

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – бакалавр

за освітньо-професійною програмою

«Комп'ютерні науки»

зі спеціальності

122 – Комп'ютерні науки

тема роботи:

***«Розробка застосунку обробки та візуалізації
геологорозвідувальних даних з формуванням звітної
документації за стандартизованими шаблонами»***

Виконав студент гр. КН-22-2 _____ Хазов С.С.

Керівник _____ Гриценко А.М.

Нормоконтроль _____ Маринич І. А.

Завідувач кафедри _____ Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Бакалавр

Спеціальність: 122 – Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою: к.т.н. Рубан С.А.

« 29 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи КН-22-2 Хазов Сергій Сергійович

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка застосунку обробки та візуалізації геологорозвідувальних даних з формуванням звітної документації за стандартизованими шаблонами»

затверджено наказом по університету № 173с від 30.03.2026 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 05.06.2026 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 92 с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (13 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

ст. досл. Гриценко А. М.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.04.26</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.26</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.05.26</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.26</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.26</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>20.05.26</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>05.06.26</i>

6. Дата видачі завдання: 29.01.2026 р.

Керівник _____ / Гриценко А.М./

7. Запевнення: Я, Хазов Сергій Сергійович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Студент _____ / Хазов С.С./

АНОТАЦІЯ

Хазов С.С. Розробка застосунку обробки та візуалізації геологорозвідувальних даних з формуванням звітної документації за стандартизованими шаблонами: кваліфікаційна робота бакалавра : 122 – Комп'ютерні науки. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2026. 92 с.

У роботі розглянуто проектування та розробку застосунку для отримання, збереження, обробки й візуалізації геологорозвідувальних даних, одержаних під час каротажу свердловин. Застосунок автоматизує камеральну обробку, забезпечує зберігання вимірювань, формування та класифікацію інтервалів, статистичні розрахунки й підготовку звітної документації.

Метою роботи є створення локального програмного застосунку, який підтримує імпорт результатів із вимірювального засобу, їх перевірку і збереження, табличне та графічне представлення, визначення інтервалів за вмістом заліза та формування звіту за стандартизованим шаблоном.

Практичне значення полягає у створенні рішення, що забезпечує повний цикл роботи з каротажними даними: від приймання пакетів і збереження у SQLite до візуалізації, коригування інтервалів та створення редагованого ODS-документа. Проаналізовано ПАКС-4, спроектовано архітектуру, базу даних і модулі обробки, а також проведено тестування. Застосунок реалізовано з використанням C#, .NET, WPF, SQLite, OxyPlot і LibreOffice UNO API. Результати підтвердили коректність основних функцій, формування звіту та його подальше редагування, збереження у PDF і друк у LibreOffice Calc.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНІ ДАНІ, КАРОТАЖ, СВЕРДЛОВИНА, ВМІСТ ЗАЛІЗА, ІНТЕРВАЛ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, SQLITE, WPF, LIBREOFFICE CALC, ODS, ЗВІТНА ДОКУМЕНТАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКУ	9
1.1 Характеристика процесу геофізичного дослідження свердловин	9
1.2 Аналіз структури геологорозвідувальних даних	11
1.3 Аналіз процесу камеральної обробки результатів вимірювань.....	16
1.4 Методи обробки та візуалізації каротажних даних	18
1.5 Методи формування та класифікації інтервалів	20
1.6 Статистична обробка результатів вимірювань	22
1.7 Аналіз існуючого програмного забезпечення ПАКС-4.....	24
1.8 Недоліки існуючого програмного рішення.....	26
<i>Висновки до розділу:</i>	28
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ОБРОБКИ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ	31
2.1 Вибір та обґрунтування засобів розробки.....	31
2.2 Проєктування архітектури застосунку	34
2.3 Проєктування структури локальної бази даних	37
2.4 Розробка модуля імпортування та збереження даних.....	46
2.5 Реалізація табличного подання даних та графічної візуалізації	51
2.6 Розробка алгоритму формування інтервалів та обчислення статистичних показників.....	56
2.7 Проєктування стандартизованого шаблону звіту.....	59
2.8 Реалізація формування документа LibreOffice Calc	64
2.9 Реалізація інтерфейсу користувача для роботи з даними	68

2.10 Методика тестування	73
2.11 Тестування імпорту та збереження даних.....	74
2.12 Тестування табличної та графічної візуалізації та роботи з даними по свердловині.....	76
2.13 Тестування формування звітної документації.....	78
2.14 Аналіз результатів практичної апробації.....	81
<i>Висновки до розділу:</i>	82
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	87

ВСТУП

Ефективність розробки родовищ залізорудної сировини значною мірою залежить від своєчасного отримання достовірної інформації про геологічну будову гірського масиву та вміст корисного компонента. Результати геологорозвідувальних робіт використовуються для визначення меж рудних тіл, оцінювання якості мінеральної сировини, планування гірничих робіт і підготовки виробничої документації [1].

Одним із способів отримання таких відомостей є геофізичне дослідження свердловин. Під час каротажу вздовж стовбура свердловини виконуються послідовні вимірювання, за результатами яких визначається зміна вмісту заліза залежно від глибини. Для оперативного контролю вмісту загального заліза можуть застосовуватися рудничні радіометри типу ПАКС, які забезпечують накопичення результатів вимірювань і їх подальше передавання на персональний комп'ютер [2].

Після завершення польового етапу отримані дані потребують камеральної обробки. Вона передбачає їх перевірку, систематизацію, збереження, графічне представлення, виділення інтервалів і формування звітної документації. Крім результатів вимірювань, необхідно зберігати відомості про свердловину: номер, належність до певного об'єкта або блока, координати, довжину, напрямок, азимут і кут нахилу.

Існуюче програмне забезпечення комплексу ПАКС-4 забезпечує передавання каротажних даних, їх збереження, відображення у табличному та графічному вигляді, поділ свердловини на інтервали та формування звітних документів [3]. Для створення друкованих форм у ньому використовуються засоби FastReport. Однак таке рішення розроблене на застарілій технологічній платформі, залежить від спеціалізованих компонентів і має обмежені можливості редагування та повторного використання сформованих документів.

Перспективним напрямом є створення сучасного локального застосунку, який забезпечуватиме повний цикл камеральної обробки:

отримання або імпорт вимірювань, їх збереження в локальній базі даних SQLite, табличну й графічну візуалізацію, виділення рудних інтервалів, розрахунок статистичних показників і формування документації за стандартизованими шаблонами.

Звітні документи доцільно формувати у форматі електронних таблиць, сумісному з LibreOffice Calc. Це дозволить користувачу переглядати, редагувати, зберігати й друкувати сформований журнал без використання спеціалізованого ліцензійного програмного забезпечення. Додатково доцільно передбачити можливість експорту результатів у машиночитаний типізований формат для подальшого використання у професійних геологічних інформаційних системах.

Таким чином, актуальність роботи полягає у необхідності автоматизації камеральної обробки геологорозвідувальних даних, зменшення кількості ручних операцій, підвищення надійності збереження результатів і забезпечення зручного формування звітної документації.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка застосунку для обробки та візуалізації геологорозвідувальних даних із формуванням звітної документації за стандартизованими шаблонами та можливістю експорту результатів для подальшого використання в геологічних інформаційних системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати процес отримання та камеральної обробки каротажних даних;
- дослідити структуру геологорозвідувальної інформації;
- розглянути функціональні можливості та недоліки програмного забезпечення ПАКС-4;
- сформулювати вимоги до розроблюваного застосунку;
- обґрунтувати вибір технологій реалізації;
- спроектувати архітектуру застосунку та структуру локальної бази даних;

- реалізувати отримання, перевірку і збереження результатів вимірювань;
- розробити засоби табличної та графічної візуалізації;
- реалізувати формування, редагування та класифікацію інтервалів;
- реалізувати розрахунок статистичних показників;
- розробити механізм формування звітної документації у LibreOffice Calc;
- дослідити можливість експорту даних у типізований формат;
- провести тестування та практичну апробацію застосунку.

Об'єктом дослідження є процес камеральної обробки результатів геофізичного дослідження залізорудних свердловин.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмні засоби збереження, обробки, візуалізації, документування й обміну геологорозвідувальними даними.

Під час виконання роботи застосовуються методи аналізу предметної області, порівняльного аналізу програмних рішень, об'єктно-орієнтованого проєктування, моделювання баз даних, статистичної обробки вимірювань і функціонального тестування.

Практичне значення роботи полягає у створенні локального застосунку, який автоматизує основні етапи камеральної обробки, забезпечує структуроване збереження даних у SQLite, їх наочне представлення та формування звітних документів, придатних для подальшої роботи засобами LibreOffice Calc.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКУ

1.1 Характеристика процесу геофізичного дослідження свердловин

Геофізичне дослідження свердловин є складовою геологорозвідувальних робіт і призначене для одержання інформації про властивості гірських порід уздовж стовбура свердловини. Результати таких досліджень використовують для уточнення геологічної будови родовища, визначення меж рудних тіл, оцінювання вмісту корисного компонента та планування подальших гірничих робіт [1].

Сутність каротажу полягає у послідовному вимірюванні фізичних характеристик порід на різних глибинах. Залежно від поставлених завдань можуть застосовуватися електричні, акустичні, магнітні, термічні та ядерно-геофізичні методи. Для оперативного визначення вмісту загального заліза в залізорудних свердловинах застосовується гамма-гамма каротаж. Його принцип ґрунтується на опроміненні гірської породи джерелом гамма-випромінювання та реєстрації інтенсивності розсіяного випромінювання, яка залежить від складу досліджуваного середовища [1].

Для проведення вимірювань у свердловину опускається каротажний зонд, до складу якого входять джерело випромінювання та блок детектування. Переміщення зонда здійснюється вздовж стовбура свердловини з установленим кроком або швидкістю. На кожній контрольній глибині вимірювальна система реєструє сигнал, виконує його первинну обробку та визначає значення вмісту заліза. Отримані результати відображаються на пульті керування і зберігаються в пам'яті пристрою [2].

Перед початком робіт виконують підготовку обладнання, перевірку його працездатності та калібрування за еталонними зразками. Калібрування необхідне для встановлення залежності між показаннями детектора та

фактичним вмістом заліза. Правильність калібрувальної характеристики безпосередньо впливає на достовірність результатів каротажу.

У загальному вигляді процес геофізичного дослідження свердловини включає декілька ключових етапів. Послідовність виконання яких представлено у вигляді схеми, наведеної на рисунку 1.1.

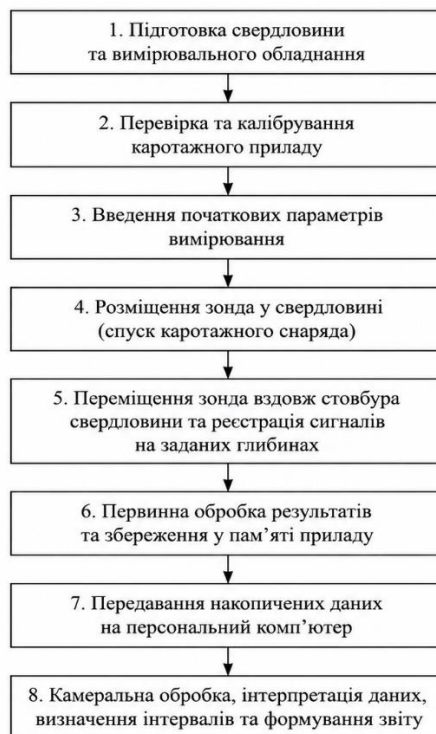


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема процесу геофізичного дослідження свердловини

Результатом польового етапу є впорядкований набір вимірювань, у якому кожному значенню глибини відповідає визначене значення вмісту заліза. Однак самі первинні результати ще не є завершеною геологічною документацією. Для їх практичного використання необхідно виконати перевірку даних, пов'язати їх із конкретною свердловиною, відобразити у табличній та графічній формах, визначити межі рудних інтервалів і розрахувати необхідні показники.

Таким чином, процес геофізичного дослідження свердловини складається з двох взаємопов'язаних частин: польового отримання первинної

інформації та її подальшої камеральної обробки. Якість кінцевого результату залежить не лише від точності вимірювального обладнання, а й від правильності передавання, збереження та обробки отриманих даних. Це обумовлює необхідність застосування програмного забезпечення, яке забезпечує автоматизацію відповідних операцій і зменшує вплив людського фактора.

1.2 Аналіз структури геологорозвідувальних даних

Геологорозвідувальні дані, що формуються під час каротажу свердловин, являють собою сукупність взаємопов'язаних відомостей про виробничий об'єкт, свердловину, умови проведення вимірювань і результати визначення вмісту заліза. Для подальшого зберігання, обробки, візуалізації та формування звітної документації ці дані мають бути подані у структурованому вигляді.

У програмному забезпеченні комплексу ПАКС-4 результати вимірювань зберігаються з прив'язуванням до відповідного блока та свердловини. Після передавання даних із вимірювального пульта оператор визначає виробничий об'єкт, номер блока та номер свердловини, після чого отриманий набір значень записується до бази даних [2]. Такий підхід забезпечує логічне групування інформації відповідно до структури виконання геологорозвідувальних робіт.

Узагальнену структуру геологорозвідувальних даних можна представити у вигляді таких рівнів, ієрархію яких наведено на рисунку 1.2.

Верхній рівень структури становлять відомості про виробничий об'єкт. Ним може бути шахта, родовище, кар'єр або інший підрозділ, у межах якого виконуються геологорозвідувальні роботи. У середині об'єкта свердловини групуються за горизонтами, блоками, панелями або окремими ділянками. Такий поділ забезпечує їх просторову та виробничу прив'язку.

Основним інформаційним об'єктом системи є свердловина. Для її опису необхідно зберігати номер, належність до відповідного блока, координати,

довжину, напрямок, азимут, кут нахилу, дату проведення робіт і додаткові примітки. Ці відомості використовуються для ідентифікації свердловини та подальшого представлення результатів на планах, розрізах і у звітній документації [1].

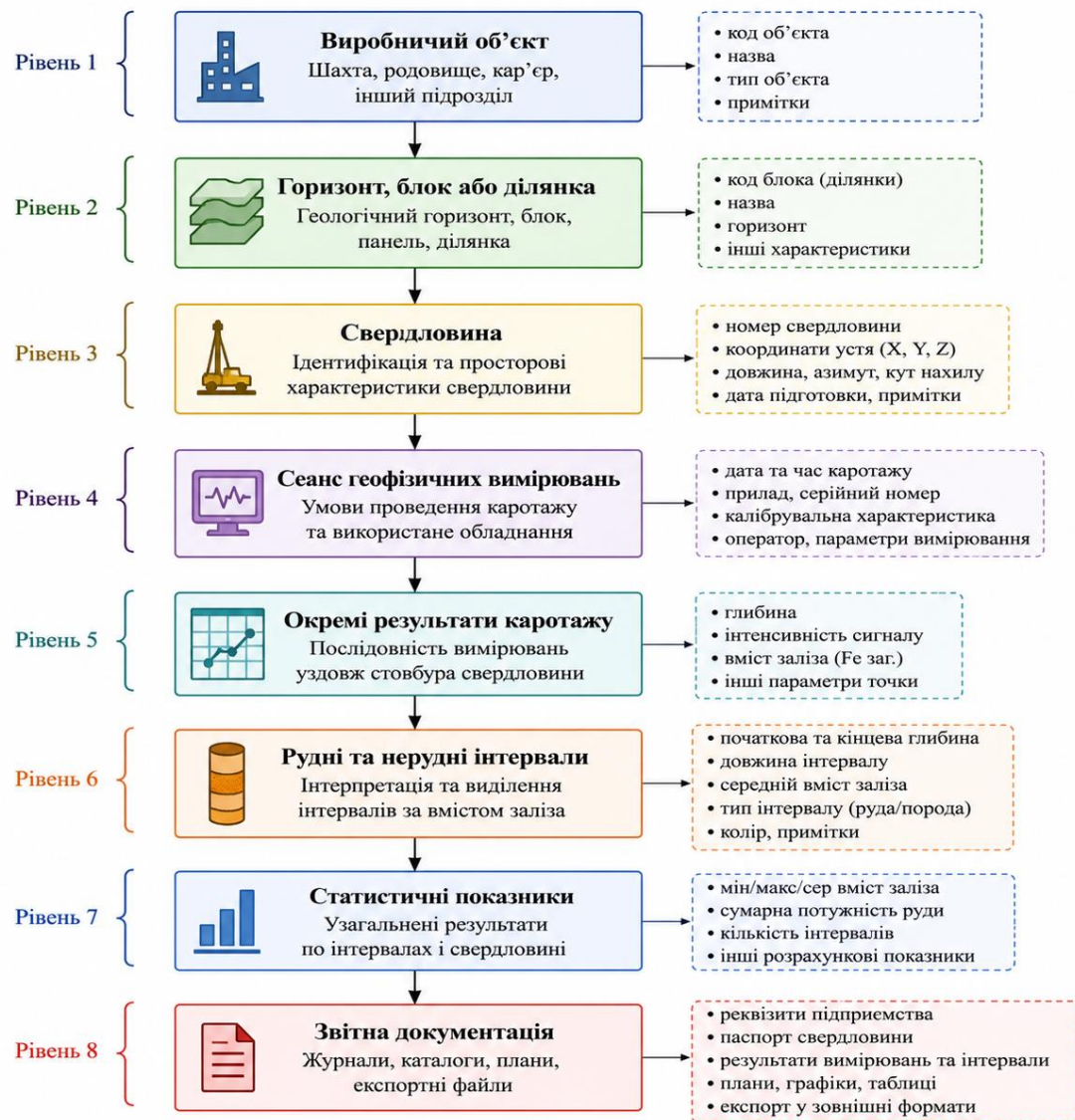


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура геологорозвідувальних даних

Кожній свердловині відповідає впорядкований набір вимірювань. Для кожного запису доцільно зберігати код свердловини, порядковий номер вимірювання, глибину, значення інтенсивності зареєстрованого сигналу та розрахований вміст заліза [1]. У програмному забезпеченні ПАКС-4 таблиця вимірювань містить номер запису, глибину, крок вимірювання, вміст заліза,

інтенсивність сигналу та службові ознаки, що використовуються під час виділення інтервалів [3].

Основні складові запису каротажного вимірювання наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні поля запису каротажного вимірювання

Поле	Призначення	Тип даних	Одиниця вимірювання
Код свердловини	Зв'язок вимірювання з конкретною свердловиною	ідентифікатор	—
Номер вимірювання	Порядковий номер запису	ціле число	—
Глибина	Положення точки вимірювання вздовж свердловини	дійсне число	м
Крок вимірювання	Відстань між сусідніми точками	дійсне число	м
Інтенсивність	Зареєстрований вимірювальний сигнал	дійсне число	імп./с
Вміст заліза	Розраховане значення загального заліза	дійсне число	%
Ознака інтервалу	Належність запису до певного інтервалу	ціле або логічне значення	—
Ознака коректності	Результат перевірки запису	логічне значення	—

Поле «код свердловини» забезпечує зв'язок між таблицею свердловин і таблицею вимірювань. Поле «номер вимірювання» визначає послідовність записів, а значення глибини використовується для сортування даних і побудови каротажного графіка.

Інтенсивність розсіяного гамма-випромінювання є первинним вимірювальним показником. Після застосування калібрувальної залежності вона перетворюється на значення загального вмісту заліза. Доцільно зберігати

як первинне значення інтенсивності, так і розрахований показник Fe. Це дозволяє виконувати повторну перевірку результатів, застосовувати оновлені калібрувальні характеристики та виявляти можливі помилки обробки.

Окремою сутністю доцільно виділити сеанс вимірювання. Він може містити:

- дату та час проведення каротажу;
- модель і серійний номер приладу;
- використану калібрувальну характеристику;
- відомості про оператора;
- установлені параметри вимірювання;
- джерело імпорту;
- дату передавання даних на персональний комп'ютер.

Зберігання інформації про сеанс дозволяє розрізняти кілька наборів вимірювань однієї свердловини, отриманих у різний час або з різними налаштуваннями приладу.

