

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабеля з
використанням «темних» волокон
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

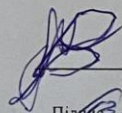
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Шифр КВРКІ 022026.22.04.29 ПЗ

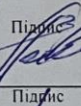
Виконав здобувач IV курсу, група KI2-22-4


Підпис

Віталій
КАБАЧИНСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник

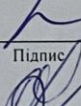
к.т.н., доцент
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Олексій ІВАНОВ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

к.ф-м.н., доцент
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
« 19 » червня 2026 р.


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КПС



Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кабачинський Віталій Валерійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон

Керівник проекту (роботи) Іванов Олексій Валентинович., к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз предметної області та постановка задачі

Архітектура розподіленої універсальної кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю

Практична реалізація вебінтерфейсу кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Архітектура кіберфізичної системи

Алгоритми роботи кіберфізичної системи

Логіка вебінтерфейсу


6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

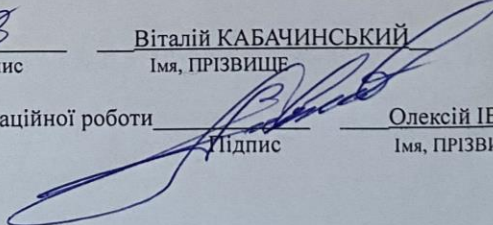
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 - дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 - проектування структури кіберфізичної системи контролю оптоволоконного абелю	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 - проектування вебінтерфейсу системи та перевірка його роботи	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Підпис Віталій КАБАЧИНСЬКИЙ
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Підпис Олексій ІВАНОВ
Імя, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон.

Автор роботи: Віталій Кабачинський.

Керівник роботи: Олексій Іванов.


Пояснювальна записка: 55 с., 15 рис., 6 табл., 3 дод., 45 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ОПТОВОЛОКОННИЙ КАБЕЛЬ, ТЕМНЕ ВОЛОКНО, МОНІТОРИНГ, OTDR, КОНТРОЛЬ ЦІЛІСНОСТІ, РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА, ВЕБІНТЕРФЕЙС.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення надійності волоконно-оптичних ліній зв'язку, своєчасного виявлення пошкоджень кабельної інфраструктури та зменшення часу реагування на аварійні ситуації.

Метою роботи є проектування та реалізація системи, яка забезпечує збір вимірювальних даних із контрольного волокна, аналіз стану оптоволоконної лінії, виявлення аномалій, реєстрацію подій і відображення результатів користувачу через вебінтерфейс. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано сучасні підходи до моніторингу волоконно-оптичних ліній, розглянуто принципи використання «темних» волокон, сформовано архітектуру системи, визначено функціональні компоненти та розроблено алгоритми обробки вимірювальних даних.


Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз предметної області та постановка задачі	5
1.1 Волоконно-оптичні лінії зв'язку як об'єкт контролю	5
1.2 Пошкодження оптоволоконних кабелів і параметри діагностики.....	7
1.3 Методи контролю цілісності волоконно-оптичних ліній	9
1.4 Використання «темних» волокон для моніторингу.....	12
1.5 Кіберфізична модель системи контролю.....	13
1.6 Постановка задачі.....	15
1.7 Висновок першого розділу	17
2 Архітектура розподіленої універсальної кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю.....	18
2.1 Архітектура системи в загальному.....	18
2.2 Функціональні завдання, які може виконувати система у своїх компонентах.....	22
2.3 Реалізація самоорганізації в архітектурі системи.....	26
2.4 Інформаційні потоки та взаємодія компонентів системи	29
2.5 Вебінтерфейс оператора як компонент інформаційної взаємодії.....	33
2.6 Логіка взаємодії вебінтерфейсу з модулями системи	35
2.7 Висновок до другого розділу	37
3 Практична реалізація вебінтерфейсу кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю.....	39
3.1 Загальна характеристика практичної реалізації.....	39
3.2 Організація даних та вебінтерфейсу	42
3.3 Формалізація логіки аналізу вимірювального профілю.....	45
3.4 Структура програмних компонентів вебінтерфейсу	49
3.5. Демонстраційні сценарії роботи системи	52
3.6. Оцінка обмежень і напрями подальшого розвитку	55

КвРКІ. 022026.22.04.29ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		в КАБАЧИНСЬКИЙ		01.06
Перевір.		Олексій ІВАНОВ		01.06
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ		01.06
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		01.06
Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон Пояснювальна записка				
		Літера	Арквш	Арквшів
		у	2	72
ХНУ КІ2-22-4				

3.7. Методичне значення реалізованого вебінтерфейсу для дипломної роботи.....	57
3.8. Висновок до третього розділу.....	60
Висновки.....	61
Перелік джерел посилань.....	63
Додаток А Архітектура кіберфізичної системи.....	69
Додаток Б Алгоритми роботи кіберфізичної системи.....	70
Додаток В Логіка вебінтерфейсу.....	71

						КвРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ВСТУП

Сучасні телекомунікаційні мережі значною мірою базуються на волоконно-оптичних лініях зв'язку, які забезпечують швидке та надійне передавання великих обсягів даних. Такі лінії використовуються в мережах операторів зв'язку, корпоративній інфраструктурі, центрах обробки даних, системах відеоспостереження та на об'єктах критичної інфраструктури. Тому своєчасний контроль цілісності оптоволоконного кабелю є важливою інженерною задачею.

Метою дипломної роботи є розроблення кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю, яка забезпечує збір вимірювальних даних, аналіз стану лінії, виявлення аномалій, реєстрацію подій та відображення результатів користувачу.

Об'єктом дослідження є процес контролю технічного стану волоконно-оптичної кабельної лінії. Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмно-апаратні засоби побудови кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням “темних” волокон.

Для досягнення мети необхідно проаналізувати існуючі методи контролю волоконно-оптичних ліній, обґрунтувати використання “темних” волокон, розробити архітектуру системи, визначити функціональні компоненти, описати алгоритми обробки даних і виявлення пошкоджень, а також перевірити працездатність запропонованого рішення на тестових сценаріях.

У роботі використовуються методи системного аналізу, порівняння технічних рішень, структурного проектування, математичного моделювання та сценарного тестування. Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованого підходу як основи для створення системи моніторингу оптоволоконної інфраструктури підприємства або оператора зв'язку.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Волоконно-оптичні лінії зв'язку як об'єкт контролю

Сучасна електронна комунікаційна інфраструктура значною мірою спирається на волоконно-оптичні лінії зв'язку, оскільки саме вони забезпечують передавання великих обсягів даних на значні відстані, мають низьке загасання та не є чутливими до електромагнітних завад. Для України питання стійкості таких мереж додатково пов'язане з правовим регулюванням сфери електронних комунікацій, захистом критичної інфраструктури та необхідністю безперервного надання послуг зв'язку [1-3].

Оптоволоконний кабель є не лише пасивним середовищем передавання даних, а й фізичним об'єктом, стан якого може змінюватися під впливом механічних навантажень, старіння матеріалів, температурних факторів, пошкодження оболонки, неякісних зварних з'єднань, забруднення конекторів або стороннього втручання. У таких умовах моніторинг кабелю доцільно розглядати не як разову діагностику після аварії, а як постійний процес отримання, обробки та інтерпретації параметрів фізичного середовища.

У нормативних і технічних документах з експлуатації оптичних кабельних мереж увага приділяється як побудові оптичної інфраструктури, так і її тестуванню, моніторингу, технічному обслуговуванню та безпечній експлуатації. Зокрема, рекомендації ІТУ-Т описують топології оптичних мереж доступу, вимоги до систем підтримки обслуговування, моніторингу та тестування оптичних кабельних мереж, а також питання експлуатації підземної телекомунікаційної інфраструктури [4-9]. З точки зору теми кваліфікаційної роботи найбільший інтерес становить не передавання корисного трафіку, а контроль цілісності кабелю. Під цілісністю в цьому контексті розуміється такий фізичний стан кабельної лінії, за якого оптичне волокно, з'єднання, муфти та кінцеві елементи не створюють критичного зростання втрат, різких відбиттів або

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повної втрати проходження сигналу. Саме ці ознаки можуть бути зареєстровані за допомогою оптичних методів вимірювання [10-14].

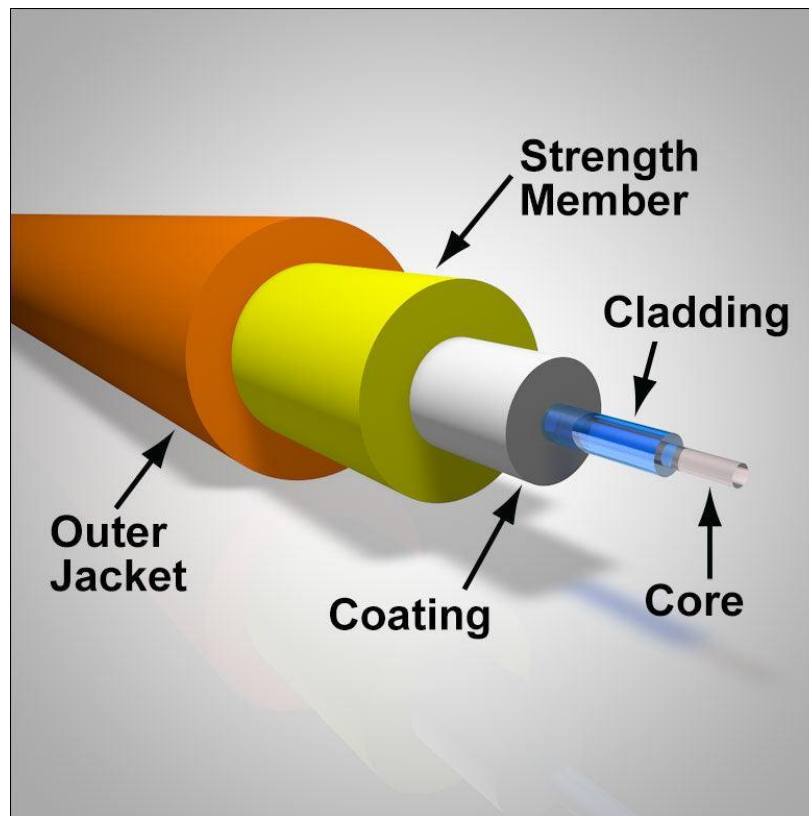


Рисунок 1.1 – Структура оптичного волокна

На рисунку 1.1 наведено узагальнену структуру оптичного волокна, яке є основним фізичним середовищем передавання інформації у волоконно-оптичних лініях зв'язку. Центральна серцевина забезпечує поширення світлового сигналу, оболонка підтримує умови повного внутрішнього відбиття, а захисні шари зменшують вплив механічних навантажень і зовнішнього середовища.

Для задачі контролю цілісності важливо враховувати, що пошкодження будь-якого конструктивного елемента кабелю може впливати на параметри передавання сигналу. Механічний тиск, надмірний вигин, пошкодження оболонки або деградація з'єднань можуть спричинити збільшення втрат, появу

відбиттів або повну втрату проходження сигналу. Саме тому оптоволоконний кабель доцільно розглядати як об'єкт постійного технічного моніторингу.

1.2 Пошкодження оптоволоконних кабелів і параметри діагностики

Пошкодження волоконно-оптичної лінії можуть мати різну природу. У найпростішому випадку це повний обрив волокна, який проявляється як різке припинення проходження оптичного сигналу. Проте практично важливими є також неповні дефекти: надмірний радіус вигину, мікротріщини, деградація з'єднання, забруднення конектора, зміна параметрів муфти, механічний тиск на кабель або проникнення вологи. Такі дефекти можуть не призводити до миттєвої втрати зв'язку, але викликають зростання загасання, появу локальних відбиттів і зниження запасу за оптичним бюджетом [10-13].

Основними параметрами, які використовуються для оцінювання стану оптичного волокна, є загасання, локальні втрати на з'єднаннях, рівень відбиття, довжина лінії, координата неоднорідності, форма рефлектограми та динаміка зміни вимірюваного профілю в часі. Стандарт ІЕС 60793-1-40:2019 визначає методи вимірювання загасання, зокрема метод зворотного розсіювання, який є базовим для OTDR-вимірювань [10]. Загальні вимоги до випробувань оптичних кабелів і механічних тестів деталізуються в ІЕС 60794-1-2:2021 та ІЕС 60794-1-21:2015+A1:2020 [11; 12].

Важливим чинником точності вимірювань є стан оптичних конекторів. Навіть незначні забруднення або подряпини торців можуть спричинити додаткові втрати й відбиття, тому в сучасних процедурах експлуатації застосовується візуальний контроль торців відповідно до ІЕС 61300-3-35:2022 [13; 25]. Для достовірного використання OTDR у системах діагностики також важливо враховувати калібрування приладу, невизначеність вимірювання відстані, втрат і відбиття; в Україні відповідні вимоги гармонізовані через ДСТУ EN 61746-1:2022 [14].

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Типові дефекти оптоволоконної лінії та їх діагностичні ознаки

Тип дефекту	Ймовірна причина	Ознака у вимірюваннях	Доцільна реакція системи
Повний обрив волокна	Механічне пошкодження кабелю, земляні роботи, аварія	Різкий спад рівня сигналу, подальший профіль не реєструється	Аварійне повідомлення, локалізація координати
Макрозгин або мікрозгин	Надмірний вигин, тиск, неправильне укладання	Локальне або поступове зростання втрат	Попередження, повторне вимірювання, аналіз тренду
Деградація зварного з'єднання	Старіння, неякісне зварювання, механічний вплив	Локальне збільшення втрат у відомій точці	Реєстрація події, планове обслуговування
Забруднення конектора	Пил, подряпини, повторні підключення	Зростання відбиття та втрат на кінцевій точці	Перевірка та очищення конектора
Поступова деградація траси	Температура, волога, навантаження на кабель	Повільне відхилення від еталонного профілю	Прогнозування відмови, профілактика

Як видно з таблиці 1.1, контроль стану кабелю не може обмежуватися лише фактом наявності або відсутності оптичного сигналу. Такий підхід дозволяє виявити тільки грубі аварійні стани, наприклад повний обрив лінії, але не завжди дає змогу своєчасно зафіксувати поступове погіршення параметрів волокна. Для раннього виявлення дефектів необхідно аналізувати форму вимірювального профілю, порівнювати її з еталонним станом і враховувати часові зміни параметрів сигналу.

Особливе значення має виявлення локальних відхилень, які можуть свідчити про надмірний вигин кабелю, деградацію з'єднання, збільшення втрат або інші пошкодження. Саме тому у роботі розглядається кіберфізична система, у якій оптичне волокно є фізичним об'єктом контролю, а програмно-апаратна

частина забезпечує цифрову обробку даних, класифікацію подій, журналювання результатів і відображення стану лінії для оператора.

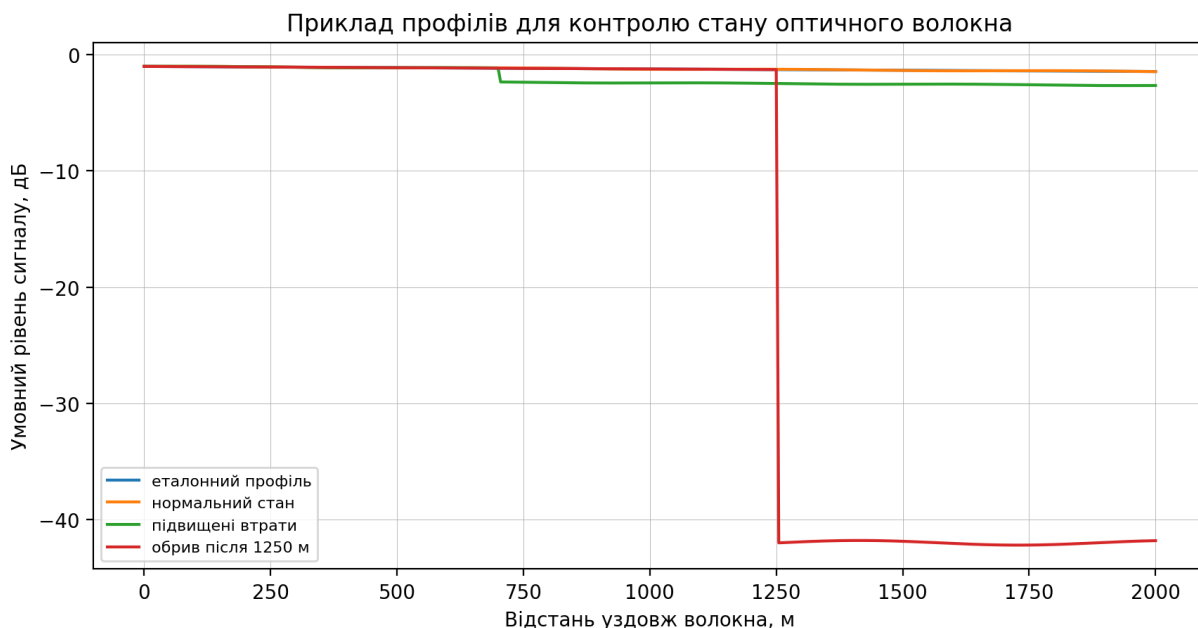


Рисунок 1.2 – Приклад еталонного та поточних профілів оптичного волокна

1.3 Методи контролю цілісності волоконно-оптичних ліній

Для контролю стану ВОЛЗ використовуються як прості методи вимірювання оптичної потужності, так і складні системи дистанційного тестування. Найпоширенішим інструментом локалізації подій є оптичний рефлектометр у часовій області (OTDR), який подає в волокно короткі оптичні імпульси та аналізує сигнал зворотного розсіювання і відбиття. На основі часової затримки відбитого сигналу можна оцінити відстань до події, а на основі зміни рівня сигналу - втрати на ділянці [10; 14; 20-24].

