

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
“ ____ ” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему
“Програмне забезпечення системи отримання та
інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних
користувача з використанням датчику EPIC PS25251”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи КН-22
ОПП «Комп’ютерні науки»
спеціальності 122 «Комп’ютерні науки»
_____ Пилипенко В.С.
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук, доцент
_____ Коваленко А.С.
« ____ » _____ 2026 р.
Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Механіко-технологічний
Кафедра Кібербезпеки та програмного забезпечення
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 12 "Інформаційні технології"
Спеціальність 122 "Комп'ютерні науки"
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма "Комп'ютерні науки"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., проф.

Олексій СМІРНОВ

« 6 » лютого 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Пилипенко Вікторії Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251

2. Керівник роботи

Коваленко Анна Степанівна, канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу № 116-02 від 06.02.2026 року

3. Строк подання студентом роботи до захисту 23.05.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: *Метою роботи є розробка програмного забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251*

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

1. Призначення та область використання.

2. Перегляд аналогічних існуючих систем.

3. Опис і обґрунтування проектних рішень.

4. Етапи програмування системи.

5. Впровадження системи в промислову експлуатацію.

6. Висновки

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

Структурна схема системи

1 аркуш

Функціональна схема системи

1 аркуш

Діаграма процесів

1 аркуш

Блок-схема алгоритму роботи додатку

2 аркуша

7. Дата видачі завдання « 6 » лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.03.2026 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.03.2026 р.	
3.	Розробка моделі компонента	20.03.2026 р.	
4.	Розробка структур даних	25.03.2026 р.	
5.	Розробка алгоритмів зв'язку та відображення	30.03.2026 р.	
6.	Програмування алгоритмів	10.04.2026 р.	
7.	Оформлення ПЗ	17.04.2026 р.	
8.	Попередній захист роботи	23.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 6 » лютого 2026 р.

Підпис керівника

Коваленко А.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 6 » лютого 2026 р.

Підпис здобувача

Пилипенко В.С.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пилипенко В.С. Програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251. 122 Комп'ютерні науки. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Метою розробки є програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Результат роботи – програмна реалізація системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі Python.

Ключові слова: комп'ютерні науки, інтелектуальна обробка електрокардіографічних даних, EPIC PS25251

ABSTRACT

Pylypenko V.S. Software for the system of obtaining and intelligent processing of user electrocardiographic data using the EPIC PS25251 sensor. 122 Computer Science. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

In this final qualification work for the first (bachelor's) level of higher education, software has been developed, which is intended for the system of obtaining and intelligent processing of user electrocardiographic data using the EPIC PS25251 sensor.

The purpose of the development is the software for the system of obtaining and intelligent processing of user electrocardiographic data using the EPIC PS25251 sensor.

The result of the work is the software implementation of the system of obtaining and intelligent processing of user electrocardiographic data using the EPIC PS25251 sensor.

In the process of working on the software model, an analysis of existing hardware and software was performed. All components of the developed software are fully described.

A convenient user interface has been developed. Instructions for working with software tools are provided.

The program can be used on a PC with Windows 10/11.

The program was developed in the Python environment.

Keywords: computer science, intelligent processing of electrocardiographic data, EPIC PS25251

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	2
ВСТУП.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	5
1.1 Призначення системи.....	5
1.2 Область застосування.....	6
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	9
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.....	9
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування.....	20
2.3 Розгорнута постановка завдання	25
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	27
3.1 Опис функціонування системи	27
3.2 Розробка структурної схеми.....	33
3.3 Розробка функціональної схеми	40
3.4 Розробка діаграми процесів.....	50
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ.....	52
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи.....	52
4.2 Захист розробленого програмного забезпечення.....	70
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ	73
6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Пилипенко В.С.					Б	1	88
Перев.	Коваленко А.С.							
Н.контр.	Коваленко А.С.					ЦНТУ КН-22		
Затв.	Смірнов О.А.							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

БМІ	—	біомедична інформація
БМС	—	біомедичні системи
БМП	—	віртуальний медичний пристрій
ЕКГ	—	електрокардіограма
ЕЕГ	—	електроенцефалограма
ЕОГ	—	електроокулограма
ЕМГ	—	електроміограма
ЕРГ	—	електроретинограма
ОС	—	операційна система
ПЗ	—	програмне забезпечення
ЦОС	—	цифрова обробка сигналів

ВСТУП

Актуальність теми. Електрокардіографія (ЕКГ) є одним з основних інструментів медичної діагностики. Штучний інтелект революціонізує сучасну охорону здоров'я, забезпечуючи точнішу та прогнозовану діагностику. У кардіології ШІ відіграє життєво важливу роль, допомагаючи лікарям аналізувати складні електрокардіографічні (ЕКГ) картини з більшою точністю. Оскільки серцево-судинні захворювання продовжують бути провідною причиною смертності в усьому світі, раннє прогнозування раптової зупинки серця залишається значним клінічним викликом. Це дослідження досліджує застосування методів машинного навчання (ML) та глибокого навчання (DL) часових рядів даних ЕКГ для раннього прогнозування серцевих подій, що загрожують життю. Аналіз підтверджує, що моделі глибокого навчання чудово виявляють складні закономірності, автоматично навчаючись ознак безпосередньо з необроблених даних, хоча вони часто вимагають великих наборів даних та значних обчислювальних ресурсів. На противагу цьому, традиційні підходи до машинного навчання є більш обчислювально ефективними та інтерпретованими, що робить їх практичним вибором для середовищ з обмеженими ресурсами. Експериментальні результати демонструють чудову продуктивність моделей глибокого навчання, причому згортова нейронна мережа (CNN) досягла точності 99,89%. Серед моделей машинного навчання класифікатор Random Forest показав найкращі результати, досягнувши точності 99,06% та підкресливши надійність методів ансамблевого навчання. Ці результати демонструють значний потенціал аналізу ЕКГ на основі штучного інтелекту для покращення ранньої діагностики та прийняття клінічних рішень.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

– Огляд існуючих систем отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

– Дослідження системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

– Програмна реалізація системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

На ритм серця роблять постійний вплив центральної й вегетативна нервові системи, насичення крові киснем, різні рефлекси. Всі ці впливи відносять до стаціонарних впливів на ритм серця. У теж час існують змінні фактори, пов'язані з функціонуванням системи кровообігу й подиху, що створюють в ЕКС нестаціонарну складову. Ці ділянки ЕКГ після виявлення виключаються з аналізу як артефакти.

Алгоритм розробленої програми містить у собі наступні кроки, типові для програм такого класу:

- Підготовка вхідних даних: оцифровка, фільтрація й нормування сигналу.
- Розпізнавання характерних ділянок ЕКГ, що мають діагностичне значення (комплексів QRS, PQ, QT і окремих зубців).
- Аналіз параметрів і взаємозв'язку розпізнаних ділянок і формування оцінного висновку.

На першому етапі, як правило, труднощів не виникає. Фільтрація здійснюється як апаратно, так і програмно (у часовий або частотою областях), а характеристики сучасних аналого-цифрових перетворювачів дозволяють уникнути пропущених кодів. На етапі розпізнавання ЕКГ є присутнім ряд труднощів. Електрокардіосигнал квазіперіодичний і послідовні кардіоцикли в точній мері ніколи не повторюють один одного, що спричиняється вибір методів розпізнавання. У даній роботі пропонується використання двох методів: синтаксичного й кореляційного [1].

При використанні синтаксичного методу спочатку виявляється локалізація одного R-зубця пошуком простого максимуму, потім створюється параметричний

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

опис (амплітуда, тривалість переднього й заднього фронту) QRS-Комплексу й далі виробляється сканування всього вихідного масиву вибірок на предмет локалізації аналогічних схожих ділянок, що є іншими QRS-Комплексами. Метод показав гарну стійкість до коливань ізолінії, однак помилявся при сумірності амплітуд R і T зубців і значної зашумленості вихідного сигналу ЕКГ. Помилки, як правило, полягали в пропуску шуканих фрагментів ЕКГ при аналізі.

Кореляційний метод заснований на вимірі ступеня подоби (коефіцієнтів кореляції) еталонного зразка фрагмента ЕКГ (зубця або комплексу зубців) і фрагмента досліджуваної ЕКГ тої ж розмірності при скануванні уздовж часової осі із кроком в один відлік. У результаті одержуємо масив коефіцієнтів кореляції, розподілених по часовій осі сигналу ЕКГ, які максимально наближаються до одиничного значення в ділянках максимальної подібності зразка й фрагмента ЕКГ. Еталонний фрагмент ЕКГ вибирається автоматично або вручну на вихідному сигналі ЕКГ. Також може бути використаний зразок з еталонного банку електрокардіограм або штучно змодельований. Кореляційний метод показав високу чутливість навіть на зашумлених ділянках ЕКГ і дозволив досить точно локалізувати характерні ділянки електрокардіосигналу.

Найбільш доцільним представляється спільне використання, що як взаємно доповнюють, синтаксичного й кореляційного методів для розпізнавання й аналізу ЕКГ. Тим самим можна підвищити точність і надійність розпізнавання електрокардіограм.

1.2 Область застосування

Тенденцією теперішнього часу є створення й використання для обробки, практично, кожного типу квазіперіодичних (зокрема – біомедицинських) сигналів (або групи близьких за формою сигналів) окремої, розробленої тільки для нього математичної моделі. Найчастіше, така розмаїтість моделей не є виправданою, вона утрудняє порівняльний аналіз результатів моделювання, ускладнює

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

завдання цілеспрямованого проведення досліджень необхідністю освоєння великої кількості різнотипних методів. Отже, для підвищення ефективності обробки потоків такого роду інформації, часто й у реальному масштабі часу, потрібна розробка й реалізація математичних методів моделювання, не тільки оптимальних з погляду швидкості одержання кінцевого результату, використання мінімуму комп'ютерної пам'яті або інших ресурсів і забезпечення потрібної точності, але й даючих можливість всебічного й швидкого зіставлення моделей для оцінки якості одержуваних результатів. Розробка сучасних комп'ютерних методів моделювання, створення нових моделей і програмних комплексів, їхнє застосування для аналізу біомедицинської інформації (наприклад, сигналів електрокардіограм – ЕКГ і електроенцефалограмм – ЕЕГ) є актуальним. Так, існує досить багато моделей, заснованих на застосуванні математичної теорії сплесків. Є десятки їхніх різних модифікацій, у яких використовуються різні набори параметрів і припущень, тому важко зіставляти точність одержуваних з їхньою допомогою результатів і оцінити обґрунтованість сформульованих висновків. Відзначимо, наприклад, що Малла С. у своїй моделі запропонував при розкладанні сигналу на кінцевому відрізку модифікувати граничні сплески з метою збереження ортогональності, а узгодження сусідніх відрізків їм не обговорювалося.

Аддисон П.С. зробив висновок про меншу ефективність віконного перетворення Фур'є в порівнянні із всплесковими перетворенням, узгодження розкладання на окремих часових відрізках вироблялося, фактично, за рахунок переходу від дискретних сплесків до безперервного.

Смоленцев Н.К. використовував припущення про те, що верхня гранична частота нормального сигналу ЕКГ, що помітно впливає на його форму, не перевищує 100 Гц, і що можна обмежитися декількома першими шарами розкладання по сплесках Добеші. Він визначив, що при стиску сигналу перекручування на кінцях відрізків сильніше, ніж у середині.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Тим самим, через недостатню дослідженість цієї проблеми в цілому актуальним є визначення найбільш ефективних дискретних сплесків для цифрової обробки тривалого біомедицинського сигналу.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

К6ПЗ_2026

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

Ні для кого не секрет, що комп'ютерні технології проникнули практично в усі аспекти сучасного суспільства: політика, оборона, розваги, освіта й багато чого іншого. Медицина не стала виключенням. Зараз це не секрет, однак 60 років тому все це здавалося науковою фантастикою.

Застосування комп'ютерних технологій у медицині

Величезна база медичних знань, збережена в Інтернеті, доступна й пацієнтам, даючи їм можливість ознайомитися зі своїм захворюванням, розпізнати симптоми, довідатися потрібну інформацію про лікаря й/або клініці, про препарати й т.д. Відносно використання Інтернету пацієнтом ходить не мало суперечок. Справа в тому, що довіряти самому пацієнтові встановлювати собі діагноз і призначати лікування – у край небезпечно для нього самого. З іншого боку, якщо пацієнт сполучає використання інформації з Інтернету з відвідуванням реального лікаря, це може поліпшити якість його лікування.

І, можливо, саме незвичайне застосування комп'ютерних технологій у медицині це відеоігри. Вони використовуються для тренування хірургів, які надалі будуть виконувати лапароскопічні операції (коли в області проведення операції робляться невеликі надрізи для проведення операції усередині, замість великого надрізу й «відкритої» операції). Дослідження 2004 року показали, що хірурги, що грають у відеоігри приблизно по 3 години на тиждень, допускають під час подібних операцій на 37% менше помилок.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Хронологічна шкала взаємозв'язку комп'ютерних технологій і медицини:

- 1954: Комп'ютеризований цитоаналізатор: Електронний оптичний пристрій для скринінгу кліток, підозрюваних у злоякісності.
- 1960: “Brains”: IBM 650 за назвою «Brains» (Мозки) – сканування медичних записів для виявлення тонких аномалій.
- 1960: Опитування пацієнта комп'ютером: Комп'ютеризований анамнез пацієнта
- 1961: Адміністративні й фінансові функції: Впровадження комп'ютерів для виконання адміністративних і фінансових функцій
- 1962: Аналіз електрокардіограми: Електричні імпульси від серця передавалися по телефоні на центральний комп'ютер, що створював криву й аналізував неї.
- 1963: Перша система підтримки прийняття рішень: Впроваджений комп'ютерний підхід до реабілітації. Наприклад, комп'ютер використовувався для визначення оптимального часу носіння гіпсу при хірургічному втручанні.
- 1964: IBM System/360: Вихід у світло комп'ютерів S/360.
- 1964: DEC PDP-8: Презентація «міні»-комп'ютера PDP-8.
- 1964: MEDLARS: MEDLARS – комп'ютеризована система баз даних для індексації й добування медичних цитат з Національної бібліотеки медицини (NLM).
- 1965: Ідея EMR: Розвиток ідеї електронного медичного запису
- 1966: MUMPS (Massachusetts General Hospital Utility Multi-Programming System): Мульти-програмна система Загальклінічної лікарні Массачусетса (MUMPS) – також називана «М» – була мовою програмування для галузі охорони здоров'я.
- 1968: IMIA: Міжнародна асоціація медичної інформатики (IMIA) була створена у Франції.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- 1970: Комп'ютеризація обробки даних з лабораторій: Використання комп'ютерів для проведення лабораторних розрахунків, таких як визначення хімічного складу околоплідної рідини.
- 1971: Комп'ютеризована обробка записів: IBM System/3 Модель 6 був використаний для обробки результатів аналізів пацієнтів
- 1971: COSTAR: База амбулаторних записів пацієнтів, написана мовою MUMPS
- 1971: MEDLINE: MEDLINE вийшов у він-лайн
- 1972: MYCIN: MYCIN – інтерактивна експертна система діагностики й лікування інфекційних захворювань. Розроблена в Стенфордській медичній школі на базі DEC PDP-10.
- 1972: HELP: Оцінка стану здоров'я за допомогою логічного процесу – Health Evaluation through Logical Process (HELP) була розроблена в лікарні LDS
- 1974: Комп'ютерна томографія: Сканер комп'ютерної томографії був винайдений Хаунсфилдом і Кормаком в 1972 році (тільки для голови). В 1976 році – для всього тіла.
- 1974: Комп'ютеризований гамма-ніж: Впровадження першої комп'ютерної програми планування дози навічання для гамма-ножа (спосіб радіохірургічного видалення пухлин головного мозку).
- 1974: Internist-1: Комп'ютерна діагностична система, розроблена в Університеті Піттсбурга.
- 1977: Медична інформатика: Визначена термін «медична інформатика»
- 1978: Fileman: Набір утиліт, написаний мовою MUMPS, що впровадила функції метаданих.
- 1981: IBM PC: Персональний комп'ютер від IBM вийшов у світ.
- 1983: Мережі: Подання громадськості нетворкінгу.
- 1984: ACMI (American College of Medical Informatics): Був створений Американський коледж медичної інформатики (ACMI).

- 1987: HL7: Health Level Seven, Inc. (HL7) була заснована як стандарт для обміну клінічними даними.
- 1988: MUMPS і IBM: MUMPS стає мовою, підтримуваною на IBM
- 1989: WWW (World Wide Web): Винахід «Всесвітньої павутини».
- 1992: Windows 3.1: Випуск Windows 3.1.
- 1996: Palm Pilot: Випуск Palm Pilot (кишенькового персонального комп'ютера).
- 1996: HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act): Конгрес прийняв Закон про переносимості й підзвітності медичного страхування.
- 1999: Хірургічна система da Vinci: Ця роботизирована хірургічна система була розроблена Intuitive Surgical. Прототип був з'явився ще наприкінці 1980-х років у Стенфордському дослідницькому інституті за контрактом з армією США.
- 2000: Передача зображень: Клініки початку передавати електронні копії зображень діагностичного характеру (рентгенівські знімки, знімки МРТ).
- 2001: Широке поширення КПК: На початку 2000-х років працівники охорони здоров'я широко використовували кишенькові пристрої для виконання таких завдань, як доступ до медичної літератури й електронної фармакопеї.
- 2003: Віртуальна колоноскопія: Віртуальна колоноскопія використовує комбінацію технології КТ-сканування й комп'ютерної графіки.
- 2004: WCG: IBM запустила цей проект для пошуку генетичних маркерів різних захворювань.
- 2004: Багатоточечний КТ-сканер: Ця нова технологія сканування серця може в значній мірі замінити ангіограми.
- 2004: Указ №13335: Президент Буш видав цей указ за назвою «Стимули для використання медичних інформаційних технологій».
- 2005: Penelope: Був представлений світу робот-інтерн.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

– 2006: Microsoft купує Azyxxi: Microsoft купила клінічне медичне програмне забезпечення, що може витягати й відображати різні види даних пацієнта.

Електронні медичні записи (EMR)

Ще в 1960 році в газеті New York Times була опублікована стаття, у якій один лікар з Тулейнського університету висловлював цікаву думку про «медичні записи, збережених на плівці, або іншим підходящою для комп'ютера способом, які можуть повністю витиснути письмові записи пацієнтів». В 1967 році в іншій роботі згадувалося наступне бачення майбутнього – «кожний чоловік, жінка або дитина можуть мати всі свої медичні дані, електронно записані у величезній системі пам'яті у Вашингтоні». Пішли обговорення переваг такої системи. Якщо, приміром, у людини трапився серцевий приступ, а він перебуває в іншому місті. У роботі дана відповідь: «призначеному лікареві досить буде подзвонити у Вашингтона, і через секунди перед ним будуть всі дані цього пацієнта». Зараз, через більше піввіку, ми бачимо як такі системи стали реальністю й широко поширилися в різних медичних установах усього світу.

