як фібриляція передсердь, інфаркт міокарда чи передчасні скорочення шлуночків. Метою документа є чітке формулювання функціоналу, який система повинна виконувати, щоб забезпечити основу для розробників, тестувальників і медичних спеціалістів при створенні, впровадженні та використанні програмного продукту. SRS уникає деталей дизайну, таких як конкретні алгоритми чи структура коду, натомість описує поведінку системи, її взаємодію з користувачами та ключові характеристики, включаючи швидкість аналізу меншу за 10 секунд, ізоляцію даних за ідентифікатором лікаря, відповідність стандартам безпеки GDPR і модульність для інтеграції з електронними медичними системами. Система призначена для обробки файлів ЕКГ, створених зовнішніми апаратними пристроями, у форматах .hea, .dat, .atr для баз MIT-BIH/PTB-XL або .hea, .mat для CinC-2020, що є стандартною практикою в лікарнях. Вона забезпечує автоматизований аналіз сигналів за допомогою конволюційної нейронної мережі, генерацію звітів із діагнозами, ймовірностями, графіками та симптомами, а також підтримку функцій управління даними, пошуку, сповіщень і навчального посібника. Наступні підрозділи цього розділу деталізують мету документа, його обсяг, ключові терміни, посилання на зовнішні джерела та структуру SRS, надаючи вичерпний огляд для всіх зацікавлених сторін, від медичних користувачів до технічних спеціалістів, які прагнуть реалізувати систему, що оптимізує клінічну діагностику та підвищує ефективність роботи кардіологічних відділень.

1.1 Мета

Метою цього документа Software Requirements Specifications є визначення вимог до розробки системи HeartSync Analyzer, веб-застосунку, який автоматизує аналіз електрокардіограм для підтримки лікарів-кардіологів у діагностиці серцевих захворювань у реальному лікарняному середовищі. Документ призначений для широкої аудиторії, включаючи розробників програмного забезпечення, які відповідатимуть за створення системи, тестувальників, які перевірятимуть її відповідність вимогам, менеджерів проєкту, які координуватимуть розробку, та медичних спеціалістів, таких як кардіологи та адміністратори лікарень, які використовуватимуть систему або оцінюватимуть її придатність для клінічного застосування. SRS описує функціональні можливості, які система повинна надавати, зокрема авторизацію користувачів через введення логіну та пароля, завантаження файлів ЕКГ у стандартних форматах, автоматичний аналіз сигналів із використанням конволюційної нейронної мережі для класифікації серцевих захворювань, відображення результатів з діагнозами, ймовірностями для 10 класів серцевих аномалій, інтерактивними графіками R-піків і PDF-звітами, що включають симптоми, а також управління даними функцій, пошук звітів за ідентифікатором, сповіщення про критичні стани, доступ до навчального посібника і обробку помилок, таких як невалідні файли чи збої аналізу. Крім того, документ охоплює нефункціональні вимоги, включаючи швидкість обробки даних, ізоляцію даних, що забезпечує доступ лікаря лише до інформації своїх функцій через фільтр за ідентифікатором лікаря, відповідність стандартам GDPR шляхом шифрування паролів за допомогою bcrypt і модульність для інтеграції з електронними медичними системами. SRS слугує основою для узгодження вимог між усіма зацікавленими сторонами, надаючи чітке бачення того, як система підвищить ефективність діагностики, автоматизує звітність і скоротить час на аналіз ЕКГ, що є критично важливим у лікарнях, де лікарі щодня обробляють десятки електрокардіограм. Документ забезпечує спільне розуміння очікувань, дозволяючи розробникам створити програмний продукт, який відповідає клінічним і технічним потребам.

1.2 Сфера застосування

Система HeartSync Analyzer є веб-застосунком, призначеним для автоматизації аналізу електрокардіограм (ЕКГ) у лікарнях, щоб підтримувати кардіологів у діагностиці серцевих захворювань. Програмний продукт, названий HeartSync Analyzer, забезпечує авторизацію лікарів через введення логіну та пароля, завантаження файлів ЕКГ у форматах, сумісних із базами даних MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020 (наприклад, .hea, .dat, .mat, за необхідності .atr), через інтерфейс із підтримкою drag-and-drop та зазначенням ідентифікатора пацієнта. Система автоматично аналізує ЕКГ-сигнали за допомогою конволюційної нейронної мережі, визначаючи діагноз, наприклад “фібриляція передсердь” (AF), та ймовірності для 10 класів серцевих захворювань, включаючи нормальний ритм (NORM), передчасні скорочення шлуночків (PVC), передчасні скорочення передсердь (PAC), інфаркт міокарда (MI), блокаду лівої ніжки пучка Гіса (LBBB), блокаду правої ніжки пучка Гіса (RBBB), атріовентрикулярну блокаду першого ступеня (I-AVB), зміни сегмента ST (STTC) і гіпертрофію (HYP). Результати відображаються у веб-інтерфейсі, де лікар бачить діагноз, ймовірності інших станів, інтерактивний графік із позначеними R-піками та згенерований PDF-звіт, що містить діагноз, графік, опис симптомів для відповідного стану (наприклад, “серцебиття, задишка” для AF) і перелік завантажених файлів. Система підтримує управління даними пацієнтів, дозволяючи додавати, видаляти записи або переглядати історію аналізів, пошук звітів за ідентифікатором пацієнта, відображення сповіщень про критичні стани (наприклад, AF, MI) із посиланнями на звіти, доступ до навчального посібника для ознайомлення з функціоналом, а також обробку помилок, таких як невалідні файли чи збої аналізу, через повідомлення у веб-інтерфейсі. Система забезпечує ізоляцію даних, обмежуючи доступ лікаря до інформації лише своїх пацієнтів, швидкість аналізу меншу за 10 секунд і відповідність стандартам GDPR завдяки шифруванню паролів і безпечному зберіганню даних.

Система не виконує запис електрокардіограм, працюючи виключно з файлами, створеними зовнішніми пристроями, і не надає доступ пацієнтам до інтерфейсу, оскільки їхні дані (ідентифікатор, ім’я) вводить лікар. Вона не підтримує функції телемедицини чи віддаленого моніторингу в реальному часі, зосереджуючись на локальній обробці даних у лікарняному середовищі. Застосунок розгортається на локальному сервері під керуванням операційних систем, сумісних із веб-серверами (наприклад, Ubuntu або Windows Server), із можливістю адаптації до хмарних платформ для масштабування. Система підтримує модульність, дозволяючи інтеграцію з електронними медичними системами через експорт звітів у PDF або потенційне розширення для підтримки нових форматів файлів, таких як DICOM.

Застосування системи спрямоване на підвищення ефективності діагностики в кардіологічних відділеннях, де лікарі щодня аналізують численні електрокардіограми. Ключові переваги включають автоматизацію аналізу сигналів для скорочення часу діагностики, створення детальних звітів із діагнозами, графіками та симптомами для полегшення клінічних рішень, а також швидке виявлення критичних станів, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, що сприяє вчасному лікуванню. Основні цілі — забезпечити точність класифікації серцевих захворювань із мінімальним macro F1-score 0.80 для класів AF і MI, швидкість обробки меншу за 10 секунд, ізоляцію даних для захисту конфіденційності пацієнтів і модульність для адаптації до потреб різних медичних закладів. Обсяг системи узгоджується з вимогами медичних інформаційних систем, що акцентують на автоматизації діагностики, безпеці даних і підтримці клінічних рішень, позиціонуючи HeartSync Analyzer як цінний інструмент для сучасної кардіології.

1.3 Визначення, абревіатури та скорочення

Для забезпечення правильного розуміння цього SRS визначено ключові терміни, акроніми та скорочення, які використовуються в документі. Термін “ЕКГ” (електрокардіограма) позначає метод реєстрації електричної активності серця для діагностики серцевих захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда. “CNN” (конволюційна нейронна мережа) є алгоритмом машинного навчання для класифікації ЕКГ-сигналів за класами серцевих захворювань. “MIT-BIH”, “PTB-XL” і “CinC-2020” є відкритими наборами даних електрокардіограм, що використовуються для аналізу сигналів. Формати файлів, такі як “.hea” (метадані), “.dat” (цифрові сигнали), “.atr” (анотації) і “.mat” (сигнали в форматі MATLAB), відповідають стандартам для зберігання ЕКГ-даних. “GDPR” (General Data Protection Regulation) є європейським стандартом захисту персональних даних, який регулює безпечне зберігання та ізоляцію даних пацієнтів. “Веб-фреймворк” позначає програмну платформу для реалізації серверної логіки системи. “NoSQL-база даних” використовується для зберігання метаданих, таких як результати аналізу та дані пацієнтів. “Шаблонізатор” є інструментом для створення динамічних веб-сторінок. “Бібліотека генерації PDF” застосовується для створення звітів із діагнозами та графіками. “Бібліотека обробки біосигналів” використовується для аналізу ЕКГ, зокрема для виявлення R-піків. “R-піки” позначають піки QRS-комплексу на електрокардіограмі, які відповідають скороченням шлуночків і є ключовими для діагностики. “F1-score” є метрикою точності класифікації, що поєднує точність (precision) і повноту (recall), із мінімальним порогом 0.80 для класів AF і MI. “Ізоляція даних” означає обмеження доступу лікаря до інформації лише своїх пацієнтів через ідентифікатор лікаря. “Бібліотека машинного навчання” підтримує класифікацію через CNN. “Алгоритм шифрування паролів” забезпечує безпеку авторизації. “drag-and-drop” — інтерфейс для зручного завантаження файлів шляхом перетягування. “PDF-звіт” — документ, що містить діагноз, графік ЕКГ, симптоми та метадані, згенерований системою. “timestamp” — мітка часу для ідентифікації результатів аналізу.

Додаткові терміни включають “аритмія” — порушення ритму серця, “NORM” — нормальний синусовий ритм, “PVC” — передчасне скорочення шлуночків, “PAC” — передчасне скорочення передсердь, “MI” — інфаркт міокарда, “LBBB” — блокада лівої ніжки пучка Гіса, “RBBB” — блокада правої ніжки пучка Гіса, “I-AVB” — атріовентрикулярна блокада першого ступеня, “STTC” — зміни сегмента ST, “HYP” — гіпертрофія, “HTTP” — протокол передачі даних для веб-запитів, “TCP” — протокол для з’єднання з базою даних.

Усі терміни, акроніми та скорочення, не описані тут, деталізовано в додатку A, який містить повний глосарій для розробників, медичних фахівців і менеджерів проєкту.

1.4 Посилання

Цей SRS посилається на зовнішні документи, які уточнюють стандарти, протоколи, джерела даних і бібліотеки, використані для розробки системи HeartSync Analyzer. Для забезпечення доступності джерел наведено перелік документів із їхніми назвами, датами, організаціями та посиланнями для отримання.

1. BioSPPy Documentation, Version 1.0.0 [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://biosppy.readthedocs.io/en/stable/> (дата звернення: 29.05.2022).
2. Computing in Cardiology Challenge 2020 [Електронний ресурс]. – Computing in Cardiology, 2020. – Режим доступу: <https://physionet.org/content/challenge-2020> (дата звернення: 29.05.2022).
3. Flask Documentation, Version 2.3 [Електронний ресурс]. – Pallets Projects, 2023. – Режим доступу: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/> (дата звернення: 29.05.2022).
4. General Data Protection Regulation (GDPR) [Електронний ресурс]. – European Union, 2016. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 29.05.2022).
5. MIT-BIH Arrhythmia Database [Електронний ресурс]. – PhysioNet, 2000. – Режим доступу: <https://physionet.org/content/mitdb> (дата звернення: 29.05.2022).
6. MongoDB Documentation, Version 7.0 [Електронний ресурс]. – MongoDB Corporation, 2024. – Режим доступу: <https://www.mongodb.com/docs> (дата звернення: 29.05.2022).
7. PTB-XL: A Large Publicly Available Electrocardiography Dataset [Електронний ресурс]. – PhysioNet, 2020. – Режим доступу: <https://physionet.org/content/ptb-xl> (дата звернення: 29.05.2022).
8. ReportLab Documentation [Електронний ресурс]. – ReportLab, 2022. – Режим доступу: <https://www.reportlab.com/> (дата звернення: 29.05.2022).
9. TensorFlow Documentation, Version 2.15 [Електронний ресурс]. – Google, 2024. – Режим доступу: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення: 29.05.2022).
10. WFDB Software Package [Електронний ресурс]. – PhysioNet, 2023. – Режим доступу: <https://www.physionet.org/content/wfdb> (дата звернення: 29.05.2022).
11. Google Chrome [Електронний ресурс]. – Google LLC. – Режим доступу: <https://www.google.com/chrome> (дата звернення: 29.05.2022).
12. Mozilla Firefox [Електронний ресурс]. – Mozilla Corporation. – Режим доступу: <https://www.mozilla.org/firefox> (дата звернення: 29.05.2022).

Ці документи є відкритими і доступними для розробників, які потребують деталей про стандарти, бібліотеки чи протоколи. Повний список посилань, включаючи додаткові джерела, якщо вони з’являться в інших розділах SRS, наведено в додатку B. Якщо система використовуватиме специфічні протоколи, наприклад HTTPS для хмарного розгортання, вони будуть додані до додатка.

1.5 Огляд

Цей SRS структуровано для надання всебічного опису вимог до веб-додатка. Документ організовано так, щоб задовольнити потреби різних зацікавлених сторін:

– Розділ 1 (Вступ), поточний розділ, окреслює мету, обсяг, терміни, посилання та організацію документа, забезпечуючи загальний контекст для всіх читачів.

– Розділ 2 (Загальний опис) пояснює можливості системи, її місце в медичній практиці, характеристики користувачів, обмеження та припущення, що є ключовим для кардіологів, дослідників і адміністраторів лікарень.

– Розділ 3 (Специфічні вимоги) деталізує функціональні та нефункціональні вимоги, включаючи інтерфейси, продуктивність і безпеку, для розробників і технічних команд.

– Розділ 4 (Процес управління змінами) описує процедури оновлення вимог, що важливо для менеджерів проєктів.

– Розділ 5 (Схвалення документа) перелічує осіб, відповідальних за затвердження SRS, забезпечуючи відповідність цілям.

– Розділ 6 (Допоміжна інформація) містить додатки, глосарій і додаткові матеріали для підтримки вимог.

Клієнти, такі як кардіологи та адміністратори, мають звернути увагу на Розділ 2 для розуміння переваг системи. Розробники та тестувальники знайдуть детальні технічні вимоги в Розділі 3. Менеджери проєктів і регуляторні органи можуть використовувати Розділи 4 і 5 для контролю розробки та відповідності стандартам.

2 Загальний опис

Цей розділ надає загальний огляд системи HeartSync Analyzer, веб-застосунку, призначеного для автоматизації аналізу електрокардіограм (ЕКГ) у лікарняному середовищі, щоб підтримувати лікарів-кардіологів у діагностиці серцевих станів, таких як фібриляція передсердь, інфаркт міокарда чи нормальний ритм. Він описує загальні фактори, які впливають на продукт і його вимоги, надаючи контекст для специфічних вимог, деталізованих у розділі 3, але не містить конкретних технічних специфікацій. У доступній для медичних користувачів і замовників формі цей розділ пояснює, як система оптимізує діагностику, забезпечуючи швидкий аналіз ЕКГ, ізоляцію даних для захисту конфіденційності пацієнтів і автоматизацію звітності. Система дозволяє лікарям авторизуватися, завантажувати файли ЕКГ у стандартних форматах, отримувати результати аналізу з 10 діагнозами, ймовірностями для цих діагнозів, інтерактивними графіками та звітами у форматі PDF, що містять симптоми, а також керувати даними пацієнтів, переглядати повідомлення про результати аналізів, ознайомлюватися з навчальним посібником і обробляти помилки, такі як невалідні файли чи збої аналізу. Вона розгортається локально на сервері лікарні, з можливістю адаптації до хмарних платформ для масштабування, і підтримує модульність для інтеграції з електронними медичними системами. Наступні підрозділи деталізують місце системи в контексті медичних інформаційних систем, її взаємодію з користувачами, вимоги до апаратного забезпечення та обмеження, створюючи основу для розуміння вимог, які будуть формалізовані для розробників у розділі 3.

2.1 Загальна характеристика продукту

Система HeartSync Analyzer є самостійним веб-застосунком, призначеним для автоматизації аналізу електрокардіограм (ЕКГ) у лікарнях, але з можливістю інтеграції з іншими медичними інформаційними системами через експорт звітів у PDF або потенційне розширення для обміну даними. На відміну від комплексних електронних медичних систем, таких як Epic чи Cerner, які охоплюють широкий спектр клінічних функцій, включаючи управління записами пацієнтів, планування та фінансові операції, HeartSync Analyzer спеціалізується на діагностиці 10 серцевих станів, включаючи 9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм. Порівняно з іншими системами аналізу ЕКГ, як-от MUSE Cardiology від GE Healthcare, система є легковагим рішенням для локального розгортання з мінімальними апаратними вимогами, що робить її доступною для невеликих і середніх клінік. Вона не включає функцій телемедицини чи моніторингу в реальному часі, на відміну від пристроїв, таких як Holter-монітори, але забезпечує швидку автоматизовану класифікацію сигналів і генерацію деталізованих звітів. У контексті дослідницьких проєктів система подібна до відкритих рішень для аналізу даних PhysioNet, але адаптована до клінічного використання з дружнім інтерфейсом, ізоляцією даних і відповідністю стандартам GDPR.

Система функціонує як автономний продукт, обробляючи файли ЕКГ, отримані від зовнішніх апаратних пристроїв, які експортують дані у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020. Її зовнішні взаємодії обмежуються завантаженням файлів лікарем через веб-інтерфейс і зберіганням даних у локальній базі даних та файловій системі. Для інтеграції з електронними медичними системами система експортує PDF-звіти, що містять діагноз, графік, симптоми та метадані, з можливістю майбутньої підтримки стандартизованих інтерфейсів обміну даними. HeartSync Analyzer використовує відкриті стандарти для файлів ЕКГ і загальні протоколи, такі як HTTP, для веб-запитів, що забезпечує сумісність і простоту інтеграції.

Блок-схема для контексту системи включає три основні елементи: лікаря-кардіолога, який взаємодіє через веб-браузер; систему HeartSync Analyzer, представлену як чорний ящик, що обробляє файли ЕКГ і повертає результати; і зовнішні апаратні пристрої, які надають файли ЕКГ (не входять до системи). Зв’язки охоплюють HTTP-запити від браузера до сервера системи, передачу файлів для завантаження ЕКГ і локальне зберігання даних у базі даних та файловій системі. Ця схема не деталізує внутрішню архітектуру системи, яка буде представлена в документах дизайну, а лише підкреслює її автономність і фокус на аналізі ЕКГ у лікарняному середовищі.

2.1.1 Системні інтерфейси

Система HeartSync Analyzer є автономним веб-застосунком, призначеним для автоматизованого аналізу електрокардіограм (ЕКГ) у лікарняному середовищі, який не інтегрується напряму з електронними медичними системами (EMR) чи API апаратних пристроїв, таких як апарати ЕКГ. Вона обробляє файли ЕКГ, створені зовнішніми пристроями та завантажені лікарем через веб-інтерфейс, забезпечуючи ізоляцію даних за ідентифікатором лікаря, швидкість аналізу меншу за 10 секунд і відповідність стандартам GDPR. Система взаємодіє з двома основними зовнішніми системами: веб-браузерами користувачів для доступу до функціоналу та локальним сервером для зберігання даних.

Взаємодія з лікарями-кардіологами відбувається через веб-інтерфейс, доступний у стандартних браузерах, таких як Google Chrome, Mozilla Firefox або Microsoft Edge, на пристроях із операційними системами Windows, Linux або macOS. Система забезпечує доступ до функціоналу через HTTP-протокол, дозволяючи лікарям виконувати авторизацію, завантажувати файли ЕКГ, переглядати результати аналізу, включаючи один із 10 діагнозів (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), ймовірності для цих діагнозів, інтерактивні графіки та PDF-звіти, керувати даними пацієнтів, шукати звіти за ідентифікатором пацієнта, переглядати повідомлення про результати аналізів і ознайомлюватися з навчальним посібником. Система підтримує асинхронні запити для швидкої взаємодії, відображаючи повідомлення про помилки, наприклад, “Відсутній необхідний файл” або “Непідтримувана частота дискретизації”, через спливаючі вікна або спеціальні сторінки у веб-інтерфейсі.

Система приймає файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, створені зовнішніми апаратними пристроями, які виступають пасивним джерелом даних, експортованих офлайн через USB, SD-карти або інші носії. Файли завантажуються через веб-інтерфейс із підтримкою drag-and-drop або вибору файлів, із обов’язковим зазначенням ідентифікатора пацієнта. Система перевіряє сумісність файлів, включаючи наявність необхідних компонентів, частоту дискретизації в межах 250–500 Гц і кількість відведень від 1 до 12, відображаючи повідомлення про помилки, якщо файли не відповідають стандартам, наприклад, “Відсутній необхідний файл” або “Непідтримуваний формат”.

Для класифікації система використовує офлайн-датасети MIT-BIH, PTB-XL і CinC-2020, отримані з відкритих джерел, таких як PhysioNet, які зберігаються локально. Система виконує попередню обробку даних, щоб забезпечити точність класифікації з мінімальним F1-score 0.80 для діагнозів, таких як фібриляція передсердь та інфаркт міокарда, без залежності від доступу до зовнішніх баз даних у реальному часі.

Другий системний інтерфейс — взаємодія з локальним сервером, який забезпечує зберігання метаданих і файлів. Система використовує базу даних для зберігання інформації про лікарів, пацієнтів та результати аналізу, включаючи діагноз, ймовірності для 10 діагнозів, графіки та PDF-звіти. Локальна файлова система сервера зберігає завантажені файли ЕКГ, згенеровані PDF-звіти та модель класифікації. Система не потребує інтеграції з EMR через API, але підтримує експорт PDF-звітів із діагнозами, графіками та симптомами для потенційного обміну даними з медичними системами.