Поряд з OTDR застосовуються оптичні вимірювачі потужності, джерела стабілізованого випромінювання, аналіз оптичного спектра, системи віддаленого тестування волокон та розподілені волоконно-оптичні сенсори. У промислових системах дистанційного моніторингу часто використовуються комбінації OTDR, оптичних комутаторів, серверів керування, баз даних і програмних панелей

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

оператора. Такий підхід дозволяє централізовано перевіряти багато волокон і скорочувати час пошуку місця пошкодження [23; 26; 27].

Окремий напрям становлять розподілені волоконно-оптичні сенсорні технології: DAS, DSS, DTS, а також системи на основі Rayleigh-, Brillouin- та Raman-розсіювання. Вони дають змогу використовувати саме волокно як протяжний сенсор температури, деформацій або вібрацій. Такі технології активно досліджуються для моніторингу інфраструктури, енергетики, тунелів, телекомунікаційних колодязів і об'єктів безпеки [19; 33-39]. Для бакалаврського проекту доцільно використати спрощену модель, засновану на профілях потужності й пороговому аналізі, але архітектуру слід будувати так, щоб у подальшому можна було підключити реальне OTDR або DFOS-джерело даних.

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз методів контролю стану ВОЛЗ

Метод	Що вимірює	Переваги	Обмеження	Використання у роботі
OTDR	Зворотне розсіювання, відбиття, втрати, відстань до події	Локалізація дефектів, придатність для трас	Мертві зони, залежність від налаштувань, ціна	Базовий принцип для моделі профілю
OPM + джерело світла	Рівень оптичної потужності	Простота, низька вартість	Погана локалізація місця дефекту	Допоміжний канал контролю
RFTS	Віддалене тестування через OTDR/комутатор	Централізація, автоматизація	Вища складність інтеграції	Цільова промислова архітектура
DAS / ф-OTDR	Вібрації та динамічні впливи вздовж волокна	Розподілений контроль, висока інформативність	Складна обробка сигналів	Перспективний розвиток
ML-аналіз OTDR	Класифікація профілів та аномалій	Автоматизація діагностики	Потрібні якісні дані для навчання	Напрямок подальшого вдосконалення

Порівняння в таблиці 1.2 показує, що OTDR є найбільш придатним базовим методом для задачі локалізації пошкоджень, тоді як OPM доцільний для спрощеного контролю факту зміни рівня сигналу. Системи RFTS є практичною промисловою реалізацією централізованого моніторингу. Розподілене акустичне зондування та машинне навчання розширюють можливості виявлення складних подій, але потребують більшої кількості даних, стабільної калібровки та складніших алгоритмів обробки [28-40].

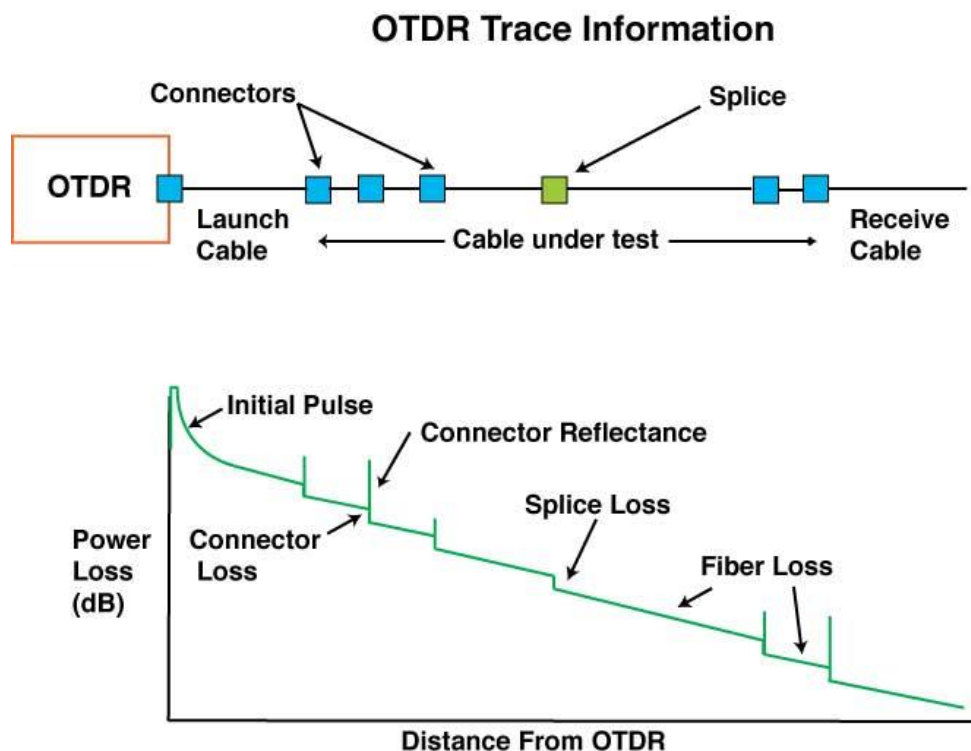


Рисунок 1.3 – Приклад оптичного профілю

На рисунку 1.3 показано приклад профілю, який може бути отриманий за допомогою оптичного рефлектометра у часовій області. Такий профіль відображає зміну рівня сигналу вздовж кабельної лінії та дозволяє виявляти характерні події: втрати на з'єднаннях, відбиття від конекторів, локальні неоднорідності, згини або завершення волокна.

У контексті розроблюваної системи OTDR-профіль є основою для формування еталонного та поточного станів лінії. Порівняння таких профілів дозволяє оцінити зміну параметрів кабелю в часі, визначити місце можливого пошкодження та класифікувати стан лінії як нормальний, попереджувальний або аварійний.

1.4 Використання «темних» волокон для моніторингу

Під «темним» волокном у роботі розуміється фізичне оптичне волокно, яке входить до складу кабелю, але не використовується для передавання активного користувацького трафіку. Наявність таких резервних волокон є типовою практикою при проєктуванні кабельних трас, оскільки вона дає можливість майбутнього розширення мережі, резервування або використання для службових задач.

Використання «темного» волокна для контролю має кілька принципових переваг. По-перше, вимірювальний сигнал фізично відокремлений від основного інформаційного трафіку. По-друге, немає потреби втручатися в роботу активних каналів, що знижує ризик порушення сервісів. По-третє, моніторинг може виконуватися постійно або періодично, а результати можуть накопичуватися для аналізу трендів і раннього виявлення деградації [4; 19; 26; 27].

Водночас такий підхід має обмеження. Стан «темного» волокна не завжди повністю тотожний стану всіх активних волокон кабелю, оскільки окремі волокна можуть мати різні дефекти або з'єднання. Проте для контролю цілісності оболонки, механічного впливу на кабель, аварійного обриву або значної деформації темне волокно є корисним індикатором загального фізичного стану кабельної траси. У випадку підключення OTDR або розподіленої сенсорної системи воно може виконувати роль протяжного сенсорного середовища.

У межах бакалаврської роботи доцільно реалізувати програмно-технічний вебінтерфейс, у якому джерелом даних є змодельований або імпортований

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

профіль вимірювання, а архітектура передбачає можливість подальшого підключення реального OTDR, OPM або RFTS-модуля. Такий підхід дозволяє чесно відокремити демонстраційну програмну реалізацію від промислового вимірювального обладнання, але зберігає інженерну логіку майбутнього впровадження.

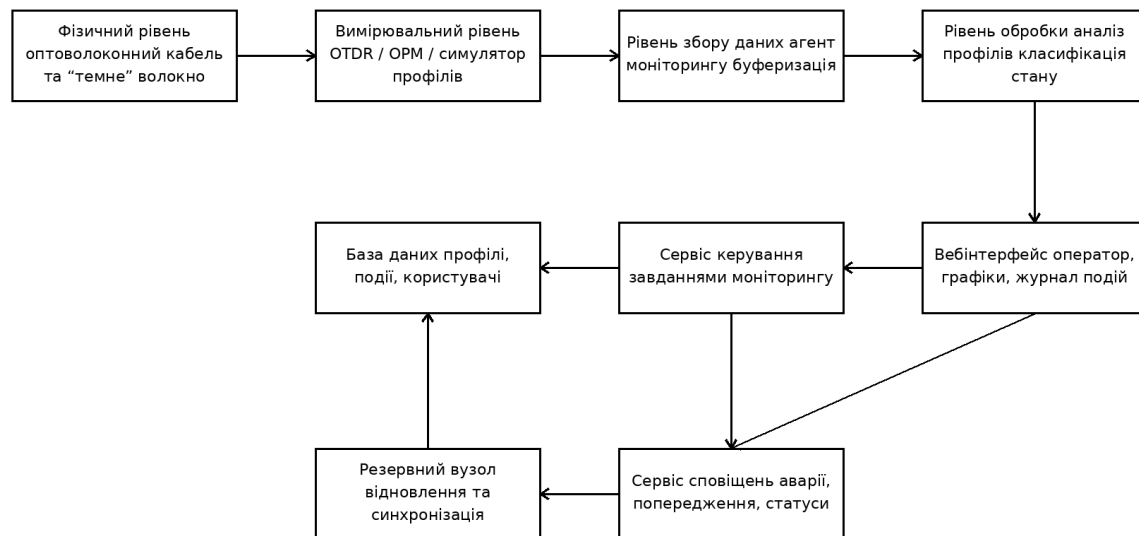


Рисунок 1.4 – Узагальнена архітектура кіберфізичної системи контролю цілісності кабелю

1.5 Кіберфізична модель системи контролю

Кіберфізична система поєднує фізичний об’єкт, вимірювальні засоби, обчислювальну частину, програмні алгоритми, канали передавання даних і механізми прийняття рішень. У даній роботі фізичним об’єктом є оптоволоконний кабель, а кібернетичною частиною - модулі отримання даних, обробки профілю, порівняння з еталоном, класифікації стану, зберігання історії та сповіщення оператора.

Для телекомунікаційної інфраструктури така система повинна враховувати не лише точність вимірювань, а й вимоги до надійності, керованості та кібербезпеки. Актуальні підходи до управління кіберризиками та захисту операційних технологій описуються в NIST Cybersecurity Framework 2.0 та NIST SP 800-82 Rev. 3 [15; 16]. Для інформаційної безпеки організаційного рівня застосовним орієнтиром є ISO/IEC 27001:2022 [17], а галузевий контекст інцидентів електронних комунікацій відображено в матеріалах ENISA [18].

У запропонованій моделі вимірювальний модуль періодично отримує профіль стану волокна. Далі дані проходять попередню обробку: перевірку коректності, фільтрацію одиничних викидів, нормалізацію та приведення до єдиної сітки відстаней. Після цього виконується порівняння поточного профілю з еталонним. Якщо різниця між профілями перевищує встановлений поріг, система створює подію, визначає її тип і рівень критичності.

Математично спрощений профіль загасання можна подати у вигляді залежності:

$$P(x)=P_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

де x - відстань уздовж волокна;

P - вимірний рівень сигналу

P_0 - початкова потужність;

α - коефіцієнт загасання.

Алгоритмічно задача контролю може бути реалізована шляхом порівняння поточного вимірювального профілю з еталонним профілем, який відповідає нормальному стану лінії. Якщо поточний профіль має незначні відхилення, система може класифікувати стан як нормальний. У разі збільшення втрат при збереженні проходження сигналу формується попередження або фіксується ознака деградації з'єднання. Якщо ж після певної ділянки рівень сигналу різко зменшується або фактично зникає, така подія може бути класифікована як обрив оптоволоконного кабелю. [24-26]



Рисунок 1.5 – Блок-схема алгоритму виявлення аномалій

1.6 Постановка задачі

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон, яка забезпечує автоматизоване отримання вимірювальних даних, порівняння поточного стану з еталонним профілем, виявлення аномалій, класифікацію подій і відображення результатів оператору.

Об'єктом дослідження є процес контролю технічного стану та цілісності волоконно-оптичної кабельної лінії. Предметом дослідження є методи, алгоритми та програмно-технічні засоби виявлення пошкоджень оптоволоконного кабелю за даними моніторингу «темного» волокна.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасні методи контролю стану волоконно-оптичних ліній зв'язку;
- обґрунтувати доцільність використання «темних» волокон як службового каналу моніторингу;
- визначити вимоги до кіберфізичної системи контролю цілісності кабелю;
- розробити архітектуру системи та визначити склад її основних модулів;
- сформувати математичну та алгоритмічну модель виявлення аномалій;
- реалізувати програмний вебінтерфейс для обробки вимірювальних профілів;
- провести тестування вебінтерфейсу на сценаріях нормального стану, деградації та обриву;
- оцінити обмеження запропонованого рішення та визначити напрями подальшого розвитку.

Очікуваний результат роботи - програмно-технічний вебінтерфейс, що демонструє принцип роботи кіберфізичної системи контролю цілісності кабелю. Система повинна приймати еталонний і поточний профілі, обчислювати відхилення, визначати тип події, зберігати результат у журналі та візуалізувати стан лінії для оператора. У промисловій реалізації джерелом даних може бути OTDR, OPM, RFTS або інша система волоконно-оптичного моніторингу [4; 20-23; 26; 27].

Обмеженням поточної постановки є те, що в межах бакалаврської роботи допускається використання змодельованих або попередньо підготовлених вимірювальних даних. Це обмеження слід прямо зазначити в подальших

розділах, щоб уникнути некоректного представлення результатів як польових вимірювань. Водночас використання модельних даних є достатнім для перевірки алгоритму, структури бази даних, логіки класифікації та інтерфейсу оператора.

1.7 Висновок першого розділу

У першому розділі розглянуто волоконно-оптичну лінію зв'язку як об'єкт контролю, визначено типові дефекти оптоволоконного кабелю та їх прояви у вимірювальних профілях. До таких дефектів належать обрив волокна, надмірний вигин, деградація з'єднань, забруднення або пошкодження конекторів, а також поступове збільшення втрат у лінії. Показано, що для виявлення пошкоджень доцільно використовувати методи аналізу загасання, відбиття та зміни профілю сигналу в часі.

Проаналізовано основні підходи до контролю стану ВОЛЗ: OTDR, OPM, системи дистанційного тестування, розподілені волоконно-оптичні сенсори та методи машинного навчання. Кожен із цих підходів має власну сферу застосування, переваги та обмеження, що необхідно враховувати під час проектування системи моніторингу. Обґрунтовано, що для бакалаврського вебінтерфейсу найбільш доцільною є архітектура на основі аналізу вимірювального профілю "темного" волокна з можливістю подальшого підключення реального OTDR або RFTS-модуля.

Сформульовано мету, об'єкт, предмет і задачі подальшої розробки. Результати аналізу підтверджують актуальність створення кіберфізичної системи, яка поєднує фізичний канал моніторингу, програмну обробку даних, журналювання подій, візуалізацію стану лінії та базові вимоги кібербезпеки. Така система може бути використана як основа для подальшого розвитку засобів контролю оптоволоконної інфраструктури підприємств, операторів зв'язку та об'єктів критичної інфраструктури.

2 АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЮ

2.1 Архітектура системи в загальному

Розроблення кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю потребує переходу від розгляду окремого вимірювального пристрою до цілісної архітектури, у якій фізичний об'єкт, вимірювальні засоби, програмні модулі та інтерфейс користувача працюють як єдина система. У межах цієї роботи об'єктом контролю є волоконно-оптичний кабель, а окреме "темне" волокно використовується як спеціалізований канал моніторингу. Таке рішення дозволяє відокремити процес діагностики від активного інформаційного трафіку та зменшити ризик впливу вимірювальних процедур на роботу основної мережі.

Загальна архітектура системи побудована за багаторівневим принципом. Нижній рівень представлений фізичною кабельною інфраструктурою: оптичним кабелем, волокнами, з'єднувальними муфтами, кросовим обладнанням, патчкордами та кінцевими точками підключення. Саме на цьому рівні виникають події, які потрібно виявити: обрив волокна, локальне збільшення втрат, надмірний вигин, деградація з'єднання, погіршення оптичного контакту або зміна параметрів лінії під впливом зовнішніх факторів.

Другий рівень становить вимірювальна частина. У практичній реалізації вона може бути представлена оптичним рефлектометром у часовій області, вимірювачем оптичної потужності або спеціалізованим модулем моніторингу. У межах бакалаврської роботи допускається використання імітатора вимірювальних профілів, який формує дані, подібні до результатів вимірювання стану волокна. Такий підхід не підміняє промислову реалізацію, але дає можливість відпрацювати логіку збору, обробки, порівняння та візуалізації даних.

Третій рівень архітектури відповідає за збір даних. Його основною функцією є приймання вимірювальних значень, перевірка їх коректності, додавання часової мітки, прив'язка до конкретного кабелю або волокна, а також передавання інформації до модуля обробки. Для розподіленої системи цей рівень може складатися з кількох агентів моніторингу, розміщених у різних вузлах мережі. Кожен агент відповідає за свою ділянку або за окремий вимірювальний канал.