Після перевірки та впорядкування окремі точки вимірювання можуть об'єднуватися в інтервали. Інтервал характеризується початковою і кінцевою глибиною, довжиною, середнім вмістом заліза та належністю до певного типу руди. У програмному забезпеченні ПАКС-4 межі інтервалів задаються оператором, після чого для вибраного діапазону розраховуються узагальнені показники [3].

Довжина інтервалу визначається за формулою

$$L_i = H_{ki} - H_{pi} ,$$

де H_{pi} — початкова глибина інтервалу, м; H_{ki} — кінцева глибина інтервалу, м.

Класифікація інтервалів виконується шляхом порівняння середнього вмісту заліза з установленими пороговими значеннями. За результатом порівняння інтервал може бути віднесений до руди, породи або іншого визначеного класу [2, 3]. У розроблюваному застосунку такі пороги доцільно зберігати окремо, щоб користувач міг змінювати їх відповідно до умов конкретного об'єкта.

Основні характеристики інтервалу наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики інтервалу свердловини

Поле	Призначення
Код інтервалу	Унікальний ідентифікатор
Код свердловини	Зв'язок зі свердловиною
Початкова глибина	Верхня межа інтервалу
Кінцева глибина	Нижня межа інтервалу
Довжина	Протяжність інтервалу
Середній вміст заліза	Узагальнений показник для інтервалу
Тип інтервалу	Руда, порода або інший клас
Колір	Умовне позначення у графіку та звіті
Спосіб формування	Автоматичний або ручний
Примітка	Додаткова інформація оператора

Окрему групу становлять дані звітної документації. До них належать реквізити підприємства, відомості про блок і свердловину, результати вимірювань, межі інтервалів, статистичні показники, умовні кольорові позначення та параметри друку. При цьому звітний документ не повинен бути основним сховищем інформації. Він має формуватися на основі даних локальної бази, що забезпечує можливість повторного створення документа без втрати вихідної інформації.

Для подальшої інтеграції з іншими інформаційними системами структура даних повинна містити чітко визначені типи полів, одиниці вимірювання та унікальні ідентифікатори. Це дозволить формувати не лише звітні документи для LibreOffice Calc, а й типізовані файли для передавання до професійних геологічних інформаційних систем.

Отже, геологорозвідувальні дані мають багаторівневу структуру, у якій результати окремих вимірювань пов'язані зі свердловиною, виробничим об'єктом, сеансом вимірювання та сформованими інтервалами. Така організація повинна бути врахована під час проєктування локальної бази даних і модулів імпорту, обробки, візуалізації та експорту розроблюваного застосунку.

1.3 Аналіз процесу камеральної обробки результатів вимірювань

Камеральна обробка виконується після завершення польових геофізичних робіт і передбачає перетворення первинних вимірювань на структуровану інформацію, придатну для аналізу та формування звітної документації. До її основних етапів належать передавання даних із вимірювального пристрою, перевірка записів, прив'язування до відповідної свердловини, збереження, візуалізація, виділення інтервалів і розрахунок узагальнених показників [1].

У програмному забезпеченні ПАКС-4 дані після зчитування з пульта зберігаються з прив'язуванням до блока та свердловини. Користувач може переглядати результати у табличному та графічному вигляді, визначати межі інтервалів і розраховувати їх параметри [2, 3].

Узагальнену послідовність камеральної обробки наведено на рисунку 1.3.

Табличне подання використовується для роботи з точними значеннями, а графічне — для наочного аналізу зміни вмісту заліза вздовж стовбура свердловини. На основі таблиці та графіка оператор визначає межі рудних і нерудних інтервалів. У новому застосунку доцільно передбачити автоматичне попереднє формування інтервалів із можливістю їх ручного коригування.

Після визначення інтервалів розраховуються їх довжина, середній або середньозважений вміст заліза, а також інші статистичні показники. Необхідність ручної перевірки результатів зумовлена тим, що на точність

каротажу можуть впливати властивості порід, стан свердловини та положення зонда відносно її стінки [4].



Рисунок 1.3 – Узагальнена схема камеральної обробки результатів вимірювань

На етапі перевірки контролюються наявність обов'язкових полів, коректність числових значень, послідовність глибин і відсутність повторних записів. Після цього результати пов'язуються з конкретною свердловиною та зберігаються у структурованому сховищі.

Завершальним етапом є формування звітної документації. У старому програмному забезпеченні ПАКС-4 для цього використовувалися засоби FastReport. У розроблюваному застосунку передбачається формування документа за стандартизованим шаблоном електронної таблиці з можливістю подальшого відкриття у LibreOffice Calc.

Отже, камеральна обробка поєднує перевірку, збереження, візуалізацію, інтерпретацію та документування результатів каротажу. Її автоматизація дозволяє скоротити кількість ручних операцій і зменшити ймовірність помилок.

1.4 Методи обробки та візуалізації каротажних даних

Результати каротажу являють собою впорядковану послідовність вимірювань, кожне з яких пов'язане з певною глибиною свердловини. Їх обробка передбачає перевірку коректності, сортування, виділення інтервалів, обчислення узагальнених показників і підготовку до візуального представлення.

Основними операціями обробки є:

- контроль повноти та допустимих діапазонів значень;
- перевірка послідовності глибин;
- виявлення повторних і пропущених записів;
- перетворення первинного сигналу у значення вмісту заліза;
- формування рудних і нерудних інтервалів;
- розрахунок статистичних показників.

У професійних геологічних системах результати свердловинних досліджень відображаються у табличній, двовимірній та тривимірній формах. Наприклад, у Leapfrog Geo свердловини подаються у тривимірній сцені як просторові траєкторії, поділені на кольорові сегменти відповідно до літології, числового показника або результатів інтерпретації [5]. Для зіставлення кількох свердловин також застосовуються двовимірні кореляційні розрізи, у яких користувач може створювати та уточнювати межі інтервалів [6].

У Datamine Studio RM, Micromine Origin і GEOVIA Surpac візуалізація також базується на поєднанні просторового положення свердловин, кольорового кодування інтервалів, числових підписів і тематичних шарів [7–9]. Таке подання дозволяє одночасно оцінювати розташування свердловини, зміну контрольованого показника та просторове співвідношення виділених геологічних ділянок.

Для розроблюваного застосунку доцільно передбачити три взаємопов'язані форми подання:

- таблицю вимірювань;

- графік розподілу вмісту заліза за глибиною;
- кольорову колонку виділених інтервалів.

Таблиця використовується для перегляду точних значень, сортування, фільтрації та редагування записів. Каротажний графік дозволяє виявляти зміни вмісту заліза вздовж стовбура свердловини. Кольорова колонка забезпечує наочне подання рудних і нерудних інтервалів та їх класів.

Вибір точки або інтервалу в одному представленні повинен приводити до виділення відповідних даних у двох інших. Крім того, графік доцільно доповнити пороговими лініями, масштабуванням, легендою кольорів і підказками з числовими значеннями.

З урахуванням просторових параметрів свердловини може бути сформоване її спрощене схематичне представлення, що враховує довжину, азимут і кут нахилу. Побудова повноцінної тривимірної геологічної моделі не належить до основних завдань застосунку, проте його структура даних повинна забезпечувати можливість подальшого експорту до професійних геологічних систем.

Узагальнену схему представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Форми візуального представлення каротажних даних

Отже, поєднання табличного, графічного, інтервального та просторового представлення забезпечує комплексний аналіз каротажних даних. Такий підхід відповідає загальним принципам, що застосовуються у сучасних геологічних інформаційних системах, але може бути реалізований у спрощеному вигляді відповідно до завдань розроблюваного застосунку.

1.5 Методи формування та класифікації інтервалів

Інтервал свердловини являє собою ділянку її стовбура, обмежену початковою та кінцевою глибиною і таку, що характеризується близькими значеннями певної ознаки. У межах цієї роботи основною ознакою є вміст загального заліза.

Формування інтервалів виконується на основі послідовності вимірювань, упорядкованих за глибиною. У геологічних інформаційних системах для цього застосовують кілька підходів: поділ за пороговим значенням показника, об'єднання за категоріальною ознакою, формування відрізків фіксованої довжини та ручне виділення оператором [5–9].

Для розроблюваного застосунку доцільним є комбінований підхід. Спочатку програма автоматично визначає клас кожної точки за встановленими порогами вмісту заліза та об'єднує суміжні вимірювання одного класу. Після цього оператор перевіряє результат і за потреби коригує межі інтервалів.

Узагальнений алгоритм формування інтервалів включає:

1. сортування вимірювань за глибиною;
2. перевірку повноти та коректності даних;
3. визначення класу кожної точки;
4. об'єднання суміжних точок одного класу;
5. визначення початкової та кінцевої глибини;
6. розрахунок довжини і середнього вмісту заліза;
7. ручну перевірку та збереження результату.

Довжина інтервалу визначається за формулою

$$L_i = H_{ki} - H_{pi} ,$$

де H_{ki} — початкова глибина інтервалу, м; H_{pi} — кінцева глибина інтервалу, м.

Для ділянок різної довжини середній вміст заліза доцільно визначати як середньозважене значення:

$$\overline{Fe} = \frac{\sum_{j=1}^n Fe_j l_j}{\sum_{j=1}^n l_j} ,$$

де Fe_j — вміст заліза на окремій ділянці, %; l_j — довжина відповідної ділянки, м.

Приклад поділу свердловини на інтервали за глибиною та вмістом заліза наведено на рисунку 1.5. На каротажній кривій показано зміну вмісту Fe, а праворуч — відповідні інтервали, класифіковані як порода, бідна руда, руда та багата руда.

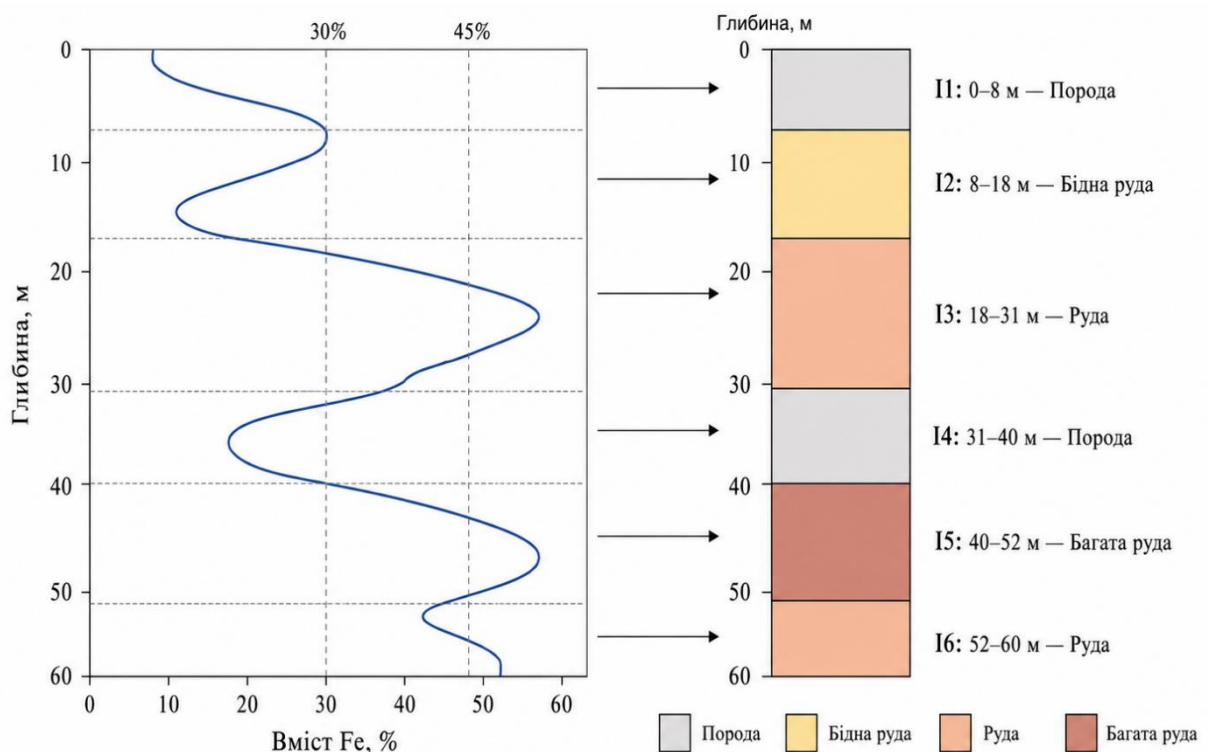


Рисунок 1.5 – Приклад поділу свердловини на інтервали за глибиною та вмістом заліза

Класифікація може бути бінарною або багаторівневою. У найпростішому випадку виділяються рудні та нерудні інтервали. За наявності

відповідної методики можуть застосовуватися додаткові класи залежно від діапазону вмісту заліза.

Порогові значення, назви класів і кольори доцільно зберігати у налаштуваннях застосунку, оскільки вони можуть відрізнятися для різних родовищ і виробничих умов. Для кожного класу визначаються нижня та верхня межі, умовний код і колір відображення.

Оператор повинен мати можливість змінювати межі інтервалу, об'єднувати або розділяти ділянки та коригувати їх клас. Перед збереженням виконується перевірка відсутності перекриттів, виходу за межі свердловини й некоректних значень.

Отже, автоматичне формування інтервалів за пороговими значеннями з подальшою ручною перевіркою забезпечує поєднання швидкості обробки та експертної оцінки геолога.

1.6 Статистична обробка результатів вимірювань

Статистична обробка каротажних даних виконується для узагальнення результатів вимірювань, оцінювання їх однорідності та визначення характеристик окремих інтервалів свердловини. Вхідними даними є значення вмісту заліза, пов'язані з відповідними глибинами та довжинами ділянок.

До основних статистичних показників належать:

- кількість вимірювань;
- мінімальне та максимальне значення вмісту заліза;
- середнє арифметичне;
- середньозважене значення;
- розмах варіації;
- середньоквадратичне відхилення;
- сумарна довжина рудних і нерудних інтервалів.

Середнє арифметичне визначається за формулою

$$\overline{Fe} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Fe_i ,$$

де Fe_i — значення вмісту заліза у відповідній точці, %; n — кількість вимірювань.

Якщо окремі ділянки мають різну довжину, доцільно застосовувати середньозважене значення:

$$\overline{Fe}_w = \frac{\sum_{i=1}^n Fe_i l_i}{\sum_{j=1}^n l_i} ,$$

де l_i — довжина ділянки, що відповідає окремому вимірюванню.

Середньозважене значення є більш коректним для характеристики інтервалу, оскільки враховує різний внесок ділянок у його загальну довжину. Такий підхід застосовується під час компонування свердловинних даних у професійних геологічних системах [7–10].

Для оцінювання мінливості результатів може використовуватися середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Fe_i - \overline{Fe})^2} ,$$

Невелике значення (σ) свідчить про відносну однорідність вимірювань у межах інтервалу, тоді як велике — про значні коливання вмісту заліза. Статистичні методи також застосовуються для аналізу точності та повторюваності результатів геофізичного опробування [4].

$$L_{\text{руд}} = \sum_{i=1}^n L_i ,$$

де L_i — довжина окремого рудного інтервалу; m — кількість рудних інтервалів.

За аналогічним принципом визначається сумарна довжина нерудних ділянок. Частку рудної частини свердловини можна обчислити як

$$P_{\text{руд}} = \frac{L_{\text{руд}}}{L_{\text{заг}}} \cdot 100 \%,$$

де $L_{\text{заг}}$ — загальна довжина дослідженої частини свердловини.

У розроблюваному застосунку статистичні показники доцільно розраховувати як для окремого інтервалу, так і для свердловини в цілому. Результати мають відображатися у користувацькому інтерфейсі та автоматично переноситися до звітнього документа.

Під час обчислень необхідно враховувати пропущені та некоректні значення. Такі записи не повинні включатися до розрахунків без попередньої перевірки оператором. Для всіх показників також слід установити єдині правила округлення.

Отже, статистична обробка дозволяє перейти від набору окремих вимірювань до узагальнених характеристик інтервалів і свердловини. Найбільш важливими для розроблюваного застосунку є середній і середньозважений вміст заліза, мінімальне та максимальне значення, середньоквадратичне відхилення і показники протяжності рудних ділянок.

1.7 Аналіз існуючого програмного забезпечення ПАКС-4

Програмне забезпечення комплексу ПАКС-4 призначене для приймання, збереження, обробки та представлення результатів каротажу підземних свердловин. Воно виконує функції верхнього рівня програмно-апаратного комплексу та забезпечує взаємодію оператора з даними, накопиченими у пам'яті вимірювального пульта [2].

Обмін із приладом здійснюється через послідовний інтерфейс. Після встановлення з'єднання програма приймає журнал вимірювань, відображає його на екрані та дозволяє зберегти результати з прив'язуванням до відповідного блока і свердловини. Такий підхід забезпечує накопичення історії каротажних робіт і повторний доступ до раніше отриманих даних [2, 3].

Функціонально програмне забезпечення ПАКС-4 представлено на рисунку 1.7.

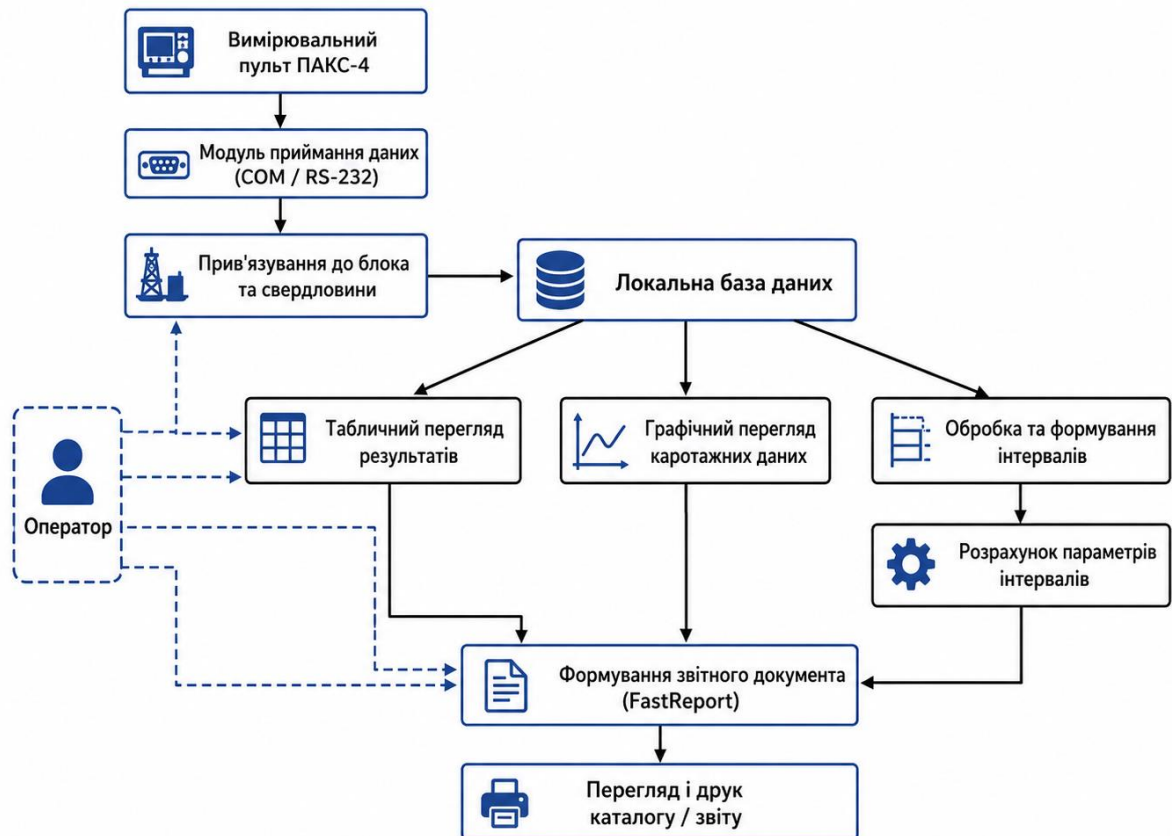


Рисунок 1.7 – Функціональна схема програмного забезпечення ПАКС-4

Результати вимірювань відображаються у табличній формі. Для кожного запису наводяться номер вимірювання, глибина, крок, значення вмісту заліза, інтенсивність зареєстрованого сигналу та службові ознаки. Таблиця використовується для перегляду і редагування числових значень, а графічне подання — для аналізу зміни вмісту заліза вздовж стовбура свердловини [3].