На доданок до переваги віддаленого доступу до даних, EMR володіє й іншими, про які ми поговоримо далі. Виходячи із цих переваг і того факту, що ідея електронних записів існує вже багато десятиліть, можна подумати, що EMR використовуються абсолютно скрізь. Однак це не зовсім так. Приміром, у США EMR використовується тільки в 17% клінік.

Історія EMR

Наприкінці 1960-х років була розроблена мова програмування, називана Мульти-програмна система Загальклінічної лікарні Массачусетса – Massachusetts General Hospital Utility Multi-Programming System(MUMPS) для використання в системах охорони здоров'я. Вона не одержав широкого поширення до 1970-х років, коли почав використовуватися для створення багатьох клінічних програм. І донині багато старих систем працюю з ПО на базі MUMPS. Незважаючи на своє споконвічно медичний напрям, MUMPS широко використовується й в інших

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

галузях, що вимагають великої кількості одночасних підключень до бази даних (банки, фондові біржі, туристичні агенства).

The screenshot displays the Valley Medical Center EMR interface within a Microsoft Internet Explorer browser window. The page title is "PregnoCIS: A Product by BIZMATIC Inc. - Microsoft Internet Explorer". The header includes the Valley Medical Center logo and a welcome message for "Dr. Kemp Stephens". Navigation tabs include Home, Appointments, Patient, CPOE, Mail, Report, and Settings. A secondary navigation bar includes Register, Encounter, Review, Letters-Out, Transcribe, and Letters-In. The main content area is titled "Patient Details" and contains several form fields: Title (Ms), First Name (Maureen), Middle Name (empty), Last Name (Atkinson), Date Of Birth (02-08-1977), Sex (Female), Marital Status (Married), SSN (432-68-9854), Primary Doc (Stephens Kemp), Status (Active), Chart Number (SCL00001), and Ref. Doctor (Johnston Samuel). There are also buttons for Legal, Insurance, and Address. Below this, there are sections for Employer Details (Name: Tr-Valley Credit Union), Emergency Contact Details (Name: Frank Atkinson, Relation: Spouse), and Spouse / Parent / Legal Guardian Details. A photo of a woman is displayed on the right. At the bottom, there are buttons for save, delete, and reset.

Рисунок 2.1 – Інтерфейс користувача EMR

В 1978 році Джозеф (Тед) О'нил і Марти Джонсон разом зі своєю командою розробили Fileman, використовуючи мову MUMPS. Fileman являв собою набір узагальнених процедур, спеціально спрощених для користувачів не розбираються в MUMPS і в програмуванні в цілому. У період з пізніх 1970-их по ранні 80-і на базі Fileman була спроектована безліч утиліт. Пізніше міністерство по справах ветеранів США почало використовувати Fileman як свою офіційну медичну програму.

В 1981 році у Флориді Міккі Сінгер заснував компанію програмного забезпечення за назвою Personalized Programming Inc., що стала однією з багатьох, що сформували надалі компанію Medical Manager Inc. Вона надавала клінікам і часткам практикуючим лікарям програмне забезпечення, популярність якого була настільки велика, що вже до 1997 року більше 24000 клінік і 110000 практикуючих лікарів користувалися їм. Однак далі впливало лише падіння. Замість Medical Manager Inc. прийшла Open Public Public License (GPL), що надає своїм користувачам вихідний код програмного забезпечення, даючи їм можливість проводити необхідну кастомізацію.

На даний момент кількість компаній, що надають рішення для EMR, варіюється від 250 до 500. Деякі їх їх зосереджені на малих системах, начебто виписки рецептів або історії хвороби. Інші ж пропонують пакетні рішення.

Переваги EMR

Основними користувачами EMR є лікарі й інший мед. персонал. Стандартна EMR дає їм доступ до електронної версії медичної історії пацієнта, що раніше, у плінні багатьох років, зберігалася на папері. Так навіщо міняти те, що так довго працювало?

Наведемо переваги:

– Відповідь проста – помилки лікарів. Однією з основних проблем медицини в усі епохи були яторогенні ускладнення стану пацієнта, тобто ті, що були ненавмисно викликані діями мед. персоналу. Приміром, призначення не того препарату або ж призначення занадто великої або малої його дози. Електронні медичні записи в сполученні із системами підтримки прийняття клінічних рішень здатні забезпечити автоматичні перевірки, що запобігають подібні помилки.

– Інша перевага вже згадувалася в даній роботі – це доступ до бази з будь-якої крапки світу. Це дозволяє краще координувати роботу різних фахівців, скорочуючи час на розгляд анамнезу й ухвалення рішення. А час, як ми знаємо, дуже часто є критичним чинником у боротьбі за життя й здоров'я пацієнта.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

– Для полегшення роботи лікарів і зниження часових витрат пацієнта на їхнє відвідування необхідна також і координація EMR з іншими системами, наприклад лабораторними. Раніше пацієнт приходив до лікаря, той призначав йому певні тести / аналізи, пацієнт ішов у лабораторію, передавав призначення, робив тести й результати знову ж записувалися на папір і повинні були бути передані лікареві. Це тривалий процес, у пліні якого не рідкі помилки й плутанина. Почнемо із класики – почерк лікаря може бути нерозбірливий, можуть бути проведені не ті тести, результати можуть бути загублені або переплутані. Якщо ж використовувати взаємозв'язок двох електронних систем, то напрямок і результати будуть поміщені в електронну папку пацієнта, до якої є доступ у лікаря.

– Цей злощасний лікарський почерк несе багато проблем і в процес виписки препаратів. Фармацевт може неправильно прочитати або назву, або дозування ліків, а це, як Ви розумієте, може мати жахливі наслідки. Електронна система виписки рецептів ліквідує можливість такого «нерозуміння».

– Немаловажним є й зручність для пацієнтів, оскільки їм не потрібно продзвонювати всі клініки, які вони відвідували, для збору необхідної медичної історії. Вся вона зберігається в диною папці пацієнта.

– Електронні записи пацієнтів можна (і потрібно) бекаувати, т.д. робити резервні копії. З паперовими записами це складно, і, по правді говорячи, ніхто цього й не робив. Приміром, після урагану Катрина було загублено тисячі історій пацієнтів, а їхнє відновлення зайняло безліч місяців.

– Чим більш розповсюджене EMR буде у світі, тим простіше буде дослідникам. Величезна база даних пацієнтів, їхніх симптомів і хвороб, методів лікування й процесу видужання – все це допоможе вивчати ті або інші захворювання, удосконалюючи методи боротьби з ними.

– У довгостроковій перспективі використання EMR це економічно вигідно. Немає необхідності витрачатися на канцелярію (це дріб'язок, але в глобальних масштабах суми будуть великі), зменшення числа персоналу, скорочення часових витрат, а відповідно збільшення ефективності праці.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Недоліки EMR

Незважаючи на досить значні переваги EMR, їхня швидкість поширення не вражає. Зараз ми розглянемо чому:

– Багато сучасних EMR несумісні. Справа в тому, що в кожній клініці є своя база, що ніяк не працює з базою інших клінік. Оскільки полегшувати процес переходу пацієнта до конкурентів – не вигідно, самі розумієте.

– Великим питанням завжди залишається конфіденційність інформації. Як зробити так, щоб лише потрібна інформація попадала в руки лише потрібних людей? Як убезпечити EMR від зломів? На ці питання багато хто не хочуть відповідати, просто відмовляючись від впровадження електронної системи.

– Для того, щоб EMR була повноцінною, у ній повинна бути історія пацієнтів, а не тільки свіжі дані. Відповідно, цю історію необхідно внести в базу, а це багато ручної роботи, що вимагає не тільки часу, але й фінансових витрат. На це багато клінік не готові.

– Зараз формат у якому зберігаються дані один, а що якщо в майбутньому він зміниться? Чи можна буде одержати доступ до даних? Досить дивні питання, згодний. Але вони відлякують клініки від впровадження EMR.

Клінічна система підтримки прийняття рішень (CDSS)

У цьому розділі ми обговоримо історію систем підтримки прийняття клінічних рішень (CDSS), що течуть дослідження, комерційну спрямованість і потенційно цікаві області для майбутніх досліджень.

Історія CDSS

– **1960 рік** – пацієнт-комп'ютер. Можливо, одним із самих ранніх застосувань комп'ютерів для підтримки лікарів була комп'ютеризована система опитування пацієнтів. На створення такої системи наштовхнув факт того, що лікар, опитуючи пацієнта, часто задає не ті питання або забуває задати потрібні. У такий спосіб анамнез буде неповний, а лікування менш ефективно. Відповідно, куди більш результативно буде проводити формалізоване анкетування. В 1960 році цей процес автоматизували з використанням комп'ютера.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

– **1970 рік** – Експертна Система. Експертна Система» являє класичний приклад системи підтримки прийняття рішень. На початку 70-их дослідження в області застосування комп'ютерних технологій у медицині в основному минулому націлені на процесі діагностики. Уважалося, що комп'ютер, що володіє великою обчислювальною потужністю, зможе сильно спростити процес діагностування. Першим таким експертом стала MYCIN – система, розроблена в Стенфордському університеті, націлена на діагностику й лікування захворювань, що передаються через кров. MYCIN показав себе як дуже точний діагност, допустивши набагато менше помилок ніж неспеціалізовані лікарі. Однак, застосовувати MYCIN ніхто не поспішав. Виникало багато різних питань і споровши. Лікарі не хотіли щоб їх замінили. Юристи не розуміли хто буде відповідати за поставлений комп'ютером діагноз. До того ж налагодження роботи даної системи було дуже складним, довгим і трудомістким процесом. Тому MYCIN залишився в історії просто як дуже вдалий експеримент.

– **1980-і роки** – Технологія допомоги прийняття клінічних рішень у реальному часі. Одним із самих помітних впроваджень комп'ютерного світу в мир медицини є системи моніторингу роботи серця й мозку пацієнта. В 80-і ці системи одержали автоматичні функції, наприклад виявлення аритмії в електрокардіограмі. А в 90-і даної системи почали заміняти на ПК зі спеціальним програмним забезпеченням.

– **1995 рік** – ПК і нетворкинг в області охорони здоров'я. Багато клінік почали використовувати ПК, з'єднані мережею, для зберігання й передачі даних, пов'язаних з адміністративними завданнями. Це стало важливим кроком для формування сучасної системи CDSS.

– **2000 – наші дні** – Довідкові бази даних і портативний доступ. Комп'ютерні технології зробили довідкову інформацію доступною для будь-якого лікаря або пацієнта. Сьогодні практично кожна людина має ПК або кишеньковий пристрій (планшет, смартфон, КПК), що дають йому доступ до необхідної медичної інформації.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Несподівані наслідки комп'ютеризації охорони здоров'я

Як ми вже зрозуміли, комп'ютеризація медичної сфери вкрай важлива й повинна розвиватися. Цей процес зіштовхується з безліччю труднощів. Не всі хочуть витратитися на впровадження нових систем, навчання персоналу. Хтось боїться юридичних наслідків, у випадку обміну даними між клініками. Також коштує питання й щодо конфіденціальності інформації. Все це – фактори, що стримують прогрес. Але є думки, що затверджують, що це не варто форсувати, оскільки можуть виникнути непередбачені наслідки.

Помилки, пов'язані із препаратами

Деякі лікарі затверджують, що електронні системи, хоч і допомагають зменшити число помилок, але не рятують від них повністю. Всі тому, що людина, як джерело помилки, управляє цією електронною системою.

Це незаперечно, але проблема однаково залишається в людському факторі, а не в системі, як такий. Для рішення даного утруднення необхідно більш уважно поставитися до навчання мед. персоналу. Якщо персонал не вміє користуватися системою, те, звичайно, всієї її переваги втрачають свій зміст. Поки в галузі є хоч одна людина, будуть і помилки.

Невірна інформація в Інтернеті

У мережі можна знайти безліч статей про різні захворювання, препарати й т.д. Багато хто з нас користувався подібним контентом для проведення самодіагностики й навіть самолікування. Звичайно, інформація це сила, але тільки тоді, коли вона вірна. Дуже багато медичної інформації у всесвітній павутині містить помилки. А це може привести до того, що пацієнт почне неправильне лікування або просто проігнорує потенційно небезпечне захворювання. Цю проблему можна вирішити лише впровадженням стандартів вірогідності інформації й методів її перевірки й контролю публікацій.

Пошук потрібної інформації

Зберігання всієї історії пацієнта в одній електронній папці дозволяє лікареві швидко одержати до неї доступ. Але чи не так швидко він зможе знайти

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

те, що йому потрібно в даному конкретному випадку? Величезний потік інформації, якому необхідно не просто переглянути, але й проаналізувати, може затримати формування анамнезу й установлення діагнозу.

Висновки

Світ не стоїть на місці. Комп'ютерні технології усе глибше урізаються в інші сфери нашого життя, привносячись багато нового, гарного або поганого, часом складно сказати. Але прогрес не можна зупинити, опираючись лише на страх чогось нового. Це стосується й медицини. Багато хвороб залишилися б невиліковними, якби якісь сміливці не вирішили лікувати їх по-іншому, не тому що раніше. Головне пам'ятати, що людина створює технологію, людина її вдосконалює й тільки він може нести за неї відповідальність.

Сьогодні безліч клінік переходять на віддалене зберігання й обробку інформації. Пропонуються рішення й для такого типу клієнтів, аж до рішень із застосуванням новітніх NVMe-накопичувачів, що дозволяють «моментально» обробляти запити в більших базах. Дата-Центри, у яких розміщається встаткування, відповідають необхідним рівням сертифікації в сфері безпеки даних. А географічна розподіленість і ізолюваність модулів навіть у межах однієї локації дозволяє організовувати найбільше відказостійкі системи для клієнтів такого роду.

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Python – це об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня загального призначення з відкритим кодом. Це визначення може бути важким для новачків, тому розглянемо кожен характеристику окремо, щоб зрозуміти, що вона означає:

– Відкритий вихідний код: це безкоштовно та доступно для подальших покращень, таких як додавання корисних функцій або виправлення помилок.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

- Об'єктно-орієнтована: заснована не на функціях, але в об'єктах з певними атрибутами й методами.
- Високий рівень: зручний для людини, а не для комп'ютера.
- Загальне призначення: можна використовувати для створення будь-яких програм.

Ця мова використовується в будь-якому програмному забезпеченні, про яке ви тільки можете подумати. Ви можете використовувати його для створення веб-сайтів, штучного інтелекту, серверів, програмного забезпечення для бізнесу та багато іншого. Також застосовується в науці про дані, аналізі даних, машинному навчанні, інженерії даних, веб-розробці, розробці програмного забезпечення та інших галузях.

Переваги та недоліки Python

Переваги:

- Її легко читати, вчити та писати. Це мова програмування високого рівня з англійським синтаксисом. Це полегшує читання та розуміння коду. Її дійсно легко зрозуміти і вивчити, тому багато людей рекомендують Python новачкам. Вам потрібно менше рядків коду для виконання того ж завдання в порівнянні з іншими основними мовами, такими як C/C++ та Java.

- Підвищує продуктивність. Це дуже продуктивна мова. Завдяки її простоті розробники можуть зосередитися на розв'язанні проблеми. Їм не потрібно витрачати багато часу на розуміння синтаксису або поведінку мови програмування. Ви пишете менше коду та виконуєте більше завдань.

- Інтерпретована мова. Python мова, що інтерпретується, а це означає, що вона безпосередньо виконує код по рядку. Якщо сталася помилка, вона зупиняє подальше виконання та повідомляє про її виникнення. Вона показує лише одну помилку, навіть якщо у програмі їх кілька. Це спрощує налагодження.

- Динамічно типізована. Python не визначає тип змінної, доки ми не запустимо код. Вона автоматично надає тип даних, коли відбувається процес виконання. Фахівець може не турбуватися про оголошення змінних та типи даних.

– Безкоштовна та з відкритим вихідним кодом. Ця мова постачається під схваленою OSI ліцензією з відкритим вихідним кодом. Це робить його безкоштовним для використання та розповсюдження. Ви можете завантажити вихідний код, змінити його та навіть розповсюджувати свою версію. Це корисно для організацій, які хочуть використати свою версію для розробки.

– Підтримка великих бібліотек. Стандартна бібліотека Python є величезною, ви можете знайти майже всі функції, необхідні для вашого завдання. Таким чином ви не залежите від зовнішніх бібліотек.

– Портативність. У багатьох мовах, таких як C/C++, потрібно змінити свій код, щоб запустити програму на різних платформах. З Python все інакше. Ви тільки пишете один раз і запускаєте її будь-де.

Недоліки:

– Низька швидкість. Вище ми обговорювали, що це інтерпретована мова з динамічною типізацією. Порядкове виконання коду часто призводить до повільного виконання. Динамічна природа Python також є причиною її низької швидкості, оскільки їй доводиться виконувати додаткову роботу при виконанні коду. Тому вона не підходить для цілей, де швидкість важливий аспект проєкту.

– Неєфективна для пам'яті. Ця мова програмування використовує великий обсяг пам'яті, це може бути недоліком при створенні програм, коли віддають перевагу оптимізації пам'яті.

– Слабка у мобільних обчисленнях. Python зазвичай використовується у серверному програмуванні. Ми не бачимо – її на стороні клієнта або в мобільних програмах з таких причин: вона не заощаджує пам'ять і має повільну обчислювальну потужність у порівнянні з іншими мовами.

– Доступ до бази даних. Програмувати на цій мові легко, але коли ми взаємодіємо з базою даних, її не вистачає. Рівень доступу до бази даних у Python примітивний та недостатньо розвинений у порівнянні з іншими популярними технологіями.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

– Помилки виконання. Це мова з динамічною типізацією, тому тип даних змінної може змінюватись у будь-який час. Змінна, що містить ціле число, у майбутньому може містити рядок, що може призвести до помилок виконання.

Застосування Python:

– Для аналізу даних. Дані стали цінним активом у будь-якій сучасній галузі, і більшість компаній зацікавлені у збиранні, обробці та аналізі релевантних даних, щоб витягти з них цінну інформацію для бізнесу. І тут Python виходить за межі будь-якої конкуренції. Python особливо цінна тим, що крім великої стандартної бібліотеки надає величезний набір додаткових модулів, розроблених спеціально для аналітичних цілей. Найвідоміші бібліотеки Python для аналізу даних – це pandas і NumPy . Ці інструменти дозволяють робити з вашими даними майже все, наприклад, очищати і аналізувати їх, вивчати статистику або візуалізувати приховані тенденції у ваших даних.

– Для візуалізації даних. Візуалізація даних – це окрема частина аналізу даних, яка допомагає нам подавати інформацію, необроблену чи очищену, у більш змістовній формі. Тут Python знову входить у гру, пропонуючи широкий спектр інструментів візуалізації даних. Найпопулярніші з них – matplotlib і заснований на ній seaborn. Використовуючи їх, ми можемо створювати буквально всі види візуалізації: від найпростіших до складніших.