Рівень обробки виконує основні аналітичні функції. Він порівнює поточний профіль з еталонним, оцінює зміну загасання, визначає наявність локальних аномалій та формує попередню класифікацію стану лінії. Для спрощеного вебінтерфейсу достатньо порогового аналізу, однак архітектура повинна дозволяти подальше розширення алгоритмів, зокрема додавання фільтрації шумів, статистичної оцінки, накопичення історії зміни параметрів або застосування моделей машинного навчання

Рівень зберігання даних призначений для накопичення вимірювальних профілів, еталонних значень, параметрів моніторингу, журналу подій, станів вузлів і дій користувачів. Наявність централізованого або логічно централізованого сховища є важливою умовою для подальшого аналізу, формування звітів і перевірки історії аварійних ситуацій. У невеликому вебінтерфейсі таким сховищем може бути локальна реляційна база даних, а в масштабованій системі - серверна база даних з підтримкою резервування.

Окремим рівнем є вебінтерфейс оператора. Його призначення полягає у наданні користувачу зручного доступу до інформації про стан кабельних ліній. Через вебінтерфейс оператор може переглядати поточний статус, графіки вимірювальних профілів, історію подій, налаштування порогів, параметри завдань моніторингу та службові повідомлення. Важливо, щоб інтерфейс відображав не лише факт аварії, а й пояснював її характер: місце, тип події, рівень критичності та час виявлення.

Рівень сповіщень завершує цикл моніторингу. Після виявлення аномалії система повинна сформувати подію, записати її в журнал та передати повідомлення оператору або адміністратору. Повідомлення може мати різний рівень критичності: інформаційне, попереджувальне або аварійне. Для бакалаврського вебінтерфейсу достатньо реалізувати локальне повідомлення у вебінтерфейсі, однак архітектура має передбачати можливість інтеграції з електронною поштою, месенджерами або системами управління інцидентами.

Запропонована архітектура є розподіленою, оскільки окремі функції можуть виконуватися різними компонентами: вимірювальним вузлом, агентом збору, сервером обробки, базою даних, вебсервером та модулем сповіщень. Такий підхід підвищує гнучкість системи і дає змогу масштабувати її на декілька кабельних ліній без повної перебудови програмного забезпечення.

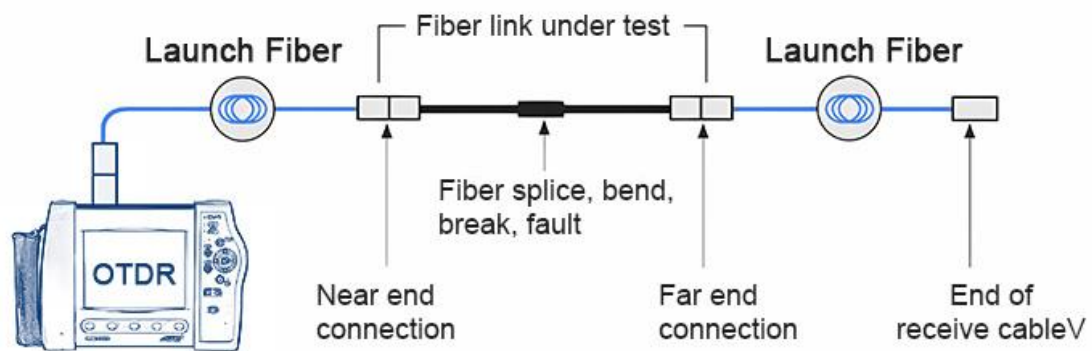


Рисунок 2.1 – Структура OTDR

На рисунку 2.1 подано узагальнену структуру OTDR як можливого вимірювального компонента кіберфізичної системи. Основними елементами такого пристрою є джерело оптичного імпульсу, оптичний тракт введення сигналу у волокно, фотоприймач відбитого сигналу та блок цифрової обробки результатів

У межах запропонованої архітектури OTDR може розглядатися як джерело вимірювальних профілів для подальшої програмної обробки. Практична реалізація дипломної роботи використовує змодельовані дані, однак логіка системи побудована таким чином, щоб у подальшому її можна було адаптувати до реального вимірювального обладнання.

Універсальність системи полягає в тому, що вона не прив'язана до одного конкретного типу вимірювального обладнання. Вхідні дані можуть надходити від реального OTDR, оптичного вимірювача потужності, системи дистанційного тестування або програмного симулятора. Головною умовою є приведення даних до уніфікованого формату, що містить ідентифікатор лінії, час вимірювання, відстань, значення рівня сигналу або втрат, а також службові параметри профілю.

Кіберфізичний характер системи проявляється у зв'язку між фізичним процесом поширення оптичного сигналу та цифровим аналізом отриманих даних. Зміна стану кабелю відображається у зміні вимірювального профілю, після чого програмна частина перетворює фізичну подію на цифрову подію в інформаційній системі. Таким чином, система не просто зберігає дані, а формує інформаційну модель стану фізичного об'єкта.

Для реалізації системи доцільно використовувати модульний принцип. Кожен модуль має виконувати обмежений набір функцій і взаємодіяти з іншими модулями через визначені інтерфейси. Це спрощує тестування, заміну окремих компонентів, подальше розширення та супровід. Наприклад, модуль візуалізації не повинен безпосередньо виконувати вимірювання, а модуль збору даних не повинен містити логіку користувацького інтерфейсу.

Загальна схема запропонованої архітектури наведена на рисунку 2.1. Вона відображає основні рівні системи, напрям руху даних та допоміжні компоненти, які забезпечують роботу системи у розподіленому середовищі.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Функціональні завдання, які може виконувати система у своїх компонентах

Функціональна структура системи визначає, які задачі повинні виконувати окремі компоненти та як ці задачі пов'язані між собою. Для кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю важливо, щоб кожна функція мала чітке місце в архітектурі. Це дозволяє уникнути надмірної залежності від одного модуля та забезпечує можливість поступового розвитку системи.

Першою ключовою функцією є збір вимірювальних даних. У системі ця функція виконується вимірювальним вузлом і агентом моніторингу. Вимірювальний вузол формує або приймає профіль стану волокна, а агент приводить дані до внутрішнього формату, додає службову інформацію та передає їх на обробку. На цьому етапі важливо забезпечити коректність часової мітки, ідентифікатора лінії та параметрів вимірювання.

Другою функцією є попередня обробка даних. Її призначення полягає у зменшенні впливу випадкових коливань, перевірці повноти профілю, усуненні некоректних значень і підготовці даних до порівняння з еталоном. У спрощеному варіанті може застосовуватися згладжування або перевірка діапазонів, а в розширеній системі - цифрові фільтри та статистичне оцінювання стабільності сигналу.

Порівняння з еталоном профілем є центральною функцією аналітичного модуля. Етальонний профіль відображає нормальний стан контрольного волокна і використовується як база для виявлення відхилень. Якщо поточне значення втрат на певній ділянці суттєво відрізняється від етального, система повинна сформулювати ознаку потенційної аномалії. У разі різкого падіння рівня сигналу може бути зафіксована аварійна подія, пов'язана з обривом або критичним пошкодженням.

Виявлення аномалій передбачає не лише фіксацію перевищення порогу, а й попередню інтерпретацію характеру відхилення. Наприклад, поступове збільшення втрат на протяжній ділянці може свідчити про деградацію або температурний вплив, тоді як локальний різкий спад може бути ознакою сильного вигину або механічного пошкодження.

Локалізація можливого пошкодження пов'язана з визначенням координати ділянки, на якій зафіксовано аномалію. У системах, що використовують принципи OTDR, відстань до події може визначатися за часом проходження відбитого сигналу. У програмному вебінтерфейсі локалізація може виконуватися за індексом точки вимірювального профілю або за значенням відстані, що вже міститься у вхідних даних.

Функція класифікації стану лінії потрібна для перетворення результатів аналізу на зрозумілий статус. Доцільно виділити щонайменше три стани: нормальний режим, попередження і аварія. Нормальний режим означає, що відхилення не перевищують допустимих меж. Попередження вказує на наявність підвищених втрат або нестабільності. Аварія означає критичне відхилення, яке потребує негайної реакції оператора.

Журналювання подій забезпечує накопичення інформації про всі значущі зміни стану системи. У журналі повинні зберігатися час події, ідентифікатор лінії, координата, тип події, рівень критичності, короткий опис і стан обробки. Наявність такого журналу важлива для аналізу повторюваних проблем, перевірки роботи алгоритмів і формування звітів.

Збереження історії вимірювань дає змогу не обмежуватися одиничним профілем, а аналізувати динаміку зміни параметрів у часі. Це особливо важливо для виявлення повільної деградації, коли кожне окреме вимірювання може не виглядати аварійним, але сукупна тенденція вказує на погіршення стану лінії. У майбутньому така історія може бути використана для прогнозування відмов.

Формування сповіщень пов'язане з автоматичним інформуванням користувача про важливі події. Сповіщення повинно бути коротким,

однозначним і містити мінімально достатню інформацію: тип події, лінію, приблизну відстань, час виявлення та рівень критичності. У межах вебінтерфейсу достатньо відобразити сповіщення у вебінтерфейсі, але логіка системи повинна дозволити розширення каналів повідомлення.

Надання доступу через вебінтерфейс є важливою функцією, оскільки саме інтерфейс поєднує технічні результати аналізу з діями користувача. Через вебінтерфейс оператор повинен бачити поточний стан системи, список ліній, активні події, графіки профілів і журнал вимірювань. Також доцільно передбачити можливість запуску тестового сценарію або налаштування параметрів моніторингу.

Керування завданнями моніторингу потрібне для визначення того, коли і як саме система виконує контроль. Завдання може містити ідентифікатор лінії, тип вимірювання, періодичність, пороги аналізу, відповідального користувача та ознаку активності. Такий підхід дозволяє перейти від разового аналізу до регулярного циклічного моніторингу.

Таблиця 2.1 – Функціональні завдання та відповідальні компоненти системи

Функціональне завдання	Основний компонент	Вхідні дані	Результат виконання
Збір вимірювальних даних	Вимірювальний вузол, агент моніторингу	Профіль волокна, час вимірювання	Уніфікований пакет даних
Попередня обробка	Модуль обробки	Сирі вимірювальні дані	Очищений та нормалізований профіль
Порівняння з еталоном	Аналітичний модуль	Поточний та еталонний профілі	Масив відхилень
Виявлення аномалій	Аналітичний модуль	Відхилення, пороги	Ознаки попередження або аварії
Локалізація пошкодження	Модуль аналізу профілю	Координати точок профілю	Орієнтовна відстань до події
Журналювання подій	База даних, сервіс подій	Результати аналізу	Запис у журналі подій

Кінець таблиці 2.1

Візуалізація стану	Вебінтерфейс	Дані БД, статуси, профілі	Графіки, таблиці, повідомлення
Сповіщення користувача	Сервіс сповіщень	Аварійна або попереджувальна подія	Повідомлення оператора
Керування завданнями	Сервіс керування	Команди оператора, розклад	Активні задачі моніторингу

Таблиця 2.1 показує, що функціональність системи розподіляється між кількома компонентами. Завдяки цьому кожен компонент має чітку відповідальність, а система в цілому може бути розширена без зміни її основної логіки. Наприклад, заміна джерела вимірювальних даних не повинна впливати на структуру вебінтерфейсу, а зміна способу сповіщення не повинна порушувати роботу модуля аналізу.

Функціональні завдання системи мають утворювати замкнений цикл моніторингу. Спочатку система отримує дані про фізичний стан волокна, потім виконує їх цифрове опрацювання, формує результат аналізу, зберігає його у базі даних і подає користувачу в зрозумілій формі. Якщо результат вказує на небезпечну подію, система додатково створює сповіщення. Саме ця послідовність забезпечує практичну цінність архітектури.

Для розподіленої системи особливо важливо, щоб окремі функції могли працювати незалежно одна від одної у межах допустимих сценаріїв. Наприклад, тимчасова недоступність вебінтерфейсу не повинна зупиняти збір даних, а короткочасна втрата зв'язку між агентом і сервером не повинна призводити до втрати вимірювань. Тому в архітектурі передбачено буферизацію, журналювання та повторну передачу даних після відновлення зв'язку.

2.3 Реалізація самоорганізації в архітектурі системи

Самоорганізація в контексті запропонованої кіберфізичної системи означає здатність системи виконувати основні функції моніторингу без постійного ручного втручання адміністратора. Йдеться не про повну автономність у промисловому розумінні, а про набір архітектурних механізмів, які дозволяють системі самостійно запускати цикли контролю, обробляти типові помилки, підтримувати актуальний стан компонентів і відновлювати роботу після короткочасних збоїв.

Основою самоорганізації є регулярний цикл моніторингу. Система повинна мати можливість виконувати вимірювання або приймання профілів за розкладом. Для кожної контрольованої лінії визначається набір параметрів: періодичність, допустимі пороги, еталонний профіль, рівень критичності та спосіб сповіщення. Після запуску такого завдання система самостійно переходить від одного етапу до іншого: отримує дані, обробляє їх, порівнює з еталоном, записує результат і перевіряє потребу у сповіщенні.

Другим елементом самоорганізації є контроль стану власних компонентів. У розподіленій системі окремі вузли можуть бути тимчасово недоступними через втрату мережевого зв'язку, перезавантаження, помилку програмного забезпечення або обслуговування. Тому кожен активний компонент повинен періодично надсилати службове повідомлення про свій стан. Якщо сервер керування не отримує такого повідомлення протягом заданого часу, він позначає вузол як недоступний і фіксує відповідну службову подію.

Важливо розрізняти аварії фізичного об'єкта і збої самої системи моніторингу. Обрив контрольного волокна, різке збільшення втрат або деградація профілю є подіями кабельної інфраструктури. Водночас відмова агента збору даних, помилка бази даних або недоступність вебінтерфейсу є подіями інформаційної частини системи. Архітектура повинна обробляти обидва типи подій, але не змішувати їх у журналі.

Самостійне відновлення після помилок може бути реалізоване через повторні спроби виконання операцій. Якщо агент не зміг передати пакет вимірювальних даних на сервер, він тимчасово зберігає пакет у локальному буфері та повторює передачу після відновлення зв'язку. Якщо модуль обробки отримав неповний профіль, він не повинен формувати хибну аварію, а має зафіксувати помилку як некоректне вимірювання та запросити повторення циклу.

Перебудова взаємодії компонентів у разі відмови вузла є складнішою властивістю. Для бакалаврської роботи достатньо описати логічний механізм резервування. Наприклад, у системі може існувати основний сервер обробки та резервний вузол, який періодично отримує копію критичних даних: список активних завдань, останні вимірювання, журнал подій та еталонні профілі. Якщо основний сервер стає недоступним, резервний вузол може тимчасово прийняти функції координатора.

Вибір головного вузла або координатора потрібний для того, щоб у системі існувала єдина точка ухвалення службових рішень. Координатор визначає, які завдання активні, які вузли доступні, які події потребують підтвердження і які дані слід синхронізувати. У найпростішому випадку координатор задається статично. У більш розвиненій архітектурі може бути передбачений механізм вибору лідера між кількома серверними вузлами.

Переміщення центру керування між компонентами не означає, що кожен вузол системи стає повноцінним сервером. Доцільніше говорити про логічне делегування функцій. Наприклад, агент збору даних не повинен самостійно змінювати правила класифікації аварій, але може продовжувати локально накопичувати вимірювання, якщо центральний сервер тимчасово недоступний. Після відновлення зв'язку агент передає накопичені дані, а сервер виконує централізований аналіз.

Синхронізація станів є необхідною умовою для коректної роботи розподіленої системи. Кожен компонент повинен працювати з актуальними

параметрами моніторингу, еталонними профілями і порогами. Якщо оператор змінює порогове значення через вебінтерфейс, ця зміна має бути збережена в базі даних і доведена до відповідних агентів або модулів аналізу. Інакше різні частини системи можуть працювати з різними правилами, що призведе до некоректних результатів.

Збереження журналів подій є одним з найважливіших механізмів самоорганізації. Журнал дозволяє відновити послідовність роботи системи після збою, визначити причину помилки та перевірити, чи були втрачені дані. Для системи контролю оптоволоконного кабелю в журналі доцільно окремо зберігати технологічні події, аварійні події фізичної лінії та дії користувачів.

Відновлення роботи після втрати зв'язку повинно відбуватися без ручного перезапуску всієї системи. Якщо агент моніторингу втратив з'єднання з сервером, він переходить у режим локального накопичення. Якщо сервер обробки недоступний, завдання може бути тимчасово призупинене або передане резервному вузлу. Якщо недоступна база даних, система має запобігти втраті подій шляхом тимчасової буферизації або запису до локального файлу.

Для уникнення хибних аварій система повинна враховувати якість самих вимірювальних даних. Якщо профіль містить надто багато пропусків, має невідповідну довжину або суперечливі службові параметри, він не повинен використовуватися для формування остаточного висновку про пошкодження кабелю. У такому випадку доцільно створити подію "помилка вимірювання" і повторити цикл моніторингу.

Самоорганізація також стосується керування навантаженням. Якщо система обслуговує кілька кабельних ліній, не всі вони потребують однакової частоти вимірювань. Для критичних ліній можна встановити коротший інтервал моніторингу, а для менш критичних - довший. У разі виявлення попереджувальної ознаки система може тимчасово збільшити частоту вимірювань для відповідної лінії, щоб уточнити характер зміни.