Програмне забезпечення дозволяє розбивати результати каротажу на окремі інтервали. Межі задаються оператором на основі таблиці та графіка, після чого програма розраховує довжину інтервалу та середній вміст заліза. Отримані ділянки можуть бути класифіковані як руда або порода відповідно до встановленого граничного значення [2, 3].

Важливою складовою системи є формування каталогу або звітнього документа. У розглянутому програмному рішенні для цього застосовується генератор звітів FastReport. Шаблон містить заголовні відомості про об'єкт і

свердловину, результати вимірювань, виділені інтервали та розрахункові показники. Сформований документ призначений насамперед для перегляду і друку.

Перевагами програмного забезпечення ПАКС-4 є:

- безпосередня взаємодія з вимірювальним пультом;
- збереження результатів із прив'язуванням до свердловин;
- поєднання табличного і графічного подання;
- підтримка роботи з інтервалами;
- автоматизоване формування звітних матеріалів.

Разом із тим програмне рішення має низку обмежень. Воно створене на застарілій технологічній платформі, залежить від спеціалізованих компонентів і має обмежену можливість розширення. Структура звіту жорстко пов'язана з шаблоном FastReport, а сформований документ незручний для подальшого редагування та обміну з іншими інформаційними системами.

Окремою проблемою є тісне поєднання інтерфейсу, логіки обробки та доступу до даних. Така організація ускладнює супровід, зміну алгоритмів, додавання нових форматів імпорту та реалізацію сучасних засобів візуалізації.

Отже, програмне забезпечення ПАКС-4 реалізує основні операції камеральної обробки та може бути використане як функціональний аналог. Водночас його технологічні й архітектурні обмеження обґрунтовують необхідність розробки нового застосунку з локальною базою SQLite, модульною структурою, розширеними засобами візуалізації та формуванням редагованих документів у LibreOffice Calc.

1.8 Недоліки існуючого програмного рішення

Програмне забезпечення ПАКС-4 забезпечує базовий цикл роботи з результатами каротажу: приймання даних із вимірювального пульта, їх збереження, табличне та графічне представлення, виділення інтервалів і формування звітних документів [2, 3]. Водночас аналіз його функціональних і технологічних особливостей дозволяє визначити низку обмежень.

Першим недоліком є використання застарілої програмної платформи та компонентів, супровід яких ускладнений. Це знижує сумісність із сучасними операційними системами, ускладнює оновлення програмного коду та додавання нових функцій.

Другим обмеженням є тісне поєднання інтерфейсу, логіки обробки й доступу до даних. Така структура ускладнює тестування окремих модулів, повторне використання програмних компонентів і розширення системи.

Існуюча модель зберігання даних також має обмежену гнучкість. Вона орієнтована переважно на роботу з блоками, свердловинами та наборами вимірювань, але недостатньо пристосована до зберігання кількох сеансів каротажу, налаштовуваних класифікаторів, історії редагування й відомостей про сформовані звіти.

Формування звітної документації здійснюється засобами FastReport. Такий підхід придатний для перегляду і друку, однак створений документ має обмежені можливості подальшого редагування, повторного використання та обміну з іншими інформаційними системами. Зміна структури звіту потребує редагування спеціалізованого шаблону.

Ще одним недоліком є обмежена автоматизація виділення інтервалів. Межі значною мірою визначаються оператором вручну, що збільшує тривалість обробки та підвищує вплив людського фактора. Відсутність розвинених засобів перевірки вхідних даних також може призводити до появи повторних, неповних або некоректних записів.

Програмне забезпечення не орієнтоване на формування відкритих машиночитаних форматів для подальшого використання в сучасних геологічних інформаційних системах. Це ускладнює інтеграцію з професійними геологічними САПР і потребує додаткового ручного перетворення даних.

Основні недоліки існуючого рішення можна узагальнити так:

- застаріла технологічна платформа;
- складність супроводу та розширення;

- недостатнє розділення програмних модулів;
- обмежена модель зберігання даних;
- залежність від FastReport;
- низька гнучкість звітних шаблонів;
- значна кількість ручних операцій;
- недостатня перевірка вхідних даних;
- відсутність сучасних форматів обміну;
- обмежені можливості інтеграції з іншими системами.

Отже, програмне забезпечення ПАКС-4 може бути використане як функціональний аналог, але його архітектурні й технологічні обмеження обґрунтовують необхідність розробки нового застосунку. Нове рішення повинно мати модульну структуру, локальну базу даних SQLite, сучасні засоби візуалізації, підтримку редагованих шаблонів LibreOffice Calc і можливість експорту в типізовані формати.

Висновки до розділу:

За результатами аналізу предметної області встановлено, що камеральна обробка результатів каротажу включає отримання даних із вимірювального пристрою, їх перевірку, збереження, візуалізацію, виділення інтервалів, розрахунок показників і формування звітної документації. Існуюче програмне забезпечення ПАКС-4 реалізує основні етапи цього процесу, однак має обмеження, пов'язані із застарілою технологічною платформою, недостатньою гнучкістю структури даних, залежністю від FastReport і відсутністю сучасних засобів обміну інформацією [2, 3].

У зв'язку з цим виникає задача розробки нового локального застосунку, призначеного для обробки та візуалізації геологорозвідувальних даних із формуванням звітної документації за стандартизованими шаблонами.

Розроблюваний застосунок повинен забезпечувати:

- отримання або імпорт результатів вимірювань;
- перевірку структури та коректності вхідних даних;

- збереження інформації у локальній базі даних SQLite;
- ведення відомостей про об'єкти, блоки, ділянки та свердловини;
- зберігання кількох сеансів вимірювань;
- табличне представлення результатів;
- побудову каротажних графіків;
- формування та редагування інтервалів;
- класифікацію інтервалів за вмістом заліза;
- розрахунок статистичних показників;
- формування звітнього документа у форматі електронної таблиці;
- відкриття документа у LibreOffice Calc;
- збереження, редагування та друк сформованого звіту;
- експорт результатів у машиночитаний формат для подальшого використання у геологічних інформаційних системах.

Архітектура застосунку повинна передбачати розділення інтерфейсу користувача, бізнес-логіки, доступу до даних, візуалізації та експорту. Такий підхід спростить супровід системи, тестування окремих модулів і подальше розширення функціональності.

До основних нефункціональних вимог належать:

- автономна робота без постійного підключення до мережі;
- надійне локальне збереження даних;
- зрозумілий користувацький інтерфейс;
- перевірка помилкових і повторних записів;
- прийнятна швидкість обробки;
- можливість резервного копіювання;
- відтворюваність сформованих звітів;
- мінімальна залежність від спеціалізованого ліцензійного програмного забезпечення;
- можливість подальшої інтеграції з іншими інформаційними системами.

Вхідними даними системи є результати вимірювань каротажу, паспортні та просторові характеристики свердловини, відомості про виробничий об'єкт, параметри класифікації інтервалів і шаблон звітнього документа.

Результатами роботи застосунку мають бути:

- структурована локальна база геологорозвідувальних даних;
- табличне та графічне представлення вимірювань;
- набір класифікованих інтервалів;
- розраховані статистичні показники;
- сформований документ LibreOffice Calc;
- типізований файл для передавання даних до зовнішніх геологічних систем.

Користувачем системи є оператор або геолог, який виконує імпорт, перевірку, інтерпретацію та підготовку звітних матеріалів. Остаточне рішення щодо меж і класу інтервалів повинно залишатися за фахівцем, тоді як застосунок має забезпечувати автоматичне попереднє формування та перевірку результатів.

Отже, задача розробки полягає у створенні сучасного модульного застосунку, який автоматизує повний цикл камеральної обробки каротажних даних і забезпечує їх подальше використання як у звітній документації, так і в професійних геологічних інформаційних системах.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ОБРОБКИ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ

2.1 Вибір та обґрунтування засобів розробки

Вибір технологій реалізації визначається вимогами до розроблюваного застосунку. Програмна система повинна працювати локально, приймати або імпортувати результати вимірювань, забезпечувати їх перевірку, збереження, обробку, візуалізацію та формування звітної документації. Крім того, необхідно передбачити можливість експорту даних у машиночитані формати для подальшого використання у зовнішніх геологічних системах.

До основних критеріїв вибору засобів розробки належать:

- підтримка створення настільних застосунків;
- можливість роботи з СОМ-портами та файлами даних;
- підтримка локальних баз даних;
- наявність засобів табличної та графічної візуалізації;
- можливість формування документів у відкритих форматах;
- підтримка модульної архітектури;
- наявність засобів тестування та супроводу.

Функціональну схему застосунку та відповідність його модулів обраним технологіям наведено на рисунку 2.1.

Як показано на рисунку 2.1, джерелами вхідних даних можуть бути вимірювальний пристрій, файли обміну або відомості, введені оператором вручну. Подальша обробка виконується окремими функціональними модулями: отримання даних, перевірки, візуалізації, збереження, формування звітів та експорту. Такий поділ зменшує залежність між компонентами і спрощує подальше розширення системи.

Для реалізації програмної логіки обрано мову С# та платформу .NET. Вони підтримують об'єктно-орієнтоване проєктування, асинхронні операції, роботу з файлами, базами даних і послідовними інтерфейсами. Це дозволяє

реалізувати приймання даних із вимірювального пристрою, файловий імпорт, статистичні розрахунки та обробку помилок у межах єдиного технологічного середовища [12].

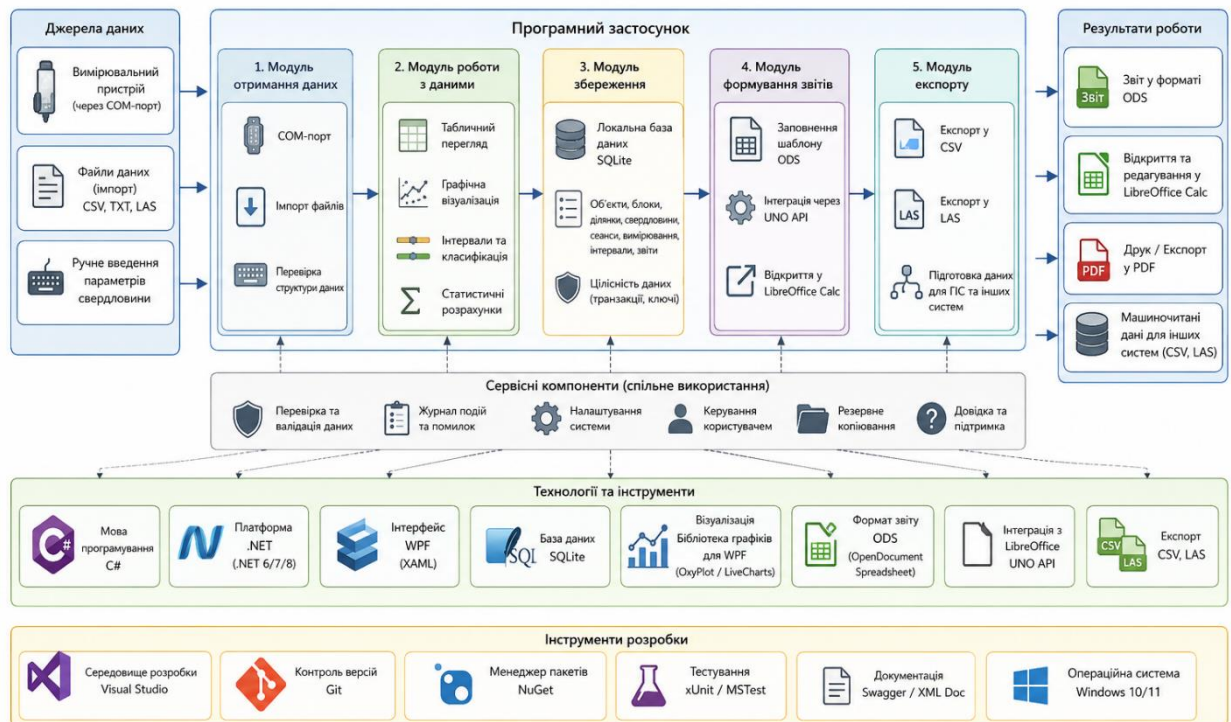


Рисунок 2.1 – Функціональна схема програмного забезпечення та вибір технологій і інструментів розробки

Користувацький інтерфейс доцільно реалізувати за допомогою Windows Presentation Foundation. WPF підтримує декларативний опис інтерфейсу мовою XAML, прив'язування даних, стилі, шаблони й графічні елементи [13]. У застосунку ця технологія використовується для побудови форм роботи зі свердловинами, таблиць вимірювань, каротажних графіків і кольорового представлення інтервалів.

Для розділення інтерфейсу та прикладної логіки доцільно застосувати архітектурний шаблон MVVM. Модель містить предметні дані, представлення відповідає за їх відображення, а модель представлення реалізує команди й стан користувацького інтерфейсу. Така організація полегшує тестування і зменшує обсяг коду, безпосередньо пов'язаного з графічними елементами.

Локальне зберігання геологорозвідувальної інформації передбачається реалізувати за допомогою SQLite. Ця система керування базами даних не потребує окремого серверного процесу, а вся база зберігається в одному файлі [14]. Такий підхід відповідає вимозі автономної роботи та спрощує резервне копіювання і перенесення даних.

У базі даних мають зберігатися відомості про виробничі об'єкти, блоки, свердловини, сеанси вимірювань, каротажні точки, інтервали, класи руд і сформовані документи. Для забезпечення цілісності використовуються зовнішні ключі, транзакції та перевірка обов'язкових полів.

Графічний модуль повинен забезпечувати побудову залежності вмісту заліза від глибини, відображення порогових ліній, масштабування, вибір точок і синхронізацію з таблицею. Для цього може застосовуватися спеціалізована бібліотека графіків для WPF, наприклад OxyPlot або LiveCharts. Конкретна бібліотека має бути ізольована від основної логіки за допомогою окремого модуля візуалізації.

Для формування звітної документації обрано формат OpenDocument Spreadsheet. Він дозволяє зберігати електронні таблиці, стилі, формули, діаграми та параметри друку у відкритому стандартизованому форматі [15]. У розроблюваному застосунку передбачається заповнення заздалегідь підготовленого шаблону ODS.

Взаємодія з LibreOffice Calc може виконуватися через програмний інтерфейс UNO API. За його допомогою застосунок може відкривати шаблон, записувати значення до комірок, задавати формати, кольори, межі та зберігати сформований документ [16]. Результат може бути відкритий у LibreOffice Calc для перевірки, редагування, експорту в PDF або друку.

Окремий модуль експорту забезпечує формування файлів CSV і LAS. CSV використовується як універсальний табличний формат, а LAS — як спеціалізований формат передавання каротажних кривих. Відокремлення експортерів від внутрішньої моделі даних дозволяє надалі додавати нові формати без зміни основних алгоритмів застосунку.

Розробку доцільно виконувати в середовищі Visual Studio. Для керування зовнішніми бібліотеками використовується менеджер пакетів NuGet, а для збереження історії змін — система контролю версій Git. Перевірка окремих алгоритмів може виконуватися із застосуванням xUnit або MSTest.

Отже, обраний набір засобів забезпечує реалізацію всіх основних функцій системи. C# і .NET використовуються для програмної логіки, WPF — для інтерфейсу, SQLite — для локального зберігання, бібліотека графіків — для візуалізації, ODS і UNO API — для формування звітів, а CSV і LAS — для обміну з іншими інформаційними системами.

2.2 Проєктування архітектури застосунку

Архітектура розроблюваного застосунку повинна забезпечувати розділення функцій отримання даних, їх збереження, обробки, візуалізації та експорту. Такий підхід зменшує залежність між компонентами, спрощує тестування й дозволяє надалі розширювати функціональність без суттєвої зміни всієї системи.

Для застосунку доцільно використати багаторівневу модульну архітектуру, що включає:

- рівень користувацького інтерфейсу;
- рівень прикладної логіки;
- рівень доступу до даних;
- рівень інтеграції із зовнішніми системами;
- рівень спільних сервісів.

Рівень користувацького інтерфейсу реалізується засобами WPF і відповідає за відображення даних та взаємодію з оператором. До його складу входять форми роботи з об'єктами, блоками та свердловинами, таблиці вимірювань, графіки, панелі статистичних показників і діалогові вікна формування звітів.

Для відокремлення інтерфейсу від прикладної логіки застосовується шаблон MVVM. У межах цього підходу виділяються:

- Model — сутності предметної області: свердловина, вимірювання, інтервал, клас руди, звіт;
- View — візуальні форми й елементи інтерфейсу;
- ViewModel — команди, стан інтерфейсу та підготовка даних до відображення.

Рівень прикладної логіки містить основні алгоритми системи. До нього належать модулі:

- імпорту і перевірки вхідних даних;
- обробки каротажних вимірювань;
- формування та класифікації інтервалів;
- статистичних розрахунків;
- підготовки даних до візуалізації;
- формування звітної документації;
- експорту до зовнішніх форматів.

Рівень доступу до даних забезпечує взаємодію з локальною базою SQLite. Він виконує операції створення, читання, редагування та видалення записів, а також підтримує транзакції й контроль цілісності зв'язків. Відокремлення цього рівня дозволяє не пов'язувати прикладну логіку безпосередньо зі структурою SQL-запитів.

Рівень інтеграції відповідає за обмін із зовнішніми джерелами та системами. До нього входять:

- модуль взаємодії з вимірювальним пристроєм через COM-порт;
- модуль імпорту файлів;
- модуль взаємодії з LibreOffice через UNO API;
- експортери CSV і LAS.

Спільні сервіси використовуються кількома модулями. До них належать перевірка даних, журналювання помилок, резервне копіювання, робота з налаштуваннями та повідомлення користувачу.

Узагальнену архітектуру застосунку доцільно подати на рисунку 2.2.

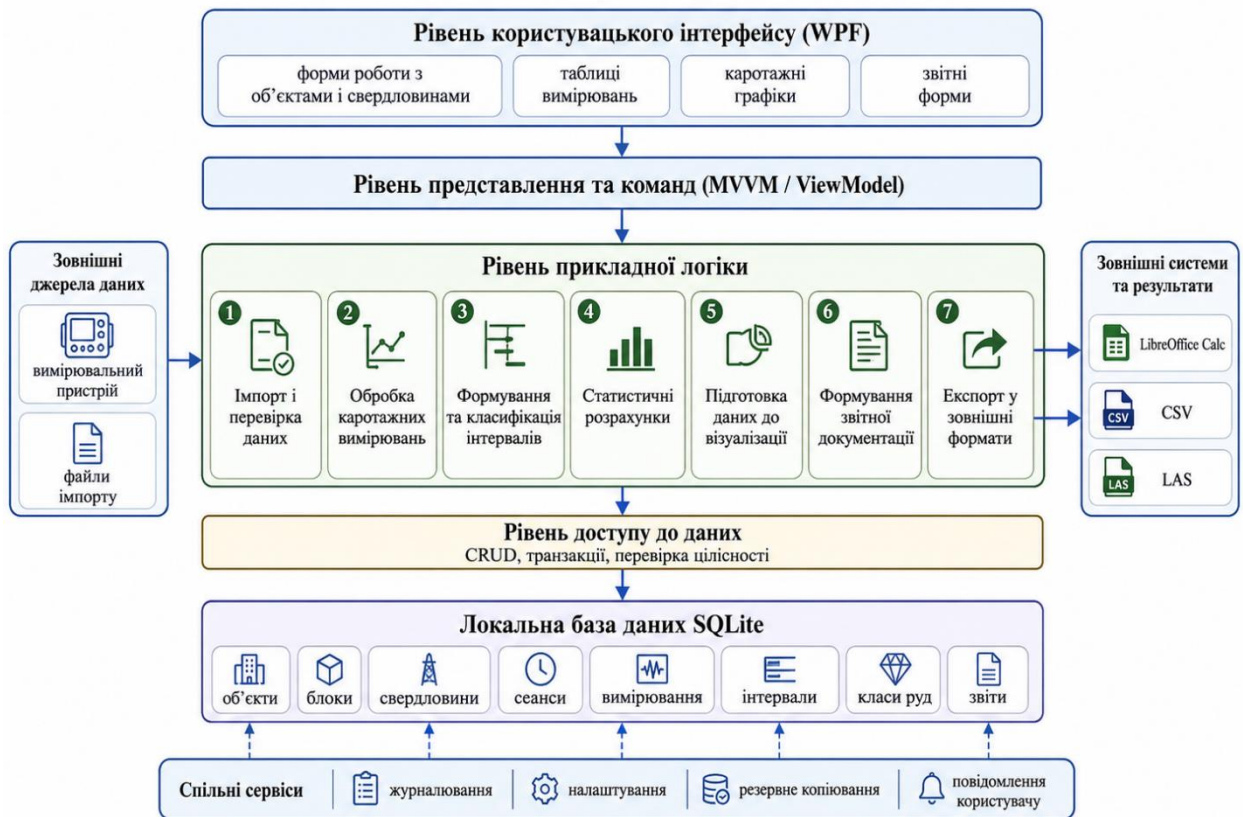


Рисунок 2.2 – Узагальнена архітектура застосунку

Потік даних у системі починається з отримання результатів вимірювань. Після перевірки вони передаються до прикладного рівня, де виконується перетворення, класифікація та статистична обробка. Далі дані зберігаються у SQLite й використовуються для формування таблиць, графіків, інтервалів та звітних документів.

Важливою вимогою є незалежність внутрішньої моделі від конкретного формату експорту. Дані про свердловину, вимірювання та інтервали зберігаються у єдиній предметній моделі, а перетворення в ODS, CSV або LAS виконується окремими експортерами.

Для зменшення зв'язності між компонентами доцільно використовувати інтерфейси сервісів. Наприклад, модуль формування звіту не повинен

безпосередньо виконувати SQL-запити, а має отримувати підготовлені дані через відповідний сервіс.

Спроектowana архітектура забезпечує:

- незалежність інтерфейсу від бази даних;
- можливість тестування окремих алгоритмів;
- заміну бібліотеки графіків без зміни прикладної логіки;
- додавання нових форматів імпорту й експорту;
- спрощення супроводу програмного коду;
- повторне використання окремих компонентів.

Отже, багаторівнева модульна архітектура з використанням MVVM є доцільною для розроблюваного застосунку, оскільки забезпечує чітке розділення відповідальності між компонентами та створює основу для подальшого розвитку системи.

2.3 Проєктування структури локальної бази даних

Локальна база даних призначена для структурованого зберігання відомостей про виробничі об'єкти, свердловини, сеанси каротажу, результати вимірювань, сформовані інтервали та звітні документи.

Структуру бази спроектовано відповідно до реляційної моделі, у якій дані подаються у вигляді взаємопов'язаних таблиць. Кожна таблиця описує окрему сутність предметної області, а зв'язки між ними реалізуються за допомогою первинних і зовнішніх ключів [17]. Такий підхід зменшує дублювання інформації та запобігає аномаліям додавання, редагування і видалення записів.

Для реалізації локального сховища обрано SQLite — вбудовану безсерверну систему керування базами даних, яка зберігає всю інформацію в одному файлі та не потребує встановлення окремого серверного програмного забезпечення [14]. Це відповідає вимогам автономної роботи застосунку,

спрощує його розгортання, резервне копіювання та перенесення між робочими місцями.

До основних сутностей бази даних належать:

- виробничі об'єкти;
- блоки, горизонти або ділянки;
- свердловини;
- сеанси вимірювань;
- окремі результати каротажу;
- класи руд;
- інтервали свердловини;
- шаблони звітних документів;
- сформовані звіти.

Загальну структуру бази даних та зв'язки між її сутностями наведено на рисунку 2.3.

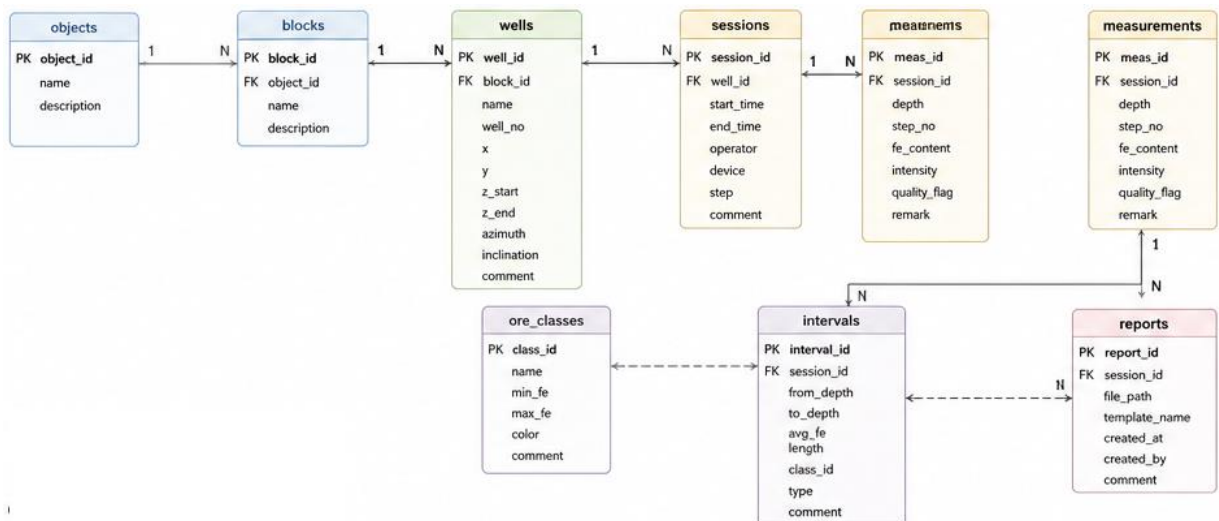


Рисунок 2.3 – ER-діаграма локальної бази геологорозвідувальних даних

Основні зв'язки між сутностями мають такий вигляд:

- один виробничий об'єкт містить багато блоків;
- один блок містить багато свердловин;
- одна свердловина може мати декілька сеансів вимірювань;

- один сеанс містить багато окремих вимірювань;
- один сеанс може містити багато сформованих інтервалів;
- кожний інтервал належить до одного класу руди;
- один сеанс може використовуватися для формування декількох звітів;
- один шаблон може застосовуватися для створення багатьох документів.

Таблиця Objects (див. табл. 2.1) призначена для зберігання відомостей про шахти, кар'єри, родовища або інші виробничі об'єкти.

Таблиця 2.1 – Структура таблиці Objects

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
object_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Унікальний ідентифікатор об'єкта
name	TEXT	NOT NULL, UNIQUE	Назва виробничого об'єкта
object_type	TEXT	NULL	Тип об'єкта: шахта, кар'єр, родовище
description	TEXT	NULL	Додатковий опис
created_at	TEXT	NOT NULL	Дата і час створення запису

Поле object_id є первинним ключем. Значення created_at зберігається у форматі ISO 8601.

Таблиця Blocks (див. табл. 2.2) містить відомості про горизонти, блоки, панелі або окремі ділянки виробничого об'єкта.

Поле object_id утворює зв'язок із таблицею Objects. Для одного виробничого об'єкта може бути створено декілька блоків.

Таблиця Boreholes (див. табл. 2.3) призначена для зберігання паспортних і просторових характеристик свердловин.

Таблиця 2.2 – Структура таблиці Blocks

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
block_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор блока
object_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на виробничий об'єкт
name	TEXT	NOT NULL	Назва або номер блока
horizon	TEXT	NULL	Геологічний горизонт
panel	TEXT	NULL	Номер або назва панелі
description	TEXT	NULL	Додатковий опис

Таблиця 2.3 – Структура таблиці Boreholes

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
borehole_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор свердловини
block_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на блок
number	TEXT	NOT NULL	Номер або назва свердловини
coordinate_x	REAL	NULL	Координата X, м
coordinate_y	REAL	NULL	Координата Y, м
coordinate_z	REAL	NULL	Абсолютна відмітка устя, м
length	REAL	CHECK ≥ 0	Загальна довжина свердловини, м
diameter	REAL	NULL	Діаметр свердловини, мм
azimuth	REAL	CHECK 0–360	Азимут, градуси
inclination	REAL	NULL	Кут нахилу, градуси
drilling_date	TEXT	NULL	Дата буріння
comment	TEXT	NULL	Примітка оператора

Комбінація block_id і number повинна бути унікальною, оскільки в межах одного блока не допускається наявність двох свердловин з однаковим номером.

Таблиця MeasurementSessions (див. табл. 2.4) використовується для зберігання відомостей про окремі сеанси каротажу. Це дозволяє зберігати декілька наборів вимірювань для однієї свердловини.

Таблиця 2.4 – Структура таблиці MeasurementSessions

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
session_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор сеансу
borehole_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на свердловину
started_at	TEXT	NOT NULL	Дата і час початку вимірювань
finished_at	TEXT	NULL	Дата і час завершення
operator_name	TEXT	NULL	ПІБ або код оператора
device_model	TEXT	NULL	Модель вимірювального пристрою
device_serial	TEXT	NULL	Серійний номер пристрою
measurement_step	REAL	CHECK > 0	Крок вимірювання, м
calibration_name	TEXT	NULL	Використана калібрувальна характеристика
source_type	TEXT	NOT NULL	Пристрій, файл або ручне введення
comment	TEXT	NULL	Додаткові відомості

Відокремлення сеансів дає змогу порівнювати результати повторних досліджень і зберігати інформацію про обладнання та умови виконання вимірювань.

Таблиця Measurements (див. табл. 2.5) містить окремі точки каротажних вимірювань, впорядковані за глибиною.

Таблиця 2.5 – Структура таблиці Measurements

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
measurement_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор вимірювання
session_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на сеанс
sequence_number	INTEGER	NOT NULL	Порядковий номер запису
depth	REAL	NOT NULL, CHECK ≥ 0	Глибина вимірювання, м
step	REAL	CHECK > 0	Крок до наступної точки, м
intensity	REAL	NULL	Первинна інтенсивність сигналу
fe_content	REAL	CHECK 0–100	Вміст загального заліза, %
quality_flag	INTEGER	DEFAULT 0	Ознака якості або помилки
is_edited	INTEGER	DEFAULT 0	Ознака ручного редагування
comment	TEXT	NULL	Примітка

Комбінація полів session_id і sequence_number має бути унікальною. Додатково доцільно заборонити повторне збереження однакової глибини в межах одного сеансу.

Поле quality_flag може мати такі значення:

- 0 — коректне вимірювання;
- 1 — запис потребує перевірки;
- 2 — некоректне значення;
- 3 — пропущене або відновлене значення.

Таблиця OreClasses (див. табл. 2.5) містить налаштовуваний класифікатор рудних і нерудних інтервалів.

Таблиця 2.6 – Структура таблиці OreClasses

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
ore_class_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор класу
name	TEXT	NOT NULL, UNIQUE	Назва класу
code	TEXT	NOT NULL, UNIQUE	Умовний код
minimum_fe	REAL	CHECK 0–100	Нижня межа Fe, %
maximum_fe	REAL	CHECK 0–100	Верхня межа Fe, %
color_hex	TEXT	NOT NULL	Колір відображення у форматі HEX
sort_order	INTEGER	DEFAULT 0	Порядок у легенді
description	TEXT	NULL	Опис класу
Поле	Тип SQLite	Обмеження	Призначення
ore_class_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор класу
name	TEXT	NOT NULL, UNIQUE	Назва класу

Зберігання класифікатора в окремій таблиці дозволяє змінювати порогові значення без редагування програмного коду.

Таблиця Intervals (див. табл. 2.7) містить сформовані рудні та нерудні інтервали свердловини.

Таблиця 2.7 – Структура таблиці Intervals

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
1	2	3	4
interval_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор інтервалу
session_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на сеанс
ore_class_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на клас руди
start_depth	REAL	NOT NULL, CHECK ≥ 0	Початкова глибина, м
end_depth	REAL	NOT NULL	Кінцева глибина, м
length	REAL	CHECK > 0	Довжина інтервалу, м

Продовження табл. 2.7

1	2	3	4
average_fe	REAL	CHECK 0–100	Середній вміст Fe, %
minimum_fe	REAL	NULL	Мінімальний вміст Fe, %
maximum_fe	REAL	NULL	Максимальний вміст Fe, %
standard_deviation	REAL	NULL	Середньоквадратичне відхилення
formation_method	TEXT	NOT NULL	Автоматичний або ручний спосіб

Для таблиці має виконуватися умова: $\text{end_depth} > \text{start_depth}$.

Інтервали одного сеансу не повинні перекриватися. Перевірка цієї умови виконується на рівні прикладної логіки перед записом до бази даних.

Таблиця ReportTemplates (див. табл. 2.8) містить інформацію про стандартизовані шаблони звітної документації.

Таблиця 2.8 – Структура таблиці ReportTemplates

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
template_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор шаблону
name	TEXT	NOT NULL, UNIQUE	Назва шаблону
file_path	TEXT	NOT NULL	Шлях до ODS-файла
document_type	TEXT	NOT NULL	Тип журналу або звіту
version	TEXT	NULL	Версія шаблону
is_active	INTEGER	DEFAULT 1	Ознака доступності
description	TEXT	NULL	Опис призначення

Збереження версії шаблону дозволяє відтворити документ у формі, яка використовувалася на момент його створення.

Таблиця GeneratedReports (див. табл. 2.8) зберігає відомості про сформовані звітні й обмінні файли.

Таблиця 2.9 – Структура таблиці GeneratedReports

Поле	Тип	Обмеження	Призначення
report_id	INTEGER	PK, AUTOINCREMENT	Ідентифікатор звіту
session_id	INTEGER	FK, NOT NULL	Посилання на сеанс
template_id	INTEGER	FK, NULL	Використаний шаблон
report_type	TEXT	NOT NULL	ODS, PDF, CSV або LAS
file_path	TEXT	NOT NULL	Шлях до сформованого файлу
created_at	TEXT	NOT NULL	Дата і час створення
created_by	TEXT	NULL	Користувач, який сформував файл
status	TEXT	NOT NULL	Успішно, помилка або чернетка
comment	TEXT	NULL	Додаткова інформація

Таблиця дозволяє вести історію формування документів і повторно відкривати раніше створені файли.

Для підтримання цілісності бази даних необхідно:

- увімкнути перевірку зовнішніх ключів SQLite;
- використовувати транзакції під час імпорту наборів вимірювань;
- установити обмеження NOT NULL, UNIQUE і CHECK;
- перевіряти допустимі діапазони глибин і вмісту заліза;
- заборонити видалення об'єктів, які мають залежні записи, або застосовувати каскадне видалення лише після підтвердження;
- створити індекси для полів, за якими часто виконується пошук.

Доцільно створити індекси:

- за номером свердловини;
- за ідентифікатором сеансу та глибиною;
- за початковою і кінцевою глибиною інтервалу;
- за датою створення звіту.

Таким чином, спроектована структура бази даних охоплює основні об'єкти предметної області та забезпечує збереження повного циклу

інформації: від виробничого об'єкта і первинних вимірювань до сформованих інтервалів і звітних документів. Реляційні зв'язки та обмеження SQLite створюють основу для надійної роботи модулів обробки, візуалізації та експорту.

2.4 Розробка модуля імпортування та збереження даних

Модуль імпортування призначений для отримання результатів каротажу з вимірювального пристрою, перевірки переданих пакетів, перетворення первинних значень у внутрішню модель застосунку та їх збереження у локальній базі даних.

Основним способом обміну з вимірювальним пультом є послідовний інтерфейс COM/RS-232. У програмному забезпеченні ПАКС-4 передавання виконується після підключення пульта до COM-порту та переведення приладу в режим обміну з персональним комп'ютером [3]. У документації ПАКС-5 описано командно-пакетний протокол, у якому комп'ютер надсилає запити, а вимірювальний пульт повертає відповідні блоки даних [22].

Для зменшення залежності застосунку від конкретної моделі приладу модуль імпорту доцільно поділити на такі компоненти:

- сервіс роботи з послідовним портом;
- адаптер протоколу вимірювального пристрою;
- декодер пакетів;
- модуль перевірки даних;
- сервіс збереження у SQLite;
- журнал імпорту та помилок.

Така структура дозволяє підтримувати різні модифікації ПАКС шляхом реалізації окремих адаптерів без зміни прикладної логіки.

Перед початком приймання даних застосунок виконує:

- пошук доступних COM-портів;
- вибір порту користувачем;
- установлення параметрів з'єднання;

- відкриття порту;
- перевірку наявності приладу командою PING;
- визначення версії протоколу;
- запит кількості записів у журналі;
- послідовне зчитування пакетів із вимірюваннями.

Для ПАКС-5 обмін із персональним комп'ютером виконується зі швидкістю 57600 бод. У режимі роботи з цифровим гамма-датчиком той самий послідовний порт може перемикатися на швидкість 9600 бод [22]. Тому параметри порту повинні задаватися у конфігурації адаптера приладу.

Обмін між персональним комп'ютером і вимірювальним засобом здійснюється пакетами визначеної структури. Кожний пакет містить службові поля, код команди, номер фрагмента, корисне навантаження та контрольну суму, що використовується для перевірки цілісності переданих даних. Узагальнену структуру пакета, який надходить від вимірювального засобу, наведено на рисунку 2.4, а узагальнена структура пакета наведено в таблиці 2.10.



Рисунок 2.4 – Структура пакета даних від вимірювального засобу

Таблиця 2.10 – Узагальнена структура пакета обміну

Поле	Розмір	Призначення
DeviceID	1 байт	Ідентифікатор пристрою-відправника
CommandCode	1 байт	Код команди або відповіді
FrameNumber	2 байти	Номер фрагмента даних
Count	1 байт	Кількість коректних записів у пакеті
Payload	змінний	Масив вимірювань або службові дані
CS	1 байт	Контрольна сума пакета

У документації ПАКС-5 для комп'ютера використовується код 0x40, а для пульта — 0x4C. Основні команди протоколу наведено в таблиці 2.11 [22].

Таблиця 2.11 – Основні команди обміну

Код	Позначення	Призначення
0x11	PC_PING_PAKS	Перевірка зв'язку з приладом
0x12	PC_READ_REG	Читання системних регістрів
0x13	PC_WRITE_REG	Запис системних регістрів
0x14	PC_GET_DATA	Отримання фрагмента журналу
0x15	PC_READ_REC_COUNT	Отримання кількості записів
0x16	PC_R_COUNT_P_KALIBR	Отримання кількості калібрувальних точок
0x17	PC_GET_DATA_KALIBR	Отримання даних калібрування
0x20	REG_IS_SAVED	Підтвердження збереження регістрів

Для запиту окремого фрагмента журналу може використовуватися пакет:

```
TSelectFramePacket
{
    DeviceID;
    CommandCode;
    FrameNumber;
    CheckSum;
}
```

У відповідь прилад передає пакет даних:

```
TDataPacket
{
    DeviceID;
    CommandCode;
    FrameNumber;
    CountInPacket;
    Measurements[10];
    CheckSum;
```

}

Один пакет ПАКС-5 може містити до десяти записів журналу. Якщо загальна кількість вимірювань не кратна десяти, поле CountInPacket визначає фактичну кількість значущих записів в останньому пакеті [22].

Наприклад, для журналу зі 126 вимірюваннями необхідно отримати 13 пакетів: 12 повних пакетів по 10 записів і один пакет із 6 записами.

Для виявлення пошкоджених пакетів використовується контрольна сума. У протоколі ПАКС-5 вона обчислюється шляхом послідовної операції XOR над байтами пакета з початковим значенням 0x55 [22]:

Для перевірки цілісності переданих даних у протоколі обміну використовується контрольна сума. Її значення обчислюється послідовним застосуванням операції XOR до всіх байтів пакета, крім поля CS, із початковим значенням 0x55 [22].

Алгоритм розрахунку контрольної суми наведено на рисунку 2.5.

$$CS = 0x55 \oplus b_1 \oplus b_2 \oplus \dots \oplus b_n$$

CS – контрольна сума (1 байт)

b_i – i -й байт пакета

$\oplus$ – операція XOR

Рисунок 2.5 – Алгоритм розрахунку контрольної суми пакета даних

Як показано на рисунку 2.5, після приймання пакета застосунок повторно обчислює контрольну суму та порівнює її зі значенням, переданим вимірювальним засобом. Якщо значення збігаються, пакет вважається коректним і передається на подальше декодування. У разі розбіжності пакет позначається як пошкоджений, після чого виконується повторний запит або формується повідомлення про помилку. Для інших моделей пристроїв адаптер може використовувати інший спосіб контролю, наприклад CRC16. Вибір алгоритму перевірки належить до реалізації конкретного протоколу.

Алгоритм роботи модуля включає такі етапи:

- установлення зв'язку з приладом;
- виконання команди перевірки доступності;

- отримання кількості записів;
- обчислення необхідної кількості пакетів;
- послідовне надсилання запитів;
- перевірку ідентифікатора, коду команди та контрольної суми;
- декодування вимірювальних записів;
- перевірку глибини, вмісту Fe та порядкового номера;
- відображення попереднього результату оператора;
- збереження підтверджених даних у SQLite.

Під час декодування пакета формується об'єкт вимірювання, який містить:

- порядковий номер;
- глибину;
- крок вимірювання;
- первинну інтенсивність;
- розрахований вміст заліза;
- ознаку якості;
- відомості про джерело даних.

Перед записом контролюються допустимі діапазони, відсутність повторів і послідовність глибин. Некоректні записи не видаляються автоматично, а позначаються ознакою якості для подальшої перевірки оператором.

Імпортований набір записується у таблиці MeasurementSessions і Measurements. Спочатку створюється запис сеансу, після чого до нього додаються окремі вимірювання.

Усі операції збереження виконуються в межах однієї транзакції SQLite [20, 21]. Якщо під час запису хоча б одного вимірювання виникає помилка, транзакція скасовується. Це запобігає появі неповних сеансів.

Узагальнено збереження виконується за схемою:

```

BEGIN TRANSACTION
    створення сеансу;
    додавання вимірювань;
    перевірка кількості записів;
    створення запису журналу імпорту;
COMMIT

```

У разі помилки виконується ROLLBACK.

Для запобігання повторному імпорту доцільно перевіряти комбінацію таких характеристик:

- ідентифікатор приладу;
- номер свердловини;
- дата і час сеансу;
- кількість вимірювань;
- контрольна сума набору даних.

Результати імпорту повинні відображатися оператору у вигляді повідомлення із зазначенням кількості прийнятих, відхилених і сумнівних записів.

Отже, модуль імпортування реалізує контрольований обмін із вимірювальним пристроєм, перевірку пакетів і транзакційне збереження результатів. Використання окремих адаптерів протоколу дозволяє підтримувати ПАКС-4, ПАКС-5 та інші вимірювальні засоби без зміни основної архітектури застосунку.

2.5 Реалізація табличного подання даних та графічної візуалізації

Табличне та графічне подання призначене для перегляду, перевірки й інтерпретації результатів каротажу. Таблиця забезпечує роботу з точними числовими значеннями, а графічне представлення дозволяє оцінювати зміну вмісту заліза вздовж стовбура свердловини та наочно визначати межі окремих інтервалів.

Модуль візуалізації складається з трьох взаємопов'язаних компонентів:

- таблиці результатів вимірювань;
- каротажного графіка зміни вмісту заліза за глибиною;
- кольорової колонки сформованих інтервалів.

Взаємодію основних компонентів модуля наведено на рисунку 2.6.

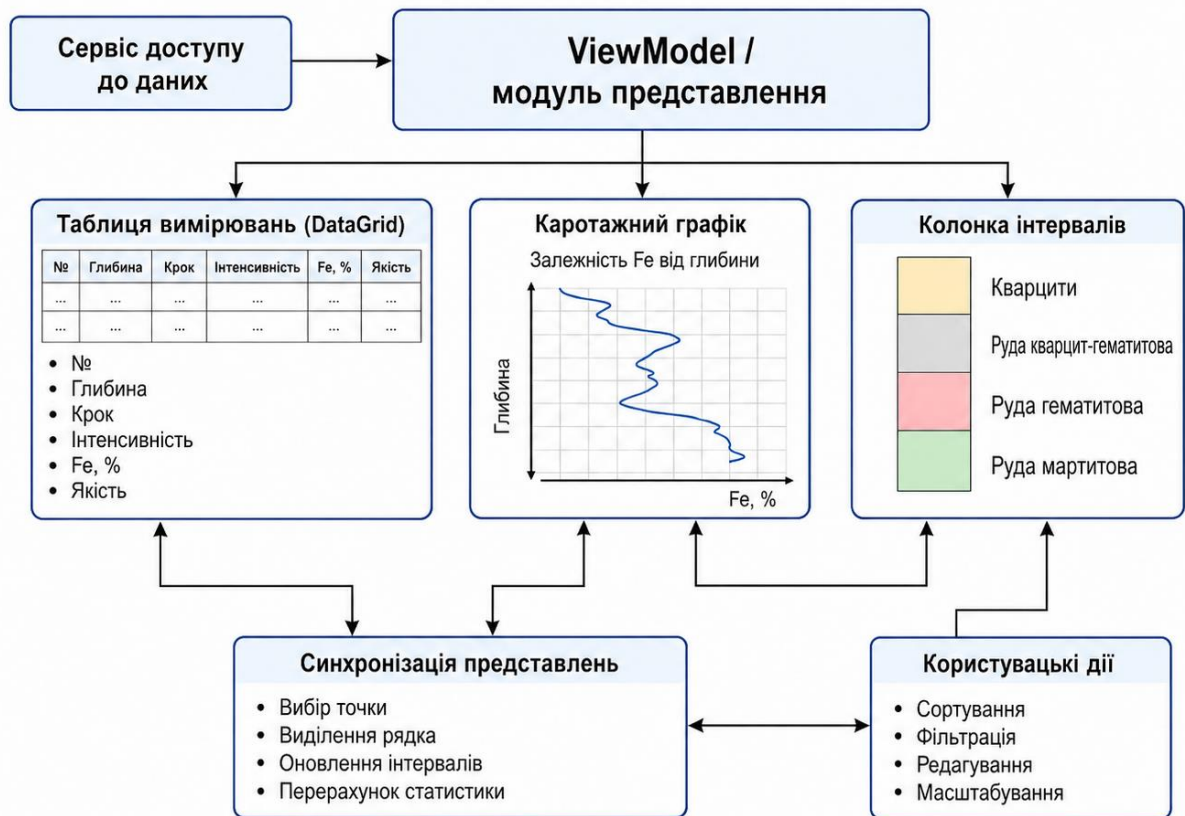


Рисунок 2.6 – Структура модуля табличного та графічного представлення каротажних даних

Для реалізації табличного подання використовується елемент DataGrid технології WPF. Він підтримує відображення і редагування колекцій, сортування, виділення рядків, налаштування колонок та перевірку введених значень [23].

Джерелом таблиці є колекція об'єктів вимірювань, завантажена з локальної бази даних. Прив'язування даних виконується відповідно до шаблону MVVM, завдяки чому зміни у моделі автоматично відображаються в інтерфейсі.

Основні колонки таблиці наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Структура табличного подання результатів вимірювань

Колонка	Джерело даних	Призначення	Колонка
№	sequence_number	Порядковий номер вимірювання	№
Глибина, м	depth	Положення точки вздовж свердловини	Глибина, м
Крок, м	step	Відстань між сусідніми точками	Крок, м
Інтенсивність	intensity	Первинне значення сигналу	Інтенсивність
Fe, %	fe_content	Розрахований вміст заліза	Fe, %
Якість	quality_flag	Ознака коректності запису	Якість
Інтервал	розрахункове поле	Належність до інтервалу	Інтервал
Примітка	comment	Коментар оператора	Примітка

Для числових полів задаються допустимі діапазони та формати відображення. Глибина і крок не можуть бути від’ємними, а значення Fe повинно перебувати у встановленому діапазоні. Сумнівні записи позначаються окремим стилем і передаються оператору для перевірки.

Табличне подання повинно підтримувати:

- сортування за глибиною і вмістом заліза;
- фільтрацію за діапазоном глибин;
- пошук записів;
- виділення одного або кількох рядків;
- редагування дозволених значень;
- перехід до відповідної точки на графіку;
- кольорове позначення записів за класом інтервалу.

Каротажний графік будується за впорядкованою послідовністю точок, у якій кожній глибині відповідає значення вмісту заліза. Для побудови графіка може бути використана бібліотека OxyPlot, яка підтримує числові осі, лінійні серії, масштабування та інтеграцію з WPF [24].

На графіку горизонтальна вісь відповідає вмісту заліза, а вертикальна — глибині свердловини. Вісь глибини відображається у зворотному напрямку: нульове значення розташовується у верхній частині, а збільшення глибини відбувається вниз.

Графічне представлення повинно забезпечувати:

- відображення каротажної кривої;
- масштабування та переміщення;
- виведення сітки й підписів осей;
- відображення підказок зі значеннями глибини та Fe;
- нанесення порогових ліній;
- виділення вибраної точки;
- відображення меж інтервалів;
- автоматичне оновлення після редагування даних.

Порогові значення відображаються вертикальними лініями, що дозволяє візуально оцінити належність окремої точки або ділянки до відповідного класу.

Поруч із графіком розміщується кольорова колонка інтервалів. Її вертикальний масштаб повинен відповідати шкалі глибини. Кожний інтервал подається прямокутною областю, колір якої визначається параметрами відповідного класу руди.

Усі представлення мають бути синхронізовані. Вибір рядка таблиці повинен виділяти відповідну точку на графіку. Вибір точки або діапазону на графіку, своєю чергою, має приводити до виділення відповідних рядків таблиці та інтервалу в кольоровій колонці.

Приклад компоновання елементів користувацького інтерфейсу наведено на рисунку 2.7.

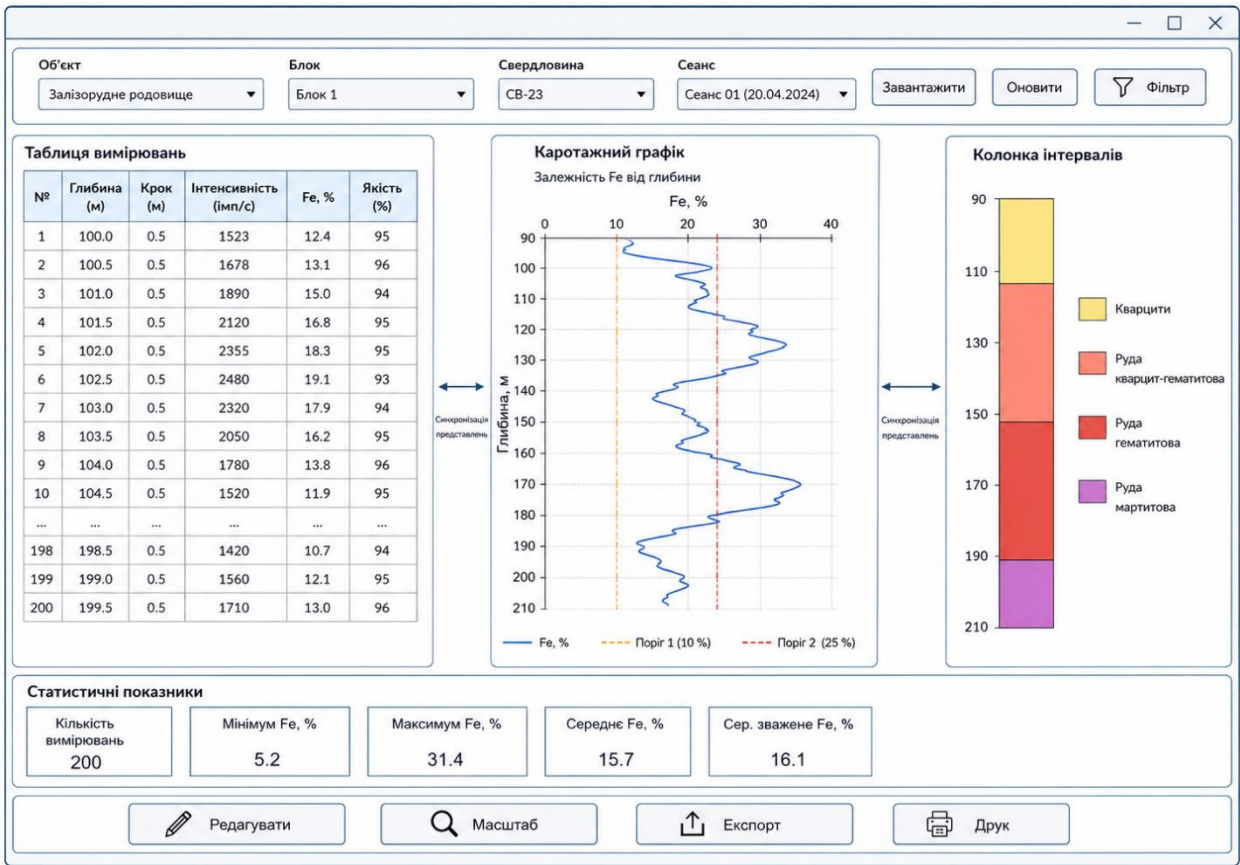


Рисунок 2.7 – Приклад інтерфейсу табличного та графічного представлення результатів каротажу

Модуль візуалізації не повинен безпосередньо виконувати SQL-запити. Дані завантажуються через прикладний сервіс і передаються до моделі представлення у вигляді підготовленої колекції. Це забезпечує незалежність інтерфейсу від структури бази даних.

Після ручного редагування застосунок перевіряє нове значення, зберігає зміни, перераховує статистичні показники та оновлює графік і межі інтервалів. Відкориговані записи позначаються ознакою `is_edited`, що дозволяє відрізнити їх від первинних результатів.

Для великих наборів даних доцільно оновлювати лише змінені записи й відповідні графічні елементи. Тривалі операції повинні виконуватися асинхронно, щоб не блокувати користувацький інтерфейс.

Отже, поєднання таблиці, каротажного графіка та кольорової колонки інтервалів забезпечує комплексний аналіз результатів вимірювань.

Синхронізація цих представлень дозволяє оператору одночасно працювати з точними числовими даними та їх наочним графічним відображенням.

2.6 Розробка алгоритму формування інтервалів та обчислення статистичних показників

Формування інтервалів виконується після завантаження, перевірки та впорядкування каротажних вимірювань за глибиною. Метою алгоритму є автоматичне об'єднання суміжних точок із близькими характеристиками у ділянки, що відповідають визначеним класам порід або руд.

У розроблюваному застосунку передбачається комбінований підхід: програма автоматично формує попередній набір інтервалів за встановленими порогами вмісту заліза, а оператор перевіряє та за потреби коригує отриманий результат. Такий підхід відповідає практиці професійних геологічних систем, у яких автоматизоване компонування доповнюється експертною інтерпретацією [5–10].

Вхідними даними алгоритму є:

- упорядкований набір вимірювань;
- глибина кожної точки;
- значення вмісту заліза;
- крок між сусідніми вимірюваннями;
- налаштовані межі класів;
- мінімально допустима довжина інтервалу.

Для кожного класу у таблиці OreClasses зберігаються назва, нижня та верхня межі вмісту заліза, умовний код і колір відображення. Наприклад, можуть використовуватися такі класи: кварцити, кварцит-гематитова руда, гематитова руда та мартитова руда. Конкретні порогові значення задаються відповідно до виробничої методики.

Алгоритм формування інтервалів включає такі етапи:

- вибір активного сеансу вимірювань;
- сортування точок за глибиною;

- вилучення або позначення некоректних записів;
- визначення класу першої точки;
- послідовний аналіз наступних вимірювань;
- об'єднання суміжних точок одного класу;
- завершення поточного інтервалу при зміні класу;
- перевірка мінімальної довжини;
- розрахунок статистичних показників;
- збереження результату в таблиці Intervals;
- передавання інтервалів оператору для підтвердження.

Клас окремого вимірювання визначається порівнянням значення Fe_i із межами відповідного класу:

$$Fe_{min,k} \leq Fe_i \leq Fe_{max,k}$$

де $Fe_{min,k}$ і $Fe_{max,k}$ — нижня та верхня межі (k)-го класу.

Якщо клас поточного вимірювання збігається з класом попереднього, точка додається до поточного інтервалу. У разі зміни класу попередній інтервал завершується, а з поточної точки створюється новий.

Довжина інтервалу визначається як різниця між кінцевою та початковою глибиною:

$$L_i = H_{ki} - H_{pi} .$$

Для запобігання утворенню надто коротких ділянок застосовується перевірка мінімальної довжини. Якщо інтервал коротший за встановлене значення, він може бути:

- приєднаний до попереднього інтервалу;
- приєднаний до наступного інтервалу;
- залишений окремим після підтвердження оператором.

Остаточне рішення залежить від правил, заданих у налаштуваннях застосунку.

Після визначення меж для кожного інтервалу обчислюються:

- кількість вимірювань;
- мінімальний вміст заліза;

- максимальний вміст заліза;
- середнє арифметичне;
- середньозважене значення;
- середньоквадратичне відхилення;
- довжина інтервалу.

Середнє арифметичне визначається за формулою

$$\overline{Fe} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Fe_i .$$

Якщо окремі ділянки мають різну довжину, використовується середньозважене значення:

$$\overline{Fe}_w = \frac{\sum_{j=1}^n Fe_j l_j}{\sum_{j=1}^n l_j} ,$$

де l_j — довжина ділянки, що відповідає окремому вимірюванню.

Для оцінювання однорідності інтервалу розраховується середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Fe_i - \overline{Fe})^2} .$$

Після обробки всіх інтервалів визначаються узагальнені показники для свердловини:

- загальна довжина дослідженої частини;
- сумарна довжина кожного класу;
- частка рудних інтервалів;
- середній і середньозважений вміст заліза;
- кількість інтервалів кожного типу.

Сумарна довжина інтервалів певного класу визначається за формулою

$$L_k = \sum_{i=1}^m L_i ,$$

де m — кількість інтервалів відповідного класу.

Частка класу в загальній довжині свердловини обчислюється як

$$P_k = \frac{L_k}{L_{\text{заг}}} \cdot 100 \% .$$

Перед збереженням результатів виконується перевірка:

- початкова глибина є меншою за кінцеву;
- інтервали не перекриваються;
- межі не виходять за довжину свердловини;
- клас належить до чинного класифікатора;
- статистичні показники не містять некоректних значень.

Результати алгоритму записуються до таблиці Intervals. Поле formation_method фіксує спосіб створення інтервалу, а is_confirmed — факт його перевірки оператором. Після ручного редагування статистичні показники автоматично перераховуються.

Узагальнену послідовність роботи алгоритму доцільно подати на рисунку 2.8.

Отже, розроблений алгоритм забезпечує автоматичне попереднє виділення інтервалів, їх класифікацію та розрахунок узагальнених характеристик. Можливість ручного коригування дозволяє поєднати автоматизовану обробку з експертною оцінкою геолога.

2.7 Проєктування стандартизованого шаблону звіту

Стандартизований шаблон звіту призначений для автоматизованого формування журналу результатів каротажу у форматі електронної таблиці. Його використання забезпечує єдину структуру документа, однакове розташування реквізитів, повторюваність оформлення та можливість подальшого редагування у LibreOffice Calc.

Шаблон створюється у форматі OpenDocument Spreadsheet. Формат ODS належить до стандарту OpenDocument і підтримує структуроване подання аркушів, таблиць, рядків, комірок, стилів і формул [15, 25]. Це дозволяє

використовувати його як відкритий і платформонезалежний формат звітної документації.