– Для машинного навчання. Машинне навчання (ML) є основою більшості завдань науки даних. Він є областю штучного інтелекту, пов'язаною з використанням алгоритмів, що дозволяють машинам вивчати закономірності та тенденції на основі історичних даних, щоб робити прогнози на основі невідомих даних. – Використовуючи методи ML, ми можемо створювати моделі, які можуть точно передбачити швидкість відтоку клієнтів компанії, оцінити ризик виникнення у людини певного захворювання, визначити оптимальне розташування автомобілів таксі й т.д. За допомогою Python ми можемо побудувати модель ML, використовуючи лише три рядки коду.

– Для розробки програмного забезпечення. Крім свого багатостороннього застосування в галузях науки про дані, Python використовується на кожному етапі розробки програмного забезпечення, включаючи контроль складання, автоматичну безперервну компіляцію, прототипування, відстеження помилок, тестування та обслуговування програмного забезпечення. За допомогою цієї мови можемо створювати аудіо- або відеопрограми на основі методів штучного інтелекту, машинного навчання, API (інтерфейсів прикладного програмування), GUI (графічних інтерфейсів) або будь-якого іншого типу програмного забезпечення.

– Для веброзробки. У той час як для створення візуальної частини вебсайту ми переважно будемо використовувати такі мови, як HTML, CSS та JavaScript, для його невидимої частини ми часто вибираємо Python. Серед масштабних вебсайтів та програм, створених за допомогою цієї мови, варто згадати Google, Facebook, Instagram, YouTube, Dropbox та Reddit.

– Для автоматизації задач/скриптингу. Це відмінний інструмент для написання програм для автоматизації різних завдань, що повторюються. Цей процес називається скриптингом. Зокрема, можна робити скрипти для роботи з файлами та папками. Наприклад, можна створювати, перейменовувати, перетворювати, розділяти, об'єднувати або видаляти файли, перевіряти їх на наявність помилок. Ви також можете використовувати автоматизацію Python для пошуку та завантаження інформації з Інтернету, заповнення та надсилання онлайн-форм та надсилання регулярних повідомлень або електронних листів.

Яким фахівцям потрібно володіти Python:

- Фахівець з даних.
- Аналітик даних.
- Інженер даних.
- Інженер з машинного навчання.
- Журналіст даних.
- Архітектор даних.

- Повний стек веб-розробника.
- Backend-розробник.
- DevOps-інженер.
- Інженер-програміст.

Можемо зробити висновок, що Python ще довго буде популярною мовою, хоч і має низку недоліків. Цю мову використовують для створення вебсайтів, штучного інтелекту, серверів, програмного забезпечення для бізнесу, аналізу даних, машинного навчання, інженерії даних та для багатьох інших областей. Це перспективна і затребувана навичка, яка необхідна у всіх галузях.

2.3 Розгорнута постановка завдання

Згідно з технічним завданням на випускню кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику ECG PS25251.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформулювати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

КБПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

Електрокардіографія являє собою недорогий, але досить інформативний метод кардіологічного дослідження. Результатом електрокардіографії є електрокардіограма (ЕКГ) – графічне подання різниці потенціалів, що виникають у результаті роботи серця.

У кардіологічній практиці широко використовується комп'ютерний аналіз ЕКГ, основною метою якого є звільнення лікаря від значної частини рутинної роботи. При цьому можна автоматизувати розпізнавання особливих крапок і ділянок ЕКГ. Також піддається автоматизації етап подальшого аналізу виділених ділянок ЕКГ. Існує багато алгоритмів виділення особливих крапок ЕКГ і методик аналізу ЕКГ [1].

Постановка діагнозу не може бути повністю автоматизована, остаточний діагноз ставить лікар. Використання комп'ютерного аналізу ЕКГ, підвищує продуктивність лікаря, але й у цьому випадку обсяг інформації, яку потрібно проаналізувати лікареві для постановки діагнозу залишаються значним.

Для підвищення продуктивності лікаря авторським колективом запропонована система комп'ютерного аналізу ЕКГ, у якій реалізовані функції двох видів:

1. Функції виконання анотування ЕКГ, призначення яких полягає у виконанні автоматичного розпізнавання особливих крапок ЕКГ і присвоєнні кожній такій крапці деякого унікального коду.

2. Функції, що реалізують розширені можливості автоматизованого пошуку характерних ділянок (ліній) ЕКГ. Кожна лінія складається з ділянки ЕКГ яка починається в анотованій крапці із заданим кодом, включаючи цю крапку, і яка закінчується в наступній анотованій крапці із заданим кодом, не включаючи цю крапку.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Надалі дана система буде доповнюватися функціями, що реалізують різні методики аналізу ЕКГ. Але, навіть в існуючому виді система значно підвищує продуктивність лікаря. Це досягається за рахунок якості користувацького інтерфейсу робочого місця лікаря, якості анотування й можливостей пошуку довільних ліній ЕКГ.

На даному етапі реалізований прототип системи, що володіє наступною функціональністю:

1. Уведення даних ЕКГ із файлів у форматі банку PhysioBank [2].
2. Перегляд сигналу ЕКГ на графіку з можливістю вибору й перегляду окремих ділянок (вікон) ЕКГ.
3. Запам'ятовування параметрів обраних вікон і пересування по них.
4. Автоматичне анотування ЕКГ.
5. Переміщення по анотованих крапках.
6. Переміщення по зубцях R.
7. Вибір початкового коду анотації й автоматичний пошук ліній ЕКГ.
8. Вибір лінії й переміщення по обраних лініях ЕКГ.

Розглянемо деякі аспекти програмної реалізації системи. Вихідні дані програми представляються собою масив речовинних чисел D розміру len . Елемент масиву $D[i]$ містить оцифроване значення сигналу ЕКГ в i -ий момент часу (відлік сигналу ЕКГ). Анотація ЕКГ зберігається у вигляді двох масивів AT і AS розміру len . Елемент $AT[j]$ містить код анотації привласнений j -ой особливій крапці ЕКГ. Елемент $AS[j]$ містить номер відліку цієї особливої крапки.

У цей час система розпізнає 44 особливі крапки ЕКГ. З особливими крапками ЕКГ зв'язуються деякі ланцюжки символів, що розкривають значеннєвий зміст анотації в цій крапці. Кожний ланцюжок має унікальний код, тому можна вважати, що з кожною особливою крапкою ЕКГ зв'язаний деякий символ анотації з даним кодом. Анотації й відповідні ланцюжки символів наведені нижче.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Коди анотації:

- NotQRS – Немає QRS комплексу.
- N – Нормальний ритм.
- LBBB – Блокада лівої ніжки пучка Гіса.
- RBBB – Блокада правої ніжки пучка Гіса.
- ABERR – Рання предсердна екстрасистола.
- PVC – Желудочківа екстрасистола.
- FUSION – Злиття желудочкового й нормального ритму.
- NPC – Вузлової екстрасистола.
- APC – Предсердна екстрасистола.
- SVPB – Передчасна або ектопічна суправентрикулярна екстрасистола.
- VESC – Желудочковий ритм.
- NESC – Вузловий ритм.
- PACE – Ритм.
- Q – Зубець Q.
- ARFCT – Ізольований QRS комплекс.
- STCH – ST зміна.
- TCH – Зміна хвилі Т.
- SYSTOLE – Систола.
- DIASTOLE – Діастола.
- MEASURE – Параметр анотації.
- P – Зубець Р.
- BBB – Ліва або права ніжки пучка Гіса.
- STCH – ST зміна.
- PACESP – Блокада.
- T – Зубець Т.
- RTM – Зміни ритму.
- LEARN – Навчання.

- FLWAV – Хвилі тріпотіння желудочків.
- VFON – Початок фібриляції.
- VFOFF – Кінець фібриляції.
- AESC – Предсердний імпульс, що вислизає.
- SVESC – Суправентрикулярний імпульс, що вислизає.
- NAPC – Немає проведення зубця Р.
- PFUSE – Перехід у синусовий ритм.
- FLWAV – Хвилі тріпотіння желудочків.
- RONT – Екстрасистоія за типом R на T.
- (p – Початок зубця Р.
- p) – Кінець зубця Р.
- (t – Початок зубця Т.
- t) – Кінець зубця Т.
- ECT – Електрокардіостимулятор.
- R – Зубець R.
- 43 – S – Зубець S.
- RONT – Екстрасистоія за типом R на T.

При проектуванні системи широко використовувалися кінцеві автомати. Такий підхід обумовлений тим, що фактично анотація ЕКГ являють собою мову $L=w$, де w – алфавіт, що складається з 44 символів з кодами, які можуть бути привласнені особливим крапкам ЕКГ при виконанні автоматичного анотування. Мова L ставиться до класу регулярних мов, а для формалізації процесів обробки ланцюжків регулярної мови добре підходять кінцеві автомати.

Проілюструємо використання кінцевих автоматів при проектуванні функцій, що реалізують розширені можливості автоматизованого пошуку ліній ЕКГ. Для зберігання ліній ЕКГ використовувалася структура гніздового типу, представлена на мал.1. Лінії ЕКГ зберігаються в масиві LT . На початок i -ої лінії вказує i -ий елемент масиву uLT розміру $nim+1$, де nim – число ліній. Таким

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

чином, i -я лінія ЕКГ складається з анотованих крапок з наступними кодами: $LT[uLT[i]], \dots, LT[uLT[i+1]-1]$, а розмір масиву LT дорівнює $uLT[num+1]-1$.

Формування даної структури здійснює кінцевий автомат.

Код анотації початкової крапки лінії зберігається в змінній cl . Поточна лінія зберігається в масиві L довжини len . Також в автоматі використовуються функції $Search$ і Add . Функція $Search$ здійснює пошук лінії L у структурі LT , uLT .

Дана функція повертає:

- 0 – лінія анотації не унікальна;
- 1 – лінія анотації унікальна й може бути додана в структуру LT , uLT ;
- -1 – лінія анотації унікальна, але для її додавання в структуру LT , uLT немає місця в масиві LT ;
- -2 – лінія анотації унікальна, але для її додавання в структуру LT , uLT немає місця в масиві uLT .

Функція Add додає лінію L у структуру LT , uLT .

Також в автоматі розпізнаються наступні ситуації:

- 0 – не знайдений початковий код лінії анотації;
- 1 – помилок ні, лінії анотації виділені, структура LT , uLT сформована;
- -3 – для масиву L потрібен більший розмір.

На основі розробленого автомата створюється функція. Всі функції оформляються у вигляді dll . Всім можливим ситуаціям нестачі пам'яті відповідають унікальні коди, що повертаються функціями. Після завершення роботи функції аналізується повертається код, що, і якщо виникла помилка, пов'язана з нестачею пам'яті, то виділяються більше пам'яті й функція викликається повторно.

При першому виклику функції pr_mem10 виникає помилка, тому що вхідний масив складається з 7 елементів, а потрібно 10. Перед другим викликом функції розмір масиву збільшується на 7 і помилка не виникає. На вихід видається масив $A1=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,0,0,0]$. Далі в зухвалій програмі із цього масиву віддаляються зайві елементи, і виходить масив $A2=[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9]$.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Відзначимо, що розміри використовуваних даних відомі на етапі виконання програми або добре передбачувані. Тому ситуації, пов'язані з нестачею пам'яті, у край рідкі. Використання ж статичних структур дозволяє підвищити швидкість обробки даних і відмовитися від механізмів, що у свою чергу дозволяє створити незалежні бібліотеки зовнішніх функцій.

Після того як всі лінії ЕКГ знайдені, користувачеві надається можливість вибрати його лінію, що цікавить. Після здійснення даного вибору формується список початкових відрахунків обраної лінії. Ці дії здійснює автомат. Номер обраної лінії записаний у змінної *n*. Список початкових відрахунків зберігається в масиві *LS* розміру *lenLS*.

В автоматі розпізнаються наступні ситуації:

- 0 – лінія анотації з номером *n* не існує;
- 1 – помилок ні, масив *LS* сформований;
- -4 – для масиву *LS* потрібен більший розмір.

На основі даного автомата створюється відповідна функція. Реалізація й виклик даної функції здійснюється аналогічно функції, розглянутої вище.

Після того, як список початкових відрахунків обраної лінії сформований, користувачеві надається можливість переміщатися по даним відрахункам з метою пошуку характерних ділянок ЕКГ і їхнього аналізу.

Отже, ми розглянули два автомати, які служать для організації пошуку й перегляду ліній ЕКГ. Дані автомати використовувалися при проектуванні засобів автоматизованого пошуку характерних ділянок ЕКГ. У розглянутій системі кінцеві автомати також застосовувалися при проектуванні інших функцій, наприклад, розрахунку ізолінії ЕКГ, перетворення форматів вихідних даних і ін. Використання кінцевих автоматів при проектуванні системи дозволило наочно представити логікові роботи системи, уникнути помилок проектування й у цілому прискорити процес створення системи.

Аналіз результатів тестування прототипу системи комп'ютерного аналізу ЕКГ із розширеними можливостями автоматизованого пошуку характерних

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

ділянок дозволяє зробити вивід про те, що вірогідність розшифровки ЕКГ врачом-кардіологом з метою постановки діагнозу підвищується при істотному скороченні часу на виконання цієї процедури. Це досягається за рахунок гарних результатів автоматичного розпізнавання особливих крапок ЕКГ і автоматизованих засобів пошуку ліній ЕКГ.

3.2 Розробка структурної схеми

Для безпомилкової інтерпретації змін при аналізі ЕКГ необхідно дотримуватися наведеної нижче схеми її розшифровки. Схема розшифровки представляється у вигляді структурної схеми.

Блок загальної схеми розшифровки ЕКГ:

1. Блок аналізу серцевого ритму й провідності:
 - оцінка регулярності серцевих скорочень;
 - підрахунок ЧСС;
 - визначення джерела порушення;
 - оцінка провідної системи серця.
2. Блок визначення поворотів серця навколо переднезадньої, поздовжньої й поперечної осей:
 - визначення положення електричної осі серця у фронтальній площині;
 - визначення поворотів серця навколо поздовжньої осі;
 - визначення поворотів серця навколо поперечної осі.
3. Блок аналізу передсердного зубця Р.
4. Блок аналізу желудочкового комплексу QRS-T:
 - аналіз комплексу QRS;
 - аналіз сегмента RS-T;
 - аналіз зубця Т;
 - аналіз інтервалу Q-T.
5. Блок електрокардіографічного висновку.

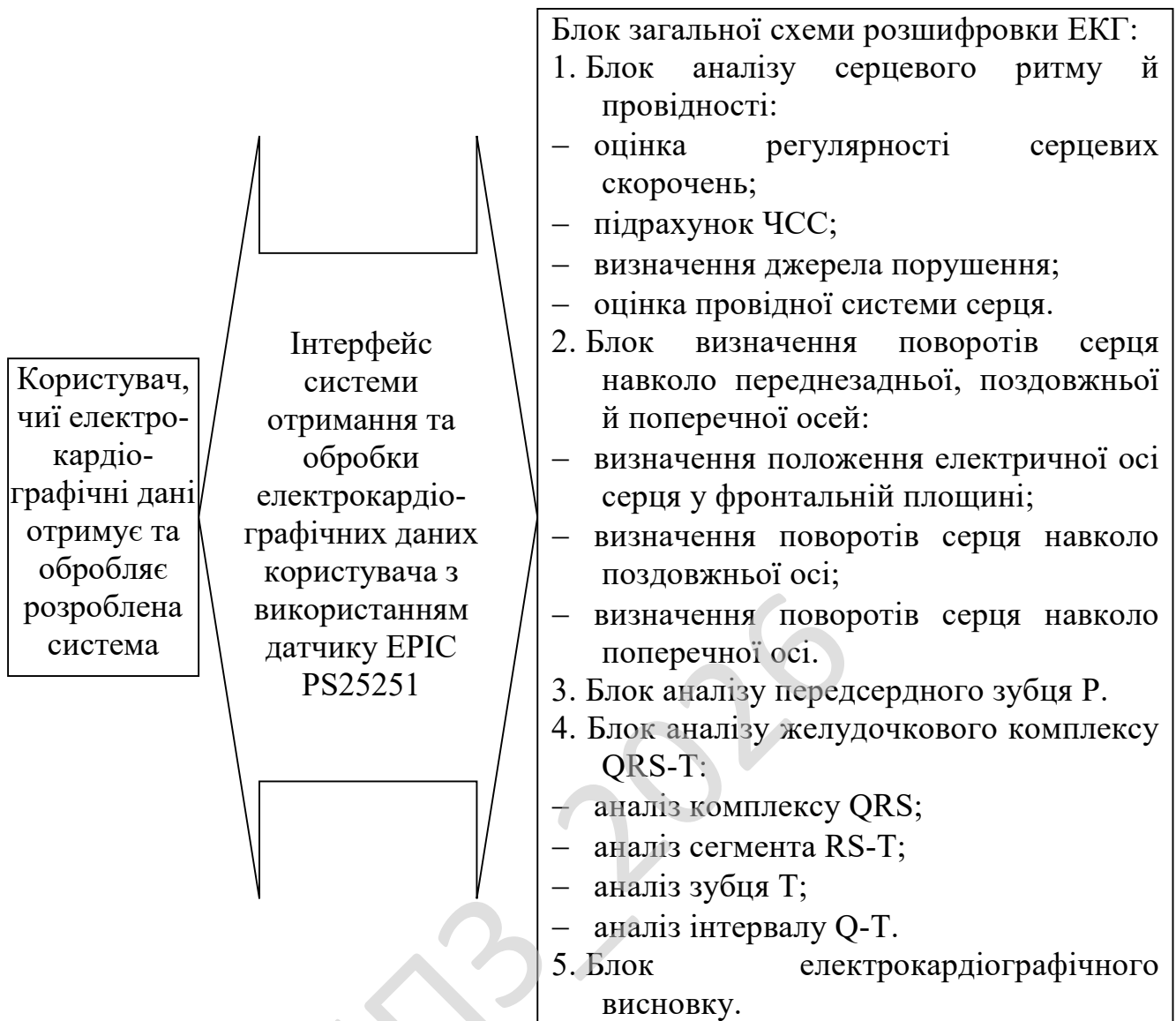


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

Регулярність серцевих скорочень оцінюють по тривалості інтервалів R-R між послідовно зареєстрованими серцевими циклами.

Регулярний або правильний ритм серця діагностують, якщо тривалість обмірюваних інтервалів R-R однакове й розходження між отриманими величинами не перевищує $\pm 10\%$ від середньої тривалості інтервалів R-R.

В інших випадках діагностується неправильний (нерегулярний) серцевий ритм.