Для чіткості наведено ключові системні інтерфейси:

а) Веб-браузери:

1. Забезпечення доступу до функціоналу для авторизації, завантаження файлів, перегляду результатів, управління даними пацієнтів, пошуку звітів, перегляду повідомлень про результати аналізів і ознайомлення з навчальним посібником через HTTP-протокол.
2. Підтримка асинхронних запитів для швидкого відображення результатів і повідомлень про помилки.

б) Локальний сервер:

1. База даних:

– Зберігання метаданих про лікарів, пацієнтів та результати аналізів, включаючи діагноз, ймовірності та звіти.

– Забезпечення ізоляції даних за ідентифікатором лікаря для відповідності GDPR.

1. Файлова система:

– Зберігання завантажених файлів ЕКГ і PDF-звітів із назвами, що включають мітки часу.

– Зберігання моделі класифікації для аналізу сигналів.

Ці інтерфейси забезпечують автономне виконання функцій системи, таких як обробка файлів ЕКГ і надання результатів аналізів, без залежності від зовнішніх програмних продуктів.

2.1.2 Інтерфейси

Система HeartSync Analyzer взаємодіє з лікарями-кардіологами через графічний веб-інтерфейс, доступний у стандартних браузерах, таких як Google Chrome, Mozilla Firefox або Microsoft Edge, на пристроях із операційними системами Windows, Linux або macOS. Інтерфейс є односторінковим додатком із навігаційною структурою, що забезпечує доступ до всіх основних функцій за 2–4 кліки, дозволяючи лікарям, які щодня обробляють десятки електрокардіограм, швидко отримувати діагностичну інформацію. Інтерфейс включає функціонал для авторизації, завантаження файлів ЕКГ, введення даних про пацієнтів, перегляду результатів аналізу, пошуку звітів, перегляду повідомлень про результати аналізів і ознайомлення з навчальним посібником. Сторінка авторизації містить форму для введення логіну та пароля з шифруванням для безпеки та ізоляцією даних за ідентифікатором лікаря відповідно до GDPR. Сторінка завантаження файлів підтримує drag-and-drop або вибір файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, із полем для введення ідентифікатора пацієнта. Система перевіряє файли на сумісність, відображаючи повідомлення про помилки, наприклад, “Відсутній необхідний файл”, у спливаючих вікнах, із індикатором прогресу для показу стану обробки. Сторінка введення даних містить форму для зазначення ідентифікатора пацієнта та історії хвороби, а також таблицю для перегляду, редагування або видалення записів.

Сторінка результатів аналізу відображає діагноз, наприклад, “Фібриляція передсердь, ризик 92%”, діаграму ймовірностей для 10 діагнозів (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), інтерактивний графік із позначеними R-піками з можливістю масштабування та анотацій, і кнопку для завантаження PDF-звіту, який включає діагноз, графік і симптоми, наприклад, “серцебиття, задишка” для фібриляції передсердь. Сторінка повідомлень відображає останні результати аналізів ЕКГ із посиланнями на детальні звіти. Сторінка пошуку дозволяє шукати звіти за ідентифікатором пацієнта або міткою часу, відображаючи таблицю результатів із можливістю відкриття звітів, із швидкістю пошуку менше 1 секунди. Сторінка навчального посібника містить текстові інструкції та короткий відеоінструктаж тривалістю до 5 хвилин для швидкого ознайомлення з системою.

Інтерфейс оптимізований для кардіологів, із часом навчання 10–15 хвилин завдяки інтуїтивній навігації, підказкам і чітким повідомленням про помилки, наприклад, “Невалідний формат файлу”. Для забезпечення доступності відповідно до стандартів WCAG 2.0 інтерфейс включає контраст кольорів 4.5:1 для читабельності, клавіатурну навігацію для користувачів із обмеженою моторикою та текстові описи графіків для осіб із порушеннями зору. Інтерфейс є адаптивним, із повною підтримкою десктопів і планшетів, а також частковою підтримкою смартфонів для перегляду звітів, хоча завантаження файлів і управління даними оптимізовані для більших екранів. Локалізація реалізована ангглійською мовою, із можливістю додавання англійської для міжнародного використання.

Основні характеристики інтерфейсу:

а) Функціональні сторінки:

1. Авторизація: Форма для логіну та пароля з шифруванням, ізоляція даних за ідентифікатором лікаря.
2. Завантаження файлів: Drag-and-drop або вибір файлів, валідація, індикатор прогресу, повідомлення про помилки.
3. Введення даних: Форма для ідентифікатора, історії хвороби, таблиця з редагуванням і видаленням.
4. Результати аналізу: Діагноз, діаграма ймовірностей, інтерактивний графік R-піків, PDF-звіт із симптомами.
5. Повідомлення: Відображення останніх результатів аналізів із посиланнями на звіти.
6. Пошук: Пошук за ідентифікатором або міткою часу, таблиця звітів, швидкість менше 1 секунди.
7. Навчальний посібник: Текстові інструкції, відеоінструктаж до 5 хвилин.

б) Оптимізація для користувачів:

1. Доступність: WCAG 2.0, контраст 4.5:1, клавіатурна навігація, текстові описи графіків.
2. Адаптивність: Повна підтримка десктопів і планшетів, часткова підтримка смартфонів для перегляду звітів.
3. Інтуїтивність: Час навчання 10–15 хвилин, підказки, чіткі повідомлення про помилки.
4. Локалізація: Англійська мова, планована підтримка української.

2.1.3 Апаратні інтерфейси

Система HeartSync Analyzer не має прямих апаратних інтерфейсів, оскільки вона не взаємодіє з апаратними пристроями, такими як апарати ЕКГ, у реальному часі, а обробляє файли ЕКГ, експортовані офлайн із зовнішніх джерел. Система працює з файлами, створеними апаратними пристроями, які експортують дані через USB, SD-карти або інші носії, і завантажуються лікарем через веб-інтерфейс. Система підтримує файли у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, із частотами дискретизації 250–500 Гц і кількістю відведень від 1 до 12, перевіряючи сумісність файлів і відображаючи повідомлення про помилки, наприклад, “Невалідний формат” або “Відсутній необхідний файл”, якщо файли не відповідають стандартам.

Система не контролює апаратних пристроїв і не потребує специфічних апаратних протоколів чи конфігурацій для взаємодії з ними, оскільки файли надаються у готовому вигляді. Клієнтські пристрої, через які лікарі отримують доступ до системи, — це стандартні комп’ютери або ноутбуки з веб-браузерами, без додаткових апаратних вимог. Сервер, на якому розгортається система, не має специфічних апаратних інтерфейсів, але повинен підтримувати базу даних, файлову систему для зберігання файлів ЕКГ, PDF-звітів і моделі класифікації, а також забезпечувати обробку даних. Для оптимальної продуктивності алгоритму класифікації рекомендується використання графічного процесора (GPU), але система має бути сумісною з центральним процесором (CPU). Система розгортається на сервері під керуванням операційних систем, сумісних із веб-додатками, що відповідає типовим конфігураціям у лікарнях.

Сумісні апаратні пристрої як джерела файлів ЕКГ:

– GE Healthcare MAC 2000: Експорт через USB, формати .hea/.dat, 12 відведень, частота 500 Гц.

– AliveCor KardiaMobile: Експорт через мобільний додаток, формат .mat, 1 відведення, частота 300 Гц.

– Nihon Kohden Cardiofax ECG-2550: Експорт через мережу, формати .hea/.dat, 12 відведень, частота 500 Гц.

– Schiller CARDIOVIT AT-102 G2: Експорт через SD-карту, формати .hea/.mat, 12 відведень, частота 250–500 Гц.

Ці пристрої не взаємодіють із системою напряму, а лише надають файли, які система обробляє після завантаження лікарем.

Апаратні пристрої, які є джерелами файлів ЕКГ, не взаємодіють із системою напряму, а лише надають файли, які система обробляє після завантаження лікарем. Приклади таких пристроїв включають апарати ЕКГ, здатні експортувати дані у сумісних форматах із підтримкою 1–12 відведень і частот дискретизації 250–500 Гц, але система не залежить від їхньої моделі чи виробника.

2.1.4 Програмні інтерфейси

Система HeartSync Analyzer є автономним веб-застосунком для аналізу електрокардіограм, який розгортається локально в лікарнях і не залежить від клієнтських систем, таких як електронні медичні записи (EMR) чи власні API лікарень. Система не має клієнтських вимог щодо використання специфічних програмних продуктів, окрім стандартних веб-браузерів для доступу до інтерфейсу. Вона обробляє файли ЕКГ офлайн, забезпечує ізоляцію даних за ідентифікатором лікаря відповідно до GDPR і підтримує інтерфейс англійською мовою з можливістю додавання української. Нижче описано єдиний необхідний програмний інтерфейс із веб-браузерами, включаючи їхні характеристики та формат взаємодії.

Система сумісна з веб-браузерами Google Chrome (назва: Chrome, мнемонік: CHROME, специфікація: N/A, версія: 100.0 або новіша і Mozilla Firefox (назва: Firefox, мнемонік: FF, специфікація: N/A, версія: 100.0 або новіша. Браузери забезпечують доступ до веб-інтерфейсу системи, який підтримує HTML5, CSS3 і JavaScript для відображення сторінок авторизації, завантаження файлів ЕКГ, перегляду результатів аналізу з 10 діагнозами (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), управління даними пацієнтів, пошуку звітів, перегляду повідомлень про результати аналізів і ознайомлення з навчальним посібником. Інтерфейс із браузерами базується на HTTP-протоколі, де клієнт надсилає запити у форматі FormData для завантаження файлів ЕКГ або GET/POST-запити для навігації та пошуку, а сервер повертає HTML-відповіді, JSON-дані з діагнозами, ймовірностями, закодованими графіками або PDF-звітами.

Ключові програмні продукти та інтерфейси:

а) Операційна система:

1. Ubuntu 20.04 LTS: Середовище для сервера, веб-сервер, файлова система.
2. Windows Server 2019: Альтернативне середовище для розгортання.

б) Веб-фреймворк:

1. Flask 2.0.1: Обробка HTTP-запитів, маршрутизація, рендеринг.
2. Інтерфейс: REST API, FormData для файлів, JSON для діагнозів і графіків.

в) База даних:

1. MongoDB 6.0: Зберігання метаданих, ізоляція за doctor\_id.
2. Інтерфейс: BSON через TCP (порт 27017) для запису/пошуку.

г) Машинне навчання:

1. TensorFlow 2.12: Класифікація ЕКГ через CNN.
2. Інтерфейс: Python API, масиви сигналів, ймовірності.

д) Обробка ЕКГ:

1. wfdb 4.0.0: Зчитування MIT-BIH, PTB-XL, валідація файлів.
2. SciPy 1.8.0: Зчитування CinC-2020, фільтрація Баттерворта.
3. Інтерфейс: Python API, сигнали у форматі масивів.

е) Генерація звітів:

1. ReportLab 3.6.9: Створення PDF-звітів із діагнозами і графіками.
2. Інтерфейс: Python API, PDF із текстом і графіками.

ж) Браузери:

1. Google Chrome 122.0+: Підтримка HTML5, CSS3, JavaScript.
2. Mozilla Firefox 123.0+: Аналогічна підтримка для веб-інтерфейок.

2.1.5 Комунікаційні інтерфейси

Система HeartSync Analyzer є локальним веб-застосунком, розгорнутим на сервері в лікарні, і не залежить від зовнішніх мереж чи власних протоколів зв’язку, оскільки обробка файлів ЕКГ виконується офлайн. Вона використовує стандартні мережеві протоколи для взаємодії в локальній мережі, де лікарі отримують доступ до системи через веб-браузери. Комунікація обмежена внутрішньою інфраструктурою лікарні, що знижує ризики безпеки. Нижче наведено протоколи, їх призначення та формати повідомлень.

Система використовує HTTP-протокол для зв’язку між веб-браузерами (Google Chrome, Mozilla Firefox) і сервером на стандартному порту, визначеному адміністратором (наприклад, 5000). HTTP обробляє запити для авторизації, завантаження файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, перегляду результатів аналізу з 10 діагнозами (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), управління даними пацієнтів, пошуку звітів і перегляду повідомлень про результати аналізів. Запити використовують методи GET для відображення сторінок і POST для передачі файлів та метаданих, таких як ідентифікатор пацієнта. Відповіді включають HTML для сторінок, JSON для даних, таких як діагнози, ймовірності чи закодовані графіки, і бінарні дані для PDF-звітів. Для підвищення безпеки комунікацій рекомендується використовувати HTTPS із SSL/TLS, якщо замовник надасть сертифікат.

Для роботи в локальній мережі система сумісна з Ethernet (IEEE 802.3) і TCP/IP, які забезпечують зв’язок між клієнтськими пристроями та сервером.

Комунікаційні інтерфейси:

а) HTTP-протокол:

1. Порт: Стандартний (наприклад, 5000), визначений адміністратором.
2. Призначення: GET/POST-запити для авторизації, завантаження файлів, аналізу, перегляду результатів, пошуку та повідомлень про результати аналізів.
3. Формати: FormData (multipart/form-data) для файлів і метаданих, JSON для діагнозів і графіків, HTML для сторінок, бінарний для PDF-звітів.

б) Мережеві протоколи:

1. Ethernet (IEEE 802.3): Локальна мережа для клієнт-серверного зв’язку.
2. TCP/IP: Транспорт для HTTP-протоколу.

2.1.6 Обмеження пам’яті

Система HeartSync Analyzer розгортається на типових серверних конфігураціях у лікарнях, тому обмеження пам’яті базуються на реальних потребах обробки ЕКГ (10–50 файлів щодня) і апаратних можливостях середнього рівня. Обмеження враховують серверну і клієнтську пам’ять, без довільних припущень, і відповідають потребам автономної системи.

На сервері система потребує щонайменше 8 ГБ оперативної пам’яті для одночасної обробки до 5 аналізів ЕКГ, кожен із яких може використовувати до 4 ГБ для нейронної мережі (10-секундні сегменти, до 3600 зразків при 360 Гц), плюс 500 МБ для веб-сервера і бази даних. Дисковий простір має становити щонайменше 500 ГБ для зберігання PDF-звітів (2 МБ на звіт, до 500 звітів на місяць, приблизно 1 ГБ щомісяця), тимчасових файлів ЕКГ (до 5 МБ на файл, видаляються після обробки) і бази даних (100 МБ для 1000 звітів із індексами). Для річного використання (6000 звітів) потрібно близько 12 ГБ для PDF і 1 ГБ для бази даних. Для оптимальної продуктивності рекомендується GPU із 4 ГБ відеопам’яті, але система має працювати на CPU.

Клієнтські ПК лікарів потребують щонайменше 256 МБ оперативної пам’яті для браузерів (Google Chrome, Mozilla Firefox), достатньої для рендерингу сторінок, графіків (до 1 МБ) і PDF-звітів (2 МБ). Дисковий простір на клієнтах — менше 10 МБ для кешу браузера. Типові лікарняні ПК (4–8 ГБ RAM) відповідають цим вимогам.

Обмеження пам’яті:

а) Сервер:

1. Оперативна пам’ять: ≥8 ГБ (рекомендується 16 ГБ для високого навантаження).
2. Дисковий простір: ≥500 ГБ (рекомендується 1 ТБ для річного використання).
3. Відеопам’ять GPU: 4 ГБ (опціонально для швидкої класифікації).

б) Клієнтські ПК:

1. Оперативна пам’ять: ≥256 МБ для браузерів.
2. Дисковий простір: <10 МБ для кешу.

2.1.7 Операції

Система HeartSync Analyzer підтримує операції для кардіологів, які обробляють 20–100 електрокардіограм (ЕКГ) щодня, з акцентом на швидкість, автономність і простоту використання. Операції відповідають типовим робочим процесам лікарень, включаючи інтерактивну роботу користувачів і автоматизовану обробку даних, без специфічних вимог до резервного копіювання чи відновлення, які впливають на дизайн системи.

Система працює в інтерактивному режимі, коли кардіологи взаємодіють через веб-браузер, виконуючи авторизацію, завантаження файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, введення даних про пацієнтів, перегляд результатів аналізу з 10 діагнозами (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), пошук звітів і перегляд повідомлень про результати аналізів. У автоматизованому режимі система обробляє завантажені файли, виконує класифікацію сигналів, генерує PDF-звіти та зберігає результати без участі користувача. Інтерактивні періоди роботи охоплюють стандартні робочі години лікарні (наприклад, 08:00–20:00), з підтримкою кількох одночасних користувачів, кожен із яких виконує кілька аналізів на годину. У некритичні періоди (наприклад, 20:00–08:00) система доступна для перегляду звітів і повідомлень із мінімальною активністю.

Функції обробки даних включають перевірку сумісності файлів ЕКГ, аналіз сигналів для визначення діагнозів, генерацію графіків і PDF-звітів, а також збереження результатів для швидкого доступу. Система підтримує пошук звітів за ідентифікатором пацієнта або міткою часу та управління даними пацієнтів, такими як додавання, редагування чи видалення записів.

Резервне копіювання та відновлення даних не впливають на дизайн системи, але мають відповідати типовим лікарняним практикам. Резервні копії даних, включаючи метадані та звіти, створюються періодично в некритичний час (наприклад, вночі), щоб мінімізувати вплив на роботу системи. Процедури відновлення забезпечують доступ до даних після збоїв, але конкретні вимоги визначаються адміністратором лікарні.

Операції:

а) Режими роботи:

1. Інтерактивний: Авторизація, завантаження файлів, введення даних, перегляд результатів, пошук звітів, перегляд повідомлень про результати аналізів.
2. Автоматизований: Обробка файлів ЕКГ, класифікація сигналів, генерація звітів.

б) Періоди роботи:

1. Інтерактивні: Стандартні робочі години (наприклад, 08:00–20:00), підтримка кількох користувачів.
2. Некритичні: Поза робочими годинами (наприклад, 20:00–08:00), доступ для перегляду звітів і повідомлень.

в) Обробка даних:

1. Перевірка файлів, аналіз сигналів, генерація графіків і PDF-звітів, збереження результатів.
2. Пошук звітів, управління даними пацієнтів.

г) Резервне копіювання та відновлення:

1. Періодичні резервні копії в некритичний час, відповідно до лікарняних практик.
2. Відновлення даних після збоїв за процедурами адміністратора.

2.1.8 Вимоги до адаптації на місці встановлення

Система HeartSync Analyzer розгортається локально в лікарнях на сервері, який підтримує веб-додатки, з мінімальними змінами в інфраструктурі. Вимоги до адаптації враховують необхідність підготовки серверного середовища, ініціалізації структури для зберігання даних і забезпечення доступу через локальну мережу. Система не вимагає модифікацій робочого простору чи додаткового обладнання, окрім стандартних комп’ютерів лікарів із веб-браузерами.

Перед запуском необхідно підготувати структуру для зберігання даних про результати аналізу (ідентифікатори, діагнози з 10 можливих станів, ймовірності, мітки часу) і дані про пацієнтів (ідентифікатор, вік, стать, історія хвороби). Система надасть адміністратору схеми для створення необхідних структур із підтримкою індексів за ідентифікатором пацієнта, міткою часу та ідентифікатором лікаря для швидкого пошуку (очікувана швидкість пошуку – менше 1 секунди для 1000 записів). Модель класифікації для аналізу ЕКГ і набір симптомів для діагнозів (наприклад, “серцебиття, задишка” для фібриляції передсердь) повинні бути скопійовані на сервер перед активацією. Для зберігання тимчасових файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, і PDF-звітів із результатами аналізу потрібно створити окремі директорії з правами запису та читання для серверного процесу.

Адаптація до майданчика включає налаштування серверного середовища, яке підтримує веб-додатки, і локальної мережі для доступу до системи через веб-браузери, такі як Google Chrome або Mozilla Firefox (версії не старші двох років від дати розгортання). Адміністратор має визначити IP-адресу сервера, відкрити необхідні порти (наприклад, для веб-доступу) у фаєрволі та забезпечити стабільне з’єднання в локальній мережі. Комп’ютери лікарів, які використовуються для доступу до системи, повинні підтримувати відображення веб-інтерфейсу, графіків і PDF-звітів. Апаратні пристрої ЕКГ, які є джерелами файлів, повинні експортувати дані у форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, що відповідає стандартним можливостям медичного обладнання.

Процес підготовки включає встановлення системи управління базами даних, створення структури даних, копіювання моделі класифікації та набору симптомів, а також налаштування файлової системи. Ці дії виконуються ІТ-адміністратором лікарні та займають приблизно 30–60 хвилин, залежно від досвіду адміністратора та готовності серверного середовища.

Вимоги до адаптації:

а) Ініціалізація даних:

1. Створення структури для зберігання результатів аналізу (ідентифікатори, діагнози, ймовірності, мітки часу) і даних про пацієнтів (ідентифікатор, історія хвороби).
2. Налаштування індексів за ідентифікатором пацієнта, міткою часу та ідентифікатором лікаря для швидкого пошуку.
3. Копіювання моделі класифікації та набору симптомів на сервер.

б) Файлова система:

1. Створення директорій для тимчасових файлів ЕКГ і PDF-звітів.
2. Налаштування прав запису та читання для серверного процесу.

в) Конфігурація майданчика:

1. Серверне середовище, сумісне з веб-додатками (наприклад, Linux або Windows Server).
2. Локальна мережа з налаштованою IP-адресою сервера та відкритими портами для веб-доступу.
3. Веб-браузери (Google Chrome, Mozilla Firefox, версії не старші двох років) на комп’ютерах лікарів.

г) Підготовка:

1. Встановлення системи управління базами даних, створення структури даних, копіювання моделі та симптомів, налаштування директорій.
2. Виконання: ІТ-адміністратором лікарні.
3. Час: Приблизно 30–60 хвилин.

2.2 Функції продукту

Система HeartSync Analyzer є автономним веб-застосунком, призначеним для автоматизованого аналізу електрокардіограм (ЕКГ) у лікарняному середовищі, щоб допомагати кардіологам діагностувати серцеві стани. Система обробляє файли ЕКГ, створені зовнішніми апаратними пристроями, і надає лікарям результати у вигляді діагнозів, ймовірностей для 10 діагнозів (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), інтерактивних графіків і PDF-звітів. Основні функції організовано за логічними групами для зрозумілості замовникам: авторизація та ізоляція даних, завантаження і перевірка файлів, введення даних про пацієнтів, аналіз сигналів, відображення результатів, пошук і управління даними, повідомлення про результати аналізів, генерація звітів і підтримка нових користувачів. Мова інтерфейсу — англійська з можливістю додавання української. Функції описано в термінах потреб замовника, із логічними зв’язками, наприклад, перевірка файлів передує аналізу, а результати аналізу використовуються для звітів і повідомлень.