Архітектурно самоорганізація реалізується через поєднання розкладу завдань, контролю доступності вузлів, журналювання, резервування, локальної буферизації та синхронізації параметрів. Ці механізми не потребують складної апаратної реалізації, але значно підвищують практичну придатність системи. Для бакалаврської роботи достатньо реалізувати або описати їх на рівні вебінтерфейсу, а промислове впровадження може включати більш складні механізми відмовостійкості.

У результаті система набуває властивостей, важливих для експлуатації телекомунікаційної інфраструктури: регулярність контролю, передбачуваність реакції, збереження історії, стійкість до окремих збоїв і можливість подальшого масштабування. Саме це відрізняє запропоновану архітектуру від простого разового використання вимірювального пристрою.

2.4 Інформаційні потоки та взаємодія компонентів системи

Інформаційні потоки визначають порядок обміну даними між компонентами системи та забезпечують перехід від фізичного вимірювання до управлінського рішення. Для кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю такі потоки мають різну природу: вимірювальні, службові, керуючі, аварійні та історичні. Їх необхідно розглядати окремо, оскільки кожен тип даних має власні вимоги до точності, своєчасності, зберігання та захисту.

Основним інформаційним потоком є вимірювальні дані. Вони формуються на вимірювальному рівні та передаються до модуля збору. У найпростішому випадку це послідовність точок профілю, де кожна точка містить відстань уздовж волокна та відповідне значення рівня сигналу, втрат або відбиття. Додатково до профілю додаються службові поля: час вимірювання, ідентифікатор лінії, тип джерела даних, версія формату та ознака повноти профілю.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Другий важливий потік становлять еталонні профілі. Еталонний профіль є цифровим представленням нормального стану контрольного волокна. Він може бути сформований після первинного вимірювання справної лінії або створений на основі тестових даних у межах вебінтерфейсу. Під час кожного циклу аналізу модуль обробки отримує актуальний еталонний профіль з бази даних і порівнює його з поточним профілем.

Результати аналізу утворюють окремий потік даних між аналітичним модулем, базою даних, вебінтерфейсом і сервісом сповіщень. До таких результатів належать максимальне відхилення, список підозрілих ділянок, координата потенційного пошкодження, тип події, рівень критичності та рекомендація щодо реакції. Ці дані повинні бути структурованими, щоб їх можна було не лише показати користувачу, а й використати для подальшої автоматичної обробки.

Події є логічним результатом аналізу. Подія створюється тоді, коли система виявляє значущу зміну стану лінії або самої системи. Для кабельної інфраструктури це може бути обрив, підвищені втрати, нестабільність сигналу або деградація профілю. Для інформаційної частини це може бути недоступність агента, помилка обробки, відсутність даних або невдала спроба запису до бази даних.

Аварійні повідомлення відрізняються від звичайних подій тим, що вони потребують реакції оператора. Наприклад, виявлення критичного падіння сигналу на певній відстані повинно бути не лише записане в журнал, а й винесене у верхню частину вебінтерфейсу або передане через сервіс сповіщень. Повідомлення має містити мінімально достатню інформацію для прийняття рішення, але не повинно перевантажувати користувача зайвими технічними деталями.

Команди користувача формують керуючий потік. Через вебінтерфейс оператор може запускати або зупиняти завдання моніторингу, змінювати порогові значення, переглядати історію, підтверджувати обробку аварії або

формувані звіт. Кожна така команда повинна бути перевірена з точки зору прав доступу, зафіксована в журналі та передана відповідному компоненту системи.

Службові повідомлення між вузлами потрібні для підтримання розподіленої архітектури. До них належать повідомлення про доступність, синхронізацію параметрів, стан буфера, версію конфігурації та результат виконання завдання. На відміну від вимірювальних даних, службові повідомлення зазвичай мають невеликий обсяг, але відіграють важливу роль у забезпеченні узгодженості роботи системи.

Типовий цикл роботи системи починається з ініціалізації. На цьому етапі сервер керування перевіряє список активних ліній, наявність еталонних профілів, доступність агентів і параметри завдань. Якщо умови виконання завдання виконані, система переходить до етапу отримання даних від вимірювального вузла або симулятора.

Після отримання профілю дані проходять попередню перевірку. Система оцінює, чи відповідає профіль очікуваному формату, чи не містить критичних пропусків і чи може бути використаний для аналізу. Якщо профіль некоректний, створюється службова подія, а аналіз стану кабелю не виконується. Це важливо для запобігання хибним аваріям.

На етапі обробки поточний профіль нормалізується та порівнюється з еталонним. Результатом порівняння є масив відхилень, за яким визначаються ділянки з підозрілими змінами. Якщо відхилення не перевищують допустимих меж, система записує результат як нормальний стан. Якщо поріг перевищено, формується попереджувальна або аварійна подія.

Після виявлення події система записує її до бази даних. Запис повинен містити час, лінію, координату, тип, критичність, джерело даних і короткий опис. Одночасно результат стає доступним для вебінтерфейсу, де оператор бачить оновлений статус лінії. Якщо подія має аварійний рівень, активується сервіс сповіщень.

Інформаційні потоки в системі наведено на рисунку 2.2. Схема показує послідовність основного циклу обробки та допоміжні потоки, що забезпечують узгодженість роботи компонентів.

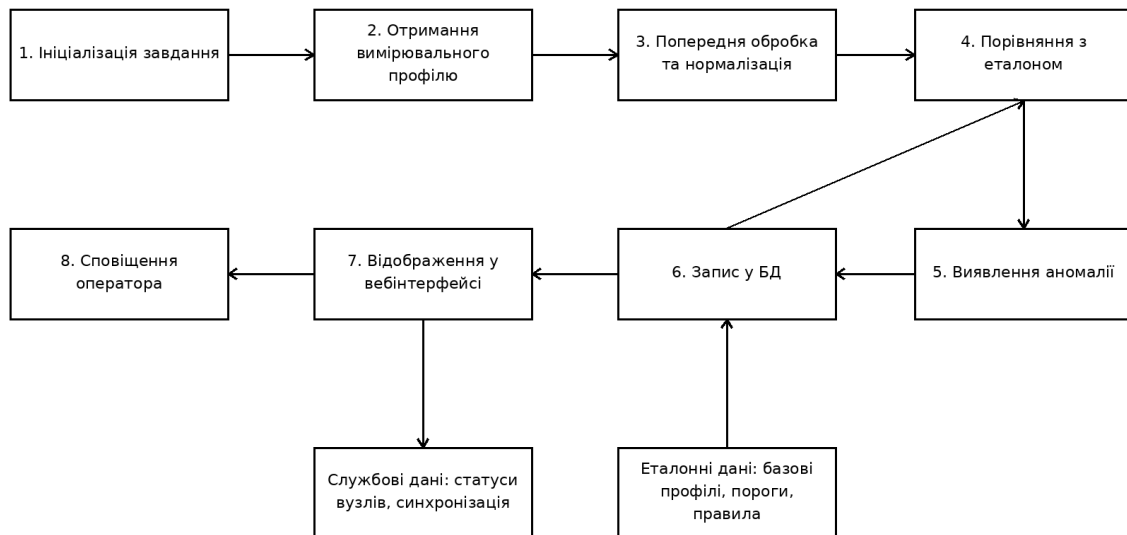


Рисунок 2.2 – Інформаційні потоки в розподіленій системі контролю

Рисунок 2.2 демонструє, що система працює не як набір ізольованих модулів, а як послідовність взаємопов'язаних етапів. Кожен етап формує дані для наступного, а база даних і службові повідомлення забезпечують збереження стану та контроль узгодженості.

Для практичної реалізації важливо визначити формат обміну даними. У вебінтерфейсі можна застосувати структурований текстовий формат або таблицю CSV для вимірювальних профілів, а для взаємодії вебінтерфейсу з сервером - API-запити. У промисловому варіанті формат повинен підтримувати контроль цілісності даних, автентифікацію запитів і журналювання операцій.

Важливою вимогою є часовий зв'язок між даними. Вимірювальний профіль, результат аналізу, подія і сповіщення повинні мати узгоджені часові мітки. Це дозволяє відновити послідовність розвитку аварійної ситуації та

перевірити, скільки часу минуло від моменту отримання даних до формування повідомлення оператору.

У разі розширення системи на декілька кабельних ліній інформаційні потоки повинні містити ідентифікатор об'єкта моніторингу. Без такого ідентифікатора неможливо коректно пов'язати профіль, еталон, подію та графік у вебінтерфейсі. Тому структура даних має бути розроблена так, щоб система могла працювати не лише з однією лінією, а й з групою ліній або вузлів.

Правильна організація інформаційних потоків також спрощує тестування системи. Кожен етап можна перевіряти окремо: чи коректно зчитується профіль, чи правильно виконується порівняння, чи створюється запис у базі даних, чи відображається подія у вебінтерфейсі. Такий підхід буде використано у третьому розділі під час опису алгоритмічного та програмного забезпечення.

2.5 Вебінтерфейс оператора як компонент інформаційної взаємодії

Для запропонованої кіберфізичної системи вебінтерфейс є не лише засобом візуалізації, а й окремим компонентом архітектури, через який оператор отримує доступ до результатів моніторингу, журналу подій і параметрів роботи системи. У практичній реалізації дипломної роботи вебінтерфейс доцільно розглядати як основний засіб демонстрації функціонування системи, оскільки він відображає зв'язок між вимірювальними даними, алгоритмічною обробкою та рішеннями, які приймає оператор.

Вебінтерфейс повинен надавати користувачу узагальнену картину стану оптоволоконної лінії без необхідності аналізувати сирі вимірювальні дані. Для цього на головній панелі доцільно відображати поточний статус лінії, довжину контрольованої ділянки, час останнього вимірювання, тип виявленої події, приблизну координату проблемної ділянки та рівень ризику. Такий підхід дозволяє швидко оцінити стан кабельної інфраструктури і прийняти рішення щодо подальших дій.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки у межах бакалаврської роботи практична реалізація може виконуватися у вигляді демонстраційного вебінтерфейсу, інтерфейс повинен підтримувати роботу зі змодельованими профілями вимірювань. Користувач може обирати один із типових сценаріїв: нормальний режим, підвищені втрати, деградація з'єднання, обрив кабелю або шум у вимірюваннях. Після вибору сценарію система змінює графік профілю, оновлює статусні картки та формує відповідний запис у журналі подій.

Важливим елементом вебінтерфейсу є графік вимірювального профілю. На ньому мають відображатися еталонний і поточний профілі, що дозволяє візуально оцінити розбіжність між нормальним станом лінії та поточними параметрами. У разі виявлення аномалії система повинна виділяти точку або ділянку, де перевищено задані пороги. Це робить результати роботи алгоритму зрозумілими для користувача та придатними для включення у матеріали дипломної роботи у вигляді скріншотів.

Таблиця 2.2 – Структура вебінтерфейсу оператора

Елемент вебінтерфейсу	Призначення	Дані, що використовуються	Результат для користувача
Головна панель	Швидке відображення стану системи	Статус лінії, час вимірювання, тип події	Оператор одразу бачить, чи є норма, попередження або аварія
Вибір сценарію	Демонстрація роботи системи на тестових даних	Набори змодельованих профілів	Можливість показати реакцію системи на різні стани кабелю
Графік профілю волокна	Візуальне порівняння еталонного та поточного профілів	Масиви точок відстані та втрат	Виявлення ділянки з підвищеними втратами або обривом

Кінець таблиці 2.2

Панель параметрів	Налаштування порогів аналізу	Поріг попередження, поріг аварії, інтервал моніторингу	Можливість змінювати умови класифікації стану лінії
Журнал подій	Збереження та перегляд результатів аналізу	Час, тип події, координата, рівень критичності	Фіксація історії спрацювань системи
Блок тестування	Перевірка типових сценаріїв роботи	Очікувані та фактичні результати	Підтвердження працездатності запропонованої логіки

Зміст таблиці 2.2 показує, що вебінтерфейс об'єднує кілька функціональних блоків, кожен із яких має конкретне призначення у процесі моніторингу. Головна панель забезпечує швидкий огляд стану, графік профілю пояснює причину спрацювання, журнал подій фіксує результати аналізу, а блок тестування дозволяє продемонструвати роботу системи без підключення реального вимірювального обладнання.

2.6 Логіка взаємодії вебінтерфейсу з модулями системи

З погляду архітектури вебінтерфейс взаємодіє з модулем аналізу та сховищем даних через прикладний програмний інтерфейс або внутрішній стан застосунку. У промисловій реалізації такий обмін може виконуватися через серверну частину, базу даних і REST API. У демонстраційному вебінтерфейсі допускається спрощена реалізація, за якої тестові профілі, результати аналізу та записи журналу зберігаються безпосередньо у клієнтській частині. Це не змінює логіки роботи системи, але дозволяє уникнути зайвої складності під час демонстрації.

Типовий цикл взаємодії вебінтерфейсу з іншими компонентами складається з вибору сценарію або запуску моніторингу, отримання поточного

профілю, передавання його до модуля аналізу, обчислення відхилень від еталонного профілю, класифікації стану лінії, формування події та оновлення елементів інтерфейсу. У результаті користувач бачить не окремі проміжні обчислення, а узагальнений результат у вигляді статусу, графіка і запису в журналі.

У межах дипломної роботи практична реалізація подається як демонстраційний вебінтерфейс кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Його призначення полягає у відображенні основної логіки роботи системи на основі підготовлених вимірювальних профілів, що імітують типові стани волоконно-оптичної лінії: нормальний режим, підвищені втрати, деградацію з'єднання та обрив кабелю.



Рисунок 2.3 – Структура вебінтерфейсу оператора системи моніторингу

На рисунку 2.3 подано узагальнену структуру вебінтерфейсу. Вона відображає логіку переходу від вибору сценарію або отримання вимірювальних даних до аналізу профілю, відображення стану системи та формування журналу подій. Окремі елементи інтерфейсу згруповано за функціональним призначенням: панель стану використовується для швидкого перегляду основних параметрів, графік профілю - для аналізу зміни сигналу, а журнал подій для фіксації результатів роботи системи. Така структура є зручною для практичної реалізації у вигляді односторінкового вебзастосунку, оскільки всі основні дані доступні оператору в межах одного робочого екрана.

Таблиця 2.3 – Зв’язок сценаріїв вебінтерфейсу зі станами оптоволоконної лінії

Сценарій інтерфейсу	Стан профілю	Результат аналізу	Відображення у вебінтерфейсі
Нормальний режим	Поточний профіль близький до еталонного	Відхилення нижче порогу попередження	Статус “Норма”, зелена індикація, подія не критична
Підвищені втрати	Локальне збільшення втрат на окремій ділянці	Перевищення порогу попередження	Статус “Попередження”, координата ділянки, запис у журналі
Деградація з’єднання	Поступове зростання втрат після певної точки	Ознаки погіршення якості з’єднання або муфти	Попередження з описом можливої деградації
Обрив кабелю	Різке збільшення втрат і зникнення корисного сигналу	Перевищення аварійного порогу	Статус “Аварія”, червона індикація, місце обриву
Шум у вимірюваннях	Невеликі випадкові коливання профілю	Критичних відхилень не виявлено або формується службове попередження	Відображення стабільного стану або повідомлення про якість вимірювання

Наведені сценарії є достатніми для перевірки практичної частини дипломної роботи, оскільки вони охоплюють основні типові стани кабельної лінії. Вебінтерфейс у цьому випадку виконує роль інструменту демонстрації роботи алгоритмів і одночасно показує, як результати аналізу можуть бути подані оператору в реальній системі.

2.7 Висновок до другого розділу

У другому розділі розроблено архітектуру розподіленої універсальної кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з

використанням “темних” волокон. Запропонована архітектура передбачає поділ системи на фізичний, вимірювальний, збиральний, аналітичний, інформаційний, інтерфейсний та сповіщувальний рівні. Такий поділ дозволяє чітко визначити функції кожного компонента та забезпечити можливість подальшого масштабування.

Визначено основні функціональні завдання системи: збір вимірювальних даних, попередня обробка, порівняння з еталонним профілем, виявлення аномалій, локалізація можливого пошкодження, класифікація стану лінії, журналювання подій, збереження історії вимірювань, формування сповіщень і надання доступу через вебінтерфейс. Показано, що розподіл цих функцій між окремими компонентами підвищує гнучкість і супроводжуваність системи. Окремо уточнено роль вебінтерфейсу оператора як компонента, що забезпечує візуалізацію профілю волокна, вибір сценаріїв моніторингу, відображення статусу лінії та ведення журналу подій.

Описано механізми самоорганізації, які дозволяють системі виконувати цикли моніторингу без постійного втручання адміністратора, контролювати доступність вузлів, буферизувати дані у разі втрати зв'язку, резервувати критичні компоненти та синхронізувати параметри роботи. Такі механізми є важливими для експлуатації системи у розподіленій телекомунікаційній інфраструктурі.

Розглянуто інформаційні потоки між компонентами системи, зокрема вимірювальні дані, еталонні профілі, результати аналізу, події, аварійні повідомлення, команди користувача та службові повідомлення між вузлами. Визначено типовий цикл роботи системи від ініціалізації завдання до формування сповіщення оператору.