Датчики ЕРІС від компанії Plessey Semiconductors

ЕРІС (Electric Potential Integrated Circuit) – безконтактні інтегральні датчики для виміру електричних потенціалів. Головними особливостями даних сенсорів є висока чутливість і можливість виміру електричних потенціалів навіть без прямого контакту з тілом пацієнта. Це, по-перше, дозволяє спростити процедуру підготовки людини й устаткування до ЕКГ і позбутися від провідних гелів. По-друге, за допомогою ЕРІС можна швидко знімати одновідвідну ЕКГ в «потоківому режимі» навіть на прийомі в терапевта. Для цього буде потрібно пара датчиків і компактний аналізатор. Пацієнту досить прикласти більші пальці рук на датчики, а інше автоматично зробить програма.

Важливо розуміти, що таке «швидке» ЕКГ буде, звичайно ж, неповним! Однак воно дозволить виявити підозри на цілий ряд захворювань, що вже чимало. Таким чином, головна «фішка» датчиків ЕРІС, а саме безконтактні виміри, є дійсно корисною властивістю.

Розглянемо, яким образом, працюють датчики ЕРІС. Аббревіатура ЕРІС буквально означає «інтегральна мікросхема для виміру електричних потенціалів». Конструктивно датчик являє собою ІС, що розміщена в герметичному корпусі. Навіть при прямому контакті сенсора з тілом пацієнта вимірювальний електрод виявляється ізольованим. Датчики ЕРІС можуть працювати не тільки при безпосередньому контакті з об'єктом, але й на значній відстані.

У цьому випадку нас цікавить робота датчика при безпосередньому контакті з пацієнтом. При цьому для проведення вимірів величина власної ємності сенсора повинна бути задана з високою точністю. Відомо, що ємність визначається як відношення заряду до напруги:

$$C = Q / U.$$

Заряд визначається як:

$$Q = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S \cdot E,$$

де:

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- ϵ_0 – електрична постійна, рівна $8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
- ϵ_r – відносна діелектрична проникність;
- S – площа;
- E – напруженість електричного поля.

З обліком двох формул можна вивести залежність для напруги:

$$U = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S \cdot E / C.$$

Це означає, що конденсатор, поміщений в електричне поле з напруженістю E , заряджається й формує деяку різницю потенціалів U . Тому що врахувати всі фактори, що впливають, досить складно, те замість величини площі варто ввести калібровану величину A :

$$U = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A \cdot E / C,$$

Таким чином, напруга на виході датчика виявляється пропорційним напруженості електричного поля. Вимірюючи напругу, можна побудувати кардіограму пацієнта.

На жаль, абсолютні значення вимірюваних сигналів надзвичайно малі. Це приводить до того, що до підсилювача пред'являються досить тверді вимоги. Він повинен мати дуже високу вхідну напругу, високий коефіцієнт підсилення, широкий частотний діапазон і мінімальний рівень власних шумів. Зробити це на одному підсилювальному каскаді практично неможливо, у тому числі й через наявність шумів.

У датчиках ЕРІС вхідний опір становить близько 10^{15} Ом, а паразитна вхідна ємність знижена до 10-17 Ф. Такі результати, досягнуті за рахунок використання екранування й особою організації ланцюгів зворотного зв'язка.

При використанні декількох сенсорів ЕРІС додаткове зниження шумів можливо за рахунок використання традиційної для ЕКГ техніки заземлення (у закордонній літературі Driven Right Leg). При цьому заземлюючий електрод закріплюється на нозі пацієнта.

У цей час портфоліо датчиків Plessey Semiconductors містить у собі кілька сімейств:

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- PS2525x – інтегральні мікросхеми датчиків електричних потенціалів в QFN-Корпусі;
- PS2510x – готові рішення у вигляді датчика з кабелем і роз'ємом;
- PS2520x – датчик у вигляді друкованої плати з розпаяним сенсором, оптимізованим для цілей ЕКГ;
- PS2540x – датчик у вигляді друкованої плати з розпаяним сенсором, оптимізованим для виявлення руху віддалених об'єктів;
- PS2545x – інтегральні мікросхеми датчиків в QFN-Корпусі, призначені для виявлення руху віддалених об'єктів.

Для створення ЕКГ-електродів інтерес представляють датчики PS25251, PS2510x, PS2520x. При виборі конкретних моделей сенсорів варто враховувати їхні основні особливості: конструктивне виконання, коефіцієнт підсилення, діапазон робочих частот, діапазон живлячих напруг і робочих температур.

PS25101/ PS25102 – готове рішення у вигляді датчика із провідниками й DIN-роз'ємом. Призначені для роботи з однополярною напругою живлення 4,75...8...8,0В, діапазоном частот 0,1 Гц – 10 кГц, при температурах 0...+50С... Головна зручність цих датчиків у тому, що вони являють собою готові прилади. Їх, наприклад, можна використовувати разом з демонстраційним набором PS25000A/ PS25001A.

PS25201A/ B – гібридні датчики для SMD-Монтажу у вигляді друкованої плати 10,5 x10,5 мм із ізольованим чутливим електродом. Призначені для роботи із двуполярним живленням $\pm 2,4... \pm 5,5$ В, діапазоном частот 0,2 Гц – 10 кГц, при температурах -25...+75С... Ці моделі призначені в першу чергу для споживчої й спортивної електроніки.

PS25203B – удосконалена версія попередньої моделі. Має розширений частотний діапазон 0,2 Гц – 20 кГц і більше вузький діапазон напруг живлення $\pm 2,4... \pm 4,0$ В.

PS25204 – найбільш зроблений гібридний датчик з максимально широким частотним діапазоном 0,05 Гц – 20 кГц. Завдяки цьому саме ці датчики можуть

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

застосовуватися не тільки в споживчому сегменті, але й навіть у серйозному медичному встаткуванні.

PS25251 – інтегральний датчик у корпусному виконанні 10x10 мм.

Розглянемо деякі приклади застосування перерахованих датчиків для «швидкого» ЕКГ.

Зняття ЕКГ із одою руки. Як показали дослідження, пари датчиків ЕРІС вистачає для того, щоб зняти ЕКГ. Однак вони повинні бути розташовані відповідним чином – у протифазі на левом передпліччі. Диференціальний сигнал двох датчиків обробляється за допомогою сигнального процесора. Результати можуть бути передані в смартфон або розумні годинники. Такий варіант у першу чергу підійде для спортсменів, тому що це рішення дозволяє позбутися не тільки від гелю, але й від проводів.

Регістрація ЕКГ на базі портативних приладів. Вище був показаний портативний прилад, що використовує пару датчиків ЕРІС. Ніщо не заважає впровадити це рішення в спеціальний планшет або смартфон. Очевидно, що такі прилади будуть затребувані для домашнього використання.

Зняття «швидкого» ЕКГ у поліклінічних умовах. Для медичних установ можна використовувати ледве більше традиційний підхід з розташуванням електродів на тілі пацієнта. Для цього можна використовувати систему з пари датчиків із заземленням.

Крім виконання ЕКГ, датчики ЕРІС можуть застосовуватися й в інших додатках:

- медичне встаткування (електроенцефалографія, електроміографія, електроокулографія);
- автомобільні системи безпеки (контроль стану водія);
- спортивна електроніка й тренажери (бігові доріжки, велотренажери, портативні ЕКГ);
- портативна електроніка (смартфони, розумні годинники);
- системи керування (наприклад, керування за допомогою руху око);

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

– ігрові додатки (геймпади) і ін.

Характеристики PS25101/ PS25102:

- вхідний опір: 20 ГОм;
- коефіцієнт підсилення: 50 (PS25101), 10 (PS25102);
- вхідна ємність: 10 пФ;
- нижня частота зрізу (-3дб): 0,1 Гц;
- верхня частота зрізу (-3дб): 10 кГц;
- напруга живлення: 4,75...8,0 В;
- діапазон робочих температур: 0...+50С;
- корпус: електрод із провідниками й DIN-роз'ємом.

Характеристики PS25201A/ В:

- вхідний опір: 20 ГОм;
- коефіцієнт підсилення: 50;
- вхідна ємність: 15 пФ;
- нижня частота зрізу (-3 дб): 0,2 Гц;
- верхня частота зрізу (-3 дб): 10 кГц;
- напруга живлення: $\pm 2,4 \dots \pm 5,5$ У;
- діапазон робочих температур: -25...+75С;
- корпус: 10,5х10,5 мм, під поверхневий монтаж.

Характеристики PS25251:

- вхідний опір: 20 ГОм;
- коефіцієнт підсилення: 50;
- вхідна ємність: 15 пФ;
- нижня частота зрізу (-3 дб): 0,2 Гц;
- верхня частота зрізу (-3 дб): 10 кГц;
- напруга живлення: $\pm 2,4 \dots \pm 5,5$ У;
- діапазон робочих температур: -25...+75С;
- корпус: 10х10 мм, під поверхневий монтаж.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3.3 Розробка функціональної схеми

У рамках представленої архітектури системні компоненти умовно по своєму функціональному призначенню розділяються на три рівні: рівень даних, функціональної логіки й подання. Кожний із цих компонентів реалізує необхідні для даного рівня інтерфейси доступу до укладеної функціональності й користується надаваними системними сервісами в рамках, доступних для цього рівня. Рівень даних становлять об'єкти, відповідальні за операції вводу/виводу із зовнішніми джерелами даних (наприклад, пристрій реєстрації ЕКГ, монітор артеріального тиску), а також універсальний компонент зберігання гетерогенних, тобто різнорідних, даних, і, так звана, фабрика контейнерів даних – об'єктів, використовуваних для передачі різного роду інформації через інтерфейси компонентів.

Функціональна логіка реалізується набором об'єктів – менеджерів компонент, часто умовно називаних документами, що має методи обробки даних і засобу керування компонентами візуалізації. У свою чергу, об'єкти візуалізації можуть мати методи обробки даних, хоча їхнім безпосереднім завданням є відображення інформації й забезпечення інтерфейсу з користувачем. Завдяки принципу відкритої архітектури й наявності чіткої специфікації, можливі розширення й інтеграція в комплекс нових функціональних модулів, що реалізують нові методики аналізу або надають можливість здійснювати знімання даних на нових пристроях вводу ЕКГ.

Таким чином, структурно програмна система може розглядатися як ієрархічна архітектура окремих елементів, серед яких основними елементами є різноманітні компоненти, що виконують заздалегідь задані функції в рамках наступних підсистем:

- клінічних методів обробки даних, візуалізації й друку БМІ;
- зовнішніх комунікаційних інтерфейсів;
- реєстрації біомедичних даних;

– нагромадження й зберігання БМІ.

Функціональна схема системи представлена на рисунку 3.2.

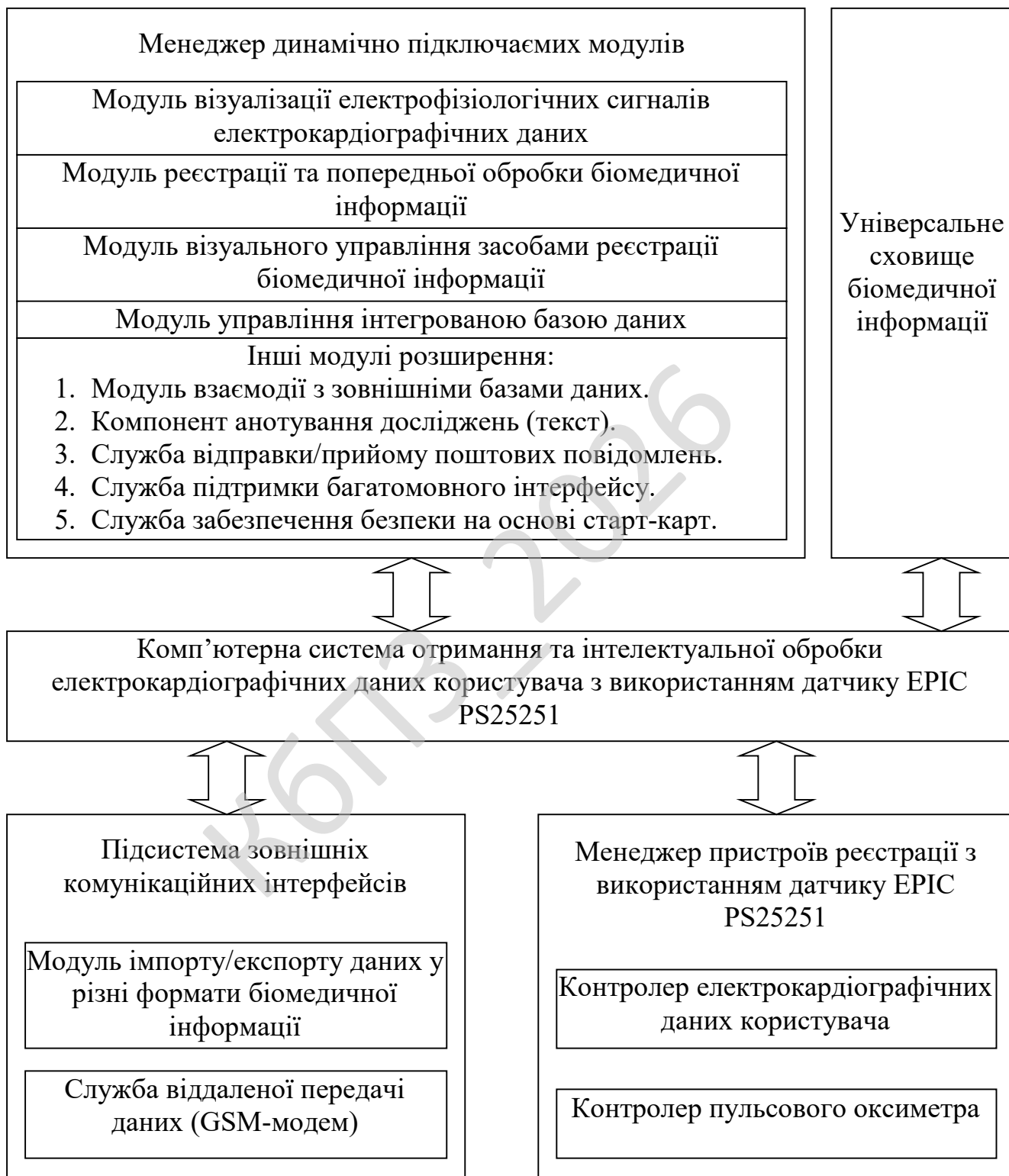


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи

Компонентно-орієнтована архітектура додатка, побудована на декількох рівнях реалізації, вимагає наявності більш складної процедури первісної активації програмної системи. На відміну від монолітних додатків, дана процедура через наявність безлічі незалежних одиниць, що виконуються, може стати досить складною для реалізації. Для рішення даного завдання в рамках розроблена багаторівнева процедура ініціалізації й динамічного конфігурування окремих підсистем.

Початковою фазою процедури активації є завантаження й ініціалізація основних елементів ПЗ, зокрема, основного додатка, менеджера модулів, що підключаються, без яких нормальне функціонування системи неможливо. Визначення контексту використання дозволяє визначити подальшу процедуру ініціалізації додатка й список використовуваних у даному контексті підсистем. Так, наприклад, у випадку віддаленої активації з додатка Microsoft Word для редагування впровадженого елемента OLE, підсистема реєстрації й телекомунікаційних інтерфейсів не буде ініціалізована. Завершальним етапом ініціалізації системи є завантаження всіх модулів, що підключаються, які автоматично підключаються до системних сервісів, надаваним основним додатком і вже активізованими підсистемами.

Розглянемо більш докладно перераховані вище підсистеми.

Підсистема зовнішніх комунікаційних інтерфейсів

Одним з найбільш важливих елементів інтеграції різномірних систем реєстрації біомедичних сигналів є виробіток загальних стандартів зберігання й подання біомедичних даних. Це є важливим кроком на шляху здешевлення, універсалізації й підвищення якості біомедичного програмного забезпечення на базі ЕОМ. Однак у рішенні проблем сумісності комп'ютерних електрокардіографів на рівні обміну даними за останні 30 років серйозних змін не відбулося. Великі фірми-виробники ЕКГ-приборів (Siemens, Hewlett Packard, Fukuda, NEC, Oxford, Del Mar і т.д.) розробили свої корпоративні стандарти, які практично всі є закритими, тобто недоступними для застосування в системах інших виробників.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Безсумнівним успіхом процесу стандартизації з'явилася розробка прийнятого медичного промисловістю стандарту DICOM/MEDICOM [5], який служить, в основному, для подання зображень у радіології. Стандартизація систем реєстрації й обробки фізіологічних сигналів, що почалася порівняно недавно й не підкріплена мотивацією великих виробників медичних систем, не змогла виробити єдиний формат. Кількість різноманітних специфікацій досить великий – кожен великий виробник медичного встаткування має у своєму розпорядженні свій власний стандарт. Разом з тим, у цей час існує ряд специфікацій і рекомендацій, прийнятих різними установами по стандартизації, деякі з яких є національними стандартами, тому досить складним завданням є оптимальний вибір між існуючими специфікаціями.

Аналіз кола завдань, розв'язуваних сучасними системами реєстрації й обробки сигналів, дозволяє сформулювати ряд вимог, пропонованих до форматів подання біомедичних даних, найбільш важливими з яких є наступні положення:

- універсальний формат подання даних, що підтримує можливість подання сигналів різного роду: кардіологічні, нейрофізіологічні, респіраторні й одночасне зберігання різноманітних сигналів, записаних з різною частотою дискретизації й розрядності відрахунків;
- підтримка різноманітних форм анотування вимірів: текстова, голосова, візуальна;
- забезпечення механізму зберігання другорядних не прив'язаних до оцінок часу даних, наприклад, результати аналізу записів, синдромальні висновки лікаря-фахівця;
- багаторівнева система сумісності, при якій не потрібна реалізація повної функціональності, декларованої в стандарті, для досягнення мінімального рівня інтеграції;
- підтримка фізичних маніпуляцій з даними, з можливістю їхнього здійснення в масштабі реального часу.

Додатковими критеріями, використовуваними при аналізі безлічі існуючих стандартів, є:

- популярність стандарту в медичній промисловості, що оцінюється процентним співвідношенням систем, що підтримують даний формат;
- простота реалізації, що звичайно перебуває у зворотному співвідношенні до обсягу специфікації;
- компактність подання даних, наявність функцій стиску даних.

Існуючі системи специфікацій можна розділити в цілому на два класи. Перший клас становлять спеціальні стандарти, розроблені для вузької предметної області, у яких регламентації піддається сама структура даних. До другої групи варто віднести, так звані, метастандарты, у яких побудована інформаційна модель предметної області, у рамках якої деталізовані моделі кожного предметного об'єкта, визначена система зв'язків компонент предметних об'єктів, розроблені відповідна номенклатура й система кодування [6]. Під номенклатурою розуміється деякий список різноманітних типів даних, у поданні інформаційної моделі – об'єктів, що виникають у процесі медичного документообігу. У рамках таких метастандартів, будь-який формат подання даних є деякою логічною побудовою розробленої метамоделі.