Система забезпечує авторизацію лікарів із перевіркою облікових даних і ізоляцією даних за ідентифікатором лікаря для відповідності GDPR. Лікарі завантажують файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, які система перевіряє за частотою дискретизації (250–500 Гц), кількістю відведень (1–12) і цілісністю даних, відображаючи повідомлення про помилки, наприклад, “Непідтримуваний формат файлу”. Введення даних про пацієнтів (ідентифікатор, вік, стать, історія хвороби) пов’язує файли ЕКГ із записами. Аналіз ЕКГ визначає один із 10 діагнозів із високою точністю (F1-score ≥0.80 для критичних станів) і виконується швидко. Результати відображаються як діагноз, ймовірності для 10 діагнозів, інтерактивні графіки R-піків і PDF-звіти з описом симптомів.

Лікарі можуть шукати звіти за ідентифікатором пацієнта чи міткою часу, редагувати або видаляти записи про пацієнтів, переглядати повідомлення про результати аналізів і генерувати PDF-звіти для документування. Система надає навчальний посібник із текстовими інструкціями для швидкого ознайомлення нових користувачів. Усі функції доступні через веб-інтерфейс, оптимізований для швидкого доступу (2–4 кліки) і відповідності стандартам доступності WCAG 2.0.

Основні функції системи:

а) Авторизація та ізоляція даних:

1. Перевірка облікових даних лікаря з шифруванням.
2. Ізоляція даних за ідентифікатором лікаря для відповідності GDPR.
3. Відображення повідомлення про помилку, наприклад, “Невірні облікові дані”.

б) Завантаження та валідація файлів ЕКГ:

1. Підтримка форматів MIT-BIH (.hea, .dat, .atr), PTB-XL (.hea, .dat), CinC-2020 (.hea, .mat).
2. Валідація частоти дискретизації (250–500 Гц) і відведень (1–12).
3. Перевірка наявності файлів (наприклад, .hea і .dat).
4. Відображення повідомлень про помилки, наприклад, “Unsupported sampling rate”.
5. Індикатор прогресу під час завантаження.

в) Введення метаданих функцій:

1. Форма для ідентифікатора функції, історії хвороби.
2. Таблиця для перегляду, редагування, видалення записів.
3. Перевірка унікальності ідентифікатора пацієнта.

г) Аналіз сигналів ЕКГ:

1. Визначення одного з 10 діагнозів із точністю (F1-score ≥0.80 для критичних станів).
2. Фільтрація шумів (0.5–40 Гц) і нормалізація.
3. Обробка за <10 секунд на файл.

д) Відображення результатів аналізу:

1. Діагноз, наприклад, “Atrial Fibrillation, 92% risk”.
2. Перелік хвороб та ймовірностей для 10 типів діагнозів.
3. Інтерактивний графік R-піків із масштабуванням і анотаціями.
4. Кнопка для завантаження PDF-звіту.

е) Пошук і управління даними:

1. Пошук звітів за ідентифікатором пацієнта або міткою часу.
2. Перегляд результатів із відкриттям звітів у новій вкладці.
3. Редагування або видалення записів функцій.

ж) Повідомлення про результати аналізів:

1. Відображення аномалій.
2. Відображення останніх результатів аналізів із посиланнями на звіти.

и) Генерація PDF-звітів:

1. Включення діагнозу, ймовірностей, графіку R-піків, симптомів (наприклад, “palpitations” для AF).
2. Збереження з міткою часу в назві файлу.
3. Розмір звіту до 2 МБ.

к) Підтримка нових користувачів:

1. Текстові інструкції в навчальному посібнику.
2. Відеоінструктаж тривалістю до 5 хвилин.
3. Доступ до посібника з головної сторінки.

Логічні зв’язки: авторизація забезпечує доступ до всіх функцій; завантаження файлів і введення метаданих передує аналізу; результати аналізу використовуються для відображення, сповіщень і звітів; пошук і управління даними базуються на результатах; посібник підтримує освоєння всіх функцій.

2.3 Характеристики користувачів

Система HeartSync Analyzer призначена для лікарів-кардіологів, які працюють у лікарнях і щодня обробляють 20–100 електрокардіограм (ЕКГ). Характеристики користувачів впливають на дизайн веб-інтерфейсу, швидкість навчання, доступність і функціональні можливості системи, але не є конкретними вимогами, які деталізуються в розділі 3. Опис враховує освіту, досвід і технічну підготовку користувачів, щоб забезпечити інтуїтивність і ефективність роботи з системою.

Лікарі-кардіологи мають вищу медичну освіту (магістр або вище) зі спеціалізацією в кардіології, що включає знання електрокардіографії, інтерпретацію ЕКГ-сигналів, R-піків і діагнозів, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда. Вони ознайомлені зі стандартними форматами ЕКГ, сумісними з базами MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, і очікують від системи професійної термінології, наприклад, “Фібриляція передсердь” замість спрощених описів, а також високої точності результатів аналізу для підтримки клінічних рішень.

Досвід користувачів охоплює регулярну роботу з апаратними пристроями ЕКГ, такими як стаціонарні чи портативні апарати, і експорт файлів через USB, SD-карти або мобільні додатки. Вони мають базовий досвід роботи з комп’ютерами, операційними системами (Windows, Linux, macOS) і веб-браузерами (Google Chrome, Mozilla Firefox) для перегляду медичних даних, звітів чи електронних записів. Однак їхній досвід роботи з веб-застосунками може бути обмеженим, що вимагає простого та інтуїтивного інтерфейсу з підказками, чіткими повідомленнями про помилки (наприклад, “Непідтримуваний формат файлу”) і мінімальним часом навчання (10–15 хвилин).

Технічна експертиза користувачів обмежується базовими навичками: введення даних, вибір файлів, перегляд інтерактивних графіків і завантаження PDF-звітів. Лікарі не мають навичок адміністрування серверів, налаштування баз даних чи роботи з мережевими протоколами, тому система має бути простою у використанні, підтримувати функцію drag-and-drop для завантаження файлів, адаптивний дизайн для десктопів і планшетів, а також відповідати стандартам доступності WCAG 2.0, включаючи контраст кольорів 4.5:1.

Кардіологи працюють у напруженому графіку, обробляючи десятки ЕКГ щодня, тому система має забезпечувати швидкий доступ до основних функцій (2–4 кліки), оперативне відображення результатів аналізу та повідомлень про результати. Робоче середовище включає комп’ютери або планшети в локальній лікарняній мережі, без потреби в спеціалізованому обладнанні.

Характеристики користувачів:

а) Освітній рівень:

1. Вища медична освіта (магістр або вище) зі спеціалізацією в кардіології.
2. Знання електрокардіографії, діагностики серцевих станів і стандартних форматів ЕКГ (MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020).
3. Очікування професійної термінології та високої точності результатів.

б) Досвід:

1. Регулярна робота з апаратними пристроями ЕКГ і експорт файлів через USB, SD-карти чи мобільні додатки.
2. Базовий досвід роботи з комп’ютерами, веб-браузерами та медичними даними.
3. Обмежений досвід із веб-застосунками, що вимагає простого інтерфейсу.

в) Технічна експертиза:

1. Базові навички введення даних, вибору файлів, перегляду графіків і звітів.
2. Відсутність навичок адміністрування чи налаштування системи.
3. Потреба в інтуїтивному інтерфейсі з підказками та швидким доступом до функцій.

г) Робочі умови:

1. Обробка 20–100 ЕКГ щодня в напруженому графіку.
2. Використання комп’ютерів або планшетів у локальній мережі лікарні.
3. Очікування часу навчання 10–15 хвилин для освоєння системи.

Ці характеристики впливають на дизайн інтерфейсу (інтуїтивність, доступність, українська мова з можливістю англійської), швидкість доступу до функцій (2–4 кліки) і необхідність точних результатів аналізу для підтримки клінічних рішень.

2.4 Обмеження

Система HeartSync Analyzer має обмеження, які впливають на вибір розробників, включаючи регуляторні політики, апаратні характеристики, вимоги до безпеки, надійності та критичності додатка. Ці обмеження описано в термінах замовника як нефункціональні вимоги, які будуть деталізовані в розділі 3. Система є автономною, розгортається локально в лікарнях і не залежить від зовнішніх сервісів, що зменшує кількість обмежень, але враховує специфіку медичного середовища.

Система має відповідати регуляторним вимогам щодо захисту персональних даних, зокрема GDPR, забезпечуючи ізоляцію даних про пацієнтів і лікарів, шифрування облікових даних і фіксацію ключових дій користувачів для можливості перевірки. Апаратні обмеження стосуються сумісності з файлами ЕКГ, створеними стандартними медичними пристроями, із частотами дискретизації 250–500 Гц і 1–12 відведеннями. Система обробляє файли офлайн, що усуває потребу в реальному часі зв’язку з апаратними пристроями чи синхронізації сигналів.

Інтеграція з іншими програмами, такими як електронні медичні записи (EMR), не передбачена в базовій версії, але система підтримує експорт результатів у форматі PDF для обміну даними. Паралельна робота передбачає підтримку кількох одночасних користувачів (лікарів-кардіологів), кожен із яких виконує кілька аналізів ЕКГ на годину, що вимагає достатніх серверних ресурсів для стабільної роботи. Для відповідності регуляторним вимогам система фіксує дії користувачів, такі як авторизація та завантаження файлів, але не потребує складних контрольних функцій.

Використання високорівневих мов програмування не обмежується конкретними стандартами, але має відповідати практикам розробки медичних систем. Протоколи обміну сигналами, такі як XON-XOFF чи ACK-NACK, не застосовуються через офлайн-обробку даних. Надійність системи має забезпечувати високу доступність у робочі години лікарні (наприклад, 08:00–20:00) і швидке відновлення даних після збоїв. Критичність додатка є високою, оскільки результати аналізу впливають на клінічні рішення, тому необхідна висока точність діагнозів і чіткі повідомлення про помилки. Безпека даних забезпечується ізоляцією, шифруванням і захистом від несанкціонованого доступу, без специфічних вимог до фізичного захисту серверного обладнання.

Обмеження:

а) Регуляторні політики:

1. Відповідність GDPR для захисту даних про пацієнтів.
2. Ізоляція даних за ідентифікатором лікаря, шифрування облікових даних.
3. Фіксація дій користувачів (авторизація, завантаження файлів) для перевірки.

б) Апаратні обмеження:

1. Сумісність із файлами ЕКГ у стандартних форматах (250–500 Гц, 1–12 відведень).
2. Відсутність вимог до реального часу зв’язку з апаратними пристроями.

в) Інтерфейси з іншими програмами:

1. Експорт результатів у PDF для обміну з іншими системами.
2. Відсутність інтеграції через API в базовій версії.

г) Паралельна робота:

1. Підтримка кількох одночасних користувачів із кількома аналізами на годину.
2. Потреба в достатніх серверних ресурсах для стабільної роботи.

д) Аудит:

1. Логування ключових дій користувачів (авторизація, завантаження).
2. Відсутність складних контрольних функцій.

е) Надійність і критичність:

1. Висока доступність у робочі години (наприклад, 08:00–20:00).
2. Швидке відновлення даних після збоїв.
3. Висока точність діагнозів для підтримки клінічних рішень.

ж) Безпека:

1. Ізоляція даних, шифрування облікових даних, захист від несанкціонованого доступу.
2. Відсутність вимог до фізичного захисту серверного обладнання.

2.5 Припущення та залежності

Система HeartSync Analyzer розроблена з урахуванням припущень і залежностей, які впливають на вимоги, зазначені в SRS, але не є обмеженнями дизайну. Ці фактори можуть спричинити перегляд вимог у разі їх зміни, наприклад, при використанні іншої операційної системи чи нестандартних форматів файлів ЕКГ. Припущення стосуються апаратного забезпечення, програмного середовища, робочих процесів лікарні та технічної підготовки користувачів, а залежності пов’язані з інфраструктурою та діями адміністратора

Система припускає, що сервер, на якому вона розгортається, працює під керуванням Ubuntu 20.04 LTS або Windows Server 2019, оскільки ці операційні системи є стандартними для лікарняних інформаційних систем. Якщо використовується інша операційна система, вимоги до розгортання (наприклад, конфігурація веб-сервера чи бази даних) можуть змінитися. Передбачається, що сервер має мінімальні апаратні характеристики: 4 ядра, 8 ГБ оперативної пам’яті, 500 ГБ дискового простору, що відповідає типовим конфігураціям у лікарнях середнього розміру. Зміна апаратних ресурсів може вплинути на вимоги до продуктивності (швидкість аналізу <10 секунд).

Система залежить від наявності файлів ЕКГ у стандартних форматах MIT-BIH (.hea, .dat, .atr), PTB-XL (.hea, .dat) або CinC-2020 (.hea, .mat), які експортуються зовнішніми апаратними пристроями, такими як GE Healthcare MAC 2000, AliveCor KardiaMobile, Nihon Kohden Cardiofax ECG-2550 або Schiller CARDIOVIT AT-102 G2. Якщо лікарня використовує нестандартні формати, вимоги до валідації файлів потрібно буде розширити. Припускається, що файли ЕКГ мають частоту дискретизації 250–500 Гц і 1–12 відведень, що є стандартом для сучасних апаратних пристроїв. Некоректні файли можуть вимагати додаткових вимог до обробки помилок.

Передбачається, що лікарі-кардіологи мають базові навички роботи з комп’ютером, включаючи використання браузерів (Google Chrome, Mozilla Firefox) і експорт файлів ЕКГ через USB, SD-карти чи мобільні додатки. Якщо користувачі мають нижчий рівень технічної підготовки, вимоги до навчального посібника чи інтерфейсу (наприклад, більше підказок) можуть посилитися. Система залежить від локальної мережі лікарні для зв’язку між клієнтськими ПК і сервером, із підтримкою стандартних протоколів Ethernet і TCP/IP. Відсутність стабільної мережі може вплинути на вимоги до доступності системи.

Система припускає, що ІТ-адміністратор лікарні виконає початкове налаштування, включаючи встановлення MongoDB, створення директорій для файлів і копіювання моделі класифікації. Передбачається, що робочий графік лікарні передбачає основну активність із 08:00 до 20:00, а некритичні операції (наприклад, перегляд звітів) виконуються в інший час, що впливає на вимоги до доступності.

Припущення та залежності:

а) Апаратне та програмне середовище:

1. Сервер працює на Ubuntu 20.04 LTS або Windows Server 2019.
2. Апаратні характеристики: ≥4 ядра, ≥8 ГБ RAM, ≥500 ГБ диска.
3. Наявність Google Chrome або Mozilla Firefox (версії 2023+) на ПК лікарів.

б) Формати та джерела даних ЕКГ:

1. Файли у форматах MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020.
2. Частота дискретизації 250–500 Гц, 1–12 відведень.
3. Експорт файлів апаратними пристроями (GE Healthcare, AliveCor тощо).

в) Технічна підготовка користувачів:

1. Базові навички роботи з ПК і браузерами.
2. Досвід експорту файлів ЕКГ через USB, SD-карти чи додатки.
3. Очікування часу навчання 10–15 хвилин.

г) Інфраструктура лікарні:

1. Стабільна локальна мережа з Ethernet і TCP/IP.
2. Наявність ІТ-адміністратора для налаштування.
3. Регулярне резервне копіювання даних у некритичний час.

д) Регуляторні та операційні фактори:

1. Відповідність GDPR для ізоляції даних.
2. Відсутність вимог до інтеграції з EMR у базовій версії.
3. Робочий графік лікарні: активність із 08:00 до 20:00.

2.6 Розподіл вимог

Система HeartSync Analyzer розробляється як мінімально життєздатний продукт (MVP) для локального розгортання в лікарнях, з фокусом на основні функції для аналізу електрокардіограм (ЕКГ) і підтримки діагностики кардіологами. Через обмеження часу, ресурсів і пріоритетів замовника деякі вимоги відкладені до майбутніх версій. Розподіл вимог виконано з урахуванням потреб замовника, щоб забезпечити базову функціональність у першій версії, залишивши додаткові можливості для ітеративного розвитку. Відкладені вимоги не є критичними для MVP, але можуть покращити зручність, інтеграцію або масштабованість системи.

Перша версія (MVP) включає ключові функції, необхідні для автономної роботи в лікарнях середнього розміру: авторизацію з ізоляцією даних, завантаження і перевірку файлів ЕКГ, введення даних про пацієнтів, аналіз сигналів із визначенням одного з 10 діагнозів (9 захворювань, таких як фібриляція передсердь чи інфаркт міокарда, та нормальний ритм), відображення результатів, пошук звітів, повідомлення про результати аналізів, генерацію PDF-звітів і базовий навчальний посібник. Ці функції забезпечують базову підтримку діагностики та відповідають основним потребам кардіологів.

Відкладені вимоги охоплюють розширені можливості, які не є обов’язковими для MVP, але можуть бути реалізовані в майбутніх версіях для підвищення функціональності. Наприклад, підтримка нестандартних форматів файлів, інтеграція з зовнішніми системами, повна адаптивність для мобільних пристроїв, автоматизоване вдосконалення моделі класифікації чи розширена аналітика відкладені, оскільки MVP фокусується на стандартних форматах і автономній роботі. Локалізація іншими мовами також відкладена, оскільки базова мовна підтримка достатня для цільової аудиторії.

Розподіл вимог:

а) Вимоги для MVP (перша версія):

1. Авторизація користувачів із ізоляцією даних за ідентифікатором лікаря і відповідністю GDPR.
2. Завантаження і валідація файлів ЕКГ (MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020).
3. Введення метаданих про пацієнтів(ідентифікатор, історія хвороби).
4. Аналіз сигналів ЕКГ із визначенням одного з 10 діагнозів і високою точністю.
5. Відображення результатів: діагноз, ймовірності, інтерактивні графіки R-піків.
6. Пошук звітів за ідентифікатором пацієнта або міткою часу.
7. Повідомлення про результати аналізів із посиланнями на звіти.
8. Генерація PDF-звітів із діагнозом, графіками, симптомами.
9. Навчальний посібник: текстовий і відеоінструктаж (до 5 хвилин).
10. Інтерфейс англійською мовою, відповідність WCAG 2.0.

б) Відкладені вимоги (майбутні версії):

1. Підтримка додаткових форматів ЕКГ (DICOM, HL7).
2. Локалізація інтерфейсу іншими мовами (українська, німецька).
3. Інтеграція з EMR через REST API для обміну даними.
4. Повна адаптивність для смартфонів (завантаження файлів, управління даними).
5. Автоматизоване тренування моделі на даних лікарні.
6. Розширена аналітика результатів (тренди аритмій, статистика).
7. Підтримка реального часу аналізу ЕКГ через пряме підключення до апаратних пристроїв.
8. Розширений аудит дій користувачів із експортом логів.

3 Конкретні вимоги

Розділ 3 містить детальні вимоги до програмного забезпечення системи HeartSync Analyzer, достатні для розробників, щоб спроектувати систему, і тестувальників, щоб перевірити її відповідність вимогам. Усі вимоги є зовні прийнятними для користувачів (лікарів-кардіологів), операторів (ІТ-адміністраторів) або зовнішніх систем (наприклад, джерел файлів ЕКГ). Вимоги включають описи всіх входів (стимулів) до системи, виходів (реакцій) і функцій, які система виконує у відповідь на входи або для підтримки виходів.

Вимоги відповідають принципам якісного SRS: вони правильні, недвозначні, повні, послідовні, ранжовані за важливістю (висока, середня, низька), перевірювальні, модифіковані та простежувані. Кожна вимога унікально ідентифікована (наприклад, 3.1.1.1, 3.2.1.1) і перехресно пов’язана з відповідними пунктами розділу 2. Вимоги структуровані для максимальної читабельності, з логічною організацією за зовнішніми інтерфейсами, функціями, продуктивністю, атрибутами якості та іншими аспектами.

Вимоги не включають деталей дизайну, таких як конкретні бібліотеки чи алгоритми, якщо вони не визначені замовником. У відповідних підпунктах (3.1, 3.4, 3.5) можуть бути вказані технології (наприклад, протоколи зв’язку, системи управління базами даних), якщо це необхідно для реалізації вимог. Використовується стандартна термінологія:

– Система повинна… — обов’язкова вимога, необхідна для мінімально життєздатного продукту (MVP).

– Система має… — бажана вимога, яка може бути відкладена до майбутніх версій.

– Система може… — необов'язкова вимога, яка може не бути реалізована.

Мова інтерфейсу користувача — англійська, як зазначено в оновлених пунктах 2.1–2.6. Система розроблена для автономної роботи в локальній мережі лікарні, підтримки 20–100 аналізів електрокардіограм (ЕКГ) щодня та відповідності регуляторним вимогам, зокрема GDPR (пункт 2.4).

3.1 Зовнішні інтерфейси

Цей підпункт детально описує всі входи до системи HeartSync Analyzer і виходи з неї, доповнюючи описи інтерфейсів із розділу 2, але не повторюючи їх. Входи включають дії користувачів (авторизація, завантаження файлів ЕКГ, введення даних про пацієнтів, пошук звітів) через веб-інтерфейс, а виходи — результати, які система надає користувачам (діагнози одного з 10 станів, ймовірності, інтерактивні графіки R-піків, PDF-звіти, повідомлення про результати аналізів, текстовий навчальний посібник).

Система повинна взаємодіяти з лікарями-кардіологами через веб-браузери Google Chrome (версія 120.0 або новіша) і Mozilla Firefox (версія 115.0 або новіша), сумісні з HTML5, CSS3 і JavaScript ES6. Мова інтерфейсу користувача — англійська з професійною медичною термінологією (наприклад, “Atrial Fibrillation”, “Myocardial Infarction”). Система повинна відповідати стандартам WCAG 2.0, мінімальний контраст 4.5:1 (пункт 2.3). Система розгортається в локальній мережі лікарні, використовуючи протокол HTTP на порті 80.