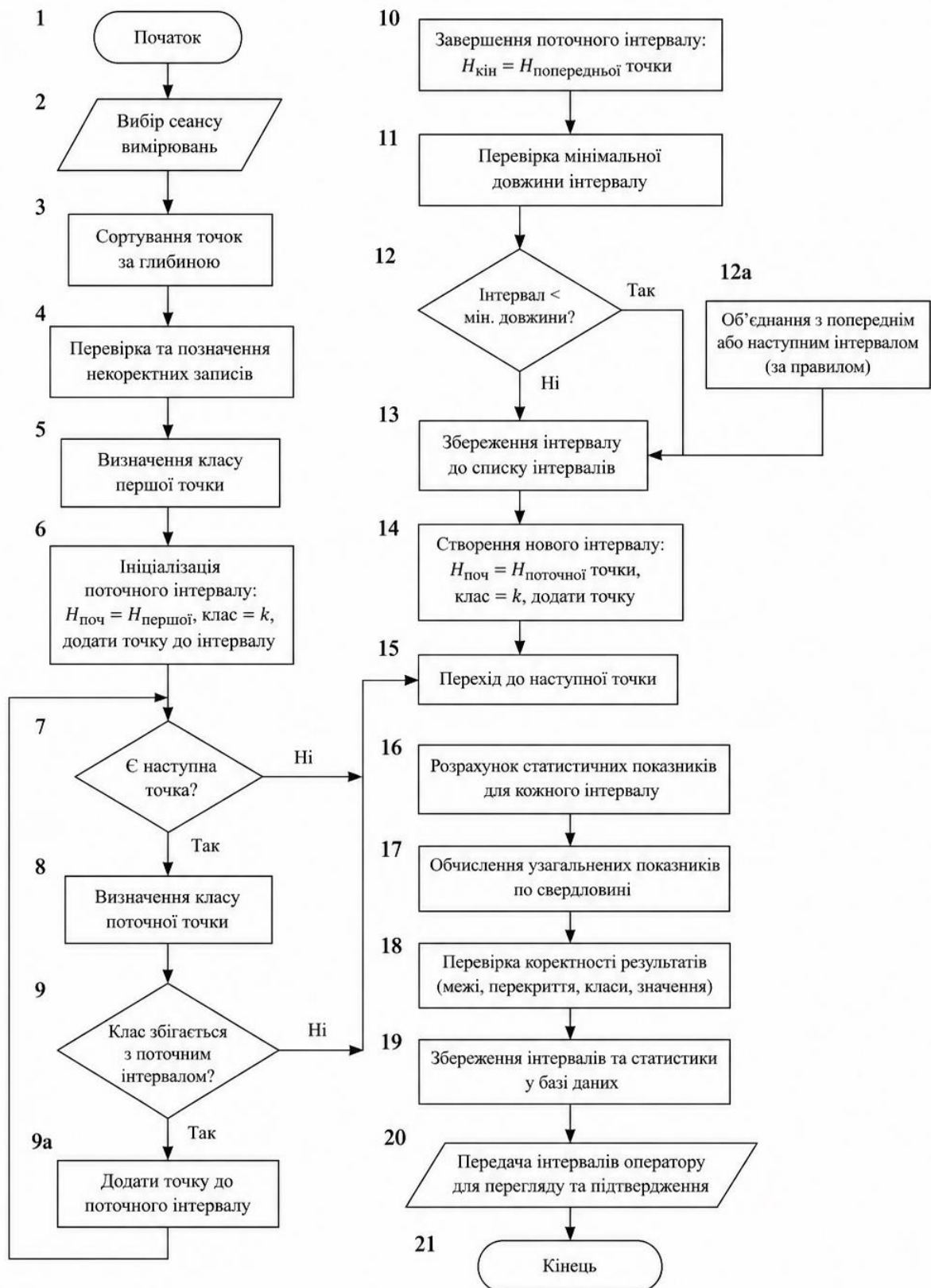


Рисунок 2.8 – Алгоритм формування інтервалів та обчислення статистичних показників

У загальному вигляді шаблон складається з таких частин:

- заголовної частини;
- відомостей про виробничий об'єкт і свердловину;
- таблиці результатів вимірювань;
- таблиці сформованих інтервалів;
- блоку статистичних показників;
- легенди кольорових позначень;
- службових полів і підписів.

Узагальнену структуру шаблону наведено на рисунку 2.9.

1	Заголовна частина						
Підприємство: _____ Тип документа: _____ № свердловини: _____ Дата: _____ ID звіту: _____							
2	Відомості про об'єкт і свердловину						
Об'єкт	Блок	Горизонт	Координати X/Y/Z	Довжина, м	Азимут, °	Кут нахилу, °	
_____	_____	_____	___ / ___ / ___	_____	_____	_____	
3	Таблицне представлення інтервалів						
Початок, м	Кінець, м	Довжина, м	Середній Fe, %	Тип руди			
0,00	10,00	10,00	18,5	Кварцити			
10,00	25,00	15,00	28,4	Руда кварцит-гематитова			
25,00	45,00	20,00	35,1	Руда гематитова			
45,00	60,00	15,00	22,3	Кварцити			
60,00	85,00	25,00	24,6	Руда кварцит-гематитова			
85,00	110,00	25,00	16,8	Руда мартитова			
...	...	...	...	...			
4	Графік розподілу за глибиною						
5	Статистичні показники						
Кількість вимірювань _____ Мін. Fe, % _____ Макс. Fe, % _____ Середнє Fe, % _____				Середньозважене Fe, % _____ Сумарна довжина інтервалів, м _____ Частка рудних інтервалів, % _____			
6	Службові поля і підписи						
Дільничний геолог: _____ Підпис: _____ Дата: _____ Головний геолог: _____ Підпис: _____ Дата: _____							

Рисунок 2.9 – Структура стандартизованого шаблону звіту

У заголовній частині розміщуються назва підприємства, тип документа, номер свердловини, дата проведення каротажу та ідентифікатор звіту. Нижче подаються основні параметри свердловини: виробничий об'єкт, блок, горизонт, координати, довжина, азимут і кут нахилу.

Основна таблиця повинна містити такі дані:

- порядковий номер вимірювання;
- глибину;
- крок вимірювання;
- інтенсивність сигналу;
- вміст Fe;
- клас інтервалу;
- примітку.

Окремо формується таблиця інтервалів, у якій зазначаються початкова та кінцева глибини, довжина, середній вміст заліза та тип руди.

Відповідність полів бази даних елементам шаблону наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Відображення даних у шаблоні звіту

Дані	Джерело	Область шаблону
Назва об'єкта	Objects.name	Заголовна частина
Номер блока	Blocks.name	Реквізити свердловини
Номер свердловини	Boreholes.number	Заголовна частина
Координати	Boreholes.coordinate_x/y/z	Реквізити свердловини
Глибина	Measurements.depth	Таблиця вимірювань
Вміст Fe	Measurements.fe_content	Таблиця вимірювань
Початок інтервалу	Intervals.start_depth	Таблиця інтервалів
Кінець інтервалу	Intervals.end_depth	Таблиця інтервалів
Середній Fe	Intervals.average_fe	Таблиця інтервалів
Клас руди	OreClasses.name	Текст і колір рядка
Статистичні показники	розрахункові дані	Підсумкова частина

Для кожного класу руди задається фіксований стиль оформлення. У шаблоні використовуються такі позначення:

- кварцити;
- руда кварцит-гематитова;
- руда гематитова;
- руда мартитова.

Колір комірки або рядка визначається значенням `color_hex` з таблиці `OreClasses`. Форматування комірок включає встановлення кольору фону, меж, вирівнювання, шрифту, числового формату та захисту. Такі властивості можуть задаватися програмно через сервіси `CellStyle` і `CellProperties` інтерфейсу UNO [27].

Статистичний блок містить:

- кількість вимірювань;
- мінімальний і максимальний вміст Fe;
- середнє арифметичне;
- середньозважене значення;
- сумарну довжину інтервалів кожного класу;
- частку рудних ділянок.

Розрахункові показники можуть записуватися як готові значення або формуватися за допомогою формул електронної таблиці. Синтаксис і правила зберігання таких формул визначаються стандартом `OpenFormula` [26].

Під час проєктування шаблону необхідно встановити:

- формат числових значень;
- кількість знаків після коми;
- ширину колонок і висоту рядків;
- межі таблиць;
- вирівнювання тексту;
- шрифти та розміри заголовків;
- область друку;
- орієнтацію сторінки;
- поля сторінки;
- повторення заголовка таблиці на кожній сторінці.

Орієнтація сторінки, поля та інші параметри друку задаються через властивості сторінкового стилю LibreOffice [28]. Область друку визначається для діапазону, що містить сформований журнал [29], а рядки заголовка можуть повторюватися на кожній сторінці [30].

Шаблон не повинен містити жорстко заданої кількості рядків. У разі великого набору вимірювань застосунок повинен додавати необхідні рядки та копіювати стилі й формули з еталонного діапазону.

Для запобігання випадковому пошкодженню документа комірки доцільно поділити на:

- автоматично заповнювані;
- розрахункові;
- доступні для ручного редагування;
- службові або приховані.

Після формування звіт зберігається як окремий файл, а вихідний шаблон залишається незмінним. У таблиці GeneratedReports фіксуються шлях до файлу, версія шаблону, дата створення, тип документа та користувач.

Отже, стандартизований шаблон ODS забезпечує автоматизоване формування документа встановленої форми, підтримує подальше редагування у LibreOffice Calc та скорочує кількість ручних операцій під час підготовки звітності.

2.8 Реалізація формування документа LibreOffice Calc

Модуль формування документа призначений для автоматизованого перенесення результатів обробки каротажних даних до стандартизованого шаблону електронної таблиці. Результатом роботи модуля є файл формату ODS, який користувач може відкрити у LibreOffice Calc, перевірити, за потреби відредагувати, зберегти у форматі PDF або вивести на друк.

На відміну від старого програмного рішення, у якому звіт формувався засобами FastReport і був орієнтований переважно на перегляд та друк, використання LibreOffice Calc забезпечує подальшу роботу з документом у

відкритому форматі. Користувач може уточнювати окремі значення, додавати службові примітки та зберігати звіт без використання спеціалізованого ліцензійного програмного забезпечення.

Формування документа виконується на основі підготовленого шаблону ODS, структуру якого розглянуто у підрозділі 2.7. Застосунок не змінює початковий шаблон, а створює його копію та заповнює даними вибраної свердловини. Такий підхід дозволяє багаторазово використовувати одну затверджену форму звіту.

До модуля передаються:

- назва виробничого об'єкта і блока;
- номер та просторові параметри свердловини;
- дата і характеристики сеансу вимірювань;
- сформовані інтервали;
- статистичні показники;
- параметри кольорового оформлення;
- шлях до шаблону та каталогу збереження.

Для програмної взаємодії з LibreOffice використовується UNO API. Він надає доступ до аркушів, комірок, діапазонів, стилів, діаграм і параметрів сторінки документа [16, 27, 28].

Алгоритм формування звіту включає такі етапи:

- вибір і перевірку файла шаблону;
- створення копії документа;
- відкриття копії у LibreOffice;
- вибір необхідного аркуша;
- заповнення заголовної частини;
- внесення відомостей про свердловину;
- формування таблиці інтервалів;
- вставлення графіка розподілу Fe за глибиною;
- заповнення статистичного блоку;
- застосування стилів і кольорів;

- налаштування параметрів сторінки та друку;
- збереження файлу;
- реєстрацію звіту в локальній базі даних.

Узагальнену послідовність роботи модуля наведено на рисунку 2.10.

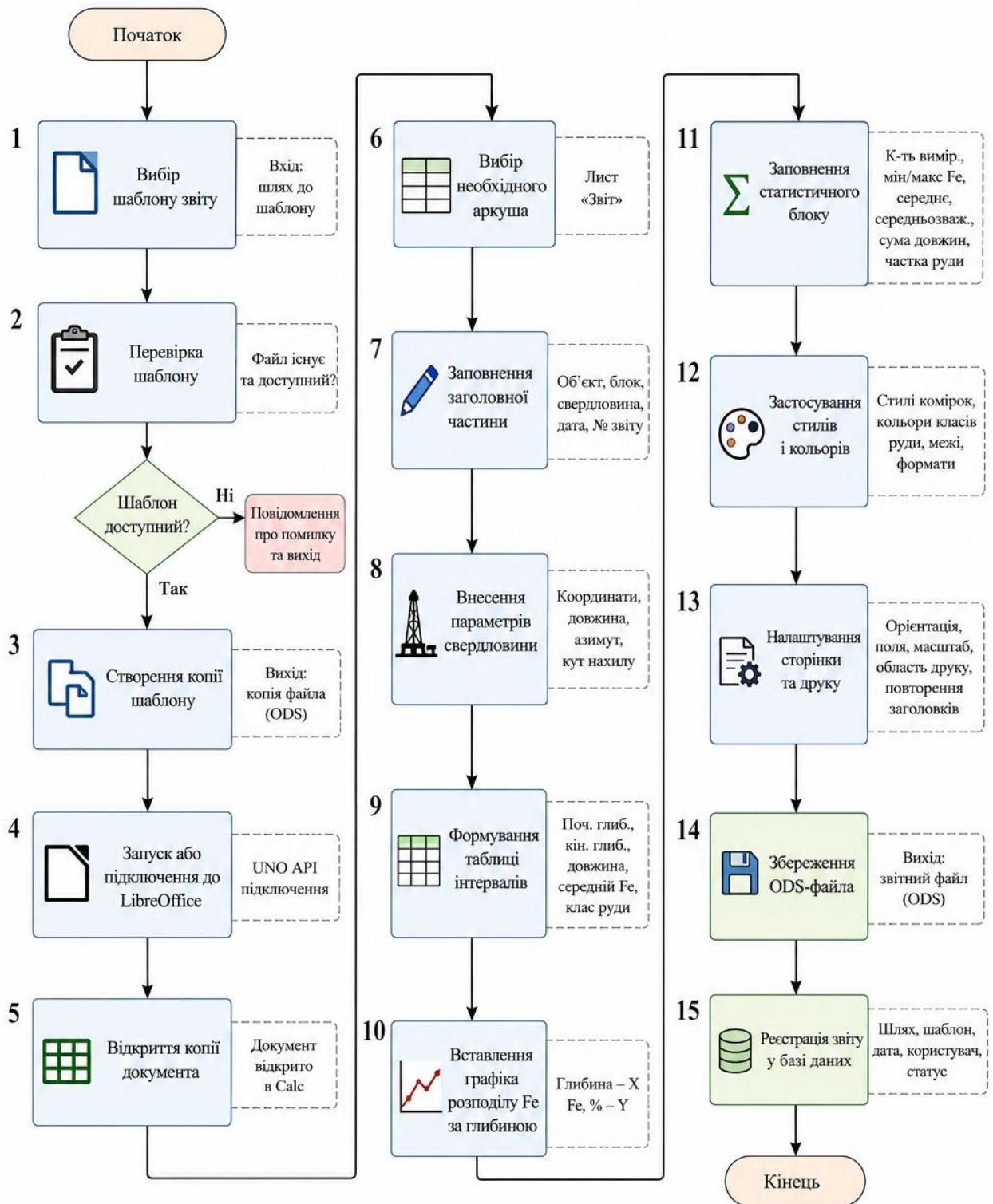


Рисунок 2.10 – Алгоритм формування звітнього документа LibreOffice Calc

Для заповнення реквізитів доцільно використовувати іменовані діапазони шаблону. Наприклад, окремі діапазони можуть відповідати номеру свердловини, координатам, довжині, азимуту, куту нахилу, таблиці інтервалів і статистичному блоку. Це дозволяє змінювати зовнішнє оформлення шаблону без суттєвого редагування програмного коду.

До таблиці інтервалів послідовно записуються початкова і кінцева глибини, довжина, середній вміст заліза та назва класу. Для кожного рядка застосовується кольорове оформлення відповідно до класу: кварцити, руда кварцит-гематитова, руда гематитова або руда мартитова. Значення кольору отримується з таблиці OreClasses.

Якщо кількість інтервалів перевищує кількість рядків, передбачених у шаблоні, застосунок повинен автоматично додати нові рядки та скопіювати до них форматування еталонного діапазону. Це забезпечує формування звітів для свердловин із різною кількістю інтервалів.

Графік розподілу вмісту заліза за глибиною будується за даними активного сеансу. Він може бути створений безпосередньо засобами Calc або вставлений як зображення, сформоване модулем візуалізації. У звіті графік розміщується поруч із таблицею інтервалів, що дозволяє одночасно аналізувати числові та графічні результати.

У нижній частині документа формується статистичний блок. До нього вносяться кількість вимірювань, мінімальний і максимальний вміст Fe, середнє та середньозважене значення, сумарна довжина інтервалів і частка рудних ділянок. Показники можуть бути записані як готові значення або у вигляді формул OpenFormula [26].

Перед збереженням документа задаються орієнтація сторінки, поля, масштаб друку та область друку [28, 29]. За потреби можуть бути визначені рядки, які повторюються на кожній сторінці багатосторінкового документа [30].

Назва файла формується автоматично, наприклад за номером блока, свердловини та датою створення. Після успішного збереження шлях до файла,

використаний шаблон, дата та статус операції записуються до таблиці GeneratedReports.

У разі відсутності шаблону, помилки відкриття LibreOffice, недостатніх прав на запис або пошкодження документа користувач отримує повідомлення із зазначенням причини. Незавершений файл не реєструється як сформований звіт.

Отже, модуль формування документа забезпечує автоматичне створення редагованого звіту встановленої форми, скорочує кількість ручних операцій і спрощує подальше використання результатів каротажу.

2.9 Реалізація інтерфейсу користувача для роботи з даними

Інтерфейс користувача забезпечує послідовне виконання основних операцій камеральної обробки геологорозвідувальних даних: вибір виробничого об'єкта і свердловини, імпорт результатів вимірювань, перегляд та редагування даних, формування інтервалів, обчислення статистичних показників і створення звітнього документа.

Інтерфейс реалізується засобами WPF із використанням архітектурного шаблону MVVM. Візуальні компоненти описуються мовою XAML, а команди, стан вікон і дані для відображення розміщуються в моделях представлення. Механізм прив'язування даних забезпечує синхронізацію елементів керування з об'єктами та колекціями предметної моделі, зменшуючи залежність між графічною частиною і прикладною логікою [12, 13, 33].

Головне вікно виконує роль центральної точки навігації. У ньому користувач вибирає виробничий об'єкт, блок, свердловину та сеанс вимірювань. Після цього стають доступними переходи до картки свердловини, вікна імпорту, робочої області аналізу, форми редагування інтервалів і модуля формування звіту.

Навігація між вікнами реалізується окремими командами моделей представлення. WPF підтримує переходи між сторінками та повернення до попередніх станів за допомогою навігаційних сервісів [32]. Логіку переходів

між основними станами інтерфейсу наведено на UML-діаграмі на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – UML-діаграма переходів між вікнами застосунку

На діаграмі відображаються такі основні стани: головне вікно, картка свердловини, імпорт даних, аналіз вимірювань, редагування інтервалів і формування звіту. Перехід до наступного стану виконується лише після успішного завершення поточної операції. Наприклад, робоча область аналізу відкривається після завантаження або вибору сеансу, а формування документа стає доступним після перевірки інтервалів.

Картка свердловини використовується для введення та редагування її паспортних і просторових параметрів. До форми вносяться номер свердловини, координати устя, довжина, азимут, кут нахилу, дата буріння та примітки. Приклад відповідної екранної форми наведено на рисунку 2.12.

Перевірка обов'язкових і числових полів виконується засобами механізму прив'язування WPF. У разі введення некоректного значення біля відповідного елемента відображається повідомлення про помилку, а команда збереження залишається недоступною до усунення порушення [34].

Картка свердловини - Редагування

Головне вікно

Картка свердловини

Імпорт даних

Аналіз даних

Інтервали

Звіт

Налаштування

Про програму

Параметри свердловини

Загальна інформація

Номер свердловини * C-202

Виробничий об'єкт Північний ГЗК

Блок Пн-3

Дата буріння 15.03.2024

Примітки Пошукова свердловина. Каротаж гамма-активаційний.

Координати устя (м)

X (північ) 5523843.25

Y (схід) 334584.70

Z (відмітка) 256.30

Параметри свердловини

Довжина, м * 342.50

Азимут, ° * 78.0

Кут нахилу, ° * -60.2

Додаткова інформація

Тип свердловини Пошукова

Метод буріння Алмазне

Діаметр, мм 76

Організація ГРП "Кривбасгеологія"

Бурова установка УБШ-221

Бурильник Іваненко П.І.