Підсистема візуалізації й друку біомедичних даних

Основне призначення підсистеми візуалізації будь-якої системи реєстрації електрофізіологічної інформації реального часу складається у виконанні цілого ряду функцій, найбільш важливими з яких є:

- відображення, переданої з різних джерел реєстрації або отриманої в результаті застосування медичних методик інформації в найбільш зручному для сприйняття лікарем-фахівцем виді;
- своєчасна реакція на параметри, що змінилися, вхідних даних за допомогою графічної або звукової сигналізації.

У цьому випадку, час реакції залежить від ряду факторів [7]:

- від часу доставки даних, що залежить від операційної системи (ОС), інтерфейсних протоколів, що забезпечують передачу інформації від пристрою реєстрації до підсистеми візуалізації;

- від часу реакції медичного працівника, що експлуатує систему.

Таким чином підсистема візуалізації, що є основою будь-якого інтерфейсу користувача, виступає основним інтерфейсом між системою реєстрації й лікарем-фахівцем, що інтерпретує отримані дані з метою визначення діагностичного висновку. Тому якісне подання інформації є дуже важливим фактором якості діагностики.

Системи реєстрації й обробки сигналів реального часу мають два яскраво виражених режими візуалізації: режим реального часу й режим повторного перегляду. У цьому контексті друк розглядається як окремий випадок режиму перегляду з особливим масштабом.

Сучасні методи діагностики висувають ряд серйозних вимог до підсистеми візуалізації, з яких найбільш важливими й трудомісткими для реалізації є наступні:

- підтримка синхронного відображення декількох потоків даних, отриманих від різних джерел, що мають різні частоти дискретизації й спектральний состав;

- підтримка декількох масштабів відображення даних по осі амплітуди сигналу й часу;

- відображення допоміжної й похідної інформації, наприклад, оцінки міток, подій і т.д.

- підтримка декількох форм відображення даних.

У режимі перегляду БМІ додатковою вимогою є підтримка виміру амплітуд і тимчасових відрізків по двох і більш довільно встановлених точках. Таким чином, модуль візуалізації є компонентом, що обслуговує декілька багатоканальних потоків, причому обсяги переданої інформації через

транспортне з'єднання можуть досягати значних розмірів. Так передача стандартної 12-канальної ЕКГ із частотою дискретизації 1 кГц із обліком 4-байтового подання відрахунків із плаваючою точкою становить порядку 375 кБод, причому кількість відрахунків, оброблюваних в одну секунду, становить 12000. Так як розв'язна здатність сучасних стандартних засобів візуалізації становить усього порядку 100-200 точок/дюйм, то для ефективного рішення завдань візуалізації важливою проблемою є скорочення кількості відрахунків, які використовуються для відтворення безперервних сигналів при частотах дискретизації значно переважаюча розв'язна здатність із урахуванням обраного масштабу. Відповідно до вимог американської асоціації кардіологів [3] мінімальними частотами, що рекомендуються, дискретизаціями є 500 Гц, а для методик ЕКГ ВР – більше 1 кГц, тому при відображенні для більшості масштабів є значний ступінь надмірності вхідних даних. Надмірність полягає в тому, що різним відрахункам у вихідному сигналі відповідає одна тимчасова позиція на пристрої візуалізації.

Підсистема зберігання й нагромадження біомедичних даних

Найважливішим завданням підсистеми зберігання й нагромадження даних є забезпечення надійного механізму короткострокового й довгострокового збереження біомедичних даних різного роду, а також підтримка ефективного доступу до них. Під короткостроковим збереженням даних розуміється часовий період, що не перевищує однієї сесії роботи програмного додатка.

ЕКГ записи навіть невеликих довжин займають досить більші обсяги. Найпростіший розрахунок показує, що навіть при реєстрації ЕКГ зі стандартною системою відведень, запис якої становить порядку 1 мінути при частоті дискретизації 1000 Гц і квантування АЦП 16 біт, обсяг даних досягає:

$$W = 12 \cdot 1000 \cdot 16 = 192000 \text{ біт/сек або порядку } 1,4 \text{ МБ/хв.}$$

Тому при зростанні довжин знімання ЕКГ до мінути й більше (наприклад, в електрокардіографії фізичного навантаження й холтеровському моніторингу) виникає гостра необхідність у стиску ЕКГ-сигналу. Такий стиск

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

може стати необхідним і при менших обсягах ЕКГ у випадках, коли необхідне збереження більшої кількості записаних ЕКГ в інтегрованої БД або існує необхідність у передачі ЕКГ за допомогою телефонного або мобільного зв'язку, а також засобами мережі Інтернет.

З іншого боку, при записах ЕКГ великої тривалості існує ймовірність апаратного або програмного збою ЕОМ і втрати вже оброблених даних і, отже, необхідно короткострокове збереження БМІ, що дозволяє відновити загублені дані при необхідності, а також розвантажити оперативну пам'ять ЕОМ від зайвого навантаження. Тому важливість підсистеми нагромадження даних для ЕКГ-систем, побудованих на платформі ЕОМ, що забезпечує можливості стиску біомедичних даних і короткострокового зберігання (буферизації) досить висока.

У БМС сховище забезпечує набудовується на величини до декількох мінут буферизацію БМІ в рамках внутрісистемного буфера FIFO. При цьому зберігання даних здійснюється у внутрішнім поданні системи. Короткострокове зберігання даних вимагає ефективної організації самого сховища для забезпечення швидкого доступу до даних у режимі перегляду. Зниження обсягів інформації, що бере участь в обміні між дисковим сховищем і буфером FIFO можливо двома способами:

- зменшення надмірності даних за рахунок скорочення кількості біт для подання одного відліку;
- потокового стиску даних.

Зменшення бітності відрахунків з 32-х до 16 біт у дозволяє без значних обчислювальних витрат скоротити інтенсивність обміну з дисковим сховищем. Стиск даних на цьому етапі має сенс лише в тому випадку, коли скорочення обсягів переданої інформації дає вигоду у продуктивності. Однак недоліки сучасних методів стиску даних не дозволяють використовувати їх у режимі реального часу й роль, що відводиться їм, скорочується до застосувань у реалізаціях функцій імпорту/експорту в різні файлові формати подання БМІ.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Цифрові записи електрофізіологічних сигналів, у тому числі й ЕКГ, являють собою послідовності звітів, тому звичайні методики компресії даних застосовні й до них. Застосування того або іншого методу стиску БМІ визначається необхідними характеристиками методу (продуктивність, коефіцієнт стиску), а також його властивостями, зокрема, можливості працювати в потоці, необхідними ресурсами. Твердим вимогам реального часу здатні задовольнити досить вузький клас методів стиску, здатних до роботи в потоці даних [4].

Підсистема запису даних із пристроїв реєстрації електрофізіологічних сигналів і розподілу даних

Сучасні підходи до проектування міжкомпонентної взаємодії в програмних системах передбачають декілька можливих схем, у тому числі мережну модель і модель клієнт/сервер.

Відповідно до сучасних концепцій про механізм взаємодії медичних систем, що здійснюють реєстрацію, обробку й збереження біомедичної інформації [9], модель такої взаємодії, що передбачає можливість динамічного встановлення зв'язку (принцип plug&play), будується за класичною схемою клієнт/сервер. Дана схема є також основою єдиного комунікаційного стандарту MIB IEEE 1073 взаємодії медичних пристроїв. Розвитком даної парадигми взаємодії об'єктів є модель так званих програмних агентів, які ми можемо визначити, з Вудриджу [7] як апаратну або програмну систему, що володіє рядом властивостей:

- автономність – агенти мають здатність самостійно виконувати поставлені завдання або змінювати своє внутрішнє стан без прямого втручання ззовні;
- соціальність – здатність до взаємодії з іншими подібними системами;
- реактивність – властивість агента сприймати своє оточення й відповідати в заданий проміжок часу на його зміну;
- проактивність – можливість приймати ініціативу по виконанню тієї або іншої дії на себе.

Таким чином, парадигма програмних агентів, що найбільше повно погодиться з основними принципами організації підсистеми обслуговування й підтримки пристроїв реєстрації різної електрофізіологічної інформації, може бути ефективно використана для реалізації підсистеми реєстрації даних [7].

Біомедична система, що виступає стосовно додатка менеджера як програмний агент, відповідно до моделі предметної області IEEE 1073 є формальним позначенням для довільної системи, що обслуговує один або декілька біомедичних пристроїв реєстрації БМІ. Програмною частиною, що забезпечує керування й доступ до ресурсів блока управління, є контролер біомедичного пристрою реєстрації сигналів. Комунікаційний протокол будується на основі стандартних мережних рівнів ISO/OSI і підтримується шаром Association Control Service Element (ACSE) [2], що забезпечує логічний зв'язок між взаємодіючими сторонами й рівнем Common Medical Device Information Service Element (CMDISE) [3], що дає доступ до внутрішньої об'єктної інфраструктури додатка-агента, регламентованою інформаційною базою медичних даних (ІБМД) (англ. MDIB) стандарту IEEE 1073. MDIB є формальним описом всіх існуючих у рамках логічних моделей біомедичних систем об'єктів. Дані об'єкти є елементарними моделюємими елементами з «реального миру» такими, як медична система (МС), віртуальний медичний пристрій (ВМП), масив відрахунків реального часу (МВРВ), масив відрахунків (МВ), подія.

У цілому, завдання реалізації підсистеми реєстрації й розподіли медичних даних із пристроїв знімання складаються у взаємно однозначному відображенні подань ІБМД.

Найбільш важливим компонентом представленої схеми є ВМП, що служить абстрактним поданням компонента, що обслуговує пристрій реєстрації БМІ, і компонент абстрактного доступу до устаткування, що забезпечує інтеграцію із ВМП. Принципи взаємодії ВМП побудовані на основі парадигми програмних агентів, як концепції яка дозволяє найбільше повно вирішити завдання децентралізованого керування пристроями. У рамках архітектури ВМП має наступні властивості:

– внутрішній стан ВМП однозначно відповідає стану фізичного пристрою, зміни цих станів строго детерміновані;

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

–ВМП забезпечує функції керування й контролю станів керованого апаратного пристрою;

–ВМП управляє створенням, розподілом масивів відрахунків реального часу й передачею подій.

Розглянувши усі блоки функціональної схеми перейдемо до розгляду діаграми взаємодії процесів, які відбуваються у системі.

3.4 Розробка діаграми процесів

Розглянемо розроблену діаграму процесів яка зображена на рисунку 3.3. Основна будова діаграми процесів полягає у графічному представленні складу сукупностей даних, що характеризуються як співвідношення різних частин кожної з сукупностей.

Склад статистичної сукупності графічно може бути представлений як за допомогою абсолютних, так і відносних показників. Графічне зображення складу сукупності по абсолютними і відносними показниками сприяє проведенню більш глибокого аналізу і дозволяє проводити аналіз системи.

Діаграма взаємодії процесів використовується для візуалізації процесів обробки даних (структурне проектування).

Для розробника вважається звичним спочатку креслити діаграму взаємодії процесів даних рівня контексту, завдяки чому буде показано взаємодію системи.

Ця діаграма в подальшому підлягає уточненню шляхом деталізації процесів та потоків даних з метою показати систему що розробляється.

При детальному її розгляді можна побачити як саме проходить взаємодія у розробленій системі.

Використовується модель проектування, графічне представлення «потоків» даних в інформаційній системі.

Діаграми потоків даних містять чотири типи елементів:

– Зовнішні по відношенню до системи сутності.

- Потоки даних між елементами трьох попередніх типів.
- Процеси які являють собою трансформацію даних в рамках описуваної системи.
- Сховища даних (репозиторії).

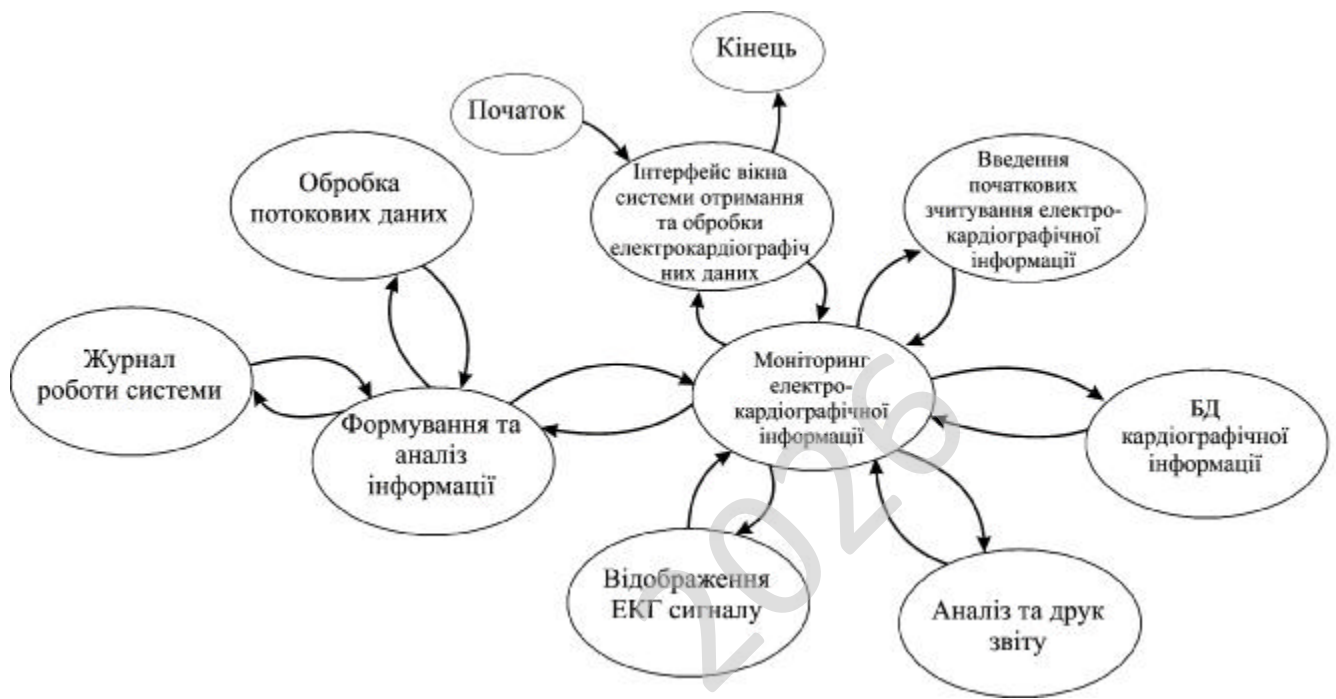


Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

Таким чином, розглянувши опис системи, структурну, функціональну схеми системи, та діаграму взаємодії процесів перейдемо до опису блок-схем основної програми, та підпрограм, які використовуються, для реалізації системи.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Розглянемо реалізацію бакалаврської роботи. Були проведені розрахунки і підібрані набори тестових даних для перевірки правильності реалізації проектних рішень. Було створено блок-схеми роботи системи. Перед їх розглядом необхідно провести роз'яснення який саме тип блок-схем використовується. Блок-схема це представлення задачі для її аналізу або розв'язування за допомогою спеціальних символів (геометричних образів), які позначають такі елементи, як операції, потік, дані тощо.

Блок вхідних та вихідних даних прийнято позначати паралелограмом, блок обчислень (обробки) даних – прямокутником, блок прийняття рішень – ромбом, еліпсом – початок та кінець алгоритму.

У інформаційних технологіях функціональна схема складається з функціональних блоків, які являють собою конструктивно відособлені частини (елементи або пристрої) автоматичних систем, які виконують певні функції. Функціональні блоки на схемі позначають прямокутниками, всередині яких надписують їх найменування відповідно до функцій, що виконуються. Зв'язки між функціональними блоками (внутрішні впливи) позначаються лініями зі стрілками, які вказують напрям впливів.

Функціональні схеми можуть виконуватися в укрупненому і розгорненому вигляді. У першому випадку на схемі зображають найважливіші блоки системи і зв'язки між ними.

У другому варіанті схема відображається більш детально, що полегшує її читання та ілюструє принцип роботи.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Основні елементи схем алгоритму це термінатор, процес, рішення, зумовлений процес (підпрограма), дані та з'єднувач. Термінатор це елемент відображає вхід із зовнішнього середовища або вихід з неї (найчастіше застосування – початок і кінець програми). Всередині фігури записується відповідна дія.

Процес це виконання однієї або кількох операцій, обробка даних будь-якого виду (зміна значення даних, форми подання, розташування). Всередині фігури записують безпосередньо самі операції. Рішення це показує рішення або функцію перемикального типу з одним входом і двома або більше альтернативними виходами, з яких тільки один може бути обраний після обчислення умов, визначених всередині цього елемента.

Вхід в елемент позначається лінією, що входить зазвичай у верхню вершину елемента. Якщо виходів два чи три то зазвичай кожен вихід позначається лінією, що виходить з решти вершин (бічних і нижній). Якщо виходів більше трьох, то їх слід показувати однією лінією, що виходить з вершини (частіше нижній) елемента, яка потім розгалужується.

Відповідні результати обчислень можуть записуватися поруч з лініями, що відображають ці шляхи. Зумовлений процес (підпрограма) це символ відображає виконання процесу, що складається з однієї або кількох операцій, що визначені в іншому місці програми (у підпрограмі, модулі). Всередині символу записується назва процесу і передані в нього дані. Дані це перетворення у форму, придатну для обробки (введення) або відображення результатів обробки (виведення). Цей символ не визначає носія даних (для вказівки типу носія даних використовуються специфічні символи). З'єднувач це символ відображає вихід в частину схеми і вхід з іншої частини цієї схеми.

Використовується для обриву лінії та продовження її в іншому місці (приклад: поділ блок-схеми, що не поміщається на листі). Відповідні сполучні символи повинні мати одне (при тому унікальне) позначення.

Блок-схеми показують весь процес роботи системи з підсистемами та частково доказують правильність вибраних проектних рішень. Тому від точності і детальної блок-схеми залежить результат всієї програми.

При виборі початкової точки відліку при побудові схем було враховано, що виходячи з вибору мови програмування і інших технічних засобів, програма буде об'єктно-орієнтована що вимагає високого рівня декомпозиції задач на класи.

На рисунку 4.1 зображена основна блок-схема програми, на рисунку 4.2 зображено роботу підпрограми.

З яких видно що робота основної програми складається з початкових етапів ініціалізації ПЗ, перевірки наявності ресурсів системи, блоку початку основного циклу з чеканням запиту від користувача в якому відбувається виклик підсистеми та останньої стадії – перевірка поточного стану з завершенням роботи розробленого ПЗ. При роботі підпрограми виконується основний функціонал системи з циклічними послідовностями, перевіркою поточного стану та поверненням в основну програму прапорів стану виконання.

Було використано підходи з використанням UML, це уніфікована мова моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування. Є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення. UML є мовою широкого профілю, це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, називаної UML-моделлю. UML був створений для визначення, візуалізації, проектування й документування в основному програмних систем. UML не є мовою програмування, але в засобах виконання UML-моделей як інтерпретованого коду можлива кодогенерація.