Також обґрунтовано підходи до забезпечення надійності, масштабованості та кібербезпеки. Запропоновано використовувати резервування критичних компонентів, контроль доступу користувачів, журналювання дій, захист вимірювальних даних і можливість підключення кількох вимірювальних вузлів.

3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВЕБІНТЕРФЕЙСУ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЦІЛІСНОСТІ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЮ

3.1 Загальна характеристика практичної реалізації

Практична частина дипломної роботи реалізована у вигляді вебсторінки, яка імітує роботу операторської панелі системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Основним завданням вебінтерфейсу є демонстрація того, як програмна частина системи може приймати профіль вимірювання, порівнювати його з еталонним станом, визначати наявність відхилень та подавати результат у вигляді статусу лінії, повідомлення про подію і запису в журналі.

Практична реалізація вебінтерфейсу у третьому розділі розглядається як засіб наочного подання результатів роботи кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Вебінтерфейс забезпечує відображення поточного стану лінії, значень порогів, журналу подій та результатів аналізу вимірювального профілю. Такий підхід дозволяє подати складні технічні дані у зрозумілій для оператора формі та скоротити час прийняття рішення у разі виявлення ознак пошкодження.

У межах реалізації використано змодельовані вимірювальні дані, що відповідають типовим сценаріям роботи оптоволоконної лінії: нормальний стан, підвищені втрати, деградація з'єднання та обрив кабелю. Це дає змогу перевірити логіку роботи системи без використання спеціалізованого вимірювального обладнання. При цьому структура вебінтерфейсу зберігає можливість подальшого розширення, зокрема підключення реального джерела даних, бази даних, механізмів авторизації та автоматизованої підсистеми сповіщень.

Під час створення практичної реалізації було обрано вебінтерфейс, оскільки саме такий формат є зручним для віддаленого моніторингу

інфраструктури. Оператору не потрібно працювати безпосередньо з вимірювальним обладнанням або аналізувати необроблені дані вручну. Усі ключові показники подаються у вигляді інформаційних карток, графіка та таблиці подій. Це відповідає принципу кіберфізичної системи, у якій фізичний об'єкт контролю відображається через цифрову модель і програмні засоби аналізу.

У межах вебінтерфейсу фізичний рівень представлено умовною оптоволоконною лінією довжиною 10 км. Контроль виконується через темне волокно, яке в моделі розглядається як окремий канал отримання вимірювальних даних. На відміну від активних волокон, що використовуються для передавання користувацького трафіку, таке волокно може застосовуватися для діагностики без впливу на роботу основного каналу зв'язку. У програмній моделі це відображено через окремий профіль затухання, який аналізується незалежно від умовного корисного трафіку.

Важливо зазначити, що дані у вебпрототипі є змодельованими. Це означає, що вони не отримані з реального оптоволоконного кабелю, а створені для демонстрації типових сценаріїв роботи системи. Такий підхід дозволяє уникнути некоректного твердження про проведення польових вимірювань і водночас забезпечує достатню наочність для перевірки алгоритмічної логіки. У разі подальшого розвитку модулю імітаційних даних може бути замінений на модуль отримання результатів від реального вимірювального пристрою.

Головна панель вебінтерфейсу містить назву системи, поточний статус, блок вибору демонстраційного сценарію, набір показників стану, графік аналізу оптоволоконної лінії, панель налаштування порогів, журнал подій, блок пояснення алгоритму та блок перевірки тестових сценаріїв. Така структура дає змогу одночасно показати інженерну логіку системи та її практичне представлення для користувача.

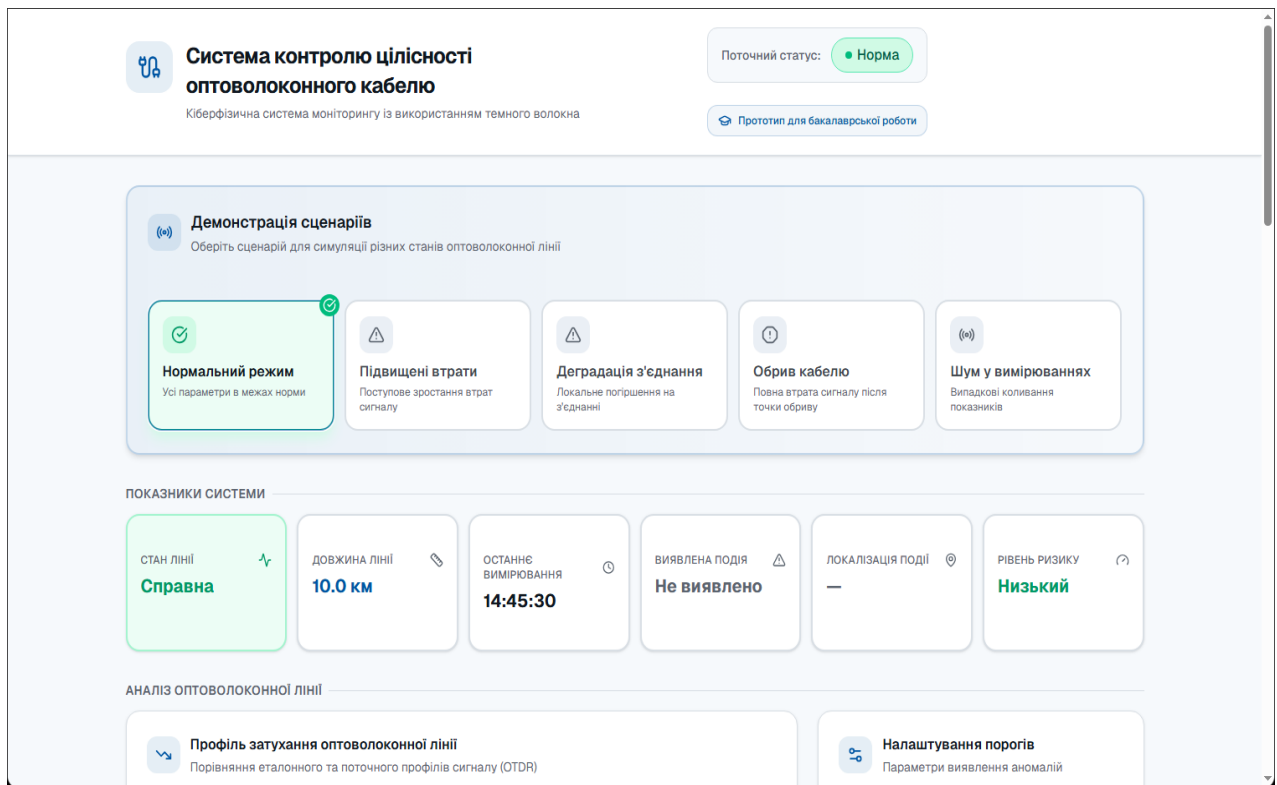


Рисунок 3.1 – Головна панель вебінтерфейсу системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю

На рисунку 3.1 показано головну частину вебінтерфейсу. У верхній частині розміщено назву системи, поточний статус і кнопку переходу до опису. Нижче наведено блок демонстраційних сценаріїв. Оператор може обрати один із режимів: нормальний стан, підвищені втрати, деградація з'єднання, обрив кабелю або шум у вимірюваннях. Після вибору сценарію вебінтерфейс оновлює показники системи та змінює графік профілю.

Блок показників системи має прикладне значення, оскільки він концентрує найважливішу інформацію для швидкої оцінки стану лінії. До таких показників належать стан лінії, довжина контрольованої ділянки, час останнього вимірювання, тип виявленої події, локалізація події та рівень ризику. У реальній системі ці дані могли б формуватися за результатами опитування вимірювального модуля. У вебінтерфейсі вони змінюються відповідно до обраного сценарію.

3.2 Організація даних та вебінтерфейсу

Організація даних у розробленому вебінтерфейсі ґрунтується на поділі профілів вимірювання на еталонний і поточний. Еталонний профіль відповідає умовному справному стану оптоволоконної лінії. Поточний профіль формується залежно від обраного сценарію та містить значення, які імітують конкретний стан лінії. Порівняння цих двох профілів є основою логіки виявлення аномалій.

Еталонний профіль у демонстраційній моделі виконує роль калібрувальної кривої. Його можна трактувати як результат вимірювання, отриманий після введення кабельної лінії в експлуатацію або після підтвердження її справного стану. Подальші профілі порівнюються з цим базовим станом. Якщо відхилення не перевищують заданих порогів, система класифікує стан як нормальний. Якщо відхилення перевищують поріг попередження або аварії, формується відповідне повідомлення.

Поточні профілі відповідають п'ятьом сценаріям. Перший сценарій описує нормальний режим, у якому поточний профіль практично збігається з еталонним. Другий сценарій імітує підвищені втрати на лінії. Третій сценарій відповідає деградації з'єднання або муфти, що проявляється локальним погіршенням профілю. Четвертий сценарій моделює обрив кабелю, за якого після певної точки відбувається різке погіршення сигналу. П'ятий сценарій демонструє наявність шуму вимірювань, який не завжди означає фізичне пошкодження.

Інтерфейс побудовано так, щоб користувач міг швидко оцінити стан системи без необхідності аналізувати всі числові значення вручну. Поруч із графіком розміщено панель порогів, де подано значення порогу попередження та порогу аварії. У вебінтерфейсі ці параметри мають демонстраційний характер, однак їх наявність показує, що система може працювати з налаштовуваними критеріями виявлення аномалій.

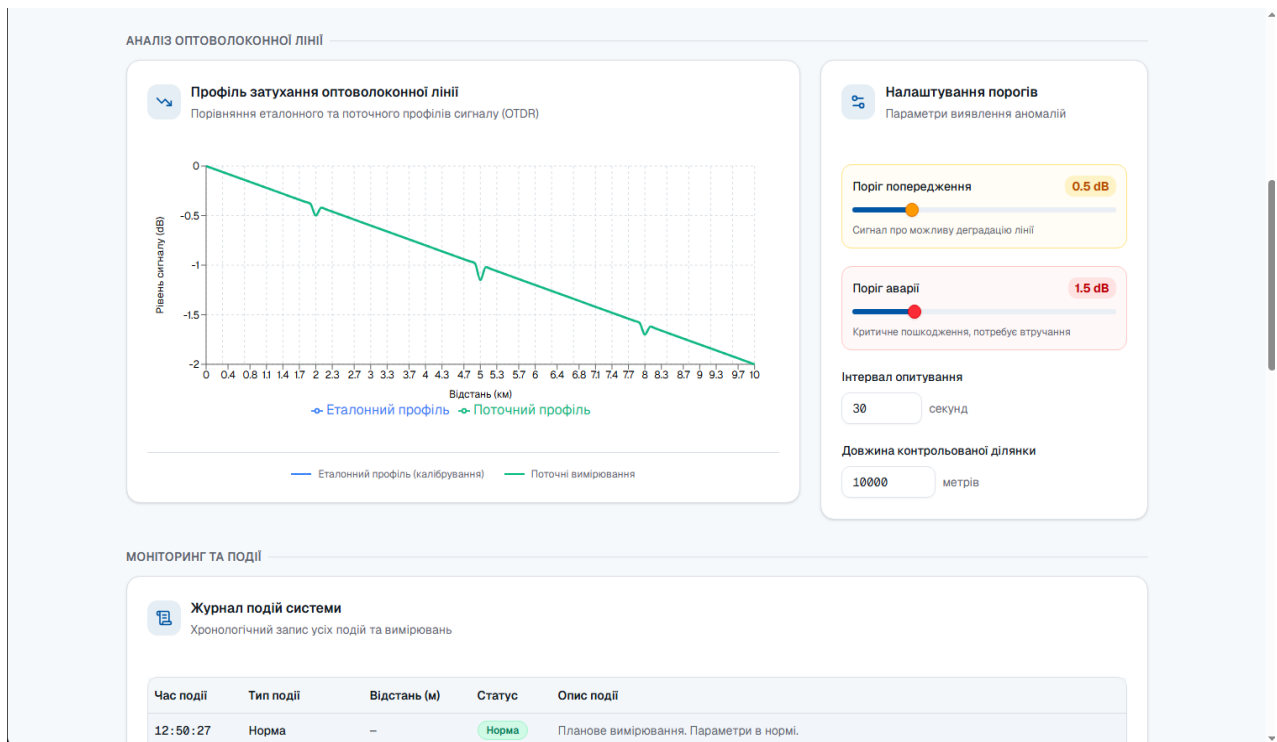


Рисунок 3.2 – Відображення профілю затування та параметрів порогового контролю

На рисунку 3.2 наведено блок аналізу оптоволоконної лінії. Графік відображає еталонний і поточний профілі. Вісь абсцис відповідає відстані вздовж лінії, а вісь ординат – рівню сигналу або умовному значенню затування. Наявність двох профілів на одному графіку дозволяє візуально оцінити відхилення поточного стану від базового. Для демонстраційної роботи це є важливим, оскільки дає змогу пояснити принцип порівняльного аналізу без складних математичних розрахунків у тексті інтерфейсу.

Журнал подій у нижній частині вебінтерфейсу використовується для фіксації результатів аналізу. Кожний запис містить час події, її тип, відстань до проблемної ділянки, статус та короткий опис. У межах вебінтерфейсу журнал формується на основі сценаріїв, однак його структура відповідає практичним вимогам до систем моніторингу: подія має бути зафіксована, мати часову мітку та бути зрозумілою для оператора.

Окремий блок інтерфейсу містить стислий опис послідовності аналізу. Він має не лише демонстраційне, а й пояснювальне значення, оскільки показує, які етапи проходить система від отримання профілю до реєстрації події. Такий блок зручний для представлення практичної частини під час захисту, оскільки наочно пов'язує програмну реалізацію з теоретичною архітектурою системи.

Журнал подій системи
Хронологічний запис усіх подій та вимірювань

Час події	Тип події	Відстань (м)	Статус	Опис події
12:50:27	Норма	–	Норма	Планове вимірювання. Параметри в нормі.
14:30:00	Норма	–	Норма	Планове вимірювання. Параметри в нормі.
14:00:00	Норма	–	Норма	Система запущена. Ініціалізація завершена.

ТЕХНІЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ

Алгоритм виявлення аномалій
Послідовність кроків обробки вимірювальних даних

- Збереження еталону**
Фіксація початкового профілю затухання оптоволоконної лінії при калібруванні системи.
- Періодичне вимірювання**
Вимірювальний модуль (OTDR) регулярно отримує поточний профіль затухання по темному волокну.
- Обчислення відхилення**
Порівняння поточного профілю з еталонним та розрахунок різниці для кожної точки траси.
- Аналіз порогів**
Перевірка перевищення налаштованих порогів попередження (0,5 dB) та аварії (1,5 dB).
- Класифікація стану**
Визначення статусу: «Норма», «Попередження» або «Аварія» на основі результатів аналізу.
- Локалізація проблеми**
Визначення точної відстані до місця аномалії за першою точкою перевищення порогу.
- Реєстрація події**
Запис у журнал з міткою часу, типом події, координатами та рекомендаціями щодо дій.

Рисунок 3.3 – Журнал подій та блок пояснення послідовності аналізу

На рисунку 3.3 показано журнал подій і блок пояснення логіки роботи. Журнал відображає історію станів системи, а блок алгоритму демонструє послідовність дій: збереження еталона, періодичне вимірювання, обчислення відхилення, аналіз порогів, класифікація стану, локалізація проблеми та реєстрація події. У реальній системі такі етапи виконувалися б автоматично, а оператор отримував би тільки результат аналізу та рекомендацію щодо реагування.

3.3 Формалізація логіки аналізу вимірювального профілю

Логіка роботи практичної реалізації базується на порівнянні еталонного профілю з поточним. Для кожної точки траси визначається відхилення між очікуваним і поточним значенням. Якщо відхилення не перевищує встановленого порогу, ділянка вважається справною. Якщо відхилення перевищує поріг попередження, система формує попереджувальний стан. Якщо відхилення досягає аварійного рівня, система класифікує ситуацію як аварію та визначає першу точку, у якій зафіксовано критичне перевищення. Такий підхід дозволяє не лише визначити загальний стан лінії, а й орієнтовно локалізувати проблемну ділянку за координатою вимірювального профілю.

У межах дипломної роботи така логіка є достатньою для демонстраційного вебінтерфейсу, оскільки вона відображає загальний принцип обробки вимірювального профілю. Водночас слід враховувати, що промислові системи оптичного моніторингу можуть використовувати складніші методи: компенсацію температурних впливів, аналіз відбиттів, фільтрацію шумів, зіставлення з картою траси та статистичне накопичення історії вимірювань. У цій роботі такі можливості розглядаються як напрями подальшого розвитку, а не як реалізовані функції. Це дає змогу коректно обмежити практичну частину межами бакалаврської роботи та водночас показати перспективу подальшого вдосконалення системи.

Для однозначного опису послідовності дій доцільно подати псевдокод аналізу. Він не є текстом реальної програми, а використовується як формалізований опис логіки. Псевдокод подано українською мовою з використанням стандартних конструкцій: початок, вхідні дані, вихідні дані, цикл, умова, інакше, кінець циклу та кінець алгоритму. Такий формат дозволяє зрозуміло подати алгоритм незалежно від конкретної мови програмування та спростити його подальшу реалізацію у програмному середовищі.