3.1.1 Входи

Система приймає входи від лікарів-кардіологів через веб-інтерфейс, включаючи облікові дані, файли ЕКГ, метадані функцій, пошукові запити та команди для управління даними. Усі входи валідуються, із відображенням чітких повідомлень про помилки англійською.

Перелік вхідних даних:

а) Облікові дані для авторизації

1. Назва: Логін і пароль.
2. Призначення: Аутентифікація лікаря для доступу до системи з ізоляцією даних за ідентифікатором лікаря.
3. Джерело: Лікар через веб-форму авторизації.
4. Діапазон значень: Логін — рядок, 4–50 символів (літери A-Z, a-z, цифри 0-9, “\_”, “-”); пароль — рядок, 8–50 символів (принаймні одна велика літера, одна мала літера, одна цифра, один спеціальний символ).
5. Точність: Точна відповідність зашифрованому запису в базі даних MongoDB (версія 6.0 або новіша).
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Перевірка <1 секунди за умов середнього навантаження (20 користувачів).
8. Мета: Забезпечити безпечний доступ до даних, пов’язаних із лікарем.
9. Формат екрану: Форма з полями “Username” (текстове поле), “Password” (приховане текстове поле), кнопка “Sign In”.
10. Формат вікон: Центрована форма, ширина 400–600 пікселів, адаптивна для роздільності ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: application/x-www-form-urlencoded через HTTP POST-запит.
12. Формат команди: POST-запит із двома текстовими полями.
13. Повідомлення про завершення: “Invalid username or password” при невдалій авторизації; “Login successful” при успішній.

б) Файли ЕКГ

1. Назва: Файли ЕКГ у стандартних форматах.
2. Призначення: Вхідні дані для аналізу серцевих станів.
3. Джерело: Лікар через веб-форму з підтримкою drag-and-drop або кнопки вибору файлів.
4. Діапазон значень: Формати, сумісні з MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020; частота дискретизації 250–500 Гц (нормалізована до 360 Гц); 1–12 відведень; амплітуда ±5 мВ; розмір файлу до 10 МБ.
5. Точність: Частота ±0.1%; наявність супровідних метаданих для валідації.
6. Одиниці вимірювання: Герци (Гц), мілівольти (мВ), мегабайти (МБ).
7. Часові характеристики: Завантаження <5 секунд за умов мережі 100 Мбіт/с.
8. Мета: Надати дані для класифікації ЕКГ, які будуть оброблені разом із даними про пацієнтів.
9. Формат екрану: Зона drag-and-drop (400x200 пікселів), кнопка “Select Files”, індикатор прогресу (відсотки).
10. Формат вікон: Адаптивна панель, ширина ≥600 пікселів, підтримка десктопів і планшетів (≥768 пікселів).
11. Формат даних: multipart/form-data через HTTP POST-запит.
12. Формат команди: POST-запит із полем для файлів.
13. Повідомлення про завершення: “Invalid file format or missing metadata” при помилці; “Files uploaded successfully” при успіху.

в) Дані про пацієнтів

1. Назва: Метадані пацієнта.
2. Призначення: Контекст для аналізу ЕКГ, зберігання та пошуку звітів.
3. Джерело: Лікар через веб-форму введення.
4. Діапазон значень: Ідентифікатор пацієнта — рядок, 4–20 символів (літери A-Z, a-z, цифри 0-9); ім’я — рядок, до 100 символів; ідентифікатор лікаря — рядок, 4–50 символів (відповідний логіну лікаря).
5. Точність: Унікальність ідентифікатора пацієнта в базі MongoDB; точна відповідність введеним даним.
6. Одиниці вимірювання: Кількість символів.
7. Часові характеристики: Збереження <1 секунди.
8. Мета: Пов’язати файли ЕКГ із конкретним пацієнтом і лікарем для звітів.
9. Формат екрану: Форма з полями “Patient ID” (текстове), “Name” (текстове), “Doctor ID” (текстове, автоматично заповнене); кнопки “Save” і “Cancel”.
10. Формат вікон: Ширина 500–800 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: application/json через HTTP POST-запит.
12. Формат команди: POST-запит із трьома текстовими полями.
13. Повідомлення про завершення: “Patient ID already exists” при дублюванні; “Data saved successfully” при успіху.

г) Пошуковий запит

1. Назва: Параметри пошуку звітів.
2. Призначення: Пошук збережених звітів за ідентифікатором або міткою часу.
3. Джерело: Лікар через веб-форму пошуку.
4. Діапазон значень: Ідентифікатор — рядок, 4–20 символів; мітка часу — дата/час у форматі ISO 8601 (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z”).
5. Точність: Регістр-незалежний пошук за ідентифікатором; точність часу ±1 секунда.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Пошук <1 секунди за умов 1000 звітів у базі.
8. Мета: Дозволити лікарю отримати доступ до попередніх звітів.
9. Формат екрану: Форма з полями “Search by Patient ID” (текстове), “Timestamp” (дата/час), кнопка “Search”.
10. Формат вікон: Ширина 400–600 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: application/x-www-form-urlencoded через HTTP GET-запит.
12. Формат команди: GET-запит із двома параметрами.
13. Повідомлення про завершення: “No reports found” при відсутності результатів; “Search completed” при успіху.

3.1.2 Виходи

Система повинна генерувати виходи для лікарів через веб-інтерфейс, включаючи повідомлення, таблиці даних, результати аналізу, графіки, PDF-звіти, повідомлення про результати аналізів і навчальний посібник (висока важливість, крім посібника — середня).

Перелік вихідних даних:

а) Повідомлення про авторизацію

1. Назва: Результат авторизації.
2. Призначення: Інформування про статус авторизації.
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Текстове повідомлення, наприклад, “Invalid username or password” або “Login successful”.
5. Точність: Відповідність статусу аутентифікації в MongoDB.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Відображення <1 секунди.
8. Мета: Повідомити лікаря про результат спроби входу.
9. Формат екрану: Спливаюче повідомлення (alert) над формою авторизації.
10. Формат вікон: Модальне вікно, ширина 300–500 пікселів.
11. Формат даних: HTML через JavaScript.
12. Повідомлення про завершення: Вказане в діапазоні значень.

б) Повідомлення валідації файлів

1. Назва: Результат валідації файлів ЕКГ.
2. Призначення: Інформування про коректність завантажених файлів.
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Текстове повідомлення, наприклад, “Invalid file format or missing metadata” або “Files uploaded successfully”.
5. Точність: Відповідність перевірці формату, частоти, відведень.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Відображення <2 секунд після завантаження.
8. Мета: Повідомити лікаря про статус завантаження файлів.
9. Формат екрану: Спливаюче повідомлення над зоною завантаження.
10. Формат вікон: Модальне вікно, ширина 300–500 пікселів.
11. Формат даних: application/json через HTTP відповідь.
12. Повідомлення про завершення: Вказане в діапазоні значень.

в) Таблиця даних про пацієнтів

1. Назва: Список даних про пацієнтів.
2. Призначення: Відображення та управління (видалення) записів про пацієнтів.
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Таблиця з колонками: ідентифікатор пацієнта (4–20 символів), ім’я (до 100 символів), ідентифікатор лікаря (4–50 символів), кнопка “Delete”.
5. Точність: Відповідність записам у MongoDB.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Завантаження <1 секунди за умов 1000 записів.
8. Мета: Надати лікарю доступ до списку пацієнтів для управління даними.
9. Формат екрану: Таблиця з пагінацією (10 записів на сторінку), сортування за ідентифікатором.
10. Формат вікон: Ширина ≥800 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: application/json через HTTP GET-запит.
12. Повідомлення про завершення: “Data loaded” або “Error loading data”.

г) Результати аналізу ЕКГ

1. Назва: Діагноз і ймовірності.
2. Призначення: Надання результатів класифікації ЕКГ (10 станів: Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy).
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Діагноз — текст (один із 10 станів); ймовірності — числа 0–100%, сума ≈100%.
5. Точність: F1-score ≥0.80 на основі тренувальних даних; ймовірності ±1%
6. Одиниці вимірювання: Відсотки (%).
7. Часові характеристики: Відображення <10 секунд після обробки файлу.
8. Мета: Надати лікарю діагностичну інформацію для оцінки стану пацієнта.
9. Формат екрану: Текст, наприклад, “Diagnosis: Atrial Fibrillation (92%)”; стовпчикова діаграма (HTML5 Canvas або SVG).
10. Формат вікон: Ширина ≥600 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів
11. Формат даних: application/json через HTTP відповідь.
12. Повідомлення про завершення: “Analysis completed” або “Error in processing”.

д) Інтерактивні графіки R-піків

1. Назва: Графіки R-піків.
2. Призначення: Візуалізація ЕКГ-сигналів із анотаціями R-піків для аналізу лікарем.
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Графік із віссю часу (0–30 секунд) і амплітуди (±5 мВ); анотації R-піків (координати ±10 мс).
5. Точність: Точність анотацій ±10 мс; амплітуда ±0.01 мВ.
6. Одиниці вимірювання: Секунди (с), мілівольти (мВ).
7. Часові характеристики: Рендеринг <2 секунд.
8. Мета: Дозволити лікарю візуально оцінити ЕКГ-сигнал і R-піки.
9. Формат екрану: Інтерактивний графік (HTML5 Canvas або SVG) із масштабуванням і прокруткою.
10. Формат вікон: Ширина ≥800 пікселів, висота ≥400 пікселів, адаптивна.
11. Формат даних: application/json через HTTP.
12. Повідомлення про завершення: “Graph rendered” або “Error rendering graph”.

е) PDF-звіти

1. Назва: Звіт аналізу ЕКГ.
2. Призначення: Документування результатів для зберігання або обміну.
3. Одержувач: Лікар через завантаження файлу.
4. Діапазон значень: PDF-документ (A4, портретна орієнтація) із діагнозом, ймовірностями, графіком R-піків, даними про пацієнта, симптомами (текст, до 1000 символів), датою (ISO 8601).
5. Точність: Точна відповідність результатам аналізу.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Генерація <3 секунд.
8. Мета: Надати лікарю документ для архівування чи передачі.
9. Формат екрану: Кнопка “Download Report” із назвою файлу у форматі report\_YYYYMMDD\_HHMMSS.pdf.
10. Формат вікон: Модальне вікно підтвердження завантаження.
11. Формат даних: PDF 1.7 через HTTP відповідь.
12. Повідомлення про завершення: “Report generated” або “Error generating report”.

ж) Повідомлення про результати аналізів

1. Назва: Список останніх результатів.
2. Призначення: Інформування про завершені аналізи з доступом до звітів.
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Список із полями: ідентифікатор пацієнта (4–20 символів), мітка часу (ISO 8601), діагноз (текст), посилання на звіт (URL).
5. Точність: Відповідність записам у MongoDB.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Відображення <1 секунди за умов 1000 записів.
8. Мета: Повідомити лікаря про нові результати та надати швидкий доступ до звітів.
9. Формат екрану: Список або таблиця (10 записів) із колонками “Patient ID”, “Date”, “Diagnosis”, “View Report” (посилання).
10. Формат вікон: Ширина ≥600 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: application/json через HTTP.
12. Повідомлення про завершення: “No new results” або “Results loaded”.

к) Навчальний посібник

1. Назва: Текстовий навчальний посібник.
2. Призначення: Інструкції для використання системи (авторизація, завантаження, перегляд результатів).
3. Одержувач: Лікар через веб-браузер.
4. Діапазон значень: Текст до 5000 символів, структурований за розділами (заголовки, списки).
5. Точність: Відповідність поточним функціям системи.
6. Одиниці вимірювання: Немає.
7. Часові характеристики: Завантаження <1 секунди.
8. Мета: Допомогти лікарю освоїти систему без додаткового навчання.
9. Формат екрану: Сторінка з текстом, заголовками H1–H3, маркованими списками.
10. Формат вікон: Ширина ≥800 пікселів, адаптивна для ≥1280x720 пікселів.
11. Формат даних: HTML через HTTP GET-запит.
12. Повідомлення про завершення: “Tutorial loaded” або “Error loading tutorial”.

3.2 Функції

Функціональні вимоги визначають дії системи HeartSync Analyzer для обробки входів і генерації виходів, забезпечуючи виявлення серцевих захворювань на основі ЕКГ-сигналів. Усі вимоги позначені як “Система повинна…” для обов’язкових функцій, із чіткими перевірками вхідних даних, послідовністю операцій, обробкою помилок і зв’язками з входами (3.1.1) та виходами (3.1.2). Функції поділено на підгрупи: авторизація, обробка файлів ЕКГ, управління метаданими, аналіз сигналів, відображення результатів, пошук і сповіщення, генерація звітів, підтримка користувачів, логування та управління ресурсами. Цей поділ не передбачає аналогічної структури дизайну. Кожна вимога включає часові обмеження, критерії якості (наприклад, F1-score ≥0.80 для критичних класів), обробку виняткових ситуацій і вимоги до продуктивності.

3.2.1 Авторизація

Цей підпункт визначає вимоги до аутентифікації лікарів-кардіологів із ізоляцією даних для відповідності стандартам захисту даних, зокрема GDPR.

а) Аутентифікація користувачів

1. Система повинна: Аутентифікувати користувачів, перевіряючи логін і пароль за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Введення коректних даних (існуючий логін і правильний пароль) і некоректних даних (неіснуючий логін або неправильний пароль), вимірювання часу обробки (<1 с), перевірка відображення повідомлення “Invalid username or password” у разі невдачі або “Login successful” у разі успіху.
4. Вхід: Логін (рядок довжиною 4–50 символів, що містить літери A-Z, a-z, цифри 0-9, символи “\_” або “-”) і пароль (рядок довжиною 8–50 символів, що містить принаймні одну велику літеру, одну малу літеру, одну цифру та один спеціальний символ), надіслані через веб-форму авторизації у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Спливаюче повідомлення у веб-інтерфейсі з текстом “Invalid username or password” у разі невдалої аутентифікації або “Login successful” у разі успішної аутентифікації.
6. Послідовність операцій:

– Отримання логіна та пароля з веб-форми через HTTP POST-запит.

– Перевірка формату логіна (4–50 символів, лише дозволені символи) та пароля (8–50 символів, відповідність вимогам безпеки).

– Порівняння введених даних із зашифрованим записом у базі даних MongoDB (версія 6.0 або новіша).

– Створення сесії користувача при успішній аутентифікації або відображення спливаючого повідомлення про помилку при невдачі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Invalid username or password” у веб-інтерфейсі, повідомлення адміністратору через системний alert. Якщо користувач перевищує 5 невдалих спроб аутентифікації за 1 хвилину, система тимчасово блокує його на 5 хвилин і надсилає повідомлення адміністратору через системний alert.
2. Примітки: Використовується хешування паролів (наприклад, bcrypt) для безпеки. Ізоляція даних забезпечується прив’язкою до унікального ідентифікатора лікаря.

б) Ізоляція даних користувачів

1. Система повинна: Ізолювати дані користувачів за унікальним ідентифікатором лікаря, надаючи доступ лише до записів, пов’язаних із поточним лікарем.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аутентифікація двох лікарів із різними ідентифікаторами, перевірка, що кожен лікар бачить лише свої записи (дані про своїх пацієнтів і результати аналізу їхніх ЕКГ).
4. Вхід: Логін (рядок довжиною 4–50 символів, що містить літери A-Z, a-z, цифри 0-9, символи “\_” або “-”) і пароль (рядок довжиною 8–50 символів, що містить принаймні одну велику літеру, одну малу літеру, одну цифру та один спеціальний символ), надіслані через веб-форму авторизації у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Таблиця у веб-інтерфейсі, що містить дані про пацієнтів (ідентифікатор, ім’я, ідентифікатор лікаря) або результати аналізу ЕКГ (діагноз, середні ймовірності для 10 класів серцевих захворювань), доступні лише для поточного лікаря.
6. Послідовність операцій:

– Аутентифікація лікаря через веб-форму.

– Отримання унікального ідентифікатора лікаря з даних сесії.

– Фільтрація записів у базі даних MongoDB за ідентифікатором лікаря.

– Відображення відфільтрованих даних у веб-інтерфейсі у вигляді таблиці з пагінацією (10 записів на сторінку).

1. Обробка помилок: Повернення повідомлення “Access denied” із кодом HTTP 403 у веб-інтерфейсі, повідомлення адміністратору через системний alert.
2. Примітки: Ізоляція даних відповідає вимогам GDPR, забезпечуючи конфіденційність даних пацієнтів і результатів аналізу.

в) Завершення сесії

1. Система повинна: Завершувати сесію користувача при виборі опції завершення, перенаправляючи на сторінку авторизації за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Вибір опції “Logout” через кнопку у веб-інтерфейсі, перевірка перенаправлення на сторінку авторизації, перевірка відсутності доступу до захищених даних після завершення сесії.
4. Вхід: Команда завершення сесії, надіслана через натискання кнопки “Logout” у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Сторінка авторизації у веб-інтерфейсі з формою для введення логіна (рядок довжиною 4–50 символів) і пароля (рядок довжиною 8–50 символів).
6. Послідовність операцій:

– Отримання команди завершення сесії через HTTP POST-запит.

– Видалення даних сесії з сервера.

– Перенаправлення користувача на сторінку авторизації.

1. Обробка помилок: Відображення повідомлення “Session termination failed” у веб-інтерфейсі, повідомлення адміністратору через системний alert.
2. Примітки: Функція забезпечує безпечне завершення роботи, запобігаючи несанкціонованому доступу до даних після виходу користувача.

3.2.2 Обробка файлів ЕКГ

Цей підпункт описує вимоги до завантаження, валідації та підготовки файлів ЕКГ для подальшого аналізу сигналів.

а) Валідація файлів ЕКГ

1. Система повинна: Валідувати завантажені файли ЕКГ за форматами (MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020), частотою дискретизації (250–500 Гц) і кількістю відведень (1–12) за менш ніж 2 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження коректних файлів (з метаданими, що включають частоту дискретизації та кількість відведень) і некоректних файлів (без метаданих або у невідповідному форматі), перевірка відображення повідомлень “Invalid file format or missing metadata” у разі невдачі або “Files uploaded successfully” у разі успіху.
4. Вхід: Файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, надіслані через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі у форматі multipart/form-data.
5. Вихід: JSON-повідомлення, відображене як спливаюче повідомлення у веб-інтерфейсі, що містить текст “Invalid file format or missing metadata” у разі невдачі або “Files uploaded successfully” у разі успіху.
6. Послідовність операцій:

– Отримання файлів через HTTP POST-запит у форматі multipart/form-data.

– Перевірка формату файлів (MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020) і наявності метаданих (частота дискретизації, кількість відведень).

– Валідація частоти дискретизації (250–500 Гц із точністю ±0.1%) і кількості відведень (1–12).

– Повернення JSON-повідомлення про успіх або помилку, відображеного як спливаюче повідомлення.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Invalid file format or missing metadata” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера. Якщо розмір файлу перевищує 10 МБ, відображення повідомлення “File too large” у веб-інтерфейсі.
2. Примітки: Система підтримує часткову сумісність із форматом CinC-2020. Нормалізація частоти дискретизації до 360 Гц виконується на етапі аналізу сигналів.

б) Індикатор прогресу завантаження

1. Система повинна: Відображати індикатор прогресу завантаження файлів, оновлюючи його кожні 0.5 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлу розміром приблизно 5 МБ за мережі зі швидкістю 100 Мбіт/с, перевірка оновлення індикатора прогресу (відсотки або текст “Processing…”).
4. Вхід: Файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, надіслані через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Індикатор прогресу, відображений як текстовий або графічний елемент у зоні завантаження файлів у веб-інтерфейсі.
6. Послідовність операцій:

– Ініціалізація HTTP POST-запиту для завантаження файлів.

– Відстеження прогресу завантаження через JavaScript ES6

– Оновлення інтерфейсу користувача кожні 0.5 секунди з відображенням відсотків або тексту “Processing…”.

– Завершення відображення індикатора після отримання відповіді від сервера.

1. Обробка помилок: Запис помилки до журналу браузера (консоль розробника), відображення повідомлення “Upload interrupted” у веб-інтерфейсі при збої мережі.
2. Примітки: Індикатор відповідає стандартам доступності WCAG 2.0.

в) Тимчасове зберігання файлів

1. Система повинна: Тимчасово зберігати завантажені файли у внутрішньому сховищі сервера та видаляти їх після обробки за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлів ЕКГ, перевірка їхньої наявності у тимчасовому сховищі сервера, перевірка видалення файлів після завершення аналізу сигналів.
4. Вхід: Файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, надіслані через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Жоден (внутрішня операція, файли видаляються після обробки).
6. Послідовність операцій:

– Збереження завантажених файлів у тимчасовій директорії на сервері.

– Виконання аналізу сигналів (завантаження, очищення, сегментація, фільтрація, нормалізація, класифікація).

– Видалення файлів із тимчасової директорії після завершення аналізу або через 1 годину після завантаження.

1. Обробка помилок: Відображення повідомлення “Failed to clean up” у консолі сервера, повідомлення адміністратору через системний alert.
2. Примітки: Видалення файлів економить дисковий простір і відповідає вимогам GDPR щодо тимчасових даних.

г) Перевірка тривалості сигналу

1. Система повинна: Перевіряти мінімальну тривалість ЕКГ-сигналу (не менше 10 секунд) перед обробкою за менш ніж 0.5 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлу ЕКГ із тривалістю менше 10 секунд, перевірка відображення повідомлення “Signal too short” у веб-інтерфейсі.
4. Вхід: Файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, надіслані через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: JSON-повідомлення з текстом “Signal too short”, відображене як спливаюче повідомлення у веб-інтерфейсі, якщо тривалість сигналу менше 10 секунд.
6. Послідовність операцій:

– Читання метаданих файлу ЕКГ (частота дискретизації, кількість зразків).

– Обчислення тривалості сигналу на основі частоти дискретизації та кількості зразків.

– Повернення JSON-повідомлення “Signal too short”, якщо тривалість менше 10 секунд, відображеного як спливаюче повідомлення.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Signal too short” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Перевірка тривалості гарантує наявність достатньої кількості даних для аналізу сигналів.

3.2.3 Управління метаданими

Цей підпункт описує вимоги до збереження, видалення та валідації даних про пацієнтів.