Було використано наступні підходи UML: діаграма діяльності (діаграми поведінки типу); діаграма прецедентів (діаграми поведінки типу); Діаграма класів; Діаграма компонент; Діаграма об'єктів; Діаграма розгортання.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

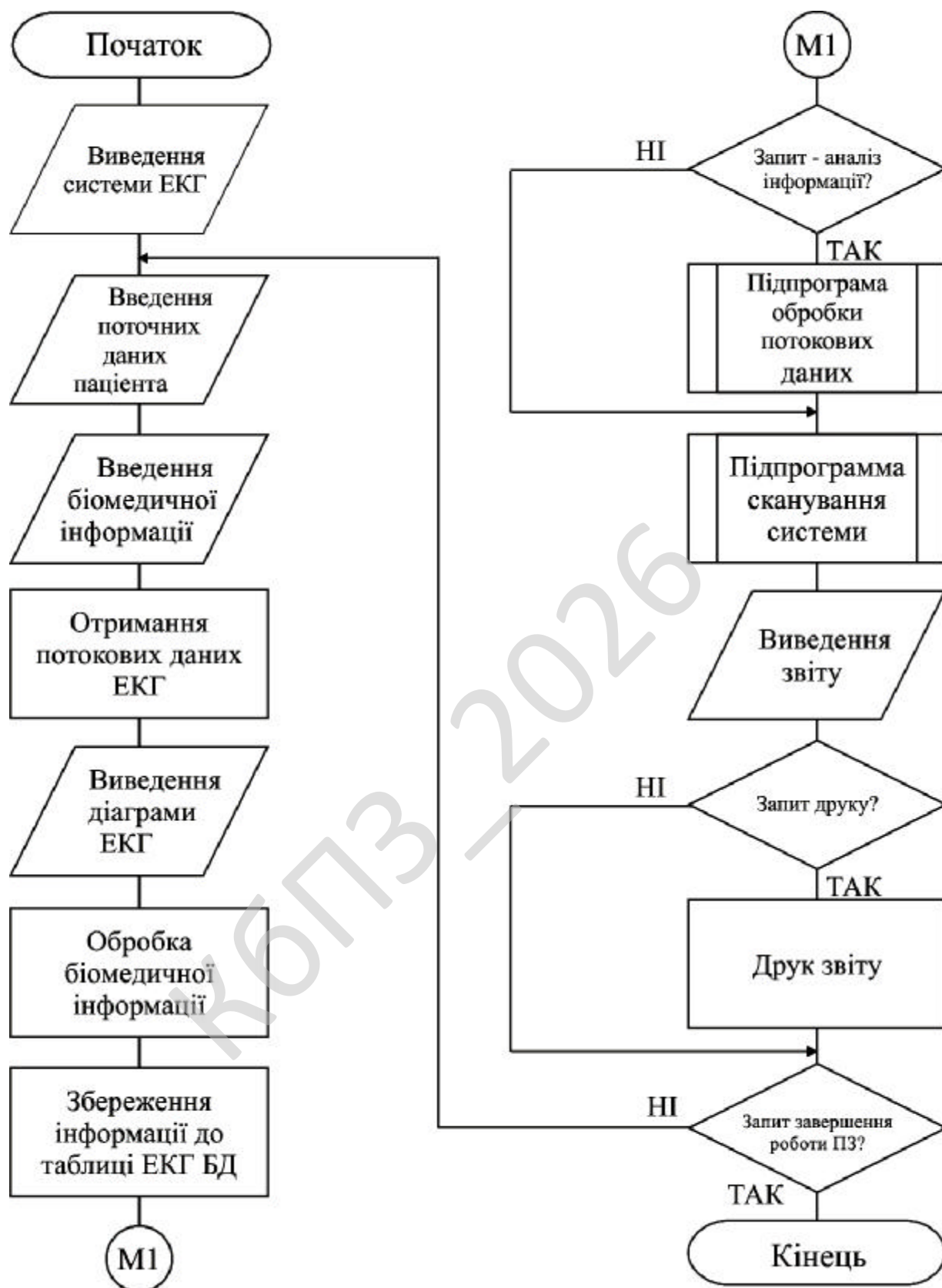


Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Діаграма діяльності. Це візуальне представлення графу діяльностей. Граф діяльностей є різновидом графу станів скінченного автомату, вершинами якого є певні дії, а переходи відбуваються по завершенню дій. Дія є фундаментальною одиницею визначення поведінки в специфікації. Дія отримує множину вхідних сигналів, та перетворює їх на множину вихідних сигналів.



Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми обробки поточкових даних

Одна із цих множин, або обидві водночас, можуть бути порожніми. Виконання дії відповідає виконанню окремої дії. Подібно до цього, виконання діяльності є виконанням окремої діяльності, буквально, включно із виконанням тих дій, що містяться в діяльності. Кожна дія в діяльності може виконуватись один, два, або більше разів під час одного виконання діяльності. Щонайменше, дії мають отримувати дані, перетворювати їх та тестувати, деякі дії можуть вимагати певної послідовності.

Специфікація діяльності (на вищих рівнях сумісності) може дозволяти виконання декількох (логічних) потоків, та існування механізмів синхронізації для гарантування виконання дій у правильному порядку.

Діаграма прецедентів це діаграма, на якій зображено відношення між акторами та прецедентами в системі. Також, перекладається як діаграма варіантів використання.

Діаграма прецедентів є графом, що складається з множини акторів, прецедентів (варіантів використання) обмежених границею системи (прямокутник), асоціацій між акторами та прецедентами, відношень серед прецедентів, та відношень узагальнення між акторами. Діаграми прецедентів відображають елементи моделі варіантів використання.

Суть даної діаграми полягає в наступному: проєктована система представляється у вигляді безлічі сутностей чи акторів, що взаємодіють із системою за допомогою так званих варіантів використання. Варіант використання (use case) використовують для описання послуг, які система надає актору. Іншими словами, кожен варіант використання визначає деякий набір дій, який виконує система при діалозі з актором.

При цьому нічого не говориться про те, яким чином буде реалізована взаємодія акторів із системою.

У мові UML є кілька стандартних видів відношень між акторами і варіантами використання:

– асоціації (association relationship);

- включення (include relationship);
- розширення (extend relationship);
- узагальнення (generalization relationship).

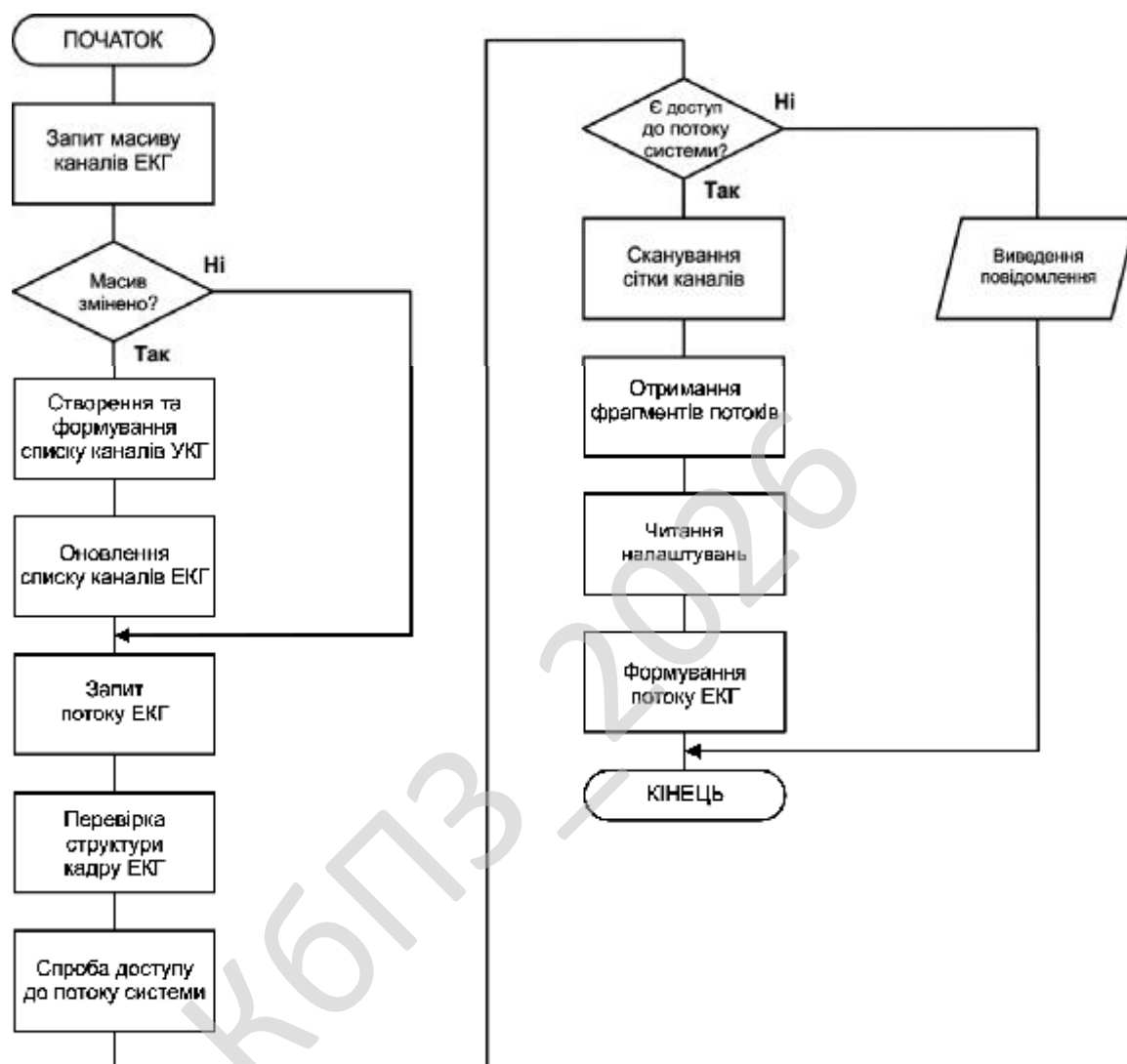


Рисунок 4.3 – Блок-схема роботи підпрограми

Опис системи

Програмне забезпечення системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику ЕРІС PS25251 розробляється як прикладна інформаційна система бакалаврського рівня, що забезпечує приймання сигналу від сенсорного модуля, цифрову фільтрацію,

попередню обробку, виділення інформативних ознак, візуалізацію електрокардіограми та збереження результатів аналізу.

Система реалізується мовою програмування Python, оскільки ця мова має зручні бібліотеки для роботи з потоковими даними, числовими масивами, цифровою обробкою сигналів, графічним інтерфейсом і локальним зберіганням результатів.

Розроблювана система не виконує медичну діагностику і не замінює лікаря. Вона використовується як навчальний програмний комплекс для отримання, первинної обробки та демонстраційного аналізу електрокардіографічного сигналу.

Розрахунки та обґрунтування проектних рішень

Датчик EPIC PS25251 належить до електрофізіологічних сенсорів із надвисоким входним опором. У технічному описі для PS25251 зазначається типовий входний опір 20 ГОм, сухий контактний ємнісний принцип знімання сигналу, входна ємність до 15 пФ, нижня гранична частота близько 200 мГц і верхня гранична частота близько 10 кГц. Такі характеристики підтверджують доцільність використання датчика для безгелевого отримання електрокардіографічних сигналів у навчальній системі.

Для цифрового отримання ЕКГ обирається частота дискретизації 500 Гц. Це значення є достатнім для реєстрації основної форми ЕКГ сигналу, оскільки корисна частина сигналу в системі обробляється в діапазоні від 0,5 Гц до 40 Гц для режиму моніторингу. За теоремою Найквіста частота дискретизації має бути щонайменше вдвічі більшою за максимальну частоту корисного сигналу. Для верхньої межі 40 Гц мінімальна частота дискретизації становить 80 Гц. Обране значення 500 Гц створює запас у 6,25 раза, що підвищує точність подальшого виявлення зубців і комплексів ЕКГ.

Для аналого цифрового перетворення приймається розрядність 12 біт. Якщо один відлік зберігається як 16 бітове ціле число, то обсяг даних для одного каналу становить 500 відліків за секунду помножити на 2 байти. Отже, система

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

формує приблизно 1000 байтів за секунду для одного каналу без урахування службових полів. Це дає змогу зберігати дані локально навіть на малопотужному комп'ютері або одноплатному пристрої.

Розрахунок потоку даних

– 500 відліків за секунду помножити на 2 байти дорівнює 1000 байтів за секунду.

– 1000 байтів за секунду помножити на 60 секунд дорівнює 60000 байтів за хвилину.

– 60000 байтів приблизно дорівнює 58,6 KiB за хвилину.

Для десятихвилинного запису один канал формує приблизно 586 сирих даних. Такий обсяг є незначним для сучасних носіїв, тому в системі доцільно використовувати локальну базу SQLite для метаданих і файли CSV або NumPy для масивів сигналу.

Для зменшення перешкод у системі використовується цифрова фільтрація. Фільтр високих частот із нижньою межею 0,5 Гц пригнічує повільний дрейф ізолінії. Фільтр низьких частот із верхньою межею 40 Гц зменшує високочастотний шум. Додатковий режекторний фільтр на 50 Гц використовується для пригнічення мережевої завади. Таке рішення відповідає умовам навчального моніторингового аналізу, де головним завданням є стабільне відображення форми сигналу та виділення R піків.

Загальна характеристика системи

Система отримує аналоговий сигнал від датчика EPIC PS25251 через апаратний модуль попереднього узгодження та аналого цифровий перетворювач. Після оцифрування дані надходять до програмного модуля приймання, де перевіряється частота дискретизації, наявність пропусків, допустимий діапазон значень і стабільність потоку. Далі сигнал передається до блоку цифрової обробки.

Програмне забезпечення виконує нормалізацію сигналу, фільтрацію, видалення повільного зміщення, пошук **R піків**, розрахунок інтервалів між

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

сусідніми скороченнями та визначення частоти серцевих скорочень. Отримані результати відображаються у графічному інтерфейсі користувача, де оператор бачить поточну ЕКГ криву, числові показники, статус сигналу, тривалість запису та журнал подій.

Система має модульну архітектуру. Це дає змогу окремо змінювати модуль отримання даних, модуль обробки, модуль візуалізації або модуль збереження без повної зміни програмного комплексу. Такий підхід є доцільним для бакалаврської роботи, оскільки він демонструє зв'язок між апаратною частиною, алгоритмами цифрової обробки сигналів і прикладним програмним забезпеченням.

Архітектура програмного забезпечення

Архітектура системи складається з кількох рівнів.

1. Рівень отримання даних. Цей рівень відповідає за приймання цифрових відліків ЕКГ від апаратного модуля. У реальному режимі дані можуть надходити через послідовний порт, USB перетворювач або мікроконтролерний модуль. У тестовому режимі система використовує файл із попередньо записаним сигналом.

2. Рівень попередньої перевірки. На цьому рівні перевіряється коректність структури пакета, наявність часової мітки, цілісність значення та допустимий діапазон амплітуди. Якщо дані мають пропуски або різкі технічні викиди, система позначає відповідний фрагмент як проблемний.

3. Рівень цифрової обробки сигналу. Цей рівень виконує фільтрацію, згладжування, нормалізацію та підготовку сигналу до подальшого аналізу. Основною метою є отримання стабільної форми ЕКГ без значного дрейфу ізолінії та високочастотних шумів.

4. Рівень інтелектуального аналізу. На цьому рівні система виявляє R піки, розраховує RR інтервали, оцінює частоту серцевих скорочень, визначає якість сигналу та формує службові повідомлення. Інтелектуальність системи полягає у використанні алгоритмічного аналізу форми сигналу, адаптивного порогу та правил оцінювання якості запису.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

5. Рівень збереження даних. Система зберігає інформацію про користувача, дату запису, параметри сенсора, частоту дискретизації, тривалість запису, розраховані показники та шлях до файлу сигналу. Для цього використовується база SQLite.

6. Рівень графічного інтерфейсу. Інтерфейс дає змогу запускати запис, зупиняти отримання даних, переглядати графік, контролювати якість сигналу, відкривати попередні записи та експортувати результати.

Основні модулі системи

– **Модуль sensor_reader.** Модуль відповідає за отримання даних від датчика або тестового джерела. Він приймає відліки, додає часові мітки та передає дані до буфера обробки.

– **Модуль signal_filter.** Модуль виконує цифрову фільтрацію сигналу. Він прибирає низькочастотний дрейф, високочастотний шум і мережеву заваду.

– **Модуль ecg_analyzer.** Модуль виконує пошук R піків, розраховує RR інтервали, визначає частоту серцевих скорочень і формує оцінку якості сигналу.

– **Модуль data_storage.** Модуль забезпечує створення бази даних, збереження записів, пошук попередніх вимірювань і експорт результатів.

– **Модуль user_interface.** Модуль формує головне вікно програми, графік сигналу, панель показників і кнопки керування.

– **Модуль report_generator.** Модуль створює текстовий або табличний звіт за результатами запису. У звіті зазначаються параметри вимірювання, середня частота серцевих скорочень, тривалість запису та службові позначки якості сигналу.

Нижче наведено приклади фрагментів вихідного коду, які демонструють основні програмні елементи системи.

Перерахунок значення АЦП у напругу

```
def adc_to_millivolts(adc_value, adc_bits=12, reference_voltage=3.3, gain=1000):  
    max_adc_value = (2 ** adc_bits) - 1  
    centered_value = adc_value - (max_adc_value / 2)  
    voltage = centered_value * reference_voltage / max_adc_value  
    voltage_mv = voltage * 1000 / gain
```

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

```
return voltage_mv
```

Фільтрація сигналу

```
import numpy as np
from scipy.signal import butter, filtfilt, iirnotch
def bandpass_filter(signal, sampling_rate, low_cut=0.5, high_cut=40.0, order=4):
    nyquist = sampling_rate / 2
    low = low_cut / nyquist
    high = high_cut / nyquist
    b, a = butter(order, [low, high], btype="band")
    return filtfilt(b, a, signal)
def notch_filter(signal, sampling_rate, notch_frequency=50.0,
quality_factor=30.0):
    nyquist = sampling_rate / 2
    normalized_frequency = notch_frequency / nyquist
    b, a = iirnotch(normalized_frequency, quality_factor)
    return filtfilt(b, a, signal)
```

Пошук R піків

```
import numpy as np
from scipy.signal import find_peaks
def detect_r_peaks(filtered_signal, sampling_rate):
    signal_array = np.asarray(filtered_signal)
    min_distance = int(0.25 * sampling_rate)
    threshold = np.mean(signal_array) + 0.6 * np.std(signal_array)
    peaks, properties = find_peaks(
        signal_array,
        distance=min_distance,
        height=threshold
    )
    return peaks, properties
```

Розрахунок частоти серцевих скорочень

```
import numpy as np
def calculate_heart_rate(peaks, sampling_rate):
    if len(peaks) < 2:
        return None
    rr_intervals = np.diff(peaks) / sampling_rate
    average_rr = np.mean(rr_intervals)
    if average_rr <= 0:
        return None
    heart_rate = 60 / average_rr
    return round(float(heart_rate), 1)
```

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Збереження результатів у SQLite

```
import sqlite3
from datetime import datetime

def create_database(db_path):
    connection = sqlite3.connect(db_path)
    cursor = connection.cursor()
    cursor.execute("""
        CREATE TABLE IF NOT EXISTS ecg_records (
            id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
            user_name TEXT NOT NULL,
            created_at TEXT NOT NULL,
            sampling_rate INTEGER NOT NULL,
            duration_seconds REAL NOT NULL,
            heart_rate REAL,
            quality_status TEXT NOT NULL,
            signal_file TEXT NOT NULL
        )
    """)
    connection.commit()
    connection.close()

def save_record(db_path, user_name, sampling_rate, duration_seconds, heart_rate,
quality_status, signal_file):
    connection = sqlite3.connect(db_path)
    cursor = connection.cursor()
    cursor.execute("""
        INSERT INTO ecg_records (
            user_name,
            created_at,
            sampling_rate,
            duration_seconds,
            heart_rate,
            quality_status,
            signal_file
        )
        VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)
    """, (
        user_name,
        datetime.now().isoformat(timespec="seconds"),
        sampling_rate,
        duration_seconds,
        heart_rate,
```

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

```

        quality_status,
        signal_file
    ))
    connection.commit()
    connection.close()

```

Особливості реалізації програмного забезпечення були розглянуті ряд стандартів подання біомедичних даних, оцінені їхні якості на основі оцінки відповідності представленим вимогам з метою визначення необхідності їхньої підтримки.

Самим раннім зі стандартів, що ставляться до першого класу, є специфікація EDF (European Data Format), поява якого відноситься до 1991 року. Перша специфікація, розроблена групою інженерів, що працюють у галузі розробки біомедичних систем, незважаючи на відсутність підтримки з боку якого-небудь інституту стандартизації, залучила значний інтерес із боку розроблювачів систем.

EDF швидко завоював відносну популярність, в основному, в області нейрофізіології, завдяки, насамперед, простоті реалізації. Іншим важливим прикладом ефективного використання даного формату є можливість його застосування в реферативних базах даних біомедичних сигналів.

Структура формату представлена на рисунку 4.4. Файл даних має деякий ASCII-заголовок, у якому втримуються основні дані про пацієнта, умови знімання й довжину сигналів.

Додатково, для кожного із сигналів створюється відповідний заголовок, у якому втримується інформація про тип сигналу і його фізичних характеристик.

Єдиним стандартом подання нейрофізіологічних сигналів, офіційно підтримуваним організацією по стандартизації, є специфікація ASTM 1467, розроблена відповідно до методології створення повідомлень стандарту обміну медичними записами Health Level-7.

Відповідно до основної специфікації забезпечується підтримка подання основних електрофізіологічних сигналів, а також ЕКГ.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

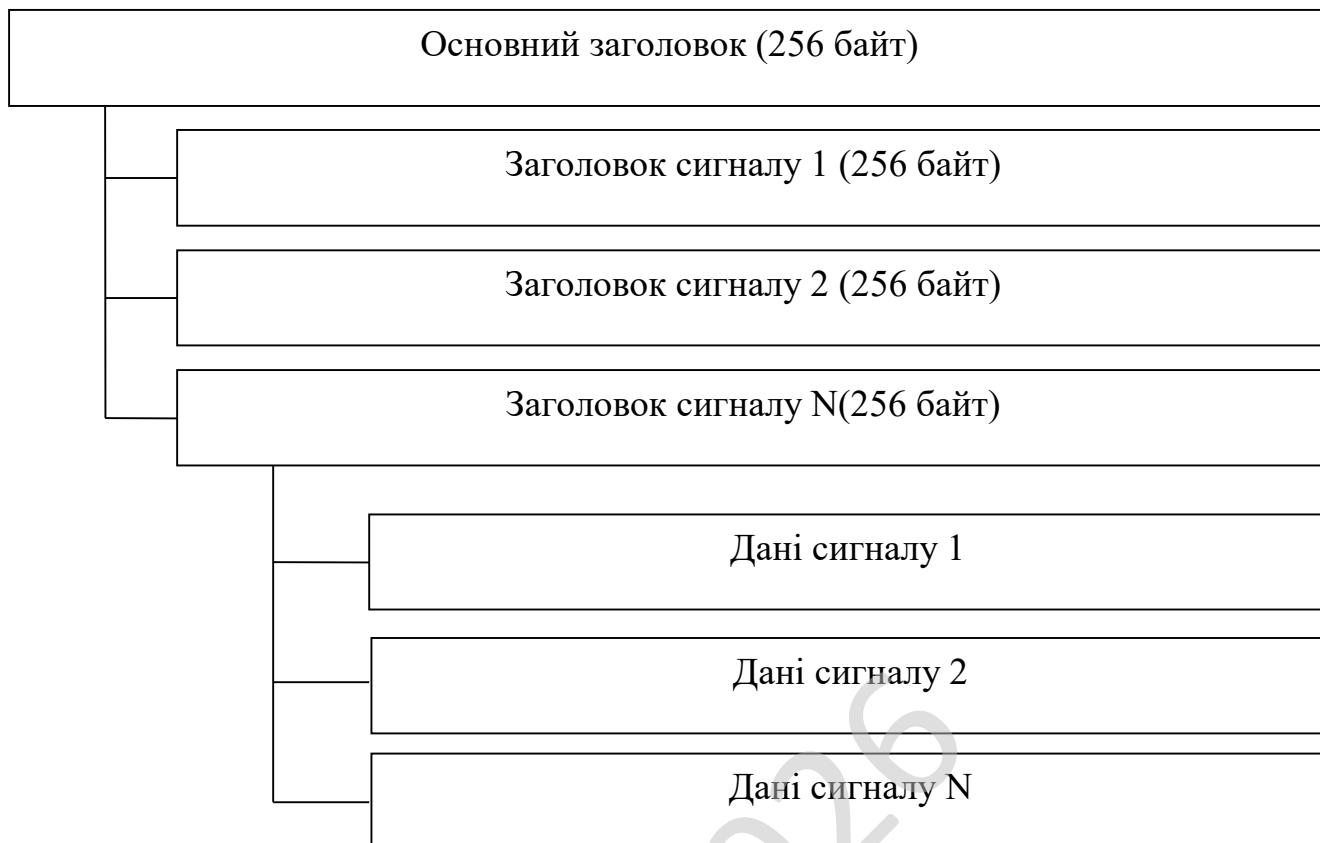


Рисунок 4.4 – Структура формату EDF

У доповненні до формату багатоканальних записів, стандарт визначає безліч допоміжних елементів: ідентифікаторів каналів, параметрів настроювання фільтрів, каліброваних даних, характеристик електродів, різних форм анотування й інших параметрів.

Для подання цих параметрів ASTM-1467 визначає безліч типів даних, що представляються у вигляді ASCII-символів. Стандартом, орієнтованим, в основному, на завдання електрокардіографії, став формат даних ENV1064 [8], вироблений Європейським Інститутом Стандартизації (CEN), широко відомий серед розроблювачів електрокардіографів за назвою SCP-ECG (Standard Communication Protocol for ECG) [8].

Будучи офіційним стандартом і одержавши підтримку органів стандартизації, SCP-ECG швидко завоював популярність серед виробників кардіологічної техніки. ENV1064 установлює єдиний протокол передачі ЕКГ-

даних як між цифровим електрокардіографом і комп'ютеризованою системою керування, так і між комп'ютерними системами різних виробників. Стандарт SCP-ECG не накладає обмежень на фізичний рівень протоколу, а лише визначає мінімально необхідні вимоги для його підтримки.

Він же регламентує деякі угоди по передачі інших даних: відомостей про пацієнта, результатів аналізу ЕКГ, умовах проведення вимірів і т.д.

Документ ENV1064 розбиває логічну послідовність ЕКГ даних (запис) на секції й описує зміст і формат подання кожної секції. Початок кожної секції перебуває по парній адресі (зсуву від 0).

Тобто всі секції містять парна кількість байт – при необхідності секція доповнюється нульовим байтом. Всі секції мають ідентифікаційні номери (ID).

Номера від 0 до 11 описані в SCP-ECG протоколі (таблиця 4.1), номери від 12 до 127 і номери більше 1024 включно зарезервовані для майбутнього використання.

Номера від 128 до 1023 призначені для специфічних секцій виробників ЕКГ-пристроїв.

Таблиця 4.1 – Структура формату запису SCP-ECG

Наявність	Зміст
Обов'язково	2 байти Контрольна сума CRC16 всіх секцій і розміру всього запису
Обов'язково	4 байти Розмір всього запису в байтах
Обов'язково	Секція 0 Список покажчиків на початок кожної наступної секції
Обов'язково	Секція 1 Дані про пацієнта (ім'я, ідентифікатор, стать, дата народження й т.д.); дані про обстеження (дата, час, умови й т.д.)

Продовження таблиці 4.1

Необов'язково	Секція 2 Всі таблиці Хафмена(при кодуванні по Хафмену) для розпакування вихідного сигналу (Секція 6) або репрезентативного комплексу (Секція 5) і різницевого сигналу (Секція 6) у режимі "високої компресії"
Необов'язково	Секція 3 Перерахування відведень, переданих у поточному записі, а також загальної інформації про їхнє кодування
Наявність	Зміст
Необов'язково	Секція 4 Розташування QRS-комплексів (тільки в режимі "високої" компресії)
Необов'язково	Секція 5 Для кожного відведення репрезентативний комплекс
Необов'язково	Секція 6 Для кожного відведення вихідний сигнал або, при використанні медіанного кодування, різницевий сигнал, отриманий шляхом вирахування репрезентативного комплексу з вихідного сигналу
Необов'язково	Секція 7 Загальні для всіх відведень виміру кожного комплексу в записі (тривалості, кути повороту електричних осей і т.д.) і список артефактів від штучного водія ритму.
Необов'язков о	Секція 8 Текстовий діагноз від "інтерпретуючого" пристрою
Необов'язково	Секція 9 Діагностичні дані, специфічні для виробника

Продовження таблиці 4.1

Необов'язково	Секція 10 Виміри, зроблені для кожного відведення окремо (амплітуди, тривалості й т.д.)
Необов'язково	Секція 11 Уніфікований закодований висновок

Під репрезентативним комплексом розуміється усереднений або найбільш типовий із всіх знайдених комплексів у всьому записі ЕКГ. Разом з желудочковим QRS комплексом у репрезентативному комплексі присутній зубець Р (крім випадку фібриляції передсердь) сегмент S-T і зубець Т.

У секціях 5 і 6 при кодуванні цифрових сигналів допускається подання їх у вигляді оригінальних відрахунків, першого або другого диференціала.

У секції 11 використовується система стандартних кодувань для одержання уніфікованого висновку. На відміну від цього в секції 8 необхідно зберігати висновок у текстовому виді. Секція 9 призначена для запису унікальних діагностичних даних, не специфікованих в описуваному стандарті. Якщо кожна із секцій 8, 9 або 11 є присутнім, то не передбачається, що всі три секції присутні.

Секції з 2 по 11 опціональні. Будь-яка SCP-ECG запис повинна в обов'язковому порядку містити тільки технологічну секцію 0 (список показчиків на початок кожної наступної секції) і секцію 1 (дані про пацієнта; дані про обстеження). Передбачається наявність у записі й інших секціях, але перевірка їхньої присутності не відбувається.

Таким чином, стандарт SCP-ECG є жорстко орієнтованим на завдання комп'ютерної електрокардіографії і його використання для подання довільних електрофізіологічних сигналів є тяжким.

Специфікація формату CEN-TC251/FEF ля біомедичних сигналів опирається на об'єктно-орієнтовану модель і розширену номенклатуру стандарту ENV 13734.

Номенклатура є переліком різноманітних елементів, що представляють собою певні типи медичних даних, кожний з яких однозначно визначається деяким тегом, унікальним у своєму контексті.

Кожний такий елемент отриманий на підставі моделювання предметної області, у цьому випадку біомедичних систем реєстрації й обробки даних.

Елементи, маючи набір атрибутів і відповідних бінарних подань, становлять інформаційну базу медичних даних (ІБМД).

Файл у форматі FEF являє собою послідовність секцій, кожна з яких визначається своїм тегом і містить об'єктні елементи, кодування яких здійснюється у відповідності зі специфікацією ENV 13734.

4.2 Захист розробленого програмного забезпечення

Для захисту розробленого програмного забезпечення запропоновано використовувати алгоритм Madryga. Алгоритм Madryga складається із двох вкладених циклів. Зовнішній цикл повторюється вісім разів (для гарантії надійності число циклів можна збільшити) і полягає в застосуванні внутрішнього циклу до відкритого тексту. Внутрішній цикл перетворює відкритий текст у шифртекст і виконується однократно над кожним 8-бітовим блоком (байтом) відкритого тексту. Таким чином, весь відкритий текст послідовно вісім разів обробляється алгоритмом.

Ітерація внутрішнього циклу оперує з 3-байтовим вікном даних, називаним робочим кадром (рисунок 4.5). Це вікно зрушується на 1 байт за ітерацію. (При роботі з останніми 2 байтами дані покладаються циклічно замкнутими). Перші два байти робочого кадру циклічно зрушуються на змінне число позицій, а для останнього байта виконується операція XOR з декількома бітами ключа. У міру переміщення робочого кадру всі байти послідовно циклічно зрушуються й піддаються операції XOR із частинами ключа. Послідовні циклічні зрушення перемішують результати попередніх операцій XOR і циклічного

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

зрушення, причому на циклічне зрушення впливають результати XOR. Завдяки цьому процес у цілому оборотний.

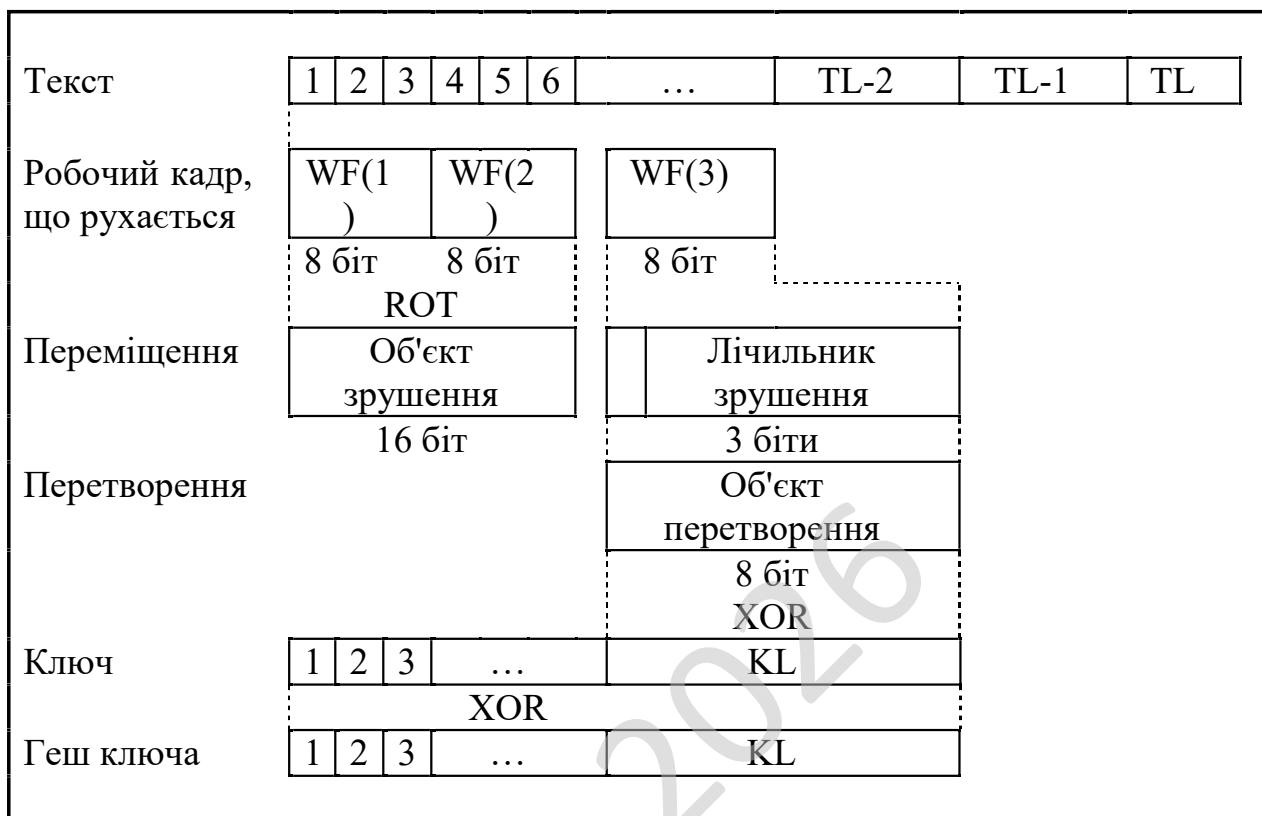


Рисунок 4.5 – Одна ітерація алгоритму Madryga

Оскільки кожний байт даних впливає на два байти ліворуч і на один байт праворуч від себе, після восьми проходів кожний байт шифртексту залежить від 16 байтів ліворуч і 8 байтів праворуч.

При шифруванні кожна ітерація внутрішнього циклу встановлює робочий кадр на передостанній байт відкритого тексту й циклічно переміщає його до третього з кінця байту відкритого тексту. Спочатку весь ключ піддається операції XOR з випадковою константою й потім циклічно зрушується вправо на 3 біти (ключ і дані рухаються в різних напрямках, щоб мінімізувати надлишкові операції з бітами ключа). Молодші три біти молодшого байта робочого кадру зберігаються, вони визначають циклічне зрушення інших двох байтів. Далі конкатенація двох старших байтом циклічно зрушується вліво на змінне число

біт (від 0 до 7). Потім над молодшим байтом робочого кадру виконується операція XOR з молодшим байтом ключа. Нарешті робочий кадр зміщається вправо на один байт і весь процес повторюється.

Випадкова константа призначена для перетворення ключа в псевдовипадкову послідовність. Довжина константи повинна бути рівній довжині ключа. При обміні даними абоненти повинні користуватися однією й тією же константою. Для 64-бітового ключа Madryga рекомендує константу 0x0fle2d3c4b5a6978.

При розшифруванні процес повторюється у зворотному порядку. У кожній ітерації внутрішнього циклу робочий кадр встановлюється на байт, третій ліворуч від останнього байта шифртексту, і циклічно зрушується у зворотному напрямку до байта, розташованого на 2 байти уліво відносно останнього байта шифртексту. 2 байти шифртексту в процесі циклічно зрушуються вправо, а ключ – уліво. Після циклічних зрушень виконується операція XOR.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

На рисунку 5.1 зображено розроблена бакалаврська робота дослідження та програмна реалізація системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику ЕРІС PS25251. З рисунку можна побачити що інтерфейс головного вікна розподілено на наступні функціональні розділи:

- Навігаційного меню яке викликається натисканням правої клавіші маніпулятора миші.
- Верхнього меню: Файл; Налаштування ЕКГ; Формат звіту; Довідка.
- Розділу потік ЕКГ.
- Розділу виведення результату роботи системи.
- Функції представлені у графічному вигляді.

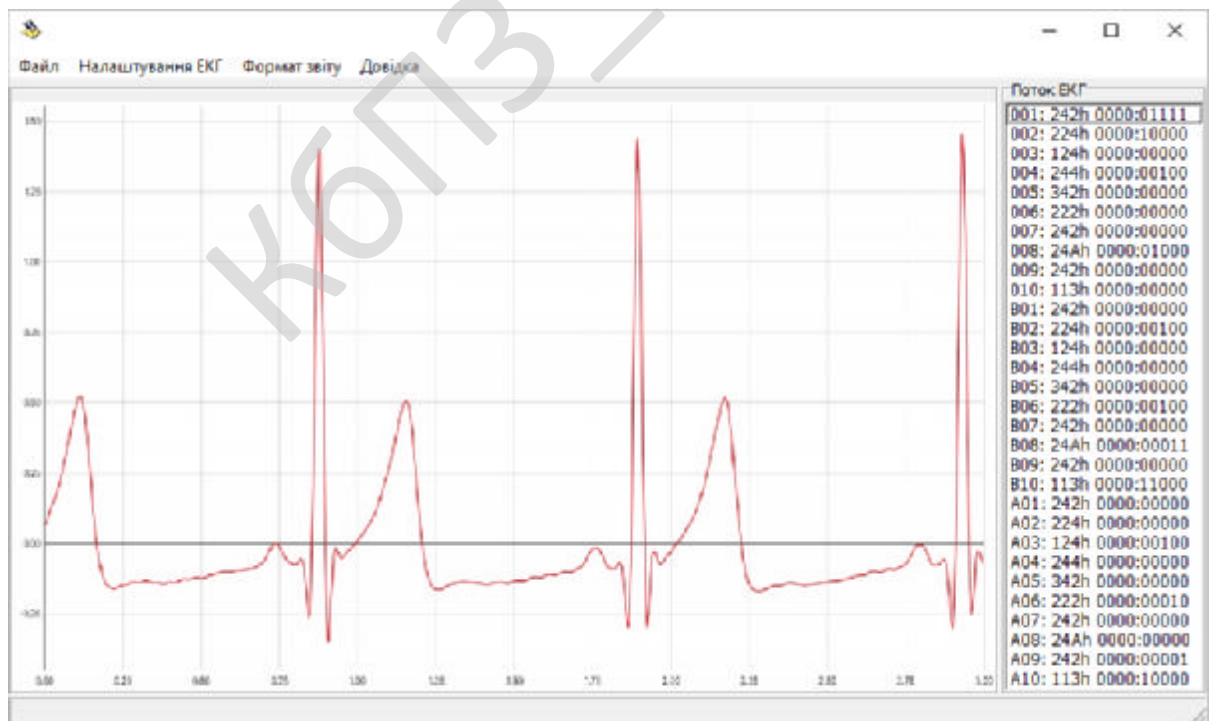


Рисунок 5.1 – Головне вікно ПЗ

Тенденцією теперішнього часу є створення й використання для обробки, практично, кожного типу квазіперіодичних (зокрема – біомедицинських) сигналів (або групи близьких за формою сигналів) окремої, розробленої тільки для нього математичної моделі. Найчастіше, така розмаїтість моделей не є виправданою, вона утрудняє порівняльний аналіз результатів моделювання, ускладнює завдання цілеспрямованого проведення досліджень необхідністю освоєння великої кількості різнотипних методів.

Отже, для підвищення ефективності обробки потоків такого роду інформації, часто й у реальному масштабі часу, потрібна розробка й реалізація математичних методів моделювання, не тільки оптимальних з погляду швидкості одержання кінцевого результату, використання мінімуму комп'ютерної пам'яті або інших ресурсів і забезпечення потрібної точності, але й даючих можливість всебічного й швидкого зіставлення моделей для оцінки якості одержуваних результатів.

Розробка сучасних комп'ютерних методів моделювання, створення нових моделей і програмних комплексів, їхнє застосування для аналізу біомедицинської інформації (наприклад, сигналів електрокардіограм – ЕКГ і електроенцефалограмм – ЕЕГ) є актуальним. Так, існує досить багато моделей, заснованих на застосуванні математичної теорії сплесків.

Розроблена програма має дуже простий і зрозумілий інтерфейс з користувачем. Кожен, хто в достатньому обсязі володіє операційним середовищем Windows без особливих складностей освоїть і цю програму, оскільки її інтерфейс інтуїтивно зрозумілий.

Якщо програма не видала ніяких помилок, і працює, то можна використовувати, інакше слід слідувати інструкціям, які пропонує програма.

На рисунку 5.2 зображено авторські дані розробленого програмного забезпечення.

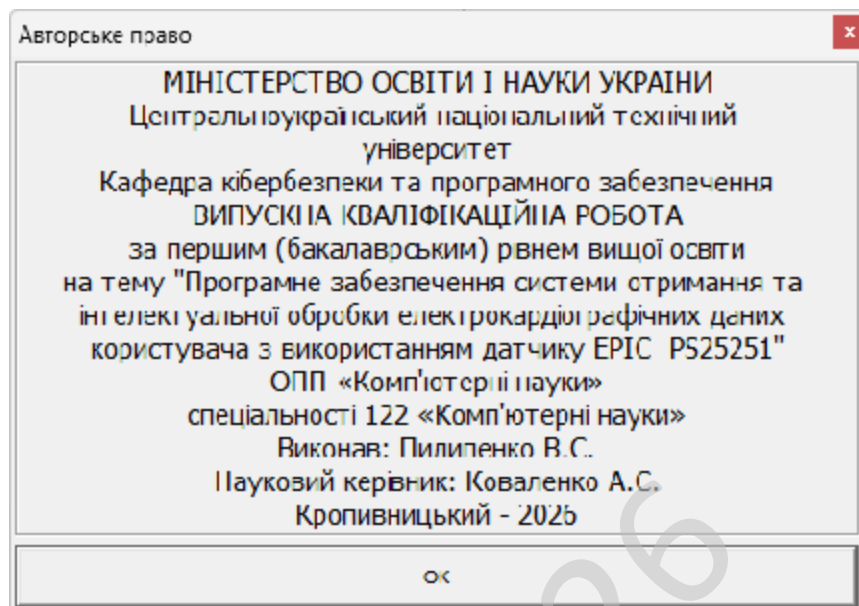


Рисунок 5.2 – Авторське право

Розглянемо процес впровадження програмного забезпечення, це процес налаштування програмного забезпечення під певні умови використання, а також навчання користувачів роботі з програмним продуктом. Впровадження програмного забезпечення це усі дії, що роблять розроблену програмну систему готовою до використання. Даний процес є частинною життєвого циклу програмного забезпечення.

Загалом процес розгортання складається з кількох взаємопов'язаних дій із можливими переходами між ними. Ця активність може відбуватися як з боку виробника так і з боку споживача. Оскільки кожна програмна система є унікальною, то усі процеси та процедури під час розгортання важко передбачити. Тому, "розгортання" можна трактувати як загальний процес відповідно до певних вимог та характеристик. Розгортання може здійснюватись програмістом і в процесі розробки програмного забезпечення.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

До діяльностей пов'язаних із розгортанням програмного забезпечення відносять:

- Випуск.
- Встановлення та активація.
- Деактивація.
- Адаптація.
- Оновлення.
- Вмонтування.
- Відстежування версій.
- Видалення.
- Вилучення з обігу.

При впровадженні програмного забезпечення потрібно урахувати наступні дії:

– Виділення критичних, з точки зору загального результату, процедур в діяльності організації. Коли набір таких процедур визначений, необхідно в першу чергу використовувати ІТ рішення для автоматизації операцій усередині саме цих процедур. Таким чином, розроблене ІТ рішення автоматично стає життєво важливим і затребуваним для організації, а також буде забезпечена публічність процесу впровадження;

– Розширення нормативної бази організації шляхом включення до неї регламентів, що описують порядок виконання процедур автоматизованих процесів. В іншому випадку є небезпека виникнення неузгодженості між автоматизованими процедурами та іншими процесами організації.

– Виконання робіт з загальної стандартизації існуючої діяльності організації, коли виділяються кращі практики виконання процедур і включаються в ІТ рішення за принципом найбільшої корисності для більшості учасників. Відсоток таких процедур щодо загального обсягу автоматизації може бути невеликий, але це надає процесу побудови рішення вагу в організації за рахунок збільшення його необхідності.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Під час роботи над програмою було проведено тестування програмного забезпечення, тобто технічне дослідження, призначене для виявлення інформації про якість продукту відносно контексту, в якому воно має використовуватись.

Тестування включає як процес пошуку помилок або інших дефектів, так і випробування програмних складових з метою їх оцінки.

Проводилась оцінка:

- відповідності поставленим вимогам;
- правильна відповідь для усіх можливих вхідних даних;
- виконання функцій за прийнятний час;
- практичність;
- сумісність з ОС та стороннім ПЗ.

Оскільки число можливих тестів для програмних компонент практично нескінченне, тому стратегія тестування полягала в тому, щоб провести всі можливі тести з урахуванням наявного часу та ресурсів.

Як результат ПЗ тестувалось стандартним виконанням програми з метою виявлення помилок або інших дефектів.

Проводилось тестування чорної скриньки.

Основне місце програми тестів «чорної скриньки» – інтерфейс ПЗ. Відомі: функції програми. Досліджується: робота кожної функції на всій області визначення.

Ці тести демонструють:

- Як виконуються функції програми.
- Як приймаються вихідні дані.
- Як виробляються результати.
- Як зберігається цілісність зовнішньої інформації.

При тестуванні «чорної скриньки» розглядаються системні характеристики програм, ігнорується їхня внутрішня логічна структура. Вичерпне тестування, як правило, неможливе.

Наприклад, якщо в програмі 10 вхідних величин і кожна приймає по 10 значень, то кількість тестових варіантів становитиме 10^{10} . Тестування «чорної скриньки» не реагує на багато особливостей програмних помилок.

Тестування «чорної скриньки» (функціональне тестування) дозволяє отримати комбінації вхідних даних, які забезпечують повну перевірку всіх функціональних вимог до програми.

Програмний виріб тут розглядається як «чорна скринька», чію поведінку можна визначити тільки дослідженням його входів та відповідних виходів. При такому підході бажано мати:

- Набір, утворений такими вхідними даними, які призводять до аномалій у поведінці програми (назвемо його ІТс).

- Набір, утворений такими вхідними даними, які демонструють дефекти програми (назвемо його ОТ).

Будь-який спосіб тестування «чорної скриньки» повинен:

- Виявити такі вхідні дані, які з високою ймовірністю належать набору ІТс;
- Сформулювати такі очікувані результати, які з високою ймовірністю є елементами набору ОТ.

Принцип «чорної скриньки» не альтернативний принципу «білої скриньки». Скоріше це доповнює підхід, який виявляє інший клас помилок.

Тестування «чорної скриньки» забезпечує пошук наступних категорій помилок:

- Некоректних чи відсутніх функцій;
- Помилки інтерфейсу;
- Помилки у зовнішніх структурах даних або в доступі до зовнішньої бази даних;
- Помилки характеристик (необхідна ємність пам'яті і т.д.);
- Помилки ініціалізації та завершення.

Обрано умови розповсюдження – commercial software. Програмне забезпечення, створене комерційною організацією з метою отримання прибутку

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

від його використання іншими, наприклад, шляхом продажу копій. Найважливішою особливістю комерційних програмних продуктів є підтримка великих компаній, прямо зацікавлених у поширенні програм. Багато організацій надають виключно платну підтримку своїх продуктів, такий підхід, як правило, використовують організації, надають відкриті вихідні коди. Для продуктів, що розповсюджуються на комерційній основі діють зазвичай безкоштовні служби підтримки, покликані збільшити рівень довіри у клієнтів і потенційних покупців.

Далеко не завжди, але як правило терміни критично важливих змін в комерційних продуктах значно менше, ніж у некомерційних проєктів. Це пов'язано з тим, що над комерційним продуктом працюють цілі групи розробників і ця робота є їх основним заняттям. Розробникам-початківцям як правило доводиться шукати додаткові способи заробітку, і це збільшує час, що витрачається на доповнення і зміни програм. Так як основним рушійним фактором створення комерційного ПЗ є одержання прибутку, то комерційні програмні продукти першими заповнюють вільні ніші та пропонують варіанти вирішення завдань відразу по мірі виявлення вакууму в будь-якому секторі ринку.

Окремий вид комерційних програм, коли їх розробка оплачується безпосередньо замовником. Такі програми найчастіше позбавлені всіх переваг комерційних продуктів, оскільки мають обмежений бюджет, але більш адаптовані до вимог замовника, ніж аналоги.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, призначено для системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

Рішення завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

- Досліджена система отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

При створені програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Python. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані призначені для системи отримання та інтелектуальної обробки електрокардіографічних даних користувача з використанням датчику EPIC PS25251. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи Windows 10/11.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

Для підвищення рівня безпеки запропоновано застосовувати алгоритм Madryga.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. JJ Geewax. API Design Patterns. Manning Publications Co. 2021. 481 p.
2. Prateek Prasad. App Design Apprentice. Razeware LLC. 2020. 272 p.
3. Dawn Griffiths, David Griffiths. Head First Android Development. O'Reilly Media, Inc. 2021. 1414 p.
4. Nathan Metzler. Kotlin Programming for Beginners. Independently published. 2021. 158 p.
5. Aaron Torres. Go Programming Cookbook Second Edition. Packt Publishing Ltd. 2019. 427 p.
6. Мелешко Є.В., Якименко М.С., Поліщук Л.І. Алгоритми та структури даних: Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форми навчання. – Кропивницький: Видавець – Лисенко В.Ф., 2019. – 156 с.
7. Knuth D. The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms, 3rd Edition 3rd Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 672 p.
8. Knuth D. Art of Computer Programming, Vol. 2: Seminumerical Algorithms 3rd Edition, Kindle Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 672 p.
9. Knuth D. The Art of Computer Programming: Vol. 3: Sorting and Searching 2nd Edition, Kindle Edition. – Addison-Wesley Professional, 2019. – 800 p.
10. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to Algorithms, 3rd Edition (The MIT Press) 3rd Edition – The MIT Press, 2019. – 1292 p.
11. Вінтенко Б.Ю., Миронець І.В., Смірнов О.А. «Модель комп'ютерно-орієнтованої процедури системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *IV Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій (ІПШРІТ-2025)»* м.Черкаси 25 листопада 2025 року – Черкаси: ЧДТУ.– 2025. – С.101-103.

12. Kuznetsov O., Frontoni E., Kuznetsova Y., Chevardin V., Smirnov O. «Architectural foundations for adaptive security in edge computing systems». *Cybersecurity Defensive Walls in Edge Computing*, 2025. pp. 21-61.

13. Вінтенко, Б.Ю., Миронець, І.В., Смірнов, О.А., Коваленко, О.В., Усік, П.С., Буравченко, К.О., Лисенко, І.А. «Логіко-структурна модель комп'ютерно-орієнтованої процедури системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С. 413-427, 2025.

14. Смірнова, Т.В. «Дослідження методів, моделей та сучасних ІТ-рішень для підтримки технологічних процесів у критичній інфраструктурі держави». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С.195-208, 2025.

15. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». *Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.)*. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.

16. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.

17. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В., Коваленко О.В., Мацуї А.М. «Модель шляхів отримання вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. II. С.52-62.

18. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В. «Методи забезпечення відмовостійкості інтелектуальних систем підтримки

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

оператора». *VIII міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп’ютерні технології”*, м. Кропивницький. 24-25 квітня 2025 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2025. – С. 44-46.

19. Смірнов, О.А., Константинова, Л.В., Коноплицька-Слободенюк, О.К., Козірова, Н.В, Якименко, Н.М., Доренський, О.П., Буравченко, К.О. «Дослідження інструментів штучного інтелекту для роботи з базами даних та аналізу даних». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. №3(27), С. 429–448.)

20. Smirnov O., Fedorov E., Neskorodieva A., Neskorodieva T. «Intellectual Classification method of Gymnastic Elements Based on Combinations of Descriptive and Generative Approache». *CEUR Workshop Proceedings Volume 3664*, 2024, Pages 11-23.

21. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, А., Коноплицька-Слободенюк, О., Смірнова, Т., Константинова, Л. «Дослідження застосування систем підтримки оперативного персоналу об’єкту критичної інфраструктури при керуванні енергоблоком АЕС з реактором типу ВВЕР-1000». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2024. № 2(26), С. 6-26.

22. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №3(23), С. 111-131.

23. Kuznetsov O., Ilchenko O., Kryvinska N., Buravchenko K., Smirnov O., Savchenko Iu. «An Empirical Assessment of Leading Blockchain Financial Services». *2023 IEEE 1st Ukrainian Distributed Ledger Technology Forum (UADLTF)*, Kyiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6,

24. Kuznetsov, O., Kryvinska, N., Ilchenko, O., Smirnova, T., Ulianovska, Y. «Comparative Analysis of Cryptocurrency Trading Platforms Using the Analytic Hierarchy Process». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 106-115.

					ВКРБ-122.26.0024.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

25. Malyukov V., Bebeshko B., Lakhno V., Smirnov O., Malyukova I., Mohylnyi H. «Managing the Purchase-Sale Process of Digital Currencies Under Fuzzy Conditions». *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023, 729 LNNS, pp. 104–112.

26. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.

27. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchев, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.

28. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.

29. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів ІЕС60880 та ІЕС62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.

30. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №3(23), С. 111-131.

31. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.

32. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.

33. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А. «Дослідження нормативної документації та стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». VI міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп'ютерні технології”, м. Кропивницький. 20-21 квітня 2023 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2023. – С. 35-36.

34. Smirnov, O., Karapetyan, A., Fedorov, E., «Creating Neural Network and Single Solution Human-Based Metaheuristic Methods of Solving the Traveling Salesman Problem». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3312, 2022, pp. 47-58.

35. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>.

36. Smirnov O., Kovalenko O., Kovalenko A., Kavun S. «Quantitative Risk Assessment Method Development in the Context of the SDLC-model». 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 203-208, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772143

37. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.

38. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.

39. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
40. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
41. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT». International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.
42. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
43. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
44. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
45. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

46. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

47. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.

48. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobayev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.

49. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.

50. Смірнов, О.А., Усік П.С., Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв'язку». Проблеми телекомунікацій. № 1(26). С. 83-96. 2020.

51. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. №4. С. 103-110. 2020.