Псевдокод 3.1 – Аналіз профілю оптоволоконної лінії

ВХІДНІ ДАНІ:

ЕталоннийПрофіль – масив значень справного стану лінії;
ПоточнийПрофіль – масив значень поточного вимірювання;
ПорігПопередження – допустиме відхилення для попередження;
ПорігАварії – критичне відхилення для аварійного стану.

ВИХІДНІ ДАНІ:

СтанЛінії;
ТипПодії;
ВідстаньПодії;
ЗаписЖурналу.

ПОЧАТОК

СтанЛінії ← "Норма"

ТипПодії ← "Відсутня"

ВідстаньПодії ← "Не визначено"

ДЛЯ кожної точки i у ПоточномуПрофілі ВИКОНАТИ

Відхилення ← ПоточнийПрофіль [i] – ЕталоннийПрофіль [i]

ЯКЩО Відхилення \geq ПорігАварії ТО

СтанЛінії ← "Аварія"

ТипПодії ← "Обрив кабелю або критична втрата

сигналу"

ВідстаньПодії ← Відстань точки i

ПЕРЕРВАТИ цикл

ІНАКШЕ ЯКЩО Відхилення \geq ПорігПопередження ТО

СтанЛінії ← "Попередження"

ТипПодії ← "Підвищені втрати сигналу"

ВідстаньПодії ← Відстань точки i

КІНЕЦЬ ЯКЩО

КІНЕЦЬ ДЛЯ

Сформувати запис журналу подій

Оновити картки стану системи

Оновити графік профілю лінії

Відобразити результат у вебінтерфейсі

КІНЕЦЬ

Поданий псевдокод відображає базову логіку аналізу. На першому етапі система отримує еталонний і поточний профілі. Далі для кожної точки виконується обчислення відхилення. Якщо відхилення досягає аварійного порогу, подальший пошук може бути зупинено, оскільки перша критична точка вже визначає ймовірне місце пошкодження. Якщо критичного перевищення немає, але є перевищення порогу попередження, система фіксує попереджувальну подію.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому підході важливим є принцип першої проблемної точки. Саме перша координата, у якій профіль відхиляється від еталонного на недопустиме значення, використовується як наближена локалізація події. Для демонстраційної моделі цього достатньо, оскільки основним завданням є показати логіку визначення місця пошкодження. У реальній системі координата уточнювалася б з урахуванням параметрів вимірювального обладнання, похибки, показника заломлення волокна та форми відбитого сигналу.

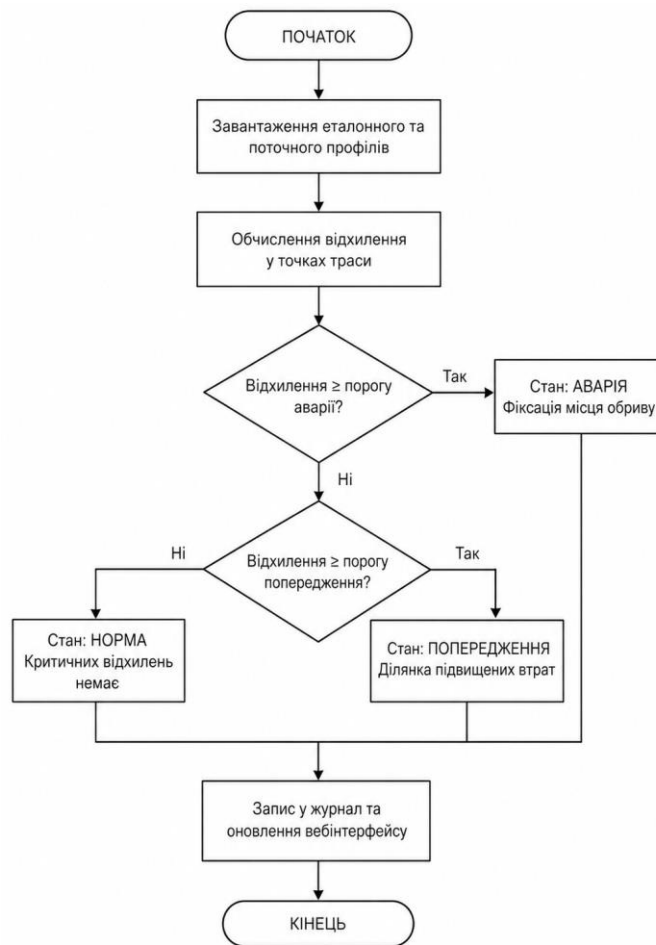


Рисунок 3.4 – Блок-схема аналізу вимірювального профілю оптоволоконної лінії

Блок-схема на рисунку 3.4 подає ту саму логіку в графічній формі. Вона починається з отримання еталонного та поточного профілів, після чого

виконується обчислення відхилення. Далі система послідовно перевіряє аварійний і попереджувальний порогови. Залежно від результату формується стан “Аварія”, “Попередження” або “Норма”. Завершальним етапом є запис події в журнал і оновлення вебінтерфейсу.

Окрема блок-схема описує взаємодію користувача з інтерфейсом. Вона є важливою, оскільки практична реалізація має не тільки внутрішню логіку аналізу, а й сценарій користування. Оператор відкриває вебпанель, вибирає демонстраційний сценарій або переглядає поточний стан, після чого система оновлює картки, графік і журнал подій. Така схема показує, що інтерфейс є частиною загальної логіки системи, а не окремою статичною сторінкою.

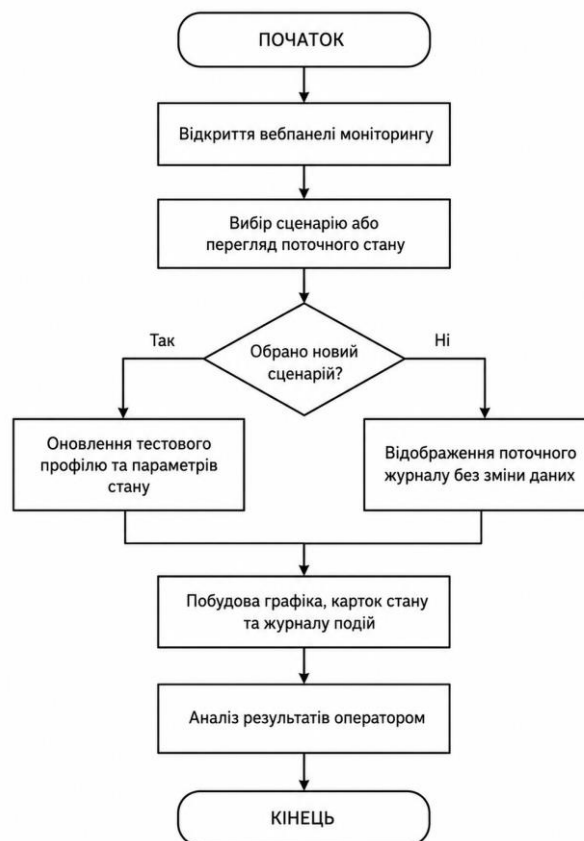


Рисунок 3.5 – Блок-схема взаємодії користувача з вебінтерфейсом

3.4 Структура програмних компонентів вебінтерфейсу

Програмна частина вебінтерфейсу має модульну організацію. Незважаючи на те, що поточна реалізація є демонстраційною і не містить окремого серверного рівня, її внутрішню структуру доцільно розглядати як набір логічних компонентів. Такий підхід полегшує пояснення роботи системи і створює основу для подальшого розвитку у напрямі повноцінної клієнт-серверної архітектури.

Першим логічним компонентом є блок сценарних даних. У ньому зберігаються еталонний профіль і поточні профілі для різних режимів роботи. Цей блок замінює реальне джерело вимірювань. Його використання дозволяє повторювано демонструвати однакові стани системи: норму, попередження, деградацію, обрив і шум. Повторюваність сценаріїв є важливою для захисту роботи, оскільки дає змогу стабільно показати очікуваний результат.

Другим компонентом є модуль аналізу. Він порівнює поточний профіль з еталонним і визначає характер відхилення. У межах вебінтерфейсу цей модуль реалізує пороговий підхід. Такий підхід є зрозумілим, прозорим і добре підходить для навчальної роботи, оскільки дозволяє пояснити, чому система переходить у стан попередження або аварії. У разі розширення системи цей модуль може бути доповнений статистичним аналізом або методами машинного навчання.

Третім компонентом є модуль стану, який перетворює результат аналізу на зрозумілу форму для інтерфейсу. Саме він визначає, що потрібно показати в картках: “Справна”, “Попередження” або “Аварія”, яку відстань вказати як місце події та який рівень ризику відобразити. Завдяки такому розділенню логіки інтерфейс не аналізує дані самостійно, а отримує вже підготовлений результат.

Четвертий компонент відповідає за побудову графіка. Він отримує еталонний і поточний профілі та відображає їх на координатній площині. Графічна форма є важливою, оскільки пошкодження кабелю часто зручніше аналізувати саме за зміною профілю вздовж траси. Навіть у демонстраційній

моделі графік дозволяє побачити різницю між нормальним режимом і аварійним сценарієм.

П'ятий компонент формує журнал подій. Його завдання полягає в тому, щоб кожна зміна стану була зафіксована у хронологічному вигляді. У реальній системі журнал мав би зберігатися у базі даних. У вебінтерфейсі він відображається у вебінтерфейсі, що достатньо для демонстрації функціональної ідеї. Такий журнал важливий для подальшого аналізу аварій, перевірки реакції системи та документування роботи оператора.

Шостим компонентом є панель оператора. Вона об'єднує всі результати роботи системи в одному інтерфейсі. Через неї користувач вибирає сценарій, переглядає стан лінії, аналізує графік, контролює пороги та переглядає журнал. Панель оператора є головним елементом взаємодії людини з кіберфізичною системою.



Рисунок 3.6 – Структура програмних компонентів вебінтерфейсу

На рисунку 3.6 наведено узагальнену структуру програмних компонентів. Вона показує, що дані сценаріїв проходять через модуль аналізу, після чого результат передається до модуля стану, графіка, журналу подій і панелі оператора. Така схема не описує конкретні файли і є доречним для пояснення архітектури у дипломній роботі.

У межах практичної реалізації важливо не перебільшувати можливості вебінтерфейсу. Він не має повноцінної бази даних, серверної автентифікації, апаратного підключення до OTDR або автоматичного надсилання аварійних повідомлень. Водночас його структура демонструє, як такі функції можуть бути додані надалі. Наприклад, блок сценарних даних може бути замінений модулем приймання вимірювань, журнал подій - реальною базою даних, а панель оператора - багатокористувацьким вебкабінетом із правами доступу.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики демонстраційного вебпрототипу

Характеристика	Значення або опис
Тип реалізації	Демонстраційний вебпрототип без підключення до реального вимірювального обладнання
Призначення	Імітація роботи системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням темного волокна
Джерело вимірювальних даних	Вбудовані тестові профілі, які моделюють нормальний стан, підвищені втрати, деградацію з'єднання, обрив кабелю та шум вимірювань
Контрольована ділянка	До 10 км у межах демонстраційної моделі
Одиниці відображення профілю	Відстань уздовж лінії у кілометрах або метрах; рівень сигналу або затухання у dB
Поріг попередження	0,5 dB у демонстраційному інтерфейсі; значення може змінюватися як параметр моделі
Поріг аварії	1,5 dB у демонстраційному інтерфейсі; значення використовується для імітації критичного відхилення
Основні стани	Норма, попередження, аварія
Функції інтерфейсу	Вибір сценарію, перегляд стану лінії, відображення профілю, налаштування порогів, журнал подій, демонстрація логіки аналізу

Кінець таблиці 3.1

Спосіб журналювання	Формування записів подій у таблиці вебінтерфейсу з часом, типом події, відстанню, статусом і описом
Використання реальних вимірювань	Не передбачено у поточній версії; можливе як напрям подальшого розвитку через інтеграцію з OTDR або іншим модулем моніторингу
Обмеження	Модель не є промисловою системою, не виконує реальне вимірювання оптичної лінії та призначена для перевірки логіки роботи і демонстрації інтерфейсу

Таблиця 3.1 узагальнює технічні характеристики вебпрототипу. У ній свідомо розділено реалізовані можливості та обмеження. Це дає змогу коректно представити практичну частину як демонстраційну модель, а не як промислову систему. Такий підхід є важливим з погляду академічної доброчесності, оскільки в роботі не стверджується проведення реальних вимірювань або використання спеціалізованого обладнання, якщо цього фактично не виконувалося.

3.5. Демонстраційні сценарії роботи системи

Для перевірки працездатності практичної реалізації передбачено п'ять демонстраційних сценаріїв. Вони відповідають типовим станам, які можуть бути важливими під час контролю оптоволоконної лінії. Кожний сценарій змінює поточний профіль, після чого система оновлює статус, графік, картки стану та журнал подій.

Сценарій нормального режиму використовується як базовий. У цьому режимі поточний профіль не має суттєвих відхилень від еталонного, а система відображає статус "Норма". Такий режим необхідний для перевірки того, що система не формує хибні попередження за відсутності проблеми. Для систем

моніторингу це важливо, оскільки надмірна кількість хибних спрацьовувань знижує довіру оператора до результатів аналізу.

Сценарій підвищених втрат демонструє ситуацію, коли в певній частині лінії з'являється помітне погіршення параметрів, але воно ще не класифікується як критичне. У такому випадку система має сформувати попередження. Практичне значення цього сценарію полягає в тому, що оператор може звернути увагу на проблемну ділянку до виникнення повного обриву або значного погіршення якості зв'язку.

Сценарій деградації з'єднання моделює локальне погіршення параметрів у місці умовної муфти або з'єднання. Для реальних волоконно-оптичних ліній такі ділянки можуть бути вразливими через механічні впливи, старіння або неякісне виконання монтажу. У демонстраційній системі цей сценарій дозволяє показати, що відхилення не обов'язково пов'язане з повним обривом кабелю, а може мати локальний характер.

Сценарій обриву кабелю є аварійним. Він передбачає різке погіршення поточного профілю після певної точки. У вебінтерфейсі такий режим має переводити систему у стан аварії, вказувати приблизну локалізацію події та формувати відповідний запис у журналі. Саме цей сценарій найкраще демонструє практичну цінність системи, оскільки скорочення часу локалізації аварії є однією з ключових задач моніторингу оптоволоконної інфраструктури.

Сценарій шуму вимірювань показує, що не кожне коливання профілю слід трактувати як пошкодження. У реальних системах вимірювання можуть містити випадкові відхилення, похибки або нестабільність, пов'язану з умовами вимірювання. У вебінтерфейсі такий сценарій демонструє потребу у пороговому аналізі та обережній класифікації подій. Якщо шум не перевищує критичні межі, система не повинна формувати аварійний стан.

Кожен сценарій виконує окрему роль у перевірці логіки системи. Нормальний режим підтверджує відсутність хибних спрацьовувань, сценарій підвищених втрат демонструє перехід системи у попереджувальний стан, а

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сценарій обриву кабелю дозволяє перевірити формування аварійної події. Таким чином, сценарна перевірка дає змогу оцінити не лише зовнішній вигляд вебінтерфейсу, а й правильність роботи основних алгоритмічних рішень, закладених у демонстраційну реалізацію.

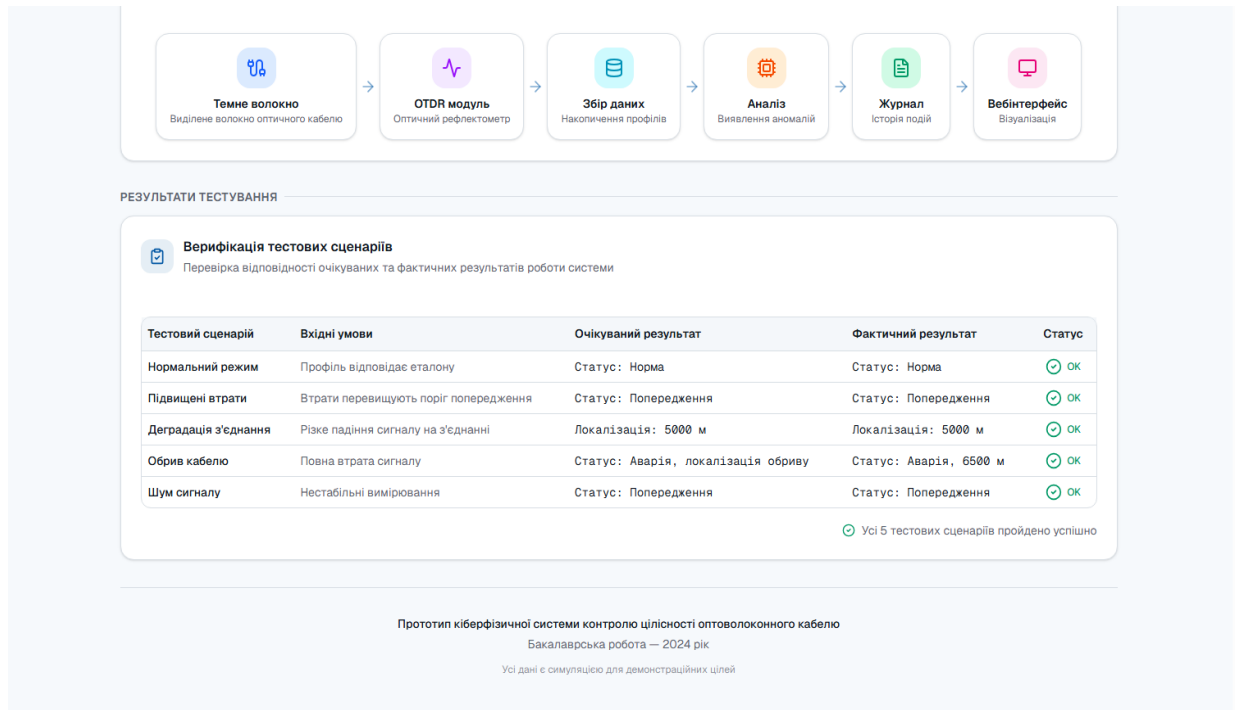


Рисунок 3.7 – Блок результатів перевірки демонстраційних сценаріїв

На рисунку 3.7 показано блок результатів перевірки сценаріїв. Він відображає очікуваний і фактичний результат для кожного режиму. Такий підхід дозволяє показати, що вебінтерфейс не є лише статичною сторінкою, а реагує на зміну вхідних умов. Для дипломної роботи це є достатнім підтвердженням працездатності реалізованої демонстраційної логіки.