а) Збереження даних про пацієнтів

1. Система повинна: Зберігати дані про пацієнтів (ідентифікатор, ім’я, ідентифікатор лікаря) у базі даних MongoDB за менш ніж 1 секунду, забезпечуючи унікальність ідентифікатора.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Введення нового ідентифікатора пацієнта, перевірка успішного збереження в базі даних, спроба введення дубльованого ідентифікатора з відображенням повідомлення “Patient ID already exists”.
4. Вхід: Ідентифікатор пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів, що містить літери A-Z, a-z, цифри 0-9), ім’я пацієнта (рядок до 100 символів), ідентифікатор лікаря (рядок довжиною 4–50 символів), надіслані через веб-форму у веб-інтерфейсі у форматі application/json.
5. Вихід: Таблиця у веб-інтерфейсі, що містить записи про пацієнтів (ідентифікатор, ім’я, ідентифікатор лікаря) із кнопкою “Delete” для кожного запису, відображена з пагінацією (10 записів на сторінку).
6. Послідовність операцій:

– Отримання даних із веб-форми через HTTP POST-запит у форматі application/json.

– Перевірка унікальності ідентифікатора пацієнта в базі даних MongoDB.

– Збереження запису з міткою часу створення в MongoDB.

– Оновлення таблиці даних про пацієнтів у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Patient ID already exists” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Ідентифікатор лікаря автоматично прив’язується до поточної сесії користувача.

б) Видалення даних про пацієнтів

1. Система повинна: Дозволяти видаляти записи даних про пацієнтів із бази даних MongoDB за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Середня.
3. Перевірка: Видалення запису про пацієнта через натискання кнопки “Delete” у таблиці, перевірка оновлення таблиці у веб-інтерфейсі.
4. Вхід: Команда видалення, надіслана через натискання кнопки “Delete” у таблиці даних про пацієнтів у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Оновлена таблиця у веб-інтерфейсі, що містить записи про пацієнтів (ідентифікатор, ім’я, ідентифікатор лікаря) із кнопкою “Delete” для кожного запису.
6. Послідовність операцій:

– Отримання команди видалення через HTTP POST-запит.

– Перевірка наявності запису в базі даних MongoDB за ідентифікатором.

– Видалення запису про пацієнта та пов’язаних із ним результатів аналізу ЕКГ.

– Оновлення таблиці даних про пацієнтів у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Record not found” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Видалення обмежується записами, пов’язаними з ідентифікатором поточного лікаря.

в) Валідація ідентифікатора

1. Система повинна: Валідувати ідентифікатор пацієнта на відповідність формату (4–20 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9) за менш ніж 0.1 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Введення некоректного ідентифікатора (порожній рядок, довжина більше 20 символів або містить недозволені символи), перевірка відображення повідомлення “Invalid patient ID”.
4. Вхід: Ідентифікатор пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів, що містить літери A-Z, a-z, цифри 0-9), надісланий через веб-форму у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Спливаюче повідомлення “Invalid patient ID” у веб-інтерфейсі, якщо ідентифікатор не відповідає формату.
6. Послідовність операцій:

– Отримання ідентифікатора з веб-форми.

– Перевірка довжини (4–20 символів) і дозволених символів за допомогою регулярного виразу.

– Повернення спливаючого повідомлення “Invalid patient ID” у разі невідповідності формату.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Invalid patient ID” у веб-інтерфейсі, запис помилки до журналу браузера (консоль розробника).
2. Примітки: Валідація запобігає збереженню некоректних записів у базі даних.

3.2.4 Аналіз сигналів

Цей підпункт описує вимоги до завантаження, обробки, сегментації та класифікації ЕКГ-сигналів.

а) Завантаження сигналів

1. Система повинна: Завантажувати ЕКГ-сигнали, нормалізуючи частоту дискретизації до 360 Гц і вибираючи два основні канали (0 і 1) за менш ніж 2 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлу ЕКГ, перевірка частоти дискретизації (360 Гц із точністю ±0.1%), кількості каналів (2), амплітуди сигналу (в межах ±5 мВ).
4. Вхід: Файли ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, надіслані через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі.
5. Вихід: Внутрішній сигнал (масив чисел із частотою 360 Гц, два канали) для подальшої обробки системою.
6. Послідовність операцій:

– Читання файлу ЕКГ із тимчасового сховища сервера.

– Перевірка метаданих файлу (частота дискретизації, кількість каналів).

– Нормалізація частоти дискретизації до 360 Гц шляхом ресемплінгу.

Вибір двох основних каналів (0 і 1).

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Failed to load signal” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Нормалізація частоти забезпечує сумісність із моделлю класифікації серцевих захворювань.

б) Очищення сигналів

1. Система повинна: Очищати ЕКГ-сигнали від некоректних значень (пропущені або нескінченні значення) за менш ніж 0.1 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлу ЕКГ із пропущеними даними (NaN або нескінченні значення), перевірка заміни таких значень на нульові.
4. Вхід: ЕКГ-сигнал (масив чисел із частотою 360 Гц, два канали) після завантаження.
5. Вихід: Очищений ЕКГ-сигнал (масив чисел без пропущених або нескінченних значень).
6. Послідовність операцій:

– Сканування сигналу на наявність NaN або нескінченних значень.

– Заміна некоректних значень на 0.

– Збереження очищеного сигналу для подальшої обробки.

1. Обробка помилок: Відображення попередження в консолі сервера, повернення частково очищеного сигналу для продовження обробки.
2. Примітки: Очищення сигналів підвищує якість подальшого аналізу.

в) Сегментація сигналів

1. Система повинна: Сегментувати ЕКГ-сигнали на фрагменти тривалістю 10 секунд із 50% перекриттям за менш ніж 2 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз ЕКГ-сигналу тривалістю 30 секунд, перевірка створення приблизно 5 сегментів із 50% перекриттям.
4. Вхід: Очищений ЕКГ-сигнал (масив чисел із частотою 360 Гц, два канали).
5. Вихід: Набір сегментів (масиви чисел, кожен тривалістю 10 секунд, 3600 зразків, два канали).
6. Послідовність операцій:

– Визначення загальної довжини сигналу в зразках.

– Розбиття сигналу на 10-секундні фрагменти з кроком 5 секунд (50% перекриття).

– Збереження сегментів для подальшої обробки.

1. Обробка помилок: Повернення порожнього набору сегментів, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Сегментація оптимізує обробку довгих ЕКГ-сигналів для класифікації.

г) Фільтрація сигналів

1. Система повинна: Застосовувати смуговий фільтр (0.5–40 Гц) до ЕКГ-сегментів для видалення шумів за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз 10-секундного сегменту, перевірка видалення високочастотного шуму за допомогою спектрального аналізу.
4. Вхід: Набір ЕКГ-сегментів (масиви чисел, кожен тривалістю 10 секунд, 3600 зразків, два канали).
5. Вихід: Відфільтровані сегменти (масиви чисел із видаленим шумом).
6. Послідовність операцій:

– Ініціалізація смугового фільтра з діапазоном частот 0.5–40 Гц.

– Застосування фільтра до кожного сегменту.

– Збереження відфільтрованих сегментів для подальшої обробки.

1. Обробка помилок: Відображення попередження в консолі сервера при некоректних даних, повернення необроблених сегментів для продовження аналізу.
2. Примітки: Фільтрація підвищує точність класифікації серцевих захворювань.

д) Нормалізація сегментів

1. Система повинна: Нормалізувати ЕКГ-сегменти до нульового середнього значення та одиничного стандартного відхилення за менш ніж 0.5 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз 10-секундного сегменту, перевірка середнього значення (0 із точністю ±0.01) і стандартного відхилення (1 із точністю ±0.01).
4. Вхід: Відфільтровані ЕКГ-сегменти (масиви чисел із видаленим шумом).
5. Вихід: Нормалізовані сегменти (масиви чисел із нульовим середнім і одиничним стандартним відхиленням).
6. Послідовність операцій:

– Обчислення середнього значення та стандартного відхилення для кожного сегменту.

– Нормалізація значень сегменту за формулою: (x - середнє) / стандартне відхилення.

– Збереження нормалізованих сегментів для подальшої обробки.

1. Обробка помилок: Якщо стандартне відхилення дорівнює нулю, використання ненормалізованого сегменту, відображення попередження в консолі сервера.
2. Примітки: Нормалізація забезпечує стабільність роботи моделі класифікації.

е) Класифікація сегментів

1. Система повинна: Класифікувати ЕКГ-сегменти за 10 класами серцевих захворювань (Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy), досягаючи F1-score не менше 0.80 для критичних класів (Atrial Fibrillation, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block) за менш ніж 7 секунд.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз тестового ЕКГ-сигналу, порівняння F1-score на валідаційних даних із порогом 0.80, вимірювання часу обробки (<7 с).
4. Вхід: Нормалізовані ЕКГ-сегменти (масиви чисел із нульовим середнім і одиничним стандартним відхиленням).
5. Вихід: Ймовірності для 10 класів серцевих захворювань (числа від 0 до 1, сума приблизно дорівнює 1) для кожного сегменту.
6. Послідовність операцій:

– Завантаження попередньо навченої моделі класифікації (наприклад, нейронної мережі).

– Обробка нормалізованих сегментів моделлю.

– Повернення імовірностей для кожного сегменту.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Prediction error” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Модель оптимізована для критичних класів серцевих захворювань і може використовувати CPU або GPU для обчислень.

ж) Агрегація результатів

1. Система повинна: Агрегувати результати класифікації сегментів, обчислюючи середні ймовірності для визначення остаточного діагнозу за менш ніж 0.1 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз ЕКГ-сигналу з 10 сегментами, перевірка обчислення середніх імовірностей і вибору діагнозу (клас із найвищою середньою ймовірністю).
4. Вхід: ймовірності для 10 класів серцевих захворювань (числа від 0 до 1) для кожного сегменту.
5. Вихід: Остаточний діагноз (один із 10 класів: Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy) та середні ймовірності (числа від 0 до 1, сума приблизно дорівнює 1).
6. Послідовність операцій:

– Обчислення середньої ймовірності для кожного класу серцевого захворювання по всіх сегментах.

– Вибір класу з найвищою середньою ймовірністю як остаточного діагнозу.

– Збереження діагнозу та середніх імовірностей у базі даних MongoDB.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “No valid predictions” у веб-інтерфейсі, якщо сегменти відсутні, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Агрегація підвищує точність визначення діагнозу.

и) Визначення R-піків

1. Система повинна: Визначати позиції R-піків у ЕКГ-сигналах із точністю ±10 мілісекунд за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз ЕКГ-сигналу, порівняння виявлених R-піків із референсними анотаціями, вимірювання відхилення (±10 мс).
4. Вхід: Очищений ЕКГ-сигнал (масив чисел із частотою 360 Гц, два канали).
5. Вихід: Статичний графік сигналу з анотаціями R-піків у форматі PNG, кодованому в base64, відображений у веб-інтерфейсі.
6. Послідовність операцій:

– Застосування алгоритму виявлення R-піків (наприклад, Pan-Tompkins).

– Перевірка точності анотацій R-піків (±10 мс).

– Генерація статичного графіку сигналу з анотаціями у форматі PNG (base64).

1. Обробка помилок: Повернення графіку без анотацій R-піків, відображення попередження в консолі сервера.
2. Примітки: R-піки використовуються для візуалізації сигналу та підтримки діагностики.

3.2.5 Відображення результатів

Цей підпункт описує вимоги до відображення діагнозів, ймовірностей і графіків у веб-інтерфейсі.

а) Відображення діагнозу та ймовірностей

1. Система повинна: Відображати діагноз і ймовірності для 10 класів серцевих захворювань за менш ніж 10 секунд після завершення аналізу сигналів.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз ЕКГ-сигналу, перевірка відображення тексту, наприклад, “Diagnosis: Atrial Fibrillation (92%)”, і відповідність ймовірностей класам серцевих захворювань.
4. Вхід: Остаточний діагноз (один із 10 класів: Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy) та середні ймовірності (числа від 0 до 1, сума приблизно дорівнює 1).
5. Вихід: Текстовий діагноз (наприклад, “Diagnosis: Atrial Fibrillation (92%)”) і стовпчикова діаграма імовірностей для 10 класів, відображені у веб-інтерфейсі.
6. Послідовність операцій:

– Отримання результатів аналізу з бази даних MongoDB.

– Форматування діагнозу та імовірностей за допомогою HTML5 Canvas або SVG для створення стовпчикової діаграми.

– Відображення тексту діагнозу та діаграми у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “No results found” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Відображення адаптивне для роздільної здатності екрана не менше 1280x720 пікселів і відповідає стандартам WCAG 2.0.

б) Генерація графіків

1. Система повинна: Генерувати статичні графіки ЕКГ-сигналів із анотаціями R-піків для двох каналів за менш ніж 2 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Перевірка відображення графіку, точності анотацій R-піків (±10 мс), вимірювання часу рендерингу (<2 с).
4. Вхід: Очищений ЕКГ-сигнал (масив чисел із частотою 360 Гц, два канали) і позиції R-піків (координати в мілісекундах).
5. Вихід: Статичний графік сигналу з анотаціями R-піків у форматі PNG, кодованому в base64, відображений у веб-інтерфейсі.
6. Послідовність операцій:

– Генерація графіку ЕКГ-сигналу за допомогою HTML5 Canvas або SVG.

– Додавання анотацій R-піків на графіку.

– Конвертація графіку у формат PNG із кодуванням у base64.

1. Обробка помилок: Відображення порожнього місця замість графіку у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Графіки адаптивні для перегляду в браузері та доступні для завантаження.

в) Відображення симптомів

1. Система повинна: Відображати опис і симптоми діагнозу (наприклад, “Irregular heartbeat, rapid pulse…” для Atrial Fibrillation) за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз ЕКГ із діагнозом Atrial Fibrillation, перевірка відображення симптомів (текст до 1000 символів).
4. Вхід: Остаточний діагноз (один із 10 класів: Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy).
5. Вихід: Текстовий опис і симптоми діагнозу, відображені у веб-інтерфейсі.
6. Послідовність операцій:

– Отримання остаточного діагнозу.

– Пошук відповідного опису та симптомів у базі даних MongoDB.

– Відображення тексту у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення повідомлення “Symptoms not available” у веб-інтерфейсі, відображення попередження в консолі сервера.
2. Примітки: Опис симптомів допомагає лікарям інтерпретувати результати діагностики.

3.2.6 Пошук і сповіщення

Цей підпункт описує вимоги до пошуку звітів і відображення повідомлень про результати аналізів ЕКГ.

а) Пошук звітів

1. Система повинна: Виконувати пошук звітів за ідентифікатором із реєстр-незалежним пошуком за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Пошук за ідентифікатором пацієнта (наприклад, “12345”), перевірка відповідності результатів, вимірювання часу обробки (<1 с).
4. Вхід: Запит на пошук (рядок довжиною 4–20 символів, що містить літери A-Z, a-z, цифри 0-9), надісланий через форму пошуку у веб-інтерфейсі у форматі application/x-www-form-urlencoded.
5. Вихід: Таблиця у веб-інтерфейсі, що містить записи про пацієнтів (ідентифікатор, ім’я, ідентифікатор лікаря) із кнопкою “Delete” для кожного запису, відображена з пагінацією (10 записів на сторінку).
6. Послідовність операцій:

– Отримання запиту на пошук через HTTP GET-запит.

– Виконання реєстр-незалежного пошуку в базі даних MongoDB за регулярним виразом.

– Повернення відфільтрованих записів, пов’язаних із ідентифікатором лікаря.

– Відображення результатів у таблиці з пагінацією.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “No results found” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Пошук підтримує частковий збіг і обмежується даними, доступними поточному лікарю.

б) Відображення повідомлень про результати

1. Система повинна: Відображати список до 10 останніх результатів аналізу ЕКГ як повідомлення за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Перевірка відображення списку, сортування результатів за міткою часу в порядку спадання, відображення діагнозів і міток часу.
4. Вхід: Остаточні діагнози (один із 10 класів серцевих захворювань) і мітки часу (формат ISO 8601), збережені в базі даних MongoDB.
5. Вихід: Список повідомлень (до 10 записів) у веб-інтерфейсі, кожен із діагнозом, міткою часу та посиланням на детальні результати.
6. Послідовність операцій:

– Отримання до 10 останніх записів результатів аналізу з бази даних MongoDB.

– Сортування записів за міткою часу у форматі ISO 8601 у порядку спадання.

– Форматування списку у форматі HTML.

– Відображення списку у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення порожнього списку у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Повідомлення інформують лікаря про нові результати аналізу і доступні лише для поточного лікаря.

в) Доступ до детальних результатів

1. Система повинна: Надавати доступ до детальних результатів аналізу через посилання в повідомленнях за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Середня.
3. Перевірка: Натискання на посилання в повідомленні, перенаправлення до сторінки з детальними результатами, перевірка вмісту (діагноз, діаграма, графік).
4. Вхід: Вибір посилання в повідомленні (містить діагноз і мітку часу).
5. Вихід: Сторінка у веб-інтерфейсі з текстовим діагнозом (наприклад, “Diagnosis: Atrial Fibrillation (92%)”), стовпчиковою діаграмою імовірностей для 10 класів серцевих захворювань і графіком ЕКГ-сигналу з анотаціями R-піків.
6. Послідовність операцій:

– Отримання запиту на детальні результати через HTTP GET-запит.

– Пошук запису в базі даних MongoDB за міткою часу та ідентифікатором лікаря.

– Відображення детальної сторінки з діагнозом, стовпчиковою діаграмою і графіком у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Result not found” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Посилання спрощують навігацію до детальних результатів аналізу.

3.2.7 Генерація звітів

Цей підпункт описує вимоги до створення та завантаження звітів у форматі PDF.

а) Генерація PDF-звітів

1. Система повинна: Генерувати PDF-звіти, що містять діагноз, ймовірності, графік сигналу, симптоми, ідентифікатор пацієнта, список файлів і мітку часу, за менш ніж 3 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Генерація звіту після аналізу ЕКГ, перевірка вмісту (діагноз, ймовірності, графік, симптоми, ідентифікатор, файли, мітка часу), перевірка розміру файлу (<2 МБ).
4. Вхід: Остаточний діагноз (один із 10 класів серцевих захворювань), середні ймовірності (числа від 0 до 1), статичний графік ЕКГ-сигналу з анотаціями R-піків у форматі PNG (кодованому в base64), симптоми діагнозу (текст до 1000 символів), ідентифікатор пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів), список імен файлів ЕКГ, мітка часу аналізу (формат ISO 8601).
5. Вихід: PDF-звіт у форматі PDF 1.7, доступний для завантаження через веб-інтерфейс.
6. Послідовність операцій:

– Збір даних (діагноз, ймовірності, графік, симптоми, ідентифікатор, файли, мітка часу) з бази даних MongoDB.

– Форматування звіту у форматі A4 (портретна орієнтація).

– Генерація PDF-звіту за допомогою бібліотеки (наприклад, ReportLab).

– Збереження PDF для завантаження у тимчасовій директорії сервера.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Failed to generate report” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Звіти придатні для друку та архівування.

б) Завантаження звітів

1. Система повинна: Надавати PDF-звіти для завантаження з унікальними назвами, базованими на мітках часу, за менш ніж 0.5 секунди.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження звіту, перевірка назви файлу (наприклад, “report\_20250615\_153600.pdf”), вимірювання часу передачі (<0.5 с).
4. Вхід: PDF-звіт, що містить діагноз, ймовірності, графік ЕКГ-сигналу, симптоми, ідентифікатор пацієнта, список файлів і мітку часу.
5. Вихід: PDF-звіт у форматі PDF 1.7, доступний для завантаження з унікальною назвою (наприклад, “report\_YYYYMMDD\_HHMMSS.pdf”).
6. Послідовність операцій:

– Генерація назви файлу на основі мітки часу у форматі ISO 8601.

– Передача PDF-звіту через HTTP-відповідь.

– Видалення тимчасового PDF-файлу з сервера після завершення завантаження.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Download failed” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Унікальні назви файлів запобігають конфліктам під час завантаження.

3.2.8 Підтримка користувачів

Цей підпункт описує вимоги до надання навчальних матеріалів для користувачів.

а) Навчальний посібник

1. Система повинна: Надавати текстовий навчальний посібник із інструкціями, доступний із веб-інтерфейсу за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Середня.
3. Перевірка: Доступ до посібника через веб-інтерфейс, перевірка вмісту (текст до 5000 символів, структурований із заголовками H1–H3 і списками).
4. Вхід: Жоден (доступ через посилання або кнопку у веб-інтерфейсі).
5. Вихід: Текстові інструкції, відображені у веб-інтерфейсі у форматі HTML.
6. Послідовність операцій:

– Отримання запиту на перегляд посібника через HTTP GET-запит.

– Завантаження тексту посібника з бази даних MongoDB або статичного файлу на сервері.

– Відображення тексту у веб-інтерфейсі.

1. Обробка помилок: Відображення спливаючого повідомлення “Tutorial not available” у веб-інтерфейсі, відображення в консолі сервера.
2. Примітки: Посібник спрощує освоєння системи для лікарів, відеоінструкції відсутні.

3.2.9 Логування та управління ресурсами

Цей підпункт описує вимоги до управління ресурсами системи.

а) Очищення ресурсів

1. Система повинна: Очищати ресурси (закриття з’єднань із базою даних, видалення тимчасових даних) при завершенні роботи системи за менш ніж 1 секунду.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завершення роботи системи, перевірка закриття всіх з’єднань із базою даних MongoDB, видалення тимчасових файлів із сервера.
4. Вхід: Сигнали завершення роботи системи (наприклад, SIGTERM).
5. Вихід: Жоден (внутрішня операція, ресурси очищені).
6. Послідовність операцій:

– Отримання сигналу завершення роботи системи.

– Закриття всіх активних з’єднань із базою даних MongoDB (версія 6.0 або новіша).

– Видалення тимчасових файлів і даних сесії з внутрішнього сховища сервера.

1. Обробка помилок: Відображення повідомлення “Failed to clean up resources” у консолі сервера, повідомлення адміністратору через системний alert.
2. Примітки: Очищення ресурсів оптимізує продуктивність системи та відповідає вимогам GDPR щодо видалення тимчасових даних.

3.3 Вимоги до продуктивності

Цей підрозділ визначає статичні та динамічні числові вимоги до програмного забезпечення HeartSync Analyzer та взаємодії користувачів із системою як цілого. Статичні вимоги охоплюють кількість підтримуваних користувачів, обсяг інформації та типи даних, що обробляються системою. Динамічні вимоги включають кількість транзакцій, задач і обсяг даних, що обробляються за певний час у нормальних (до 50 одночасних користувачів) і пікових (до 100 одночасних користувачів) умовах. Усі вимоги сформульовано у вимірних термінах, наприклад, “95% транзакцій авторизації обробляються за менш ніж 1 секунду”, щоб уникнути якісних описів типу “користувач не повинен чекати завершення операції”. Продуктивність системи розрахована на локальну мережу зі швидкістю 100 Мбіт/с, що підтримує 20–100 щоденних аналізів електрокардіограм (ЕКГ). Система працює через веб-браузери Google Chrome (версія 120.0 або новіша) і Mozilla Firefox (версія 115.0 або новіша), використовуючи протокол HTTP на порті 80 та базу даних MongoDB (версія 6.0 або новіша) для зберігання даних.

3.3.1 Статичні вимоги до продуктивності

а) Підтримка одночасних користувачів

1. Система повинна: Підтримувати до 100 одночасних користувачів, кожен із яких виконує операції через веб-інтерфейс.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Підключення 100 користувачів через веб-інтерфейс у браузерах Google Chrome (версія 120.0 або новіша) або Mozilla Firefox (версія 115.0 або новіша), виконання операцій (введення логіна та пароля для авторизації, завантаження файлів ЕКГ, пошук записів за ідентифікатором пацієнта, перегляд діагнозів і графіків, завантаження PDF-звітів), перевірка, що затримки не перевищують 2 секунд для будь-якої операції.
4. Примітки: Кожен користувач виконує до 5 транзакцій за хвилину, включаючи:
5. Аутентифікацію з логіном (рядок довжиною 4–50 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9, символи “\_” або “-”) і паролем (рядок довжиною 8–50 символів, із принаймні однією великою літерою, однією малою літерою, однією цифрою та одним спеціальним символом).
6. Завантаження файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, через drag-and-drop або вибір файлів.
7. Пошук записів за ідентифікатором пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9).
8. Перегляд результатів аналізу (діагноз, стовпчикова діаграма імовірностей, графік із R-піками).
9. Завантаження PDF-звітів із діагнозом, імовірностями, графіком, симптомами, ідентифікатором і міткою часу.

б) Обробка записів даних про пацієнтів

1. Система повинна: Обробляти до 10 000 записів даних про пацієнтів у базі даних MongoDB (версія 6.0 або новіша).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Збереження 10 000 записів, кожен із яких містить ідентифікатор пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9), ім’я пацієнта (рядок до 100 символів) та ідентифікатор лікаря (рядок довжиною 4–50 символів), перевірка відображення таблиці даних із пагінацією (10 записів на сторінку) у веб-інтерфейсі за менш ніж 1 секунду.
4. Примітки: Записи ізольовані за ідентифікатором лікаря для забезпечення конфіденційності відповідно до вимог GDPR. Кожен запис включає мітку часу створення у форматі ISO 8601. Система підтримує операції збереження, пошуку та видалення записів із пагінацією для ефективного доступу.

в) Обробка ЕКГ-даних

1. Система повинна: Обробляти до 1 ГБ даних ЕКГ на одного користувача за сеанс роботи через веб-інтерфейс.
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, загальним обсягом 1 ГБ (наприклад, 200 файлів по 5 МБ), перевірка валідації (формат, частота дискретизації 250–500 Гц, кількість відведень 1–12) і аналізу (класифікація, генерація графіку R-піків) кожного файлу за менш ніж 10 секунд.
4. Примітки: Дані ЕКГ включають файли з частотою дискретизації 250–500 Гц, нормалізованою до 360 Гц на етапі аналізу, мінімальною тривалістю 10 секунд і кількістю відведень 1–12. Система тимчасово зберігає файли у внутрішньому сховищі сервера та видаляє їх після обробки або через 1 годину, відповідно до вимог GDPR.

3.3.2 Динамічні вимоги до продуктивності

а) Обробка транзакцій авторизації

1. Система повинна: Обробляти 95% транзакцій авторизації за менш ніж 1 секунду в нормальних умовах (до 50 одночасних користувачів).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Виконання 1000 запитів авторизації, кожен із логіном (рядок довжиною 4–50 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9, символи “\_” або “-”) і паролем (рядок довжиною 8–50 символів, із принаймні однією великою літерою, однією малою літерою, однією цифрою та одним спеціальним символом), надісланих через веб-форму у веб-інтерфейсі, вимірювання часу обробки, забезпечення, що 950 запитів виконуються за менш ніж 1 секунду.
4. Примітки: Нормальні умови передбачають до 50 одночасних користувачів, пікові — до 100. У разі перевищення 5 невдалих спроб авторизації за 1 хвилину для одного користувача система блокує його на 5 хвилин і надсилає повідомлення адміністратору через системний alert. Транзакції включають перевірку даних у базі даних MongoDB і створення сесії користувача.

б) Обробка завантаження та валідації файлів ЕКГ

1. Система повинна: Обробляти 90% запитів на завантаження та валідацію файлів ЕКГ за менш ніж 2 секунди в пікових умовах (100 одночасних користувачів).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Завантаження 100 файлів ЕКГ у стандартних форматах, сумісних із MIT-BIH, PTB-XL або CinC-2020, розміром приблизно 5 МБ кожен, 100 одночасними користувачами через drag-and-drop або вибір файлів у веб-інтерфейсі, вимірювання часу валідації (перевірка формату, частоти дискретизації 250–500 Гц, кількості відведень 1–12), забезпечення, що 90 файлів обробляються за менш ніж 2 секунди.
4. Примітки: Пікові умови передбачають 100 одночасних користувачів, кожен із яких завантажує 1–2 файли. Валідація включає перевірку метаданих (частота, відведення) і тривалості сигналу (не менше 10 секунд). У разі помилок (невідповідний формат, розмір >10 МБ) система відображає повідомлення “Invalid file format or missing metadata” або “File too large” у веб-інтерфейсі та в консолі сервера.

в) Аналіз ЕКГ-сигналів

1. Система повинна: Виконувати аналіз ЕКГ-сигналів, включаючи класифікацію за 10 класами серцевих захворювань (Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy) і генерацію графіку з анотаціями R-піків, за менш ніж 10 секунд для 95% файлів у нормальних умовах (до 50 одночасних користувачів).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Аналіз 100 файлів ЕКГ тривалістю 30 секунд, із частотою дискретизації 360 Гц і двома каналами, вимірювання часу обробки (завантаження, очищення, сегментація, фільтрація, нормалізація, класифікація, визначення R-піків), забезпечення, що 95 файлів обробляються за менш ніж 10 секунд.
4. Примітки: Аналіз включає:
5. Нормалізацію частоти до 360 Гц.
6. Сегментацію на 10-секундні фрагменти з 50% перекриттям.
7. Фільтрацію шумів (смуговий фільтр 0.5–40 Гц).
8. Нормалізацію до нульового середнього та одиничного відхилення.
9. Класифікацію з F1-score не менше 0.80 для критичних класів (Atrial Fibrillation, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block).
10. Генерацію графіку з анотаціями R-піків із точністю ±10 мс.
11. У разі помилок система відображає повідомлення “Prediction error” або “Failed to load signal” у веб-інтерфейсі та в консолі сервера.

г) Генерація PDF-звітів

1. Система повинна: Генерувати PDF-звіти, що містять діагноз, ймовірності для 10 класів серцевих захворювань, статичний графік ЕКГ-сигналу з анотаціями R-піків, симптоми діагнозу, ідентифікатор пацієнта, список файлів і мітку часу, за менш ніж 3 секунди для 95% запитів у нормальних умовах (до 50 одночасних користувачів).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Генерація 100 PDF-звітів після аналізу ЕКГ, вимірювання часу створення кожного звіту, забезпечення, що 95 звітів генеруються за менш ніж 3 секунди, перевірка розміру файлу (<2 МБ) і вмісту (діагноз, ймовірності, графік, симптоми до 1000 символів, ідентифікатор, файли, мітка часу у форматі ISO 8601).
4. Примітки: Звіти генеруються у форматі PDF 1.7, форматуються для друку на аркушах A4 (портретна орієнтація). У разі помилок система відображає повідомлення “Failed to generate report” у веб-інтерфейсі та в консолі сервера.

д) Пошук за ідентифікатором пацієнта

1. Система повинна: Виконувати пошук записів за ідентифікатором пацієнта за менш ніж 1 секунду для 98% запитів у пікових умовах (100 одночасних користувачів).
2. Важливість: Висока.
3. Перевірка: Виконання 1000 пошукових запитів, кожен із ідентифікатором пацієнта (рядок довжиною 4–20 символів, літери A-Z, a-z, цифри 0-9), надісланих через форму пошуку у веб-інтерфейсі 100 одночасними користувачами, вимірювання часу обробки, забезпечення, що 980 запитів виконуються за менш ніж 1 секунду.
4. Примітки: Пошук є реєстр-незалежним і підтримує частковий збіг (наприклад, “123” знаходить “12345”). Результати обмежуються записами, пов’язаними з ідентифікатором лікаря, і відображаються в таблиці з пагінацією (10 записів на сторінку). У разі відсутності результатів система відображає повідомлення “No results found” у веб-інтерфейсі та в консолі сервера.

3.4 Логічні вимоги до бази даних

Цей підрозділ визначає логічні вимоги до інформації, що зберігається в базі даних системи HeartSync Analyzer, включаючи типи даних, частоту використання, можливості доступу, сутності, їхні зв’язки, обмеження цілісності та вимоги до збереження. Вимоги описують логічну модель даних, уникаючи деталей фізичної реалізації, таких як вибір конкретної системи управління базами даних. Система повинна використовувати нереляційну базу даних для зберігання даних про лікарів, пацієнтів і результати аналізів електрокардіограм (ЕКГ), забезпечуючи ізоляцію даних між лікарями для відповідності вимогам GDPR.

3.4.1 Типи інформації та частота використання

а) Система повинна зберігати облікові дані лікарів.

1. Тип інформації: Ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів, унікальний), ім’я користувача (рядок, 4–50 символів, унікальний), зашифрований пароль (рядок, до 128 символів).
2. Частота використання: Читання при кожній авторизації (~5–10 разів на день на лікаря), запис при реєстрації або оновленні (<1 раз на місяць).
3. Примітки: Дані забезпечують безпечну авторизацію та ізоляцію доступу до даних лікаря.

б) Система повинна зберігати метадані пацієнтів.

1. Тип інформації: Ідентифікатор пацієнта (рядок, 4–20 символів, унікальний), ім’я (рядок, до 100 символів), ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів).
2. Частота використання: Запис при додаванні пацієнта (10 разів на день на лікаря), читання при відображенні списку, пошуку, аналізі ЕКГ або сповіщеннях (20–30 разів на день), видалення (<5 разів на день).
3. Примітки: Дані пов’язують результати аналізу ЕКГ із конкретним пацієнтом і лікарем.

в) Система повинна зберігати результати аналізу ЕКГ.

1. Тип інформації: Ідентифікатор пацієнта (рядок, 4–20 символів), ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів), мітка часу (формат ISO 8601, наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z”), діагноз (рядок, один із 10 класів: Normal, Atrial Fibrillation, Premature Ventricular Contraction, Premature Atrial Contraction, Myocardial Infarction, Left Bundle Branch Block, Right Bundle Branch Block, First-Degree AV Block, ST-T Changes, Hypertrophy), ймовірності (масив із 10 чисел, 0–1, сума ~1), назви файлів ЕКГ (масив рядків, до 10 елементів), графік R-піків (base64-закодоване зображення PNG, до 1 МБ), PDF-звіт (base64-закодований PDF, до 2 МБ), тип набору даних (рядок, наприклад, “MIT-BIH”, “PTB-XL”, “CinC-2020”).
2. Частота використання: Запис після кожного аналізу (5–10 разів на день на лікаря), читання для відображення результатів, пошуку, сповіщень або завантаження звітів (20–30 разів на день).
3. Примітки: Дані підтримують звіти, сповіщення, пошук і історію аналізів.

3.4.2 Можливості доступу

а) Система повинна надавати доступ до облікових даних лікарів виключно для авторизації.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба авторизації з коректними (існуюче ім’я користувача, правильний пароль) і некоректними даними, перевірка доступу лише до відповідного запису лікаря.
3. Примітки: Доступ обмежено перевіркою зашифрованого пароля для забезпечення безпеки та конфіденційності.

б) Система повинна обмежувати доступ до метаданих пацієнтів лише для лікаря-власника, ідентифікованого через ідентифікатор лікаря.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба читання метаданих двома лікарями, перевірка, що кожен бачить лише записи, де ідентифікатор лікаря відповідає його обліковому запису.
3. Примітки: Ізоляція даних забезпечує конфіденційність і відповідність вимогам GDPR.

в) Система повинна обмежувати доступ до результатів аналізу ЕКГ лише для лікаря-власника, ідентифікованого через ідентифікатор лікаря.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба читання результатів двома лікарями, перевірка, що кожен бачить лише записи, де ідентифікатор лікаря відповідає його обліковому запису.
3. Примітки: Ізоляція даних гарантує захист персональних даних і відповідність GDPR.

3.4.3 Сутності та їхні зв’язки

а) Сутність “Лікар”:

1. Атрибути: Ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів, унікальний), ім’я користувача (рядок, 4–50 символів, унікальний), зашифрований пароль (рядок, до 128 символів).
2. Зв’язки: Один до багатьох із сутністю “Пацієнт” через ідентифікатор лікаря; один до багатьох із сутністю “Результат аналізу” через ідентифікатор лікаря.
3. Примітки: Лікар є власником даних пацієнтів і результатів аналізів, забезпечуючи ізоляцію даних.

б) Сутність “Пацієнт”:

1. Атрибути: Ідентифікатор пацієнта (рядок, 4–20 символів, унікальний), ім’я (рядок, до 100 символів), ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів).
2. Зв’язки: Багато до одного із сутністю “Лікар” через ідентифікатор лікаря; один до багатьох із сутністю “Результат аналізу” через ідентифікатор пацієнта.
3. Примітки: Пацієнт пов’язує результати аналізу ЕКГ із лікарем для управління даними.

в) Сутність “Результат аналізу”:

1. Атрибути: Ідентифікатор пацієнта (рядок, 4–20 символів), ідентифікатор лікаря (рядок, 4–50 символів), мітка часу (формат ISO 8601), діагноз (рядок, один із 10 класів), ймовірності (масив із 10 чисел, 0–1), назви файлів ЕКГ (масив рядків, до 10 елементів), графік R-піків (base64-закодоване зображення), PDF-звіт (base64-закодований PDF), тип набору даних (рядок).
2. Зв’язки: Багато до одного із сутностями “Пацієнт” і “Лікар” через відповідні ідентифікатори.
3. Примітки: Результат зберігає підсумки аналізу ЕКГ для звітів, сповіщень і історії.

3.4.4 Обмеження цілісності

а) Система повинна забезпечити унікальність імені користувача для сутності “Лікар” у межах системи.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба створення двох лікарів із однаковим ім’ям користувача, перевірка відображення помилки “Duplicate username”.
3. Примітки: Унікальність запобігає конфліктам під час авторизації.

б) Система повинна забезпечити унікальність ідентифікатора пацієнта в межах системи.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба створення двох пацієнтів із однаковим ідентифікатором, перевірка відображення помилки “Patient ID already exists”.
3. Примітки: Унікальність забезпечує однозначну ідентифікацію пацієнтів.

в) Система повинна перевіряти наявність ідентифікатора пацієнта перед збереженням результату аналізу.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба збереження результату з неіснуючим ідентифікатором пацієнта, перевірка відображення помилки “Invalid patient ID”.
3. Примітки: Обмеження забезпечує цілісність зв’язків між сутностями.

г) Система повинна забезпечити відповідність діагнозу одному з 10 визначених класів.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Спроба збереження результату з некоректним діагнозом (наприклад, “Unknown”), перевірка відображення помилки “Invalid diagnosis”.
3. Примітки: Обмеження гарантує коректність результатів аналізу.

3.4.5 Вимоги до збереження даних

а) Система повинна зберігати дані лікарів протягом усього строку експлуатації системи.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Перевірка доступу до даних лікаря через 5 років після створення, забезпечення незмінності запису.
3. Примітки: Дані необхідні для авторизації та ізоляції доступу.

б) Система повинна зберігати метадані пацієнтів і результати аналізу ЕКГ протягом принаймні 5 років.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Перевірка доступу до метаданих і результатів через 5 років після створення, забезпечення збереження всіх атрибутів.
3. Примітки: Термін відповідає медичним стандартам і вимогам GDPR.

3.5 Обмеження проєктування

Цей підрозділ визначає обмеження дизайну, накладені стандартами, апаратними обмеженнями чи іншими факторами, що впливають на розробку системи HeartSync Analyzer. Обмеження спрямовані на забезпечення відповідності регуляторним вимогам, сумісності з апаратним забезпеченням і коректної роботи веб-інтерфейсу для аналізу електрокардіограм (ЕКГ).

3.5.1 Відповідність стандартам

а) Система повинна відповідати стандарту GDPR для захисту персональних даних.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Перевірка ізоляції даних за ідентифікатором лікаря (рядок, 4–50 символів), шифрування паролів із використанням безпечного алгоритму хешування (наприклад, bcrypt з мінімальною довжиною хешу 128 символів), логування всіх операцій доступу до даних (авторизація, читання, запис, видалення) із міткою часу (формат ISO 8601, наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z”), ідентифікатором користувача та типом операції. Логи повинні зберігатися щонайменше 5 років і бути доступними для аудиту.
3. Примітки: GDPR вимагає ізоляції персональних даних (імена пацієнтів, ідентифікатори, результати аналізу), безпечного зберігання паролів і аудиту доступу для забезпечення конфіденційності.

б) Система повинна генерувати PDF-звіти у форматі PDF 1.7.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Генерація звіту, що містить діагноз (один із 10 класів), ймовірності (10 чисел, 0–1), графік R-піків (PNG-зображення), симптоми, ідентифікатор пацієнта (рядок, 4–20 символів), список назв файлів ЕКГ (масив рядків, до 10 елементів) і мітку часу (ISO 8601). Перевірка формату через PDF-валідатор, забезпечення сумісності з Adobe Acrobat Reader (версія ≥10).
3. Примітки: Формат PDF 1.7 забезпечує універсальну сумісність і довгострокову доступність звітів.

в) Система повинна логувати всі зміни в базі даних, включаючи додавання або видалення даних лікарів, пацієнтів і результатів аналізу.

1. Важливість: Висока.
2. Перевірка: Виконання операцій (додавання лікаря з унікальним ім’ям користувача, додавання пацієнта з ідентифікатором, видалення, збереження результату аналізу), перевірка системного журналу з записами, наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z INFO: Added patient ID PT123 by user DR456” або “2025-06-14T09:46:00Z ERROR: Failed to add duplicate patient ID PT123”. Логи повинні включати мітку часу (ISO 8601), ідентифікатор користувача, тип операції та результат (успіх/помилка).
3. Примітки: Логування забезпечує аудит для відповідності стандартам безпеки, регуляторним вимогам і відстеження змін у базі даних.

3.5.2 Апаратні обмеження

а) Система повинна працювати на сервері з оперативною пам’яттю ≥16 ГБ, процесором із ≥4 ядрами та графічним процесором (GPU) із ≥4 ГБ пам’яті.

1) Важливість: Висока.

2) Перевірка: Розгортання системи на сервері з 16 ГБ RAM, 4 ядрами CPU (частота ≥2.5 ГГц) і GPU з 4 ГБ пам’яті (наприклад, NVIDIA GTX 1650 або еквівалент). Виконання аналізу 100 файлів ЕКГ (розмір ~5 МБ, тривалість 30 секунд, частота 360 Гц) за <10 секунд на файл, додавання 1000 записів до бази даних за <5 секунд, забезпечення стабільної роботи при одночасному доступі 10 користувачів.

3) Примітки: GPU необхідний для прискорення класифікації сигналів нейронною мережею, а пам’ять і CPU забезпечують обробку даних і операції з базою.

б) Система повинна працювати у веб-браузерах Google Chrome (версія ≥120) і Mozilla Firefox (версія ≥115).

1) Важливість: Висока.

2) Перевірка: Тестування авторизації, завантаження файлів ЕКГ через drag-and-drop, відображення діагнозів, імовірностей, графіків R-піків і PDF-звітів у Chrome (версія ≥120) і Firefox (версія ≥115). Перевірка коректності рендерингу HTML5-елементів, JavaScript-функцій і часу відгуку (<2 секунди на операцію).

3) Примітки: Сумісність із сучасними браузерами забезпечує коректну роботу веб-інтерфейсу для всіх користувачів.

3.6 Атрибути програмної системи

Цей розділ визначає нефункціональні вимоги до системи HeartSync Analyzer, які впливають на її дизайн і забезпечують якість, необхідну для використання лікарями-кардіологами. Атрибути включають надійність, доступність, безпеку, підтримуваність і переносимість, які є наскрізними характеристиками системи. Кожна вимога сформульована у вимірювальних термінах із чіткими критеріями перевірки, поясненням раціональності включення та методами вимірювання. Вимоги не включають деталей реалізації, окрім тих, що визначені замовником (наприклад, Ubuntu, GDPR). Усі вимоги є перевірюваними, відповідають принципам SRS (правильні, недвозначні, повні, послідовні, пріоритетизовані, модифіковані, простежувані), і враховують англійську мову інтерфейсу.

3.6.1 Надійність

Цей підпункт визначає вимоги до надійності системи HeartSync Analyzer, щоб гарантувати стабільну роботу під час обробки електрокардіограм (ЕКГ) і надання результатів лікарям. Надійність вимірюється середнім часом між відмовами (MTBF) і відсотком успішних операцій, враховуючи критичність системи для медичного використання.

а) Система повинна забезпечити середній час між відмовами не менше 720 годин у нормальних умовах експлуатації.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Надійність є критичною для медичної системи, де відмови (зависання програми, помилки обробки) можуть затримати діагностику. MTBF у 720 годин (30 діб) відповідає стандартам для локальних медичних систем із щоденним використанням.
3. Критерії вимірювання: Системний журнал із записами збоїв (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Server crash”), кількість збоїв за 720 годин ≤1.
4. Обробка помилок: У разі збою система записує помилку до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Unexpected server failure”) і перезапускає сервіси за <5 хвилин, як визначено у вимогах до доступності.
5. Примітки: Нормальні умови включають до 10 одночасних користувачів, кожен із до 3 транзакціями на хвилину (авторизація, завантаження файлів, пошук, перегляд результатів, завантаження звітів).

б) Система повинна успішно завершувати ≥99% операцій аналізу ЕКГ-сигналів без помилок у пікових умовах.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Аналіз ЕКГ є основною функцією системи, і помилки (наприклад, відмови моделі класифікації) можуть знизити довіру лікарів до діагнозів. 99% успішних операцій забезпечують високу надійність для медичної діагностики.
3. Перевірка: Виконання 1000 аналізів ЕКГ-файлів (формати MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020, тривалість 30 секунд, частота 360 Гц, розмір ~5 МБ) із 10 одночасними користувачами. Підрахунок успішних операцій (діагноз, ймовірності, графік R-піків), забезпечення ≥990 успішних аналізів без помилок (наприклад, “Prediction error”).
4. Критерії вимірювання: Системний журнал із записами аналізів (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z INFO: Analysis completed for patient ID PT123”), відсоток успішних операцій ≥99%.
5. Обробка помилок: У разі помилки аналізу система відображає повідомлення “Analysis failed, please retry” у веб-інтерфейсі та записує до журналу.
6. Примітки: Пікові умови включають 10 одночасних користувачів, кожен із 1 аналізом одночасно.

3.6.2 Доступність

Цей підпункт визначає вимоги до доступності системи HeartSync Analyzer, щоб гарантувати її безперервну роботу для лікарів у робочий час. Доступність вимірюється відсотком часу безвідмовної роботи (uptime) і часом відновлення після збоїв.

а) Система повинна забезпечити доступність не менше 99.9% протягом робочого часу (8:00–20:00 щодня).

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Система використовується лікарями в робочий час для діагностики серцевих захворювань, і недоступність може затримати обробку ЕКГ. Доступність 99.9% (максимум 43 хвилини простою на місяць) відповідає стандартам для локальних медичних систем.
3. Перевірка: Розгортання системи на сервері з ≥16 ГБ оперативної пам’яті, ≥4 ядрами CPU і GPU з ≥4 ГБ пам’яті на Ubuntu. Моніторинг доступності протягом 30 діб (8:00–20:00) із 10 одночасними користувачами. Підрахунок часу простою (недоступність веб-інтерфейсу, бази даних чи сервісів аналізу), забезпечення простою <43 хвилини на місяць.
4. Критерії вимірювання: Журнал системи із записами простоїв (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Server unavailable”), відсоток доступності ≥99.9% (час роботи/(час роботи + простій)).
5. Обробка помилок: У разі простою система записує помилку до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Service unavailable”) і відображає повідомлення “System temporarily unavailable, please try again later” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Робочий час обмежено 12 годинами на добу, враховуючи типовий графік кардіологів.

б) Система повинна відновлювати роботу після збою за <5 хвилин із втратою не більше 1 незавершеної транзакції.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Швидке відновлення після збоїв (наприклад, відмова сервера чи бази даних) є критичним для забезпечення безперервної діагностики. Втрата ≤1 транзакції (наприклад, незавершений аналіз ЕКГ) мінімізує вплив на користувачів.
3. Перевірка: Моделювання збою сервера (перезапуск сервісів бази даних і веб-додатка) під час виконання 50 транзакцій (авторизація, завантаження файлів, аналіз ЕКГ) із 10 користувачами. Вимірювання часу відновлення (від збою до доступності веб-інтерфейсу), перевірка втрати транзакцій, забезпечення часу відновлення <5 хвилин і втрати ≤1 транзакції.
4. Критерії вимірювання: Журнал системи із записами збоїв і відновлення (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Server crash”, “2025-06-14T09:49:00Z INFO: Server restored”), час відновлення <5 хвилин, кількість втрачених транзакцій ≤1.
5. Обробка помилок: Система повідомляє користувача про втрату транзакції повідомленням “Transaction aborted due to server failure, please retry” і записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Transaction aborted for patient ID PT123”).
6. Примітки: Використання черги для тимчасового зберігання транзакцій мінімізує втрати.

3.6.3 Безпека

Цей підпункт визначає вимоги до захисту системи від випадкового або зловмисного доступу, використання, модифікації, знищення чи розкриття даних, відповідаючи стандарту GDPR і медичним вимогам.

а) Система повинна шифрувати паролі лікарів перед збереженням, використовуючи алгоритм bcrypt.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональность: Захист паролів є обов’язковим для GDPR і запобігає несанкціонованому доступу. bcrypt є стандартом для безпечного хешування паролів у медичних системах.
3. Перевірка: Створення облікового запису лікаря з паролем (рядок, 8–50 символів). Перевірка збереження хешу в базі даних (рядок, до 128 символів) через дамп бази, забезпечення неможливості читання пароля без ключа. Виконання 100 авторизацій із коректними та некоректними паролями, забезпечення часу авторизації <1 секунди.
4. Критерії вимірювання: Наявність хешу пароля (bcrypt) у базі, час авторизації <1 секунда, відсутність читабельного пароля в дампі бази.
5. Обробка помилок: У разі помилки авторизації система записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Invalid login attempt for user DR456”) і повертає повідомлення “Invalid credentials”.
6. Примітки: Шифрування паролів відповідає GDPR і вимогам до логічних вимог бази даних.

б) Система повинна логувати всі дії з даними та обмежувати доступ за ідентифікатором лікаря.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Логування дій і ізоляція доступу забезпечують аудит для GDPR і захист даних від несанкціонованого перегляду іншими лікарями.
3. Перевірка: Виконання операцій двома лікарями (авторизація, додавання пацієнта з ідентифікатором 4–20 символів, аналіз ЕКГ, завантаження звіту). Перевірка системного журналу з записами (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z INFO: User DR456 logged in”, “2025-06-14T09:46:00Z INFO: Added patient ID PT123 by user DR456”). Перевірка доступу лише до даних із відповідним ідентифікатором лікаря, спроба доступу до чужих даних із поверненням HTTP 404 і повідомленням “Not found”.
4. Критерії вимірювання: Журнал у форматі JSON із записами дій, мітками часу (ISO 8601), ідентифікаторами користувача і рівнями важливості (INFO, ERROR). Відсутність доступу до чужих даних (HTTP 404).
5. Обробка помилок: У разі несанкціонованого доступу система записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Unauthorized access attempt by user DR456 to patient ID PT789”) і повертає повідомлення “Not found”.
6. Примітки: Ізоляція і логування відповідають GDPR і логічним вимогам бази даних.

3.6.4 Підтримуваність

Цей підпункт визначає вимоги до зручності обслуговування системи HeartSync Analyzer, щоб полегшити виправлення помилок, оновлення та адаптацію до нових вимог.

а) Система повинна забезпечити внесення оновлень функціоналу (наприклад, додавання нових форматів ЕКГ) за <8 годин робочого часу.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Медичні системи періодично потребують оновлень (наприклад, підтримка нових форматів даних). 8 годин дозволяють адаптувати систему без значних простоїв.
3. Перевірка: Моделювання оновлення для додавання підтримки нового формату ЕКГ (наприклад, .csv із частотою 500 Гц). Розробка та інтеграція модуля валідації і обробки, тестування (авторизація, завантаження, аналіз, відображення результатів), вимірювання часу від специфікації до завершення тестування, забезпечення часу <8 годин.
4. Критерії вимірювання: Час внесення змін <8 годин, успішне виконання всіх транзакцій із новим форматом без збоїв.
5. Обробка помилок: У разі помилки оновлення система записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Failed to process new format .csv”) і відображає повідомлення “Unsupported file format”.
6. Примітки: Модульна структура (окремі компоненти для валідації, обробки, класифікації) полегшує оновлення.

б) Система повинна забезпечити документацію API для всіх модулів із описом функцій і параметрів.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Документація API полегшує підтримку, дозволяючи розробникам швидко інтегрувати нові модулі або виправляти помилки, що критично для довгострокового обслуговування.
3. Перевірка: Перевірка наявності документації API (ендпоінти для авторизації, завантаження файлів, аналізу) у форматі HTML або PDF. Тестування 10 запитів до API (наприклад, POST, GET), забезпечення відповідності документації та відповідей системи, вимірювання часу виконання запитів (<2 секунди).
4. Критерії вимірювання: Наявність документації з описом ендпоінтів, параметрів, форматів даних (JSON, multipart/form-data), час виконання запитів <2 секунди, 100% відповідність документації.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності API система повертає повідомлення “Invalid request” і записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Invalid API request to page”).
6. Примітки: Документація полегшує інтеграцію з новими модулями і відповідає стандартам розробки.

3.6.5 Портативність

Цей підпункт визначає вимоги до переносимості системи HeartSync Analyzer, щоб полегшити її розгортання на інших серверах або операційних системах.

а) Система повинна містити не більше 5% платформозалежного коду для серверної частини.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Обмеження платформозалежного коду полегшує перенесення системи на інші Linux-дистрибутиви (наприклад, CentOS) або хмарні платформи, що може знадобитися для масштабування.
3. Перевірка: Аналіз серверного коду (веб-додаток, обробка ЕКГ, база даних) на наявність платформозалежних компонентів (наприклад, системних викликів Ubuntu). Підрахунок рядків коду (загальних і залежних), забезпечення частки залежного коду <5%. Тестування розгортання на CentOS із виконанням 50 транзакцій (авторизація, аналіз, звіти) без збоїв.
4. Критерії вимірювання: Частка платформозалежного коду <5% (рядки коду/загальні рядки), успішне виконання всіх транзакцій на альтернативній платформі.
5. Обробка помилок: У разі помилки розгортання система записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Platform-specific error on CentOS”) і повертає повідомлення “Deployment failed”.
6. Примітки: Використання стандартних бібліотек (наприклад, Python) мінімізує залежність від платформи.

б) Система повинна забезпечити розгортання на новому сервері за <2 години з мінімальною конфігурацією.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Швидке розгортання полегшує перенесення системи на нові сервери, що може знадобитися для заміни обладнання або масштабування. 2 години включають установку залежностей, конфігурацію та тестування.
3. Перевірка: Розгортання системи на чистому сервері (≥16 ГБ RAM, ≥4 ядра, Ubuntu або CentOS). Установлення залежностей (Python, бібліотеки для CNN), конфігурація веб-додатка і бази даних, виконання 50 транзакцій (авторизація, завантаження файлів, аналіз), вимірювання часу від початку до завершення тестування, забезпечення часу <2 години.
4. Критерії вимірювання: Час розгортання <2 години, успішне виконання всіх транзакцій без збоїв.
5. Обробка помилок: У разі помилки розгортання система записує до журналу (наприклад, “2025-06-14T09:45:00Z ERROR: Failed to install dependencies”) і повертає повідомлення “Setup failed”.
6. Примітки: Автоматизовані скрипти розгортання (наприклад, Docker) полегшують перенесення.

3.6.6 Таблиця пріоритетів атрибутів

Нижче наведено таблицю пріоритетів (див. табл. 3.6) нефункціональних атрибутів системи HeartSync Analyzer, із оцінкою їхньої важливості (Висока(H)/Середня(M)/Низька(L)) та торговельними рішеннями для вирішення конфліктів між атрибутами.

Таблиця 3.6 – Таблиця пріоритетів нефункціональних атрибутів (виконано самостійно)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ID | Характеристика | H/M/L | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Коректність | H |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 | Ефективність | M | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Гнучкість | L | 1 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 | Цілісність/Безпека | H | 1 | 4 | 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 | Інтероперабельність | L | 1 | 2 | 5 | 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 | Підтримуваність | M | 1 | 2 | 6 | 4 | 6 |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 | Переносимість | M | 1 | 2 | 7 | 4 | 7 | 6 |  |  |  |  |  |  |
| 8 | Надійність | H | 1 | 8 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 |  |  |  |  |  |
| 9 | Повторне використання | L | 1 | 2 | 9 | 4 | 9 | 6 | 7 | 8 |  |  |  |  |
| 10 | Тестованість | M | 1 | 2 | 10 | 4 | 10 | 6 | 7 | 8 | 10 |  |  |  |
| 11 | Зручність використання | H | 1 | 11 | 11 | 4 | 11 | 11 | 11 | 8 | 11 | 11 |  |  |
| 12 | Доступність | H | 1 | 12 | 12 | 4 | 12 | 12 | 12 | 8 | 12 | 12 | 12 |  |

Пояснення пріоритетів та торгівельних рішень:

– Коректність (1): Найвищий пріоритет, оскільки система має точно виконувати специфікацію (F1-score ≥0.86, per training logs) і відповідати потребам лікарів. Переважає всі атрибути (1 у всіх клітинках першого стовпця).

– Цілісність/Безпека (4): Високий пріоритет через GDPR і захист даних. Переважає ефективність (2), гнучкість (3), інтероперабельність (5), підтримуваність (6), переносимість (7), повторне використання (9), тестування (10).

– Надійність (8): Високий пріоритет через критичність стабільної роботи. Переважає ефективність (2), гнучкість (3), інтероперабельність (5), підтримуваність (6), переносимість (7), повторне використання (9), тестування (10).

– Доступність (12): Високий пріоритет через потребу в безперервній роботі. Переважає ті ж атрибути, що й надійність.

– Зручність використання (11): Високий пріоритет, оскільки лікарям потрібен інтуїтивний інтерфейс (e.g., drag-and-drop). Переважає ефективність (2), гнучкість (3), інтероперабельність (5), підтримуваність (6), переносимість (7), повторне використання (9), тестування (10).

– Ефективність (2), Підтримуваність (6), Переносимість (7), Тестованість (10): Середній пріоритет, важливі для експлуатації, але поступаються високопріоритетним атрибутам. Переважають гнучкість (3), інтероперабельність (5), повторне використання (9).

– Гнучкість (3), Інтероперабельність (5), Повторне використання (9): Низький пріоритет, оскільки система є локальною і не потребує інтеграції чи частої модифікації. Поступаються всім іншим атрибутам.

3.7 Організація конкретних вимог

Цей розділ визначає оптимальний підхід до організації специфічних вимог для системи HeartSync Analyzer, щоб забезпечити їхню зрозумілість, простежуваність і зручність для розробників, тестувальників, замовників та інших зацікавлених сторін. Система є медичною платформою для аналізу електрокардіограм (ЕКГ), що підтримує авторизацію лікарів-кардіологів, управління даними пацієнтів, діагностику серцевих захворювань і генерацію звітів. Через складність, що охоплює численні функції та нефункціональні вимоги (надійність, безпека, зручність), структуризація вимог є критично важливою для уникнення плутанини, забезпечення повноти специфікації та полегшення розробки, тестування й експлуатації. Розглянуто сім методів організації вимог: за режимами роботи, класами користувачів, об’єктами, функціями, стимулами, відповідями та функціональною ієрархією. Для кожного методу надано детальний аналіз доречності, переваг, обмежень і прикладів. Основним підходом обрано організацію за функціями з частковим використанням функціональної ієрархії, оскільки це найкраще відображає логіку системи, відповідає діаграмі варіантів використання, підтримує потреби кардіологів і спрощує розробку. Вимоги є вимірюваними, перевірюваними, недвозначними, відповідають IEEE 29148:2011. Мова інтерфейсу — англійська.

3.7.1 Режими роботи системи

Цей підпункт описує організацію вимог на основі різних режимів роботи системи, коли її поведінка залежить від режиму, наприклад, онлайн-доступу до веб-інтерфейсу чи офлайн-обробки ЕКГ-сигналів.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за режимами роботи для розподілу функцій у різних сценаріях використання.

1. Важливість: Низька.
2. Раціональність: Система HeartSync Analyzer переважно працює в онлайн-режимі через веб-інтерфейс, забезпечуючи авторизацію, аналіз ЕКГ і генерацію звітів. Офлайн-режим (локальна обробка ЕКГ без мережі) є опціональним і не основним сценарієм. Організація за режимами корисна для систем із чіткими режимами, але має обмежену доречність через фокус на онлайн-функціональності.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка наявності вимог для онлайн-режиму (авторизація, завантаження файлів, аналіз ЕКГ, генерація PDF-звітів) і потенційного офлайн-режиму (локальний аналіз ЕКГ). Тестування 50 транзакцій у онлайн-режимі (наприклад, аналіз файлу MIT-BIH) і, якщо застосовно, 10 транзакцій у офлайн-режимі. Забезпечення чіткого розподілу вимог для кожного режиму без конфліктів.
4. Критерії вимірювання: Наявність вимог для онлайн-режиму (≥90% покриття функцій), опис офлайн-режиму (якщо передбачено), відсутність невизначених режимів.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності режиму специфікація зазначає “Режим не підтримується”, а система відображає повідомлення “Offline mode not available” у веб-інтерфейсі для непідтримуваних функцій.
6. Примітки: Онлайн-режим є основним, тому цей підхід має низький пріоритет.

3.7.2 Класи користувачів

Цей підпункт описує організацію вимог на основі класів користувачів, які мають доступ до різних наборів функцій.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за класами користувачів для ізоляції функцій і забезпечення відповідного доступу.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Основний клас користувачів — лікарі-кардіологи, які виконують авторизацію, управління даними пацієнтів, аналіз ЕКГ і генерацію звітів. У майбутньому може бути передбачена роль адміністратора для управління користувачами або логами. Організація за класами полегшує опис доступу та ізоляцію даних, що відповідає вимогам безпеки.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка вимог для класу “Лікар” (авторизація, додавання/пошук/видалення даних пацієнтів, аналіз ЕКГ, звіти) і потенційного класу “Адміністратор” (управління користувачами, доступ до логів). Тестування доступу двох лікарів до власних даних (50 транзакцій кожен) і спроба доступу до чужих даних із помилкою HTTP 404 (“Not found”).
4. Критерії вимірювання: Наявність вимог для класу “Лікар” (100% покриття функцій), часткове покриття для потенційного класу “Адміністратор” (≥50%), відсутність доступу до даних іншого користувача.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності класу користувача специфікація зазначає “Функція не підтримується для цього класу”, а система повертає повідомлення “Access denied” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Основний клас — лікар, тому цей підхід має середню важливість.

3.7.3 Об’єкти

Цей підпункт описує організацію вимог на основі об’єктів, які є відображенням реальних сутностей у системі, таких як лікар, пацієнт чи результат аналізу.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за об’єктами, що відображають реальні сутності та їхні функції.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Система включає сутності: “Лікар” (авторизація, управління даними), “Пацієнт” (метадані, управління), “Результат аналізу” (діагноз, ймовірності, звіти). Організація за об’єктами відповідає об’єктно-орієнтованому дизайну і полегшує розуміння зв’язків, але поступається організації за функціями через фокус на сервісах.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка вимог для об’єктів “Лікар” (авторизація з ідентифікатором 4–50 символів), “Пацієнт” (додавання даних із ID 4–20 символів), “Результат аналізу” (класифікація, графік R-піків, PDF-звіт). Тестування 50 транзакцій для кожного об’єкта (наприклад, додавання/аналіз/звіт).
4. 1) Критерії вимірювання: Наявність вимог для кожного об’єкта (≥90% покриття атрибутів і функцій), узгодженість із структурою бази даних, відсутність конфліктів.
5. Обробка помилок: У разі невизначеного об’єкта специфікація зазначає “Об’єкт не визначений”, а система повертає повідомлення “Entity not found” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Цей підхід доповнює організацію за функціями, але менш доречний через сервіс-орієнтовану логіку системи.

3.7.4 Функціональність

Цей підпункт описує організацію вимог на основі функцій, які є зовнішніми сервісами системи, що виконуються через послідовність стимулів і відповідей.

а) Система повинна використовувати організацію вимог за функціями як основний підхід для опису ключових сервісів.

1. Важливість: Висока.
2. Раціональність: Функції (авторизація, завантаження файлів, аналіз ЕКГ, генерація PDF-звітів) є основними сервісами системи, що відповідають діаграмі варіантів використання. Організація за функціями є найзручнішою для розробки, тестування та реалізації, оскільки відображає логіку взаємодії користувача з системою.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка вимог до авторизації (форма Sign In), завантаження файлів (формати MIT-BIH, PTB-XL, CinC-2020), аналізу (F1-score ≥0.86), звітування (PDF 1.7).
4. Критерії вимірювання: 100% покриття функцій із діаграми варіантів використання, чіткий опис стимулів (наприклад, клік на “Upload”) і відповідей (відображення діагнозу), відсутність конфліктів.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності функції специфікація зазначає “Функція не визначена”, а система повертає повідомлення “Function not available” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Цей підхід є основним для системи через його простоту та відповідність логіці роботи.

3.7.5 Стимули

Цей підпункт описує організацію вимог на основі стимулів, які ініціюють функції системи, наприклад, завантаження файлу чи натискання кнопки.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за стимулами для опису подій, що запускають функції.

1. Важливість: Низька.
2. Раціональність: Стимули (клік на “Upload”, введення пошукового запиту) є частиною функцій, але їх окремий опис має низький пріоритет через фокус на сервісах. Організація за стимулами корисна для тестування UI, але не є основною.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка вимог для стимулів (завантаження файлу, пошук за ID, запуск аналізу). Тестування 50 стимулів із відповідними відповідями (наприклад, клік на “Analyze” → відображення діагнозу).
4. Критерії вимірювання: ≥80% покриття ключових стимулів (UI-взаємодії), чіткий опис реакцій, відсутність невизначених стимулів.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності стимулу специфікація зазначає “Стимул не визначений”, а система повертає повідомлення “Invalid action” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Цей підхід є вторинним і доповнює організацію за функціями.

3.7.6 Реакція

Цей підпункт описує організацію вимог на основі відповідей системи на стимули, наприклад, відображення результатів чи генерація звіту.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за відповідями для оцінки результатів обробки.

1. Важливість: Низька.
2. Раціональність: Відповіді (відображення діагнозу, PDF-звіт) є частиною функцій, але їх окремий аналіз має низький пріоритет через фокус на сервісах. Організація за відповідями корисна для перевірки вихідних даних, але не є основною.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка вимог для відповідей (результати аналізу з імовірністями, PDF-звіти, графіки R-піків). Тестування 50 відповідей на стимули (наприклад, завантаження файлу → PDF-звіт).
4. Критерії вимірювання: ≥80% покриття відповідей, чіткий опис форматів (JSON, PDF 1.7), час виконання (<3 секунди для PDF), відсутність невизначених відповідей.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності відповіді специфікація зазначає “Відповідь не визначена”, а система повертає повідомлення “Response not generated” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Цей підхід є вторинним і доповнює організацію за функціями.

3.7.7 Функціональна ієрархія

Цей підпункт описує організацію вимог на основі ієрархії функцій, згрупованих за спільними входами, виходами чи доступом до даних.

а) Система повинна підтримувати організацію вимог за функціональною ієрархією для групування складних процесів.

1. Важливість: Середня.
2. Раціональність: Функції системи (валідація файлів, аналіз ЕКГ, управління даними, звітування) можна групувати за процесами, наприклад, “Обробка ЕКГ” (валідація → аналіз → звітування) або “Управління даними” (авторизація → пошук → редагування). Організація за ієрархією доповнює організацію за функціями, полегшуючи аналіз складних взаємодій.
3. Перевірка: Аналіз специфікації вимог, перевірка групування функцій за процесами (≥2 процеси, наприклад, обробка ЕКГ, управління даними).
4. Тестування 50 транзакцій для кожного процесу, забезпечення узгодженості з потоками даних.
5. Обробка помилок: У разі невідповідності ієрархії специфікація зазначає “Ієрархія не визначена”, а система повертає повідомлення “Process not supported” у веб-інтерфейсі.
6. Примітки: Цей підхід доповнює організацію за функціями і є частково застосовним.

3.8 Додаткові коментарі

Цей розділ надає додаткові рекомендації щодо організації специфічних вимог для системи HeartSync Analyzer, щоб полегшити їхню розробку, тестування та підтримку. Система підтримує авторизацію лікарів-кардіологів, аналіз електрокардіограм (ЕКГ) із точністю F1-score ≥0.86 (per training logs), управління даними пацієнтів і генерацію звітів у форматі PDF 1.7. Вимоги організовано відповідно до стандарту IEEE 29148:2011, із використанням англійської мови для інтерфейсу.

а) Використання кількох методів організації: У випадках, коли для нової специфікації вимог доцільно застосовувати кілька методів, описаних у розділі 3.7 (режими роботи, класи користувачів, об’єкти, функції, стимули, відповіді, функціональна ієрархія), вимоги слід структурувати за кількома ієрархіями, адаптованими до потреб системи. Наприклад, для HeartSync Analyzer основна організація за функціями (авторизація, аналіз ЕКГ, звітування) відповідає діаграмі варіантів використання, тоді як функціональна ієрархія (процес “Обробка ЕКГ”: валідація → аналіз → звіт) полегшує аналіз складних взаємодій. Поєднання цих методів забезпечує чіткість для розробників і тестувальників, дозволяючи, наприклад, ізолювати вимоги для лікарів (класи користувачів) і описати обробку даних пацієнтів (об’єкти) окремо.

б) Нотації та інструменти: Для документування вимог доступні численні нотації, методи та автоматизовані інструменти, ефективність яких залежить від обраного методу організації.

1. Для організації за режимами роботи корисними є скінченні автоматні моделі або діаграми станів, які описують поведінку системи в онлайн-режимі (аналіз ЕКГ через веб-інтерфейс) та потенційному офлайн-режимі (локальний аналіз).
2. Для об’єктів доречний об’єктно-орієнтований аналіз, що узгоджується з діаграмою класів, де визначено сутності “Лікар,” “Пацієнт” і “Результат аналізу.”
3. Для функцій ефективними є послідовності стимул-відповідь, що відображають взаємодії, наприклад, клік на “Analyze” → відображення діагнозу “Фібриляція передсердь”.
4. Для функціональної ієрархії корисні діаграми потоків даних і словники даних, які деталізують процеси, такі як “Обробка ЕКГ” (валідація файлу MIT-BIH → класифікація → PDF-звіт).

в) Опис функціональних вимог: У будь-якому методі організації вимоги, позначені як “Функціональна вимога i,” можуть бути описані:

1. У природній мові (наприклад, “Система забезпечує авторизацію за логіном і паролем”).
2. У псевдокоді (наприклад, умовна логіка для валідації файлу ЕКГ).
3. У мові визначення системи (формальний синтаксис для API-ендпоінтів).
4. Через чотири підрозділи: Вступ (мета вимоги, наприклад, аналіз ЕКГ), Входи (дані, наприклад, файл MIT-BIH), Обробка (алгоритм класифікації, F1-score ≥0.86), Виходи (результат, наприклад, JSON із діагнозом).

4. Процес управління змінами

Цей розділ описує процес управління змінами для специфікації вимог до програмного забезпечення (SRS) системи HeartSync Analyzer, медичної платформи для аналізу електрокардіограм (ЕКГ) із точністю F1-score ≥0.86. Процес забезпечує виявлення, документування, оцінку та оновлення SRS для відображення змін у межах проєкту та вимогах, гарантуючи прозорість, простежуваність і відповідність IEEE 29148:2011. Він запобігає неузгодженостям, затримкам і відхиленням від цілей проєкту.

а) Мета та принципи

1. Мета: Встановити порядок обробки запитів на зміну (CR, Change Request) для додавання, модифікації чи видалення вимог, викликаних потребами кардіологів, технічними обмеженнями, регуляторними стандартами (GDPR, HIPAA) або уточненням обсягу.
2. Принципи:

– Формалізація: Офіційні CR для уникнення неоднозначностей.

– Простежуваність: Документування в матриці простежуваності (таблиця вимог із CR-ідентифікаторами).

– Оцінка впливу: Аналіз термінів, ресурсів, якості.

– Узгодження: Рішення через Раду з контролю змін (CCB, Change Control Board).

– Контроль версій: Оновлення SRS із версіями (1.0 → 1.1).

1. Результат: Відповідність системи потребам користувачів і стандартам медичних систем.

б) Подача запитів на зміни

1. Вимоги: Офіційні CR для чіткості та обробки.
2. Джерела:

– Замовник (лікарі, медзаклади).

– Розробники (обмеження, пропозиції).

– Менеджер проєкту (узгодження обсягу).

– Аудитори (GDPR, HIPAA).

1. Формат: Письмово через:

– Електронну пошту менеджеру проєкту.

– Інструмент (Jira, Trello).

– Телефон чи месенджери ініціюють обговорення, але потребують CR.

1. Інформація в CR:

– Назва (наприклад, “Фільтрація звітів за датою”).

– Опис і мета (наприклад, “Для аналізу даних”).

– Пріоритет (Критичний, Високий, Середній, Низький).

– Вплив (на функціональність, терміни).

– Ініціатор (наприклад, “Іван Петренко, ivan.petrenko@hospital.com”).

– Дата подачі.

1. Приклад: CR-015 “Сповіщення про аритмії” через Jira, пріоритет Високий.

в) Реєстрація запитів на зміни

1. Механізм: Фіксація в реєстрі змін (Jira, Google Sheets при збої інструментів) із:

– CR-ідентифікатор (CR-001).

– Назва, опис.

– Статус (Поданий, Схвалений, Відхилений).

– Дати подачі, рішення.

– Відповідальний.

1. Відповідальність: Менеджер реєструє CR за 24 години.
2. Доступність: Реєстр доступний зацікавленим сторонам.
3. Оновлення: Статус змінюється на кожному етапі.

г) Оцінка запитів на зміни

1. Первинний огляд: За 3 дні менеджер призначає оцінювача (аналітик, технічний лідер), перевіряє:

– Чіткість CR.

– Відповідність цілям.

– Попередній вплив.

1. Детальний аналіз: За 5 днів оцінюється:

– Технічна здійсненність (наприклад, F1-score ≥0.86).

– Ресурси, вартість, ризики (GDPR, затримки).

– Вплив на компоненти.

– Простежуваність у матриці.

1. Консультації: Замовник, тестувальники.
2. Результат: Звіт із рекомендацією для CCB.

д) Прийняття рішення щодо змін

1. Склад CCB: Менеджер (голова), замовник, технічний лідер, аналітик, представник якості, за потреби експерти (HIPAA).
2. Процес: CCB розглядає CR на зустрічах, консенсус у CCB (не вся команда). Менеджер вирішує при розбіжностях.
3. Результати:

– Схвалено: Впроваджується.

– Відхилено: З обґрунтуванням.

– Модифіковано: Новий CR.

– Відкладено: На пізніший етап.

1. Терміни: 7 днів (2 для критичних, наприклад, GDPR-оновлення).
2. Повідомлення: Через пошту або Jira.

е) Впровадження змін та оновлення SRS

1. Впровадження: Розробники виконують зміну через Jira.
2. Оновлення SRS:

– Аналітик редагує SRS (наприклад, додає вимогу).

– Версія: 1.0 → 1.1 (дрібні), 1.0 → 2.0 (значні).

– Простежуваність: CR у матриці.

– Перевірка: CCB затверджує.

– Поширення: Git, SharePoint.

1. Терміни: 5 днів після впровадження.

ж) Обмеження контролю змін

1. Неформальні зміни (телефон) відхиляються.
2. CCB вирішує, консенсус команди не потрібен.
3. Некритичні зміни відкладаються на критичних етапах.
4. Екстрені зміни: За 2 дні з документацією.

и) Інструменти та документація

1. Інструменти: Jira, Trello; Google Sheets при збої.
2. Реєстр: Електронна таблиця.
3. Репозиторій: Git, SharePoint.
4. Комунікація: Пошта, Jira.
5. Архівація: Для аудиту.

к) Ролі та обов’язки

1. Менеджер: Координує, головує в CCB.
2. Координатор: Реєструє CR.
3. Аналітик: Аналізує, оновлює SRS.
4. Розробники: Оцінюють, впроваджують.
5. Замовник: Подає CR, затверджує SRS.
6. Якість: Перевіряє стандарти.
7. CCB: Вирішує.

л) Метрики та моніторинг

1. Метрики: Кількість CR, час обробки (<7 днів для ≥90%), вплив на терміни, задоволеність сторін.
2. Аналіз: Щомісяця, з покращеннями.

м) Приклад сценарію

1. 15 червня 2025: CR-015 “Фільтрація звітів” через Jira (Середній).
2. 16 червня: Реєстрація, призначення аналітика.
3. 21 червня: Рекомендація схвалити (10 годин).
4. 23 червня: CCB схвалює.
5. 7 липня: Функція впроваджена.
6. 12 липня: SRS 1.3 розіслано.

5. Затвердження документа

Цей розділ визначає осіб, уповноважених затверджувати специфікацію вимог до програмного забезпечення (SRS) для системи виявлення тахікардії на основі електрокардіограм (HeartSync Analyzer System). Затвердження документа підтверджує, що SRS точно відображає вимоги зацікавлених сторін і може використовуватися як основа для розробки, тестування та впровадження системи. Кожен затверджувач надає своє ім’я, підпис і дату затвердження для забезпечення формальності та простежуваності.

Затверджувачі:

а) Наступні особи є відповідальними за перегляд і затвердження SRS:

1. Менеджер проєкту
2. Ім’я: Ворочек Ольга Григорівна
3. Посада: Менеджер проєкту
4. Обов’язки: Координує розробку SRS, забезпечує відповідність документа цілям проєкту, узгоджує вимоги між замовником і командою розробки. Перевіряє повноту, чіткість і здійсненність вимог.
5. Підпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
6. Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

б) Представник замовника

1. Ім’я: Лещинський Володимир Олександрович
2. Посада: Головний кардіолог, Медичний центр “Здоров’я”
3. Обов’язки: Представляє інтереси кінцевих користувачів (лікарів-кардіологів), підтверджує, що вимоги відповідають клінічним потребам і очікуванням медичного персоналу. Перевіряє функціональність системи з точки зору практичного використання.
4. Підпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
5. Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

в) Технічний керівник

1. Ім’я: Ляпота Віталій Миколайович
2. Посада: Технічний керівник
3. Обов’язки: Оцінює технічну здійсненність вимог, підтверджує, що SRS враховує можливості команди розробки та технологічні обмеження. Забезпечує відповідність вимог архітектурі системи.
4. Підпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
5. Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

г) Керівник із забезпечення якості

1. Ім’я: Широкопетлєва Марія Сергіївна
2. Посада: Керівник відділу забезпечення якості
3. Обов’язки: Перевіряє SRS на відповідність стандартам якості, включаючи чіткість формулювань, тестуваність вимог і відповідність стандартам медичного програмного забезпечення. Забезпечує можливість розроблення планів тестування на основі SRS.
4. Підпис: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
5. Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Процедура затвердження

а) Перегляд документа: Кожен затверджувач отримує копію SRS для ознайомлення. Перегляд включає перевірку відповідності документа своїм зонам відповідальності:

1. Менеджер проєкту перевіряє загальну структуру та узгодженість.
2. Представник замовника оцінює клінічну застосовність.
3. Технічний керівник аналізує технічну здійсненність.
4. Керівник із якості оцінює тестуваність і відповідність стандартам.

б) Зворотний зв’язок: Якщо виявлено недоліки (наприклад, нечіткі вимоги або пропущені аспекти), затверджувач надсилає зауваження менеджеру проєкту в письмовій формі (електронною поштою або через інструмент управління проєктами, наприклад, Jira).

в) Виправлення: Менеджер проєкту координує внесення правок до SRS, залучаючи аналітиків вимог або інших членів команди. Оновлена версія документа повторно надсилається на перегляд.

г) Підписання: Після усунення всіх зауважень затверджувачі підписують фізичну або електронну копію SRS. Електронне затвердження може відбуватися через цифровий підпис або підтвердження електронною поштою.

д) Архівація: Затверджений SRS розміщується в репозиторії проєкту (наприклад, Git, SharePoint) і розсилається всім зацікавленим сторонам. Копія з підписами зберігається для аудиту.

е) Терміни: Процес затвердження завершується протягом 10 робочих днів після надання фінальної версії SRS, якщо не потрібні значні доопрацювання.

Додаткові примітки

Якщо один із затверджувачів не може виконати свої обов’язки (наприклад, через заміну персоналу), менеджер проєкту призначає нового затверджувача, і процес повторюється для оновленої версії документа.

Будь-які зміни до SRS після затвердження обробляються через формальний процес управління змінами, описаний окремо.

Затверджений SRS є офіційною основою для розробки системи, і всі подальші дії (проєктування, кодування, тестування) мають відповідати цьому документу.

6. Допоміжна інформація

Цей розділ містить додаткову інформацію, яка полегшує використання специфікації вимог до програмного забезпечення (SRS) для системи виявлення тахікардії на основі електрокардіограм (HeartSync Analyzer System). Додаткова інформація включає зміст, індекс і додатки, які надають контекст, спрощують навігацію документом і підтримують розуміння вимог. Додатки не є частиною офіційних вимог, і їхня роль чітко визначена для уникнення плутанини.

6.1 Зміст

Зміст SRS забезпечує швидкий доступ до всіх розділів і підрозділів документа, полегшуючи навігацію для зацікавлених сторін. Він розміщується на початку документа і включає номери сторінок для кожного розділу та підрозділу, що спрощує пошук інформації.

6.2 Індекс

Індекс SRS містить алфавітний перелік ключових термінів, понять і вимог, використаних у документі, із зазначенням сторінок, де вони згадуються. Це дозволяє швидко знайти інформацію про важливі аспекти системи, наприклад:

– Аритмії (фібриляція передсердь, передчасне скорочення шлуночків)

– Авторизація користувача

– Валідація файлів ЕКГ

– Класифікація сигналів

– Генерація PDF-звітів

– Безпека даних

– Продуктивність системи

Індекс розміщується перед додатками в кінці SRS і створюється після завершення основного тексту для забезпечення точності посилань. Він особливо корисний для великих документів, де потрібно швидко знайти специфічні вимоги чи терміни.

6.3 Використання додаткової інформації

– Зміст дозволяє швидко знайти потрібний розділ або підрозділ, що особливо корисно для великих документів.

– Індекс спрощує пошук специфічних термінів або вимог, таких як “класифікація аритмій” або “безпека даних.”

– Додатки надають довідкову інформацію, яка допомагає розробникам, тестувальникам, замовникам і регуляторам зрозуміти контекст і деталі вимог.

– Додатки не є обов’язковими для виконання і не входять до офіційних вимог SRS. Їхня роль обмежується наданням додаткового контексту.

6.4 Рекомендація щодо структури розділу “Specific Requirements”

– Для організації підрозділу “Specific Requirements” рекомендую використовувати наступну структуру, яка найкраще відповідає складності системи та потребам зацікавлених сторін:

– Зовнішні інтерфейси: Опис усіх інтерфейсів системи, включаючи інтерфейс користувача (веб-форми, кнопки, графіки), програмні інтерфейси (API для завантаження файлів), апаратні інтерфейси (вимоги до серверів) і комунікаційні інтерфейси.

– Функції: Детальний опис функціональних вимог, поділених на категорії: авторизація, обробка файлів ЕКГ, управління метаданими, аналіз сигналів (<5 с, F1-score ≥0.86), відображення результатів, пошук і сповіщення, генерація звітів, підтримка користувачів, перегляд історії, логування та управління ресурсами. Кожна функція включає опис, входи, виходи, обробку помилок і критерії якості.

– Вимоги до продуктивності: Визначення вимог до швидкості обробки, масштабованості та часу відгуку системи.

– Вимоги до логічної бази даних: Опис структури бази даних для зберігання метаданих, результатів аналізу та журналів подій, включаючи вимоги до унікальності ідентифікаторів і ізоляції даних.

– Обмеження дизайну: Включно з відповідністю стандартам (GDPR, HIPAA, стандарти медичних систем).

– Атрибути програмної системи: Вимоги до надійності, доступності, безпеки (шифрування даних), підтримуваності та портативності.

* Організація специфічних вимог: Вимоги групуються за функціональними ієрархіями (наприклад, обробка сигналів → нормалізація → класифікація), що відповідає підпункту “Functional Hierarchy” у SRS.

6.5 Обґрунтування вибору структури

– Ця структура відповідає таблиці змісту, включаючи всі зазначені підрозділи.

– Вона логічно поділяє вимоги на функціональні та нефункціональні аспекти, що полегшує розуміння для розробників, тестувальників і замовників.

– Групування за функціональною ієрархією дозволяє чітко структурувати складні функції, такі як обробка сигналів ЕКГ, що є ключовим для медичної системи.

– Відповідає стандартам IEEE 830-1998 і IEEE 29148:2011, забезпечуючи універсальність і чіткість.

– Альтернативні структури (наприклад, за класами користувачів або за стимулами) менш підходять, оскільки система має чітко визначені технічні вимоги, які краще організувати за типами даних і функцій.

ДОДАТОК А

Список визначень, абревіатур та скорочень

Цей додаток містить визначення термінів, абревіатур і скорочень, використаних у специфікації вимог до програмного забезпечення (SRS) для системи HeartSync Analyzer — медичної платформи для аналізу електрокардіограм (ЕКГ).

а) Визначення ключових термінів

1. Аритмія — порушення серцевого ритму, наприклад, фібриляція передсердь або передчасне скорочення шлуночків, виявляється за ЕКГ.
2. Веб-фреймворк — програмна платформа для реалізації серверної логіки, обробки API-запитів.
3. Класифікація сигналів — процес визначення типу аритмії за допомогою штучного інтелекту (наприклад, CNN).
4. Шаблонізатор — інструмент для створення динамічних веб-сторінок з даними про пацієнтів і результати аналізу.
5. Бібліотека генерації PDF — інструмент для створення звітів у форматі PDF зі вставкою діаграм і результатів.
6. Бібліотека обробки біосигналів — програмний модуль для аналізу ЕКГ, виявлення R-піків та нормалізації сигналу.

б) Акроніми

1. API – Application Programming Interface — інтерфейс взаємодії між програмами, зокрема між фронтендом і бекендом.
2. CCB – Change Control Board — рада, що приймає рішення про зміни у вимогах до системи.
3. CinC – Cardiology in Computing Challenge — відкритий набір ЕКГ-даних для задач машинного навчання.
4. CNN – Конволюційна нейронна мережа — модель для автоматичного аналізу ЕКГ.
5. CR – Change Request — запит на зміну функціоналу або вимог до системи.
6. ЕКГ – Електрокардіограма — метод реєстрації електричної активності серця.
7. GDPR – General Data Protection Regulation — регламент ЄС щодо захисту персональних даних.
8. Git – система контролю версій для коду та документації.
9. HTTP – HyperText Transfer Protocol — протокол для передачі даних у вебі.
10. IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers — організація, що визначає галузеві стандарти.
11. Jira – інструмент для керування завданнями, релізами й запитами на зміни.
12. JSON – JavaScript Object Notation — формат обміну структурованими даними.
13. MIT-BIH – відкритий набір даних ЕКГ для тестування алгоритмів діагностики.
14. NoSQL – тип бази даних, орієнтованої на зберігання неструктурованих даних.
15. PDF – Portable Document Format — формат електронного документа зі звітами.
16. PTB-XL – великий відкритий набір ЕКГ-даних, орієнтований на складні випадки.
17. R-пікі – характерні точки на ЕКГ, що відображають скорочення шлуночків.
18. SharePoint – платформа для спільного зберігання та обміну документацією.
19. SRS – Software Requirements Specification — документ, що описує вимоги до системи.
20. Trello – інструмент візуального управління завданнями та запитами.
21. UI – User Interface — інтерфейс взаємодії користувача з системою.

в) Скорочення файлів

1. .atr – файл з анотаціями до ЕКГ-сигналів (мітки аритмій).
2. .dat – файл з цифровими сигналами ЕКГ.
3. .hea – файл з метаданими (заголовками) до запису ЕКГ.
4. .mat – файл у форматі MATLAB для зберігання масивів ЕКГ-сигналів.