Коротка інформація

Свердловина: C-202

Об'єкт: Північний ГЗК

Блок: Пн-3

Дата буріння: 15.03.2024

X: 5 523 843.25 м

Y: 334 584.70 м

Z: 256.30 м

Довжина: 342.50 м

Азимут: 78.0 °

Кут нахилу: -60.2 °

Тип: Пошукова

Метод: Алмазне

Діаметр: 76 мм

* Обов'язкові поля

Скасувати Зберегти Зберегти і закрити

Рисунок 2.12 – Інтерфейс введення та редагування параметрів свердловини

Вікно імпорту забезпечує вибір COM-порту або файлу, налаштування параметрів з'єднання, запуск приймання даних і попередній перегляд результатів. Під час імпорту відображаються поточний стан операції, кількість прийнятих записів і виявлені помилки. Збереження у базі виконується після підтвердження оператором.

Центральною робочою областю є форма аналізу каротажних даних, приклад якої наведено на рисунку 2.7. У ній поєднано таблицю вимірювань, графік розподілу Fe за глибиною, кольорову колонку інтервалів і блок статистичних показників.

Табличне представлення реалізується за допомогою елемента DataGrid, який підтримує відображення колекцій, сортування, фільтрацію, виділення та редагування записів [23]. Вибір рядка таблиці приводить до позначення відповідної точки на графіку, а вибір діапазону на графіку — до виділення відповідних записів і інтервалу. Така синхронізація дозволяє одночасно працювати з числовим і графічним представленням результатів.

Форма редагування інтервалів містить їх перелік, межі, довжину, середній вміст заліза та клас руди. Користувач може змінювати початкову і кінцеву глибини, об'єднувати суміжні ділянки, розділяти інтервал або змінювати його класифікацію. Після кожного редагування застосунок перевіряє відсутність перекриттів і автоматично перераховує статистичні показники. Приклад такої форми доцільно навести на рисунку 2.13.

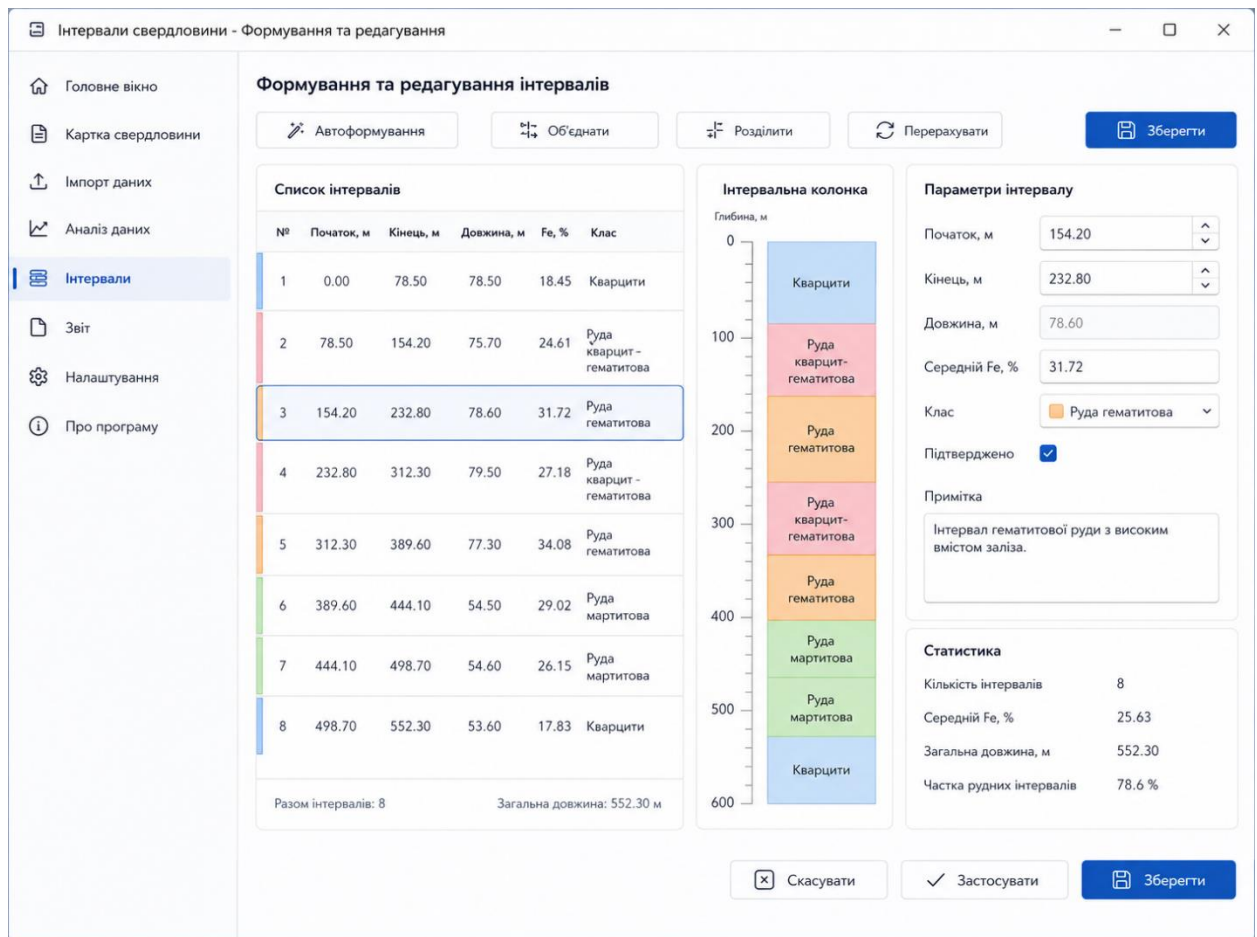


Рисунок 2.13 – Інтерфейс формування та редагування інтервалів

В усіх частинах застосунку використовується єдина система кольорового позначення класів: кварцити, руда кварцит-гематитова, руда гематитова та руда мартитова. Однакові назви й кольори застосовуються у таблиці, графіку, колонці інтервалів та сформованому звітному документі.

Вікно формування звіту містить засоби вибору шаблону, каталогу збереження та параметрів створення документа. Перед запуском оператор

може перевірити реквізити свердловини, перелік сформованих інтервалів і статистичні показники. Після завершення доступні команди відкриття файлу у LibreOffice Calc і переходу до каталогу його збереження. Приклад діалогового вікна наведено на рисунку 2.14.

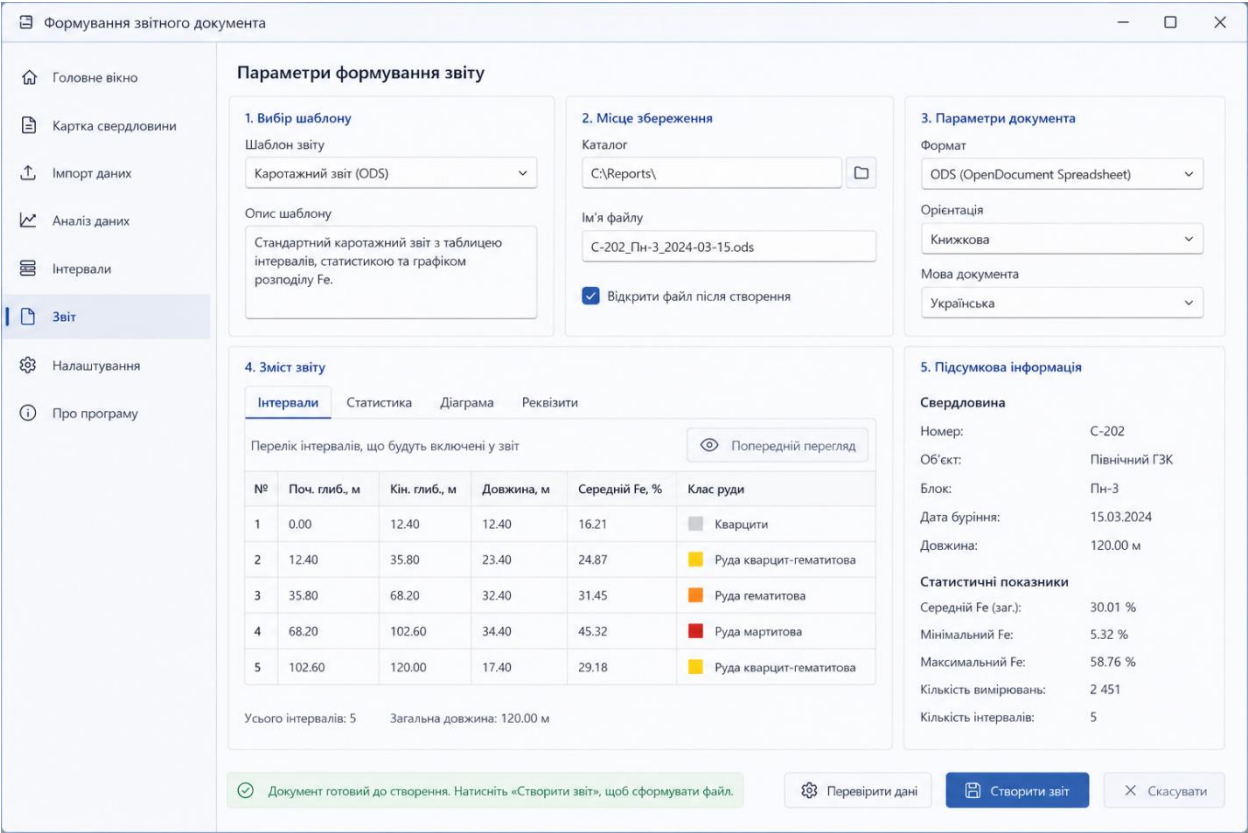


Рисунок 2.14 – Інтерфейс формування звітнього документа

Під час компонування екранних форм враховуються принципи відповідності інтерфейсу задачам користувача, зрозумілості стану системи, керованості та стійкості до помилок [35]. Послідовність переходів і розміщення елементів визначаються типовим робочим процесом оператора, що відповідає принципам людиноорієнтованого проектування інтерактивних систем [36].

Тривалі операції, зокрема імпорт, завантаження значного набору вимірювань і створення ODS-файла, виконуються асинхронно. Під час їх виконання відображаються індикатор прогресу, назва поточного етапу та

можливість скасування операції. Потенційно небезпечні дії, такі як видалення свердловини або сеансу, потребують додаткового підтвердження.

Отже, реалізований інтерфейс відповідає послідовності практичної роботи оператора та забезпечує зручний перехід між введенням, імпортом, аналізом, інтерпретацією і документуванням даних. Використання WPF, MVVM, валідації та синхронізованих представлень підвищує зрозумілість і надійність взаємодії користувача із застосунком.

2.10 Методика тестування

Тестування розробленого застосунку виконується з метою перевірки відповідності реалізованих функцій установленим вимогам, коректності обробки геологорозвідувальних даних і надійності формування звітної документації.

Методика передбачає функціональне, модульне, інтеграційне та системне тестування. Модульне тестування застосовується для перевірки окремих алгоритмів: контролю вхідних даних, розрахунку статистичних показників, визначення класів і формування інтервалів. Інтеграційне тестування використовується для перевірки взаємодії модулів імпорту, бази даних, візуалізації та формування звіту.

Функціональне тестування проводиться за сценаріями, що відповідають типовій роботі оператора:

- створення об'єкта, блока та свердловини;
- імпорт результатів вимірювань;
- перевірка і збереження даних;
- побудова таблиці та каротажного графіка;
- автоматичне формування і ручне редагування інтервалів;
- обчислення статистичних показників;
- створення й відкриття ODS-документа.

Для кожного сценарію задаються початкові дані, послідовність дій, очікуваний і фактичний результати. Перевірка вважається успішною, якщо фактичний результат відповідає очікуваному.

Окремо перевіряється обробка помилкових ситуацій: пошкоджених пакетів, повторних записів, пропущених значень, некоректних глибин, відсутнього шаблону, недоступного файла бази даних і неможливості запуску LibreOffice.

Коректність числових розрахунків визначається порівнянням результатів застосунку з контрольними значеннями, обчисленими вручну або в електронній таблиці. Для інтервалів перевіряються межі, довжина, клас, середній і середньозважений вміст заліза.

Під час системного тестування оцінюються збереження цілісності даних, робота інтерфейсу, час виконання основних операцій і можливість повторного відкриття сформованих документів.

Результати тестування оформлюються у вигляді таблиці, що містить номер тесту, перевірювану функцію, вхідні дані, очікуваний результат і статус виконання.

Отже, запропонована методика охоплює основні функції застосунку та дозволяє оцінити правильність обробки, стабільність роботи й відповідність програмного продукту поставленим вимогам.

2.11 Тестування імпорту та збереження даних

Тестування модуля імпорту виконувалося з метою перевірки коректності приймання пакетів від вимірювального засобу, виявлення пошкоджених даних і надійного збереження результатів у локальній базі SQLite.

Перевірка проводилася для коректних і помилкових наборів даних. До контрольних сценаріїв включено встановлення з'єднання з СОМ-портом, отримання кількості записів, послідовне зчитування пакетів, перевірку

контрольної суми, декодування вимірювань та запис створеного сеансу до таблиць MeasurementSessions і Measurements.

Під час тестування контролювалися:

- відповідність кількості прийнятих записів кількості записів у журналі приладу;
- правильність номерів пакетів і послідовності вимірювань;
- збіг обчисленої та переданої контрольних сум;
- відсутність дублювання записів;
- коректність значень глибини, кроку та вмісту заліза;
- цілісність транзакційного запису до бази даних.

Основні результати перевірки наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Результати тестування імпорту та збереження даних

№	Тестовий сценарій	Очікуваний результат	Результат
1	Підключення до доступного COM-порту	З'єднання встановлено, прилад відповідає	успішно
2	Імпорт коректного журналу	Усі пакети прийнято та збережено	успішно
3	Пакет із неправильною контрольною сумою	Пакет відхилено, виконано повторний запит	успішно
4	Повторний імпорт того самого сеансу	Виявлено дублювання, повторний запис заборонено	успішно
5	Некоректне значення глибини	Запис позначено як помилковий	успішно
6	Переривання під час запису	Транзакцію скасовано, неповний сеанс не створено	успішно
7	Імпорт із файла	Дані декодовано та збережено у відповідному сеансі	успішно

Для перевірки механізму контрольної суми один із байтів тестового пакета змінювався штучно. У цьому випадку розраховане значення CS не збігалося з переданим, тому пакет не передавався на подальшу обробку. Після повторного отримання коректної версії імпорт продовжувався.

Перевірка транзакційного збереження виконувалася шляхом штучного створення помилки під час додавання вимірювань. У результаті всі зміни скасовувалися командою ROLLBACK, а в базі даних не залишалося частково записаного сеансу.

Після успішного імпорту додатково порівнювалися значення в пам'яті застосунку та записи SQLite. Кількість вимірювань, їх послідовність, глибини, інтенсивність і вміст заліза збігалися.

Отже, тестування підтвердило коректність приймання, перевірки й транзакційного збереження каротажних даних. Модуль правильно обробляє пошкоджені пакети, повторні записи та переривання операції без порушення цілісності локальної бази даних.

2.12 Тестування табличної та графічної візуалізації та роботи з даними по свердловині

Тестування виконувалося з метою перевірки коректності введення параметрів свердловини, відображення результатів вимірювань у таблиці та побудови каротажного графіка. Окремо перевірялася синхронізація між табличним представленням, графіком і кольоровою колонкою інтервалів.

На початковому етапі було протестовано створення та редагування картки свердловини. Перевірялися номер, блок, координати устя, довжина, азимут, кут нахилу й дата проведення робіт. Застосунок не дозволяв зберегти запис за відсутності обов'язкових полів або введення значень поза допустимими межами.

Після вибору свердловини та сеансу вимірювань дані завантажувалися з SQLite до таблиці. Контролювалися кількість рядків, порядок записів за

глибиною, точність відображення значень Fe та відповідність таблиці інформації, збереженій у базі даних.

Каротажний графік будувався за значеннями глибини та вмісту заліза. Під час перевірки оцінювалися правильність масштабу, напрямок осі глибини, відповідність точок табличним даним, робота масштабування, переміщення та інформаційних підказок.

Результати основних перевірок наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Результати тестування роботи з даними свердловини та їх візуалізації

№	Тестовий сценарій	Очікуваний результат	Результат
1	Створення картки з коректними параметрами	Свердловину збережено в базі	успішно
2	Спроба зберегти картку без номера	Відображено помилку, запис не створено	успішно
3	Введення азимута поза діапазоном	Значення не прийнято	успішно
4	Завантаження сеансу вимірювань	Кількість рядків відповідає записам у БД	успішно
5	Сортування таблиці за глибиною	Записи впорядковано без зміни даних	успішно
6	Побудова каротажного графіка	Точки відповідають глибині та Fe	успішно
7	Вибір рядка таблиці	Відповідну точку виділено на графіку	успішно
8	Вибір точки на графіку	Відповідний рядок таблиці виділено	успішно
9	Редагування значення Fe	Таблицю, графік і статистику оновлено	успішно
10	Відображення інтервалів	Межі та кольори відповідають класифікатору	успішно

Для перевірки синхронізації послідовно вибиралися окремі рядки таблиці. У кожному випадку на графіку позначалася точка з відповідною

глибиною та значенням Fe. Зворотна перевірка виконувалася вибором точки на графіку, після чого застосунок виділяв відповідний рядок таблиці.

Під час ручного редагування значення вмісту заліза контролювалися перевірка допустимого діапазону, збереження змін у базі та оновлення пов'язаних представлень. Після зміни значення графік перебудовувався, а статистичні показники та клас відповідного інтервалу перераховувалися.

Кольорова колонка перевірялася шляхом порівняння меж інтервалів із таблицею Intervals. Для кварцитів, кварцит-гематитової, гематитової та мартитової руди відображалися кольори, визначені класифікатором. Вертикальні межі кольорових ділянок відповідали шкалі глибини графіка.

Додатково перевірено відображення порожнього сеансу та наборів із пропущеними або помилковими значеннями. У разі відсутності вимірювань застосунок відображав відповідне повідомлення замість порожнього графіка. Сумнівні записи позначалися в таблиці й не приховувалися від користувача.

Отже, тестування підтвердило правильність роботи з відомостями про свердловину, відповідність табличного і графічного представлень даним локальної бази, а також коректну синхронізацію таблиці, каротажного графіка та колонки інтервалів.

2.13 Тестування формування звітної документації

Тестування модуля формування звітної документації виконувалося з метою перевірки правильності перенесення результатів обробки до стандартизованого шаблону ODS, відповідності оформлення заданій формі та можливості подальшої роботи з документом у LibreOffice Calc.

Для тестування використовувався підготовлений набір даних свердловини, що містив паспортні характеристики, сформовані інтервали різних класів і розраховані статистичні показники. Перед запуском перевірялися наявність шаблону, доступність каталогу збереження та коректність вихідних даних.

У процесі тестування контролювалися заповнення реквізитів свердловини, формування таблиці інтервалів, побудова графіка розподілу Fe за глибиною, перенесення статистичних показників, застосування кольорового оформлення та налаштування області друку.

Результати основних перевірок наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Результати тестування формування звітної документації

№	Тестовий сценарій	Очікуваний результат	Результат
1	Вибір коректного шаблону	Шаблон відкрито, створено його копію	успішно
2	Заповнення реквізитів свердловини	Значення внесено до визначених комірок	успішно
3	Формування таблиці інтервалів	Межі, довжина, Fe і клас перенесено правильно	успішно
4	Застосування кольорів	Оформлення відповідає класам інтервалів	успішно
5	Побудова графіка	Графік відповідає вимірюванням активного сеансу	успішно
6	Заповнення статистичного блоку	Показники збігаються з результатами застосунку	успішно
7	Збереження у форматі ODS	Файл створено та повторно відкрито	успішно
8	Експорт у PDF	Документ збережено без порушення структури	успішно
9	Перевірка області друку	Усі елементи розміщено в межах сторінки	успішно
10	Відсутній файл шаблону	Виведено повідомлення, звіт не створено	успішно

Під час перевірки реквізитів значення в сформованому документі порівнювалися з інформацією таблиць Objects, Blocks, Boreholes і MeasurementSessions. Номер свердловини, блок, координати, довжина, азимут, кут нахилу та дата проведення робіт переносилися без втрати даних.

Для таблиці інтервалів перевірялася відповідність початкової та кінцевої глибини, довжини, середнього вмісту заліза і класу інформації, збережених у таблиці Intervals. Кольорове оформлення відповідало параметрам таблиці OreClasses: кварцитам, кварцит-гематитовій, гематитовій та мартитовій руді призначалися встановлені стилі.

Графік розподілу Fe за глибиною порівнювався з графічним представленням у застосунку. Кількість точок, їх послідовність і значення відповідали активному сеансу вимірювань. Графік розміщувався праворуч від таблиці інтервалів відповідно до структури стандартизованого шаблону.

Приклад сформованого документа в LibreOffice Calc наведено на рисунку 2.15.

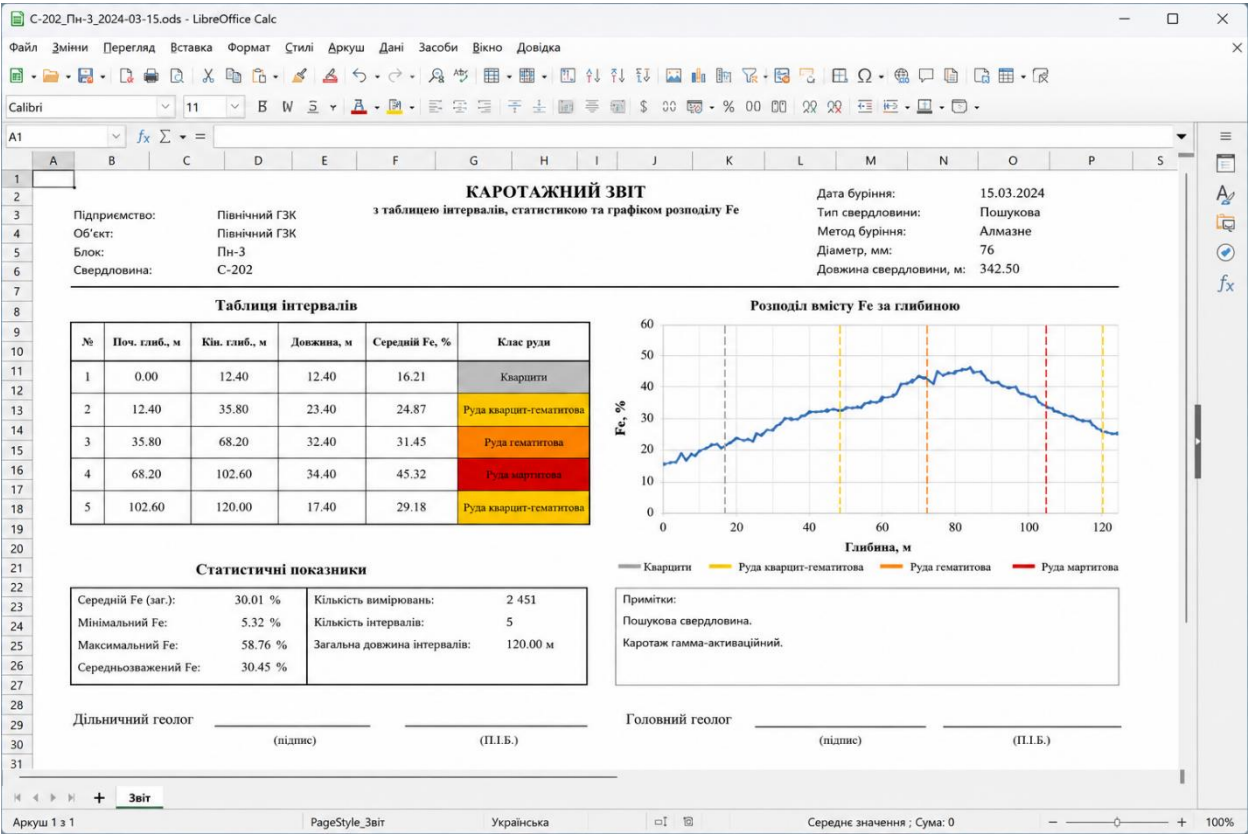


Рисунок 2.15 – Результат формування звітнього документа у LibreOffice Calc

Статистичні показники у звіті порівнювалися з результатами програмних розрахунків. Значення кількості вимірювань, мінімального, максимального, середнього та середньозваженого вмісту заліза, а також сумарної довжини інтервалів збігалися.

Після формування документ повторно відкривався у LibreOffice Calc. Перевірялися доступність редагування, правильність числових форматів, збереження меж і кольорів, а також наявність полів для підписів дільничного та головного геолога.

Окремо тестувалося збереження документа у PDF і його попередній перегляд перед друком. Усі основні елементи розміщувалися в межах визначеної області друку, а таблиця, графік, статистичний блок і поля підписів не виходили за межі сторінки.

У разі відсутності шаблону або неможливості запису до вибраного каталогу застосунок відображав повідомлення про помилку та не реєстрував незавершений документ у таблиці GeneratedReports.

Отже, тестування підтвердило правильність заповнення стандартизованого шаблону, відповідність сформованого документа даним локальної бази та можливість його подальшого редагування, збереження і друку засобами LibreOffice Calc.

2.14 Аналіз результатів практичної апробації

Практична апробація застосунку виконувалася на тестових наборах каротажних даних, що містили відомості про свердловину, результати вимірювань, сформовані інтервали та статистичні показники. Перевірялися повний цикл роботи системи: імпорт, збереження, візуалізація, редагування інтервалів і формування звітної документа.

За результатами апробації встановлено, що застосунок коректно приймає та зберігає дані у локальній базі SQLite, відображає їх у табличній і графічній формах та забезпечує узгоджену роботу з інтервалами. Розраховані

статистичні показники збігалися з контрольними значеннями, отриманими в електронній таблиці.

Формування звіту у форматі ODS виконувалося без втрати реквізитів, інтервалів і результатів розрахунків. Створений документ відкривався у LibreOffice Calc, зберігав можливість редагування та коректно виводився на друк.

Використання автоматизованого імпорту, попереднього формування інтервалів і стандартизованого шаблону скоротило кількість ручних операцій та зменшило ймовірність помилок під час підготовки документації. При цьому остаточне рішення щодо меж і класів інтервалів залишалося за оператором.

Отже, практична апробація підтвердила працездатність запропонованих програмних і алгоритмічних рішень та можливість використання застосунку для автоматизації камеральної обробки каротажних даних і формування звітної документації.

Висновки до розділу:

У другому розділі виконано проєктування, реалізацію та тестування застосунку для обробки й візуалізації геологорозвідувальних даних. Для розробки обрано C#, .NET, WPF, SQLite та LibreOffice Calc. Запропоновано модульну архітектуру на основі MVVM із розділенням інтерфейсу, прикладної логіки, доступу до даних та інтеграційних компонентів.

Спроектовано локальну базу даних для зберігання відомостей про об'єкти, блоки, свердловини, сеанси вимірювань, каротажні записи, класи руд, інтервали та сформовані документи. Застосування ключів, обмежень цілісності й транзакцій забезпечує надійність і узгодженість інформації.

Реалізовано імпорт даних із вимірювального засобу через послідовний інтерфейс із перевіркою пакетів і контрольної суми. Для аналізу створено синхронізоване табличне та графічне подання, алгоритм автоматичного формування інтервалів і розрахунку статистичних показників із можливістю ручного коригування оператором.

Розроблено стандартизований шаблон звіту, що містить реквізити свердловини, таблицю інтервалів, графік розподілу вмісту заліза за глибиною, статистичний блок і поля для підписів. Формування документа виконується через UNO API у форматі ODS з можливістю подальшого редагування, експорту у PDF і друку в LibreOffice Calc.

Інтерфейс побудовано відповідно до послідовності роботи оператора: створення картки свердловини, імпорт, аналіз даних, редагування інтервалів і формування звіту. Проведене тестування підтвердило коректність імпорту, транзакційного збереження, візуалізації, статистичних розрахунків і створення звітної документації.

Практична апробація показала, що застосунок забезпечує повний цикл камеральної обробки каротажних даних, скорочує кількість ручних операцій і зменшує ймовірність помилок під час підготовки звітів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано задачу розробки застосунку для обробки, візуалізації та документування геологорозвідувальних даних, отриманих під час каротажу свердловин. Розроблене рішення автоматизує основні операції камерального етапу: імпорт результатів із вимірювального засобу, перевірку та локальне зберігання даних, їх табличне і графічне представлення, формування інтервалів, обчислення статистичних показників та створення звітної документації за стандартизованим шаблоном.

У процесі аналізу предметної області встановлено, що каротажні дані мають багаторівневу структуру та пов'язані з виробничим об'єктом, блоком, свердловиною, сеансом вимірювань і виділеними інтервалами. Для практичного використання первинні результати необхідно не лише зберігати, а й перевіряти, впорядковувати за глибиною, зіставляти з параметрами свердловини та подавати у формі, зручній для інтерпретації геологом.

Аналіз існуючого програмного забезпечення ПАКС-4 показав, що воно забезпечує приймання й перегляд вимірювань, роботу з інтервалами та формування друкованих матеріалів за допомогою FastReport. Водночас його використання обмежується застарілою технологічною платформою, недостатньою гнучкістю структури даних, значною кількістю ручних операцій і складністю подальшого редагування сформованих документів. Це обґрунтувало необхідність створення нового модульного застосунку з підтримкою відкритих форматів.

Для реалізації системи обрано мову програмування C#, платформу .NET і технологію WPF. Архітектуру побудовано із застосуванням шаблону MVVM та розділенням інтерфейсу, прикладної логіки, доступу до даних й інтеграційних компонентів. Такий підхід зменшує зв'язність модулів, спрощує тестування, супровід і подальше розширення програмного продукту.

Локальне зберігання інформації реалізовано на основі SQLite. Спроектowana база даних охоплює виробничі об'єкти, блоки, свердловини, сеанси, вимірювання, класи руд, інтервали, шаблони та сформовані звіти.

Використання первинних і зовнішніх ключів, обмежень цілісності й транзакцій забезпечує узгодженість пов'язаних даних і запобігає появі неповних наборів записів.

Імпорт результатів із вимірювального пристрою організовано через послідовний інтерфейс за пакетним протоколом. Перед подальшою обробкою перевіряються структура пакета, послідовність фрагментів і контрольна сума. Пошкоджені пакети відхиляються або запитуються повторно, а підтверджені вимірювання проходять валідацію та зберігаються в базі даних у межах однієї транзакції.

Для аналізу реалізовано синхронізоване табличне та графічне представлення. Таблиця забезпечує перегляд, сортування, фільтрацію і редагування точних значень, каротажний графік відображає зміну вмісту заліза за глибиною, а кольорова колонка показує сформовані інтервали. Виділення елемента в одному представленні автоматично відображається в інших, що спрощує аналіз результатів оператором.

Розроблено комбінований алгоритм формування інтервалів. Програма автоматично класифікує вимірювання за встановленими порогами вмісту заліза та об'єднує суміжні точки одного класу. Після цього оператор може змінити межі, об'єднати або розділити інтервали та скоригувати їх класифікацію. Для інтервалів обчислюються довжина, мінімальний, максимальний, середній і середньозважений вміст заліза, а також середньоквадратичне відхилення. Для свердловини визначаються сумарні довжини інтервалів і частка рудних ділянок.

Важливим результатом роботи є формування звітної документації у форматі ODS. Стандартизований шаблон містить реквізити об'єкта і свердловини, таблицю інтервалів, графік розподілу Fe за глибиною, статистичний блок та поля для підписів дільничного і головного геолога. Взаємодія з LibreOffice Calc здійснюється через UNO API, що дозволяє автоматично заповнювати комірки, застосовувати стилі, вставляти графік, задавати параметри друку та зберігати редагований документ.

Проведене тестування підтвердило коректність імпорту, транзакційного збереження, роботи з даними свердловини, синхронізації табличного й графічного подання, формування інтервалів, статистичних розрахунків і створення звітної документа. Пошкоджені пакети виявлялися за контрольною сумою, неповні сеанси не зберігалися, а результати розрахунків збігалися з контрольними значеннями.

Практична апробація показала, що застосунок забезпечує повний цикл камеральної обробки каротажних даних і зменшує кількість ручних операцій. Сформований ODS-файл коректно відкривається у LibreOffice Calc, зберігає структуру, форматування та можливість редагування, експорту у PDF і друку. Отже, мету роботи досягнуто, а поставлені завдання виконано. Подальший розвиток системи може бути пов'язаний із підтримкою додаткових вимірювальних пристроїв, розширенням форматів експорту, просторовим поданням свердловин та інтеграцією з професійними геологічними інформаційними системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головка О. В. Автоматизоване робоче місце геолога моніторингу підземних залізрудних свердловин : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Кривий Ріг : Криворізький технічний університет, 2007.
2. Азарян А. А., Шаров В. В., Головка А. В. Розробка алгоритму та програмного забезпечення пристрою для контролю вмісту корисного компонента у природному заляганні : звіт про модернізацію програмного забезпечення пристрою ПАКС-4. Кривий Ріг : Криворізький технічний університет, 2006.
3. Азарян А. А., Головка А. В. Рудничний радіометр ПАКС-4-01 : інструкція користувача з роботи з програмним забезпеченням для обробки даних під час каротажу підземних свердловин. Кривий Ріг, 2006.
4. Кузьменко О. Б. Розробка методів і засобів геофізичного опробування залізистих кварцитів : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.11. Кривий Ріг : Криворізький технічний університет, 2002.
5. Seequent. Displaying Drilling Data. Leapfrog Geo Help. URL: <https://help.seequent.com/Geo/2025.1/en-GB/Content/drilling/view-drilling-data.htm> (дата звернення: 25.05.2026).
6. Datamine. Create a Drillhole Composite by Cut-off Grade. Discover for ArcGIS Pro Documentation. URL: <https://docs.dataminesoftware.com/Discover/ArcGISPro/Latest/Drillhole-Data-Management/Create-a-Drillhole-Composite-by-Cut-off-Grade.htm> (дата звернення: 25.05.2026).
7. Datamine. Create a Drillhole Composite by Attribute. Discover for ArcGIS Pro Documentation. URL: <https://docs.dataminesoftware.com/Discover/ArcGISPro/Latest/Drillhole-Data-Management/Create-a-Drillhole-Composite-by-Attribute.htm> (дата звернення: 25.05.2026).

8. Datamine. COMPDH Process: Compositing Drillhole Data. Studio RM Documentation. URL: https://docs.dataminesoftware.com/StudioRM/Latest/Process_Help_XML/compdh.htm (дата звернення: 25.05.2026).
9. Seequent. Numeric Composites. Leapfrog Geo Help. URL: <https://help.seequent.com/Geo/2025.1/en-GB/Content/drilling/compositing-numeric-data.htm> (дата звернення: 25.05.2026).
10. Datamine. Loading Dynamic Drillhole Data. Studio UG Documentation. URL: <https://docs.dataminesoftware.com/StudioUG/3.2/COMMON/LoadingDynamicDrillholeData.htm> (дата звернення: 25.05.2026).
11. Seequent. Selecting Intervals. Leapfrog Geo Help. URL: <https://help.seequent.com/Geo/2024.1/en-GB/Content/drilling/select-intervals.htm> (дата звернення: 25.05.2026).
12. Microsoft. Desktop Guide for WPF and Windows Forms on .NET. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/> (дата звернення: 25.05.2026).
13. Microsoft. Windows Presentation Foundation for .NET. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/> (дата звернення: 25.05.2026).
14. SQLite. About SQLite. URL: <https://www.sqlite.org/about.html> (дата звернення: 25.05.2026).
15. OASIS. Open Document Format for Office Applications (OpenDocument) Version 1.3. OASIS Standard. 2021. URL: <https://docs.oasis-open.org/office/OpenDocument/v1.3/OpenDocument-v1.3-part1-introduction.html> (дата звернення: 25.05.2026).
16. The Document Foundation. LibreOffice API and UNO Development Kit. URL: <https://api.libreoffice.org/> (дата звернення: 25.05.2026).

- 17.Codd E. F. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM. 1970. Vol. 13, No. 6. P. 377–387. DOI: 10.1145/362384.362685.
- 18.SQLite. CREATE TABLE. SQL Language Documentation. URL: https://www.sqlite.org/lang_createtable.html (дата звернення: 25.05.2026).
- 19.SQLite. SQLite Foreign Key Support. URL: <https://www.sqlite.org/foreignkeys.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 20.SQLite. Transaction. SQL Language Documentation. URL: https://www.sqlite.org/lang_transaction.html (дата звернення: 25.05.2026).
- 21.SQLite. SQLite Is Transactional. URL: <https://www.sqlite.org/transactional.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 22.ТОВ «Рудпромгеофізика». Програмне забезпечення пульта ПАКС-5: нова версія : звіт. Кривий Ріг, 2011.
- 23.Microsoft. DataGrid — WPF. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/controls/datagrid> (дата звернення: 25.05.2026).
- 24.OxyPlot. OxyPlot Documentation: Axes and LineSeries. URL: <https://oxyplot.readthedocs.io/en/latest/> (дата звернення: 25.05.2026).
- 25.OASIS. Open Document Format for Office Applications (OpenDocument) Version 1.3. Part 3: OpenDocument Schema. OASIS Standard. 2021. URL: <https://docs.oasis-open.org/office/OpenDocument/v1.3/cs01/part3-schema/OpenDocument-v1.3-cs01-part3-schema.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 26.OASIS. Open Document Format for Office Applications (OpenDocument) Version 1.3. Part 4: Recalculated Formula (OpenFormula) Format. OASIS Standard. 2021. URL: <https://docs.oasis-open.org/office/OpenDocument/v1.3/OpenDocument-v1.3-part4-formula.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 27.The Document Foundation. LibreOffice SDK API Reference: TableCellStyle. URL:

- https://api.libreoffice.org/docs/idl/ref/servicecom_1_1sun_1_1star_1_1sheet_1_1TableCellStyle.html (дата звернення: 25.05.2026).
- 28.The Document Foundation. LibreOffice SDK API Reference: PageStyle and PageProperties. URL: https://api.libreoffice.org/docs/idl/ref/servicecom_1_1sun_1_1star_1_1style_1_1PageStyle.html (дата звернення: 25.05.2026).
- 29.The Document Foundation. Defining Print Ranges on a Sheet. LibreOffice Calc Help. URL: <https://help.libreoffice.org/latest/en-US/text/scalc/guide/printranges.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 30.The Document Foundation. Printing Rows or Columns on Every Page. LibreOffice Calc Help. URL: https://help.libreoffice.org/latest/en-US/text/scalc/guide/print_title_row.html (дата звернення: 25.05.2026).
- 31.Object Management Group. OMG Unified Modeling Language, Version 2.5.1. 2017. URL: <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/> (дата звернення: 25.05.2026).
- 32.Microsoft. Navigation Overview — WPF. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/app-development/navigation-overview> (дата звернення: 25.05.2026).
- 33.Microsoft. Data Binding Overview — WPF. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/data/> (дата звернення: 25.05.2026).
- 34.Microsoft. How to Implement Validation with the DataGrid Control — WPF. Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/controls/how-to-implement-validation-with-the-datagrid-control> (дата звернення: 25.05.2026).
- 35.ISO 9241-110:2020. Ergonomics of human-system interaction. Part 110: Interaction principles. Geneva : International Organization for Standardization, 2020. URL: <https://www.iso.org/standard/75258.html> (дата звернення: 25.05.2026).

- 36.ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centred design for interactive systems. Geneva : International Organization for Standardization, 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/77520.html> (дата звернення: 25.05.2026).
- 37.AndriiGeoDev. GeologicalDataProcessor : програмний код застосунку для обробки та візуалізації геологорозвідувальних даних. GitHub. URL: <https://github.com/AndriiGeoDev/GeologicalDataProcessor> (дата звернення: 25.05.2026).
- 38.Моркун Н. В., Завсегдашня І. В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 122 “Комп’ютерні науки”. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2021. 50 с.
- 39.ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).
- 40.ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).