Сценарне тестування не замінює випробування на реальній оптоволоконній лінії. Однак воно дозволяє перевірити внутрішню узгодженість вебінтерфейсу: вибір сценарію має змінювати профіль, зміна профілю має призводити до відповідного статусу, статус має відображатися у картках, а подія має бути зафіксована у журналі. Якщо всі ці переходи виконуються коректно,

можна зробити висновок, що програмна логіка реалізована відповідно до поставлених завдань.

Окремо слід зазначити, що для практичної реалізації обрано не складну багатомодульну систему, а компактний вебінтерфейс. Це зменшує технічну складність, однак не порушує змісту дипломної роботи, оскільки основна мета практичної частини полягає не у створенні промислового продукту, а у демонстрації принципу функціонування кіберфізичної системи контролю цілісності кабелю. Такий результат відповідає рівню бакалаврської роботи за спеціальністю комп'ютерна інженерія, оскільки поєднує системне проєктування, обробку даних, інтерфейс користувача та сценарну перевірку.

3.6. Оцінка обмежень і напрями подальшого розвитку

Розроблений вебінтерфейс має низку обмежень, які необхідно чітко зазначити. По-перше, він не підключений до реального оптоволоконного кабелю і не отримує фактичні результати вимірювань. По-друге, у ньому використано спрощену порогову модель, яка не враховує всі фактори, що впливають на результати реальних оптичних вимірювань. По-третє, журнал подій реалізований як демонстраційний елемент інтерфейсу, а не як повноцінне довготривале сховище даних.

Водночас ці обмеження не знижують цінності вебінтерфейс як навчальної та демонстраційної реалізації. Він дозволяє перевірити основну логіку системи, сформулювати уявлення про інтерфейс оператора, показати взаємозв'язок між вимірювальним профілем і статусом лінії, а також підготувати основу для подальшого розширення. У контексті дипломної роботи важливо, що вебінтерфейс побудовано відповідно до теми та не містить необґрунтованих тверджень про функції, які фактично не реалізовані.

Найбільш очевидним напрямом розвитку є інтеграція з реальним вимірювальним обладнанням. У такому разі замість вбудованих сценаріїв

система могла б отримувати дані від OTDR, оптичного вимірювача потужності або іншого джерела. Для цього необхідно розробити окремий модуль збору даних, визначити формат обміну та реалізувати механізм періодичного опитування. Після цього вебінтерфейс міг би відображати не змодельовані, а фактичні результати моніторингу.

Другим напрямом розвитку є впровадження повноцінного серверного рівня і бази даних. Це дозволило б зберігати історію вимірювань, виконувати аналіз тенденцій, будувати звіти та переглядати архів подій. Для експлуатаційної системи така функція є важливою, оскільки окреме вимірювання не завжди дає повну картину стану лінії. Накопичення історії дає змогу виявляти поступову деградацію та планувати профілактичне обслуговування.

Третім напрямом є розширення логіки аналізу. Замість простого порогового підходу можна застосувати статистичні методи, адаптивні пороги або моделі машинного навчання. Проте такі підходи потребують достатньої кількості реальних даних, тому в межах поточної роботи вони не реалізовувалися. Їх доречно розглядати як перспективу подальших досліджень.

Четвертим напрямом є розвиток засобів сповіщення. У демонстраційному вебінтерфейсі події відображаються у журналі вебінтерфейсу. У практичній системі доцільно додати надсилання повідомлень через електронну пошту, месенджер, SMS або інтеграцію з системою моніторингу підприємства. Це дозволило б скоротити час реагування на аварії та підвищити ефективність експлуатаційної служби.

Таким чином, розроблена практична реалізація є обґрунтованим першим етапом створення системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Вона не замінює промисловий комплекс моніторингу, але демонструє архітектурну та програмну ідею, на основі якої може бути побудована складніша система.

3.7. Методичне значення реалізованого вебінтерфейсу для дипломної роботи

Реалізований вебінтерфейс виконує також методичну функцію, оскільки дозволяє пов'язати теоретичні положення першого і другого розділів з практичною демонстрацією. У першому розділі було обґрунтовано доцільність використання темного волокна як контрольного каналу, а у другому розділі сформовано архітектуру системи. У третьому розділі ці положення відображено через інтерфейс, сценарії, графік профілю та журнал подій. Завдяки цьому робота має завершений вигляд: від аналізу предметної області до демонстрації програмної реалізації.

З погляду комп'ютерної інженерії важливо, що практична реалізація поєднує декілька складових: представлення даних, обробку стану, візуалізацію результатів, взаємодію з користувачем та формування подій. Навіть без підключення реального обладнання така структура демонструє базові принципи побудови програмно-апаратних систем моніторингу. У разі заміни імітаційного джерела даних на реальний вимірювальний модуль загальна логіка інтерфейсу та обробки може залишатися подібною.

Перевагою обраного підходу є його прозорість. Усі сценарії мають зрозумілу інтерпретацію, а результати легко перевірити візуально. Це важливо для бакалаврської роботи, оскільки практична частина має бути не лише формально реалізована, а й зрозуміла під час захисту. Оператор або член комісії може послідовно обрати кожний сценарій і побачити, як змінюється статус системи, графік, рівень ризику та журнал подій.

Ще однією перевагою є відсутність необґрунтованої складності. У роботі не вводяться зайві сутності, які не впливають на досягнення мети. Замість цього увагу зосереджено на ключовому процесі: контрольний профіль порівнюється з еталонним, після чого система класифікує стан лінії та відображає результат.

Така реалізація є достатньою для підтвердження основної ідеї дипломної роботи та водночас залишає простір для подальшого інженерного розвитку.

Для коректного використання вебінтерфейсу у складі дипломної роботи необхідно розуміти межі між демонстраційною та експлуатаційною реалізацією. Демонстраційна реалізація показує логіку функціонування, структуру інтерфейсу і взаємодію основних інформаційних елементів. Експлуатаційна реалізація, навпаки, потребувала б підключення реального обладнання, перевірки точності вимірювань, збереження історії в базі даних, захисту каналу передавання даних та тестування у різних умовах роботи кабельної інфраструктури. У цій роботі свідомо обрано перший варіант, оскільки він відповідає навчальній меті та не створює хибного уявлення про проведення повноцінних промислових випробувань.

Результати перевірки показують, що реалізований вебінтерфейс забезпечує наочне подання стану оптоволоконної лінії та дозволяє відстежувати зміну вимірювального профілю залежно від вибраного сценарію. При переході між сценаріями оновлюються основні інформаційні блоки: поточний статус лінії, рівень ризику, тип виявленої події, орієнтовна локалізація проблемної ділянки та запис у журналі подій. Це підтверджує узгодженість між логікою аналізу даних і способом подання результатів у вебінтерфейсі.

Оскільки в роботі використовуються підготовлені тестові дані, отримані результати слід розглядати як демонстрацію принципу функціонування системи, а не як результат реальних польових вимірювань. Водночас така реалізація дозволяє перевірити основну послідовність роботи: формування поточного профілю, порівняння з еталонним станом, визначення відхилення, класифікацію події та відображення результату оператору. Надалі цей підхід може бути розширений шляхом підключення реального OTDR або іншого вимірювального модуля.

Під час підготовки матеріалів до захисту реалізований інтерфейс може бути використаний для створення скріншотів, які ілюструють різні стани

системи. Доцільно показати нормальний режим, режим попередження і режим аварії. Це дозволяє наочно продемонструвати, що система не обмежується статичним представленням інформації, а реагує на зміну вхідного профілю. Особливу увагу варто приділити журналу подій, оскільки саме він показує, що результат аналізу зберігається у вигляді структурованого запису.

Для пояснення практичної реалізації під час захисту доцільно дотримуватися послідовності, яка відповідає логіці розділу. Спочатку потрібно показати загальну панель системи, далі пояснити призначення сценаріїв, після цього перейти до графіка профілю та порогів, а потім продемонструвати журнал подій і блок результатів тестування. Така послідовність є зрозумілою, оскільки відображає природний цикл роботи системи: вибір умов, отримання профілю, аналіз, класифікація стану та фіксація події.

Змістовно вебінтерфейс також демонструє зв'язок між технічною та програмною частинами системи. Технічна частина представлена поняттями темного волокна, контрольованої ділянки, профілю затухання та порогів. Програмна частина представлена інтерфейсом, логікою класифікації, журналюванням і візуалізацією. Саме поєднання цих елементів дає підстави розглядати реалізацію не як звичайну вебсторінку, а як модель кіберфізичної системи.

У разі подальшого розвитку реалізація може бути адаптована для більш складних сценаріїв. Наприклад, можна додати кілька контрольованих ліній, різні профілі для різних типів кабелю, карту траси, історію вимірювань за певний період, профілі користувачів та механізм підтвердження обробки аварії оператором. Проте ці можливості виходять за межі поточної роботи, оскільки основне завдання полягає у підтвердженні базового принципу контролю цілісності за допомогою аналізу профілю темного волокна.

У підсумку практична частина підтверджує, що запропонована система може бути представлена як кіберфізична модель, у якій фізичний об'єкт контролю відображається через цифровий профіль, а програмна частина виконує

аналіз і візуалізацію стану. Це відповідає темі роботи та дозволяє обґрунтовано перейти до загальних висновків дипломної роботи.

3.8. Висновок до третього розділу

У третьому розділі розглянуто практичну реалізацію кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю у вигляді демонстраційного вебінтерфейс. Показано, що запропонована реалізація відповідає темі дипломної роботи, оскільки моделює використання темного волокна як контрольного каналу, забезпечує відображення стану лінії, профілю затухання, порогових параметрів і журналу подій.

Описано організацію даних вебінтерфейсу, у якій еталонний профіль використовується як базовий стан лінії, а поточні профілі відповідають різним сценаріям роботи. Формалізовано логіку аналізу у вигляді псевдокоду та подано блок-схеми, що відображають послідовність обробки вимірювального профілю і взаємодію користувача з вебінтерфейсом.

Розглянуто структуру програмних компонентів вебінтерфейсу, зокрема блок сценарних даних, модуль аналізу, модуль стану, графічне відображення профілю, журнал подій і панель оператора. Наведено технічні характеристики демонстраційної реалізації та пояснено її обмеження. Окремо зазначено, що вебінтерфейс працює зі змодельованими даними і не є промисловою системою вимірювання.

Проведений опис сценаріїв підтверджує, що вебінтерфейс дозволяє продемонструвати нормальний режим, підвищені втрати, деградацію з'єднання, обрив кабелю та шум вимірювань. Отримане рішення може бути використане як основа для подальшого розвитку системи шляхом підключення реального вимірювального модуля, впровадження серверної частини, бази даних, розширеної аналітики та засобів автоматичного сповіщення.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто задачу розроблення кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням “темних” волокон. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення надійності волоконно-оптичної інфраструктури, своєчасного виявлення пошкоджень кабельних ліній та забезпечення оперативного реагування на аварійні ситуації.

У першому розділі було проаналізовано волоконно-оптичні лінії зв’язку як об’єкт контролю, розглянуто характерні причини виникнення пошкоджень оптоволоконних кабелів та основні підходи до їх діагностики. Окрему увагу приділено використанню “темних” волокон як окремого каналу моніторингу, що дозволяє здійснювати контроль стану кабельної лінії без втручання в активні канали передавання даних. За результатами аналізу обґрунтовано доцільність застосування кіберфізичного підходу для побудови системи контролю цілісності оптоволоконної інфраструктури.

У другому розділі було сформовано архітектуру розподіленої кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Визначено основні компоненти системи, серед яких фізичний рівень, вимірювальний модуль, модуль збору даних, модуль аналізу, журнал подій, вебінтерфейс оператора та підсистема сповіщень. Описано функціональні завдання компонентів, принципи їх взаємодії, інформаційні потоки, а також підходи до забезпечення надійності, масштабованості та базової кібербезпеки системи.

У третьому розділі було описано практичну реалізацію вебінтерфейсу кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю. Вебінтерфейс призначений для демонстрації роботи системи на підготовлених тестових сценаріях, які відображають типові стани оптоволоконної лінії: нормальний режим, підвищені втрати, деградацію з’єднання, обрив кабелю та шум у вимірюваннях. У межах реалізації передбачено відображення поточного

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стану лінії, профілю загасання сигналу, налаштування порогових значень, журналу подій, блок-схеми роботи системи та результатів сценарної перевірки.

Розроблений вебінтерфейс забезпечує наочне подання основної логіки функціонування системи: порівняння поточного профілю з еталонним, визначення перевищення порогових значень, класифікацію стану лінії, локалізацію можливої проблемної ділянки та формування запису в журналі подій. Використання підготовлених тестових даних є доцільним для демонстраційної реалізації, оскільки дозволяє перевірити архітектурні, алгоритмічні та інтерфейсні рішення без застосування спеціалізованого вимірювального обладнання.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована архітектура та реалізований вебінтерфейс можуть бути використані як основа для подальшого створення програмно-апаратної системи моніторингу оптоволоконної інфраструктури. Подальший розвиток системи може передбачати інтеграцію з реальним вимірювальним обладнанням, додавання серверної частини, бази даних, механізмів авторизації користувачів, автоматизованих сповіщень та підтримки одночасного контролю кількох кабельних ліній.

Отже, поставлену мету дипломної роботи досягнуто: проаналізовано відомі підходи до контролю волоконно-оптичних ліній, обґрунтовано використання “темних” волокон, розроблено архітектуру кіберфізичної системи та реалізовано вебінтерфейс для демонстрації контролю цілісності оптоволоконного кабелю.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Про електронні комунікації : Закон України від 16.12.2020 р. № 1089-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20> (дата звернення: 02.05.2026).

2. Про критичну інфраструктуру : Закон України від 16.11.2021 р. № 1882-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20> (дата звернення: 02.05.2026).

3. НКЕК. Річний звіт НКЕК за 2024 рік. Київ, 2025. URL: <https://nkek.gov.ua/pro-nkek/zvity-nkek/richnyi-zvit-nkek-za-2024-rik> (дата звернення: 02.05.2026).

4. ITU-T Recommendation L.312/L.68 (01/2024). Optical fibre cable maintenance support, monitoring and testing system for optical fibre cable networks carrying high total optical power. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.312/en> (дата звернення: 02.05.2026).

5. ITU-T Recommendation L.250/L.90 (01/2024). Topologies for optical access network. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.250/en> (дата звернення: 02.05.2026).

6. ITU-T Recommendation L.340/L.74 (06/2023). Maintenance of underground telecommunication facilities. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.340/en> (дата звернення: 02.05.2026).

7. ITU-T Recommendation L.101 (08/2024). Optical fibre cables for directly buried application. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.101/en> (дата звернення: 02.05.2026).

8. ITU-T Technical Report LSTP-GLSR (07/2024). Guide on the use of ITU-T L-series Recommendations related to optical technologies for outside plant. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-L-2024-1-PDF-E.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

9. ITU-T Technical Report GSTR-SDM (09/2022). Optical fibre, cable and related equipment for space division multiplexing. URL:

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2022-1-PDF-E.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

10. IEC 60793-1-40:2019. Optical fibres. Part 1-40: Attenuation measurement methods. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/60732> (дата звернення: 02.05.2026).

11. IEC 60794-1-2:2021. Optical fibre cables. Part 1-2: Generic specification. Basic optical cable test procedures. General guidance. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/64652> (дата звернення: 02.05.2026).

12. IEC 60794-1-21:2015+AMD1:2020 CSV. Optical fibre cables. Part 1-21: Generic specification. Basic optical cable test procedures. Mechanical test methods. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/66650> (дата звернення: 02.05.2026).

13. IEC 61300-3-35:2022. Fibre optic interconnecting devices and passive components. Basic test and measurement procedures. Part 3-35: Visual inspection of fibre optic connectors and fibre-stub transceivers. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/64254> (дата звернення: 02.05.2026).

14. ДСТУ EN 61746-1:2022. Калібрування оптичних рефлектометрів у часовій області (OTDR). Частина 1. OTDR для одномодових волокон. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=101076 (дата звернення: 02.05.2026).

15. NIST. The Cybersecurity Framework (CSF) 2.0 : NIST CSWP 29. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2024. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.29.pdf> (дата звернення: 02.05.2026).

16. Stouffer K. et al. Guide to Operational Technology (OT) Security : NIST Special Publication 800-82 Rev. 3. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2023. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r3.pdf> (дата звернення: 02.05.2026).

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection. Information security management systems. Requirements. URL: <https://www.iso.org/standard/27001> (дата звернення: 02.05.2026).

18. ENISA. Telecom Security Incidents 2024. Heraklion : European Union Agency for Cybersecurity, 2025. URL: https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2025-07/ENISA_Telecom_Security_Incidents_2024_en_1.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

19. IOWN Global Forum. Fiber Sensing for Open APN : Technical Outlook. Version 1.0. 2025. URL: https://iowngf.org/wp-content/uploads/2025/02/IOWN-GF-RD-FS_for_Open_APN-1.0.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

20. EXFO. OTDR User Guide. 2025. URL: https://files.plytix.com/api/v1.1/file/public_files/pim/assets/07/4f/50/62/62504f0758feafd155be4b92/texts/f4/93/2f/68/682f93f456cc2bf4a2f6d447/OTDR%20User%20Guide%20EN.pdf (дата звернення: 02.05.2026).

21. VIAVI Solutions. OTDR Application User Manual: 4100-Series OTDR Modules and SmartOTDR. 2025. URL: <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/otdr-application-user-manual-4100-series-otdr-modules-and-smartotdr-manuals-user-guides-en.pdf> (дата звернення: 02.05.2026).

22. Fluke Networks. OTDR - Optical Time Domain Reflectometer. 2021. URL: <https://www.flukenetworks.com/expertise/learn-about/otdr> (дата звернення: 02.05.2026).

23. VIAVI Solutions. Test and Monitoring Solutions for Fiber to the Home (FTTH). 2021. URL: <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/test-and-monitoring-solutions-fiber-home-ftth-selection-guides-en.pdf> (дата звернення: 02.05.2026).

24. TREND Networks. A Guide to OTDR Technology for Fibre Optic Networks. 2025. URL: <https://www.trend-networks.com/a-guide-to-otdr-technology-for-fibre-optic-networks/> (дата звернення: 02.05.2026).

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Fluke Networks. Easier Fiber End Face Inspections: Changes to IEC 61300-3-35. 2025. URL: <https://www.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/easier-fiber-end-face-inspection> (дата звернення: 02.05.2026).

26. Ribbon Communications. Continuous Fiber Optic Health Monitoring with Centralized OTDR. 2020. URL: <https://ribboncommunications.com/company/media-center/blog/continuous-fiber-optic-health-monitoring-centralized-otdr> (дата звернення: 02.05.2026).

27. M2 Optics. Fiber Monitoring for Reliable Network Performance. 2020. URL: <https://www.m2optics.com/blog/fiber-monitoring-for-reliable-performance> (дата звернення: 02.05.2026).

28. Chen X., Liu C.-Y., Proietti R., Li Z., Yoo S. J. B. Automating Optical Network Fault Management with Machine Learning. *IEEE Communications Magazine*. 2022. Vol. 60, No. 12. P. 88–94. DOI: 10.1109/MCOM.003.2200110.

29. Abdelli K., Tropschug C., Griesser H., Pachnicke S. Fault Monitoring in Passive Optical Networks using Machine Learning Techniques. *ICTON 2023 : proceedings of the International Conference on Transparent Optical Networks*. 2023. DOI: 10.1109/ICTON59386.2023.10207489.

30. Straub M., Saier T., Reber J. et al. AI-based OTDR Event Detection, Classification and Assignment to ODN Branches in Passive Optical Networks. *ECOC 2023 : IET Conference Proceedings*. 2024. P. 1146–1149. DOI: 10.1049/icp.2023.2469.

31. Abdelli K., Cho J. Y., Azendorf F., Griesser H., Tropschug C., Pachnicke S. Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring. *Journal of Optical Communications and Networking*. 2022. Vol. 14, No. 5. P. 365–375. DOI: 10.1364/JOCN.451289.

32. Ibrahim A. A., Fouad M. M., Hamdi A. A. Remote Real-Time Optical Layers Performance Monitoring Using a Modern FPMT Technique Integrated with an EDFA Optical Amplifier. *Electronics*. 2023. Vol. 12, No. 3. Article 601. DOI: 10.3390/electronics12030601.

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Zhirnov A. A. et al. Fiber-Optic Telecommunication Network Wells Monitoring by Phase-Sensitive Optical Time-Domain Reflectometer with Disturbance Recognition. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 10. Article 4978. DOI: 10.3390/s23104978.

34. He Z., Liu Q. Optical Fiber Distributed Acoustic Sensors: A Review. *Journal of Lightwave Technology*. 2021. Vol. 39, No. 12. P. 3671–3686. DOI: 10.1109/JLT.2021.3059771.

35. Soriano-Amat M. et al. Time-expanded phase-sensitive optical time-domain reflectometry. *Light: Science & Applications*. 2021. Vol. 10. Article 51. DOI: 10.1038/s41377-021-00490-0.

36. Chamoin L., Farahbakhsh S., Poncelet M. An educational review on distributed optic fiber sensing based on Rayleigh backscattering for damage tracking and structural health monitoring. *Measurement Science and Technology*. 2022. DOI: 10.1088/1361-6501/ac8f55.

37. Zhang X., Zhu H., Jiang X., Broere W. Distributed fiber optic sensors for tunnel monitoring: a state-of-the-art review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024. Vol. 16, No. 9. P. 3841–3863. DOI: 10.1016/j.jrmge.2024.01.008.

38. Zhang X. et al. Fiber-Optic Distributed Acoustic Sensing for Smart Grid Application. *Photonics*. 2025. Vol. 12, No. 1. Article 7. DOI: 10.3390/photonics12010007.

39. Thévenaz L. Distributed optical fiber sensors: what is known and what is to be known. *Frontiers in Sensors*. 2025. DOI: 10.3389/fsens.2025.1546392.

40. Liu H., Zhao T., Zhang M. OTDR Development Based on Single-Mode Fiber Fault Detection. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 14. Article 4284. DOI: 10.3390/s25144284.

41. ITU-T Recommendation G.652 (08/2024). Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=16060> (дата звернення: 02.05.2026).

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

42. ITU-T Recommendation G.657 (08/2024). Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-202408-I>(дата звернення: 02.05.2026).

43. ITU-T Recommendation G.650.3 (08/2017). Test methods for installed single-mode optical fibre cable links. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=9366>(дата звернення: 02.05.2026).

44. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 42010:2025. Програмні засоби, системи та підприємство. Опис архітектури (ISO/IEC/IEEE 42010:2022, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=116519(дата звернення: 02.05.2026).

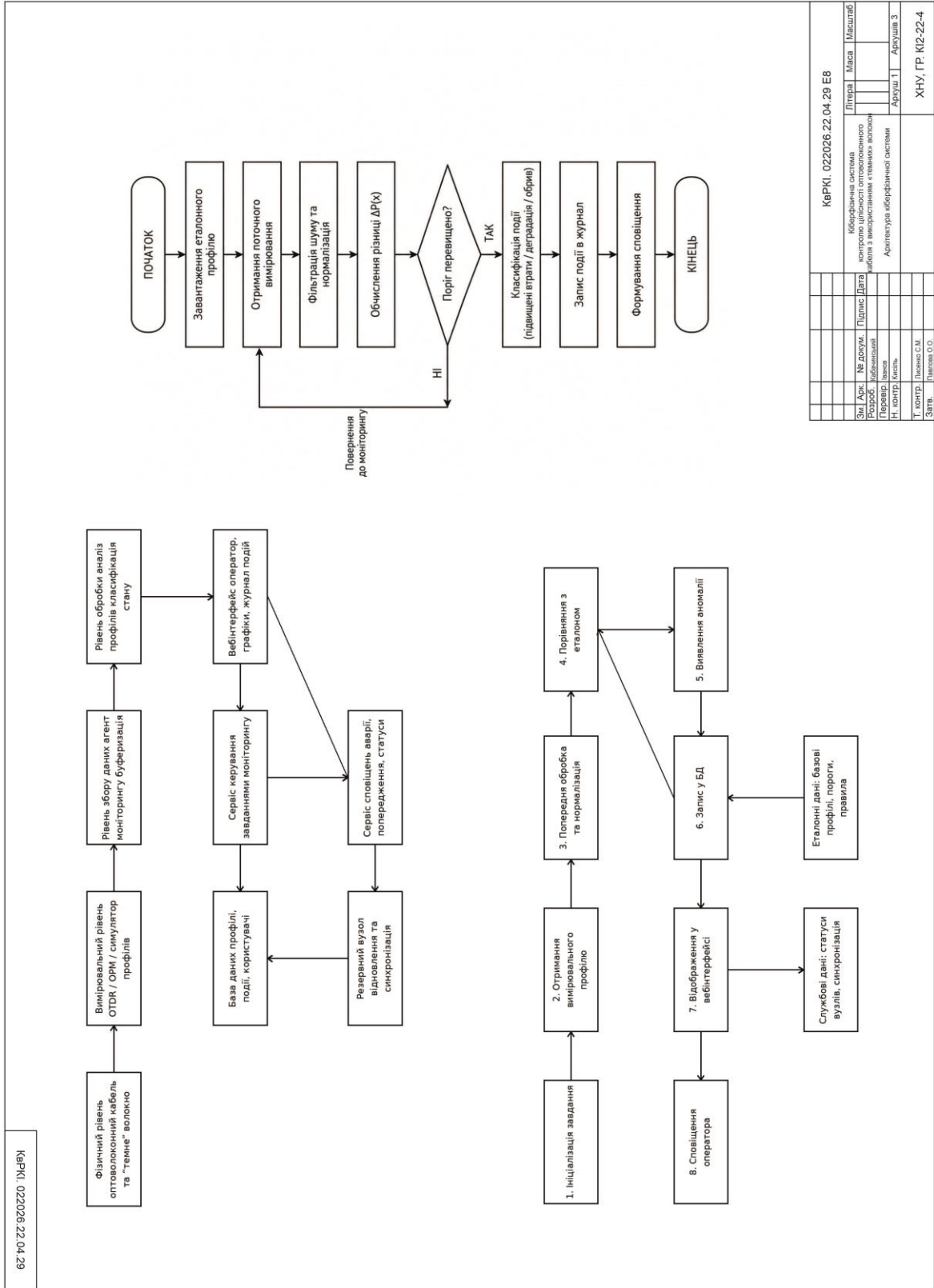
45. Ross R., Pillitteri V., Graubart R., Bodeau D., McQuaid R. Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach : NIST Special Publication 800-160, Vol. 2 Rev. 1. Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2021. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-160v2r1. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-160v2r1.pdf>(дата звернення: 02.05.2026).

					КВРКІ. 022026.22.04.29 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

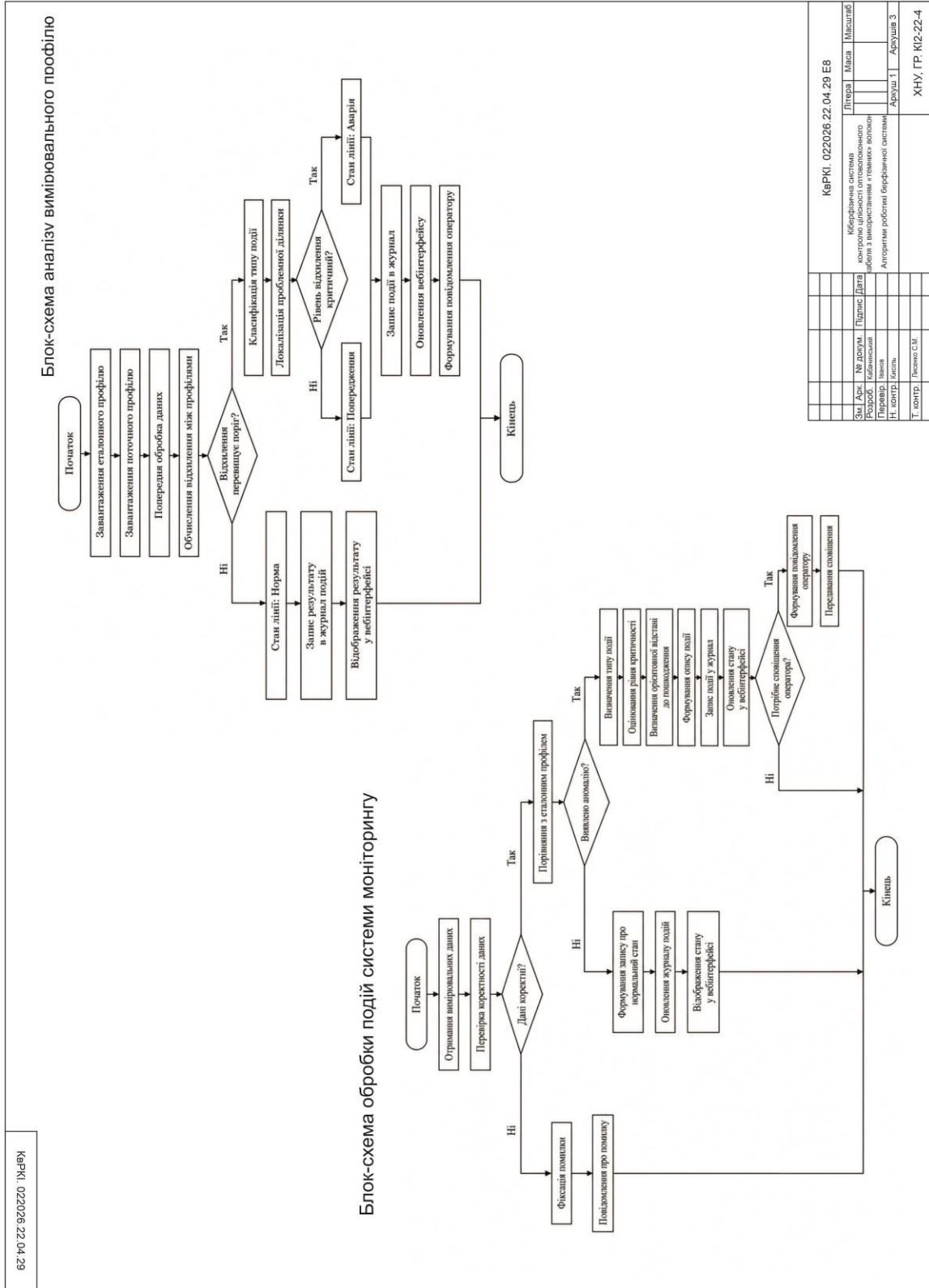
Копія креслення «Архітектура кіберфізичної системи»



ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Копія креслення «Алгоритми роботи кіберфізичної системи»



Зав. кафедри КІС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Віталій КАБАЧИНСЬКИЙ

ГПБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-4

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповішений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Кабачинський Віталій Валерійович

Тема: Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон.

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи система контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темних» волокон
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області, розглянуто волоконно-оптичну лінію зв'язку як об'єкт контролю, визначено типові дефекти оптоволоконного кабелю та методи їх виявлення. Проаналізовано сучасні підходи до моніторингу стану ВОЛЗ, зокрема використання OTDR, OPM, систем дистанційного тестування, розподілених волоконно-оптичних сенсорів і методів машинного навчання. У другому розділі розроблено архітектуру кіберфізичної системи контролю цілісності оптоволоконного кабелю з використанням «темного» волокна, визначено основні функціональні компоненти системи, інформаційні потоки між ними та принципи взаємодії фізичного, програмного й інформаційного рівнів. У третьому розділі описано практичну реалізацію демонстраційного вебінтерфейсу системи, наведено логіку аналізу вимірювального профілю, сценарії перевірки роботи, блок-схеми алгоритмів, екранні форми та результати тестування на підготовлених наборах даних. У роботі використано сучасні підходи до побудови кіберфізичних систем,

аналізу вимірювальних профілів, візуалізації технічних даних і організації подальшої інтеграції з реальним OTDR або іншим вимірювальним модулем.

4. Позитивні сторони роботи: добра практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: практична реалізація була без використання OTDR-обладнання.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

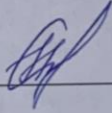
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: *добре*

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Петлюк Наталія Серіївна, Р.б.Д., доцент кафедри КБ

“*08*” *червня* 2026 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань
 Автор Віталій КАБАЧИНСЬКИЙ
 Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
 Науковий керівник: к.т.н., доцент Олексій ІВАНОВ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

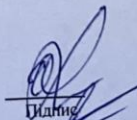
- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформлені посилання;
 - 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
 - 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
 - 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4,58%; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

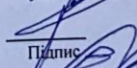
01.06.2026


Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


Підпис


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Олексій ІВАНОВ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилко в документах: 10%

ID: 271880 Назва: БКР Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабеля з використанням «темних» волокон Додано в БД: 2026-05-21 Автора: В.В. Кабачинський Керівники: О.В. Іванов Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	93034	764	2660 (3%)	34 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: В.В. Кабачинський

Співавтор:

Назва: Кіберфізична система контролю цілісності оптоволоконного кабеля з використанням «темних» волокон

Експерт: О.В. Іванов

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 4.58%

Коефіцієнт подібності 2: 0.76%

Мікропробіли: 4

Заміна букв: 4

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-21 11:00:15.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-05-21

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт