

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

РОМАНІВ Андрій Миколайович

**РОЗПОДІЛЕНА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ
ЗАЛІЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА / DISTRIBUTED COMPUTESZED
SYSTEM FOR MONITORING THE STATE OF THE RAILWAY TRACK**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
магістерська програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Магістерська робота

Виконав студент групи АКІТм-21
А.М.Романів

Науковий керівник:
к.т.н., доцент І.Р. Пітух

Магістерську роботу допущено до захисту:

" ____ " _____ 20__ р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2023

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

РОМАНІВ Андрій Миколайович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Розподілена комп'ютеризована система контролю стану залізничного полотна / Distributed Computerized system for monitoring the state of the railway track.

керівник роботи к.т.н., доцент І.Р. Пітух
затверджені наказом по університету від 8 грудня 2022 р. № 491

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

30 листопада 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Система залізничної інфраструктури.
2. Технології та системи контролю стану залізничного полотна.
3. Автоматизовані системи управління залізничним господарством.
4. Ультразвукові системи виявлення дефектів.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Аналіз сучасного стану та технології моніторингу залізничної інфраструктури.
2. Обґрунтування вибору компонентів та проектування розподіленої комп'ютеризованої системи.
3. Реалізація розподіленої комп'ютеризованої системи контролю стану залізничного полотна.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Архітектура розподіленої комп'ютеризованої системи.
2. Структурна схема РКС відділу діагностування ЗДП.
3. Структурна схема РКС мобільної діагностувальної бригади.
4. Схема імітаційної моделі РКС.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану та технології моніторингу залізничної інфраструктури	12.2022р. – 02.2023р.	
2	Обґрунтування вибору компонентів та проектування розподіленої комп'ютеризованої системи	03.2023р. – 06.2023р.	
3	Реалізація розподіленої комп'ютеризованої системи контролю стану залізнодорожного полотна	07.2023р. – 11.2023р.	

Студент

(підпис)

А.М. Романів

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 87 сторінках та містить 54 рисунки, 3 таблиці, 3 додатки, 37 джерел за переліком посилань.

Мета кваліфікаційної роботи. Проектування розподіленої комп'ютеризованої системи для ефективного контролю та підтримки якості залізничного покриття за допомогою ультразвукових методів

Результати роботи. Запропонована архітектура та здійснено підбір технічних засобів для реалізації розподіленої комп'ютеризованої системи, яка забезпечує ефективний контроль та діагностику стану залізничного покриття за допомогою ультразвукових методів, Система забезпечує можливість оперативного діагностування дефектів, моніторинг у реальному часі та глибокий аналіз результатів дефектоскопії за допомогою АСУ для реагування на проблеми, що сприяє підвищенню загальної безпеки та надійності залізничного транспорту. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи, драйвер послідовного інтерфейсу та відповідні налаштування.

Рекомендації по використанню результатів роботи. Проектована розподілена комп'ютеризована система може бути корисною для залізничного транспорту. Використання клієнт-серверної архітектури та розподілу функціональних можливостей, на відділ діагностування та мобільну діагностичну бригаду, може сприяти оперативному контролю та реагуванню на стан залізничного покриття.

Ключові слова: ЗАЛІЗНИЧНЕ ПОКРИТТЯ, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ, КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА, ДЕФЕКТОСКОПІЯ, КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА АРХІТЕКТУРА, МОНІТОРИНГ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ, БЕЗПЕКА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ.

ABSTRACT

Work is executed on 87 pages and including 54 illustrations, 3 tables, 3 additions, 37 sources after the list of references.

The purpose of the qualification work. Designing a distributed computerized system for effective monitoring and maintenance of railway infrastructure using ultrasonic methods.

Research results. The proposed architecture and the selection of technical resources have been employed to implement a distributed computerized system, facilitating efficient monitoring and diagnosis of railway track conditions using ultrasonic methods. The system enables real-time defect diagnosis, continuous monitoring, and in-depth analysis of defectoscopy results via an Automated Control System (ACS) to address issues promptly, thereby enhancing overall railway safety and reliability. Additionally, algorithmic and software components for the system, along with a serial interface driver and relevant configurations, have been developed.

Recommendations for the use of work results The proposed distributed computerized system can be beneficial for railway transportation. Utilizing client-server architecture and distributing functional capabilities between the diagnostic department and mobile diagnostic brigade can facilitate prompt monitoring and response to the condition of railway tracks.

Keywords: RAILWAY TRACK, ULTRASONIC INSPECTION, COMPUTERIZED SYSTEM, DEFECTOSCOPY, CLIENT-SERVER ARCHITECTURE, REAL-TIME MONITORING, RAILWAY SAFETY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	11
1.1 Основні тенденції залізничних перевезень України.....	11
1.2 Система залізнодорожного господарства.....	14
1.3 Моніторинг та контроль стану залізничного полотна.....	17
1.4 Технології та системи контролю стану залізничного полотна.....	21
1.4.1 Діагностичні шляховимірювальні засоби.....	22
1.4.2 Дефектоскопні засоби.....	25
2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	31
2.1 Автоматизовані системи управління залізничним господарством.....	31
2.2 Обґрунтування вибору методів та засобів неруйнівного контролю.....	35
2.3 Розробка розподіленої комп'ютеризованої системи ультразвукового контролю стану залізнодорожного полотна.....	45
2.4 Обґрунтування виборур технічних засобів для реалізації системи.....	49
2.5 Імітаційна модель розподіленої системи контролю залізнодорожного покриття	57
3. РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЛІЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА.....	63
3.1 Розробка алгоритмічного забезпечення.....	63
3.2 Налаштування обладнання для роботи в GSM-каналі.....	68
3.3 3.3 Розробка програмного забезпечення.....	71
3.4 Розробка драйвера послідовного інтерфейсу.....	80

ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТОК А Лістинг коду БД обліку і обробки запитів.....	88
ДОДАТОК Б Драйвер послідовного інтерфейсу.....	91
ДОДАТОК В Копії публікацій.....	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ - автоматизоване робоче місце;
АСУ - автоматизована система управління;
БД - база даних;
ВБШ - верхня будова шляху;
ДП - діагностичний потяг;
ЗДП - залізнодорожне полотно;
ОС - операційна система;
ПЗ - програмне забезпечення;
РКС - розподілена комп'ютеризована система;
РС - рухомий склад;
СЗГ - система залізничного господарства;
ТЗ - технічні засоби;
ТО - технічний огляд;
ТП - технологічний процес;
УЗ – ультразвуковий;
ШС - штучні споруди.

ВСТУП

Актуальність теми. Залізничні перевезення лишаються важливою та актуальною складовою транспортної інфраструктури, несучи значний економічне та логістичне навантаження [1-3]. Цей вид транспорту зберігає свою актуальність, оскільки він складає значну частку перевезень і відомий своєю ефективністю та економічністю. Стан залізничного полотна безпосередньо впливає на безпеку перевезень [4-6]. Непередбачені пошкодження чи дефекти можуть викликати аварії та нещасні випадки. Розвиток комп'ютеризованих систем контролю може покращити виявлення проблем та попередити можливі аварійні ситуації.

Використання комп'ютеризованих систем дозволяє більш ефективно ідентифікувати пошкодження залізничного полотна, що забезпечує раціональне обслуговування і ремонт ресурсів, що може зменшити витрати на утримання і підтримку інфраструктури. Системи моніторингу забезпечують виявлення потенційних проблем до того, як будуть критичними, що дозволить зменшити час, необхідний для виправлення проблем та уникнути довготривалих перерв у роботі залізниці, що може негативно впливати на економіку та транспортну інфраструктуру [7-11].

Розвиток технологій, автоматизації, штучного інтелекту та аналітики даних, надає можливості для створення більш ефективних та точних систем контролю стану залізничного шляху. Використання сучасних технологій дозволяє удосконалити процеси моніторингу та управління інфраструктурою. Моніторинг та планування ремонтів можуть сприяти зменшенню екологічного впливу, оскільки ефективне використання ресурсів та зменшення аварій сприяє покращенню екологічної стійкості транспортної системи.

Тому, дослідження у сфері комп'ютеризованих систем контролю стану залізничного полотна не тільки покращать безпеку та ефективність перевезень, але й сприятимуть раціональному використанню ресурсів та відповідатимуть сучасним тенденціям розвитку галузі транспортної

інфраструктури.

Мета і завдання дослідження полягають в розробці системи, яка дозволить ефективно контролювати та підтримувати задовільний стан залізничного полотна з використанням ультразвукових методів контролю.

Необхідно вирішити ряд завдань:

- провести аналіз сучасного стану залізничної інфраструктури;
- проаналізувати технології та системи контролю стану залізничного полотна;
- дослідити методи та засоби неруйнівного контролю;
- провести дослідження автоматизованих систем управління залізничним господарством;
- розробити архітектуру проектованої системи;
- обґрунтувати вибір компонентів проектованої системи;
- реалізувати комп'ютеризованої контролю стану залізнодорожного полотна.

Об'єкт дослідження: технічний стан залізнодорожного полотна.

Предметом дослідження є розподілена система контролю стану залізнодорожного полотна.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що поєднання ультразвукових дефектоскопів з візуальними та іншими методами контролю в області залізничного транспорту має значний потенціал у аспекті підвищення ефективності та точності оцінки стану залізничного полотна, дозволяє забезпечити комплексний підхід до аналізу його стану, отримати розширений спектр параметрів для аналізу і прийняття рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Підтримка оптимального стану залізничного полотна допоможе зменшити час та витрати на технічне обслуговування, підвищуючи загальну ефективність транспортних процесів. Розроблена система дозволить проводити більш точний та комплексний аналіз стану залізничного полотна, виявляючи проблеми раніше, що сприятиме їх швидкому виправленню та підтримці безпеки руху поїздів. Впровадження проектованої системи контролю стану

полотна підвищить рівень технічної оснащеності та інноваційність у галузі залізничного транспорту.

Апробація.

1. Романів А.М. Комп'ютерно-інтегрована система ультразвукової діагностики залізнодорожного полотна / Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2023), Тернопіль, 2023. -с. 89-92.

2. Драпак В.І., Питель Р.О., Романів А.М., Шаков В.Ю. Підвищення ефективності опрацювання даних у розподілених системах / Матеріали науково-практичного симпозіуму «Захист інформації», Тернопіль, 2023. - с. 67-72.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1 Основні тенденції залізничних перевезень України

Україна відзначається високорозвиненою залізничною інфраструктурою в межах Східної Європи. Залізничний транспорт здійснює значну частку перевезень, внутрішніх і міжнародних, та відіграє ключову роль у транзитних операціях, які на деяких етапах становлять майже 18% загального вантажообороту та значну частку прибутку.

«За даними Державної служби статистики України, на протязі останніх років залізниці України обробляють велику частку вантажів серед усіх видів транспорту. Питому вагу окремих видів транспорту в перевезенні вантажів у 2019 році» [1] демонструє рисунок 1.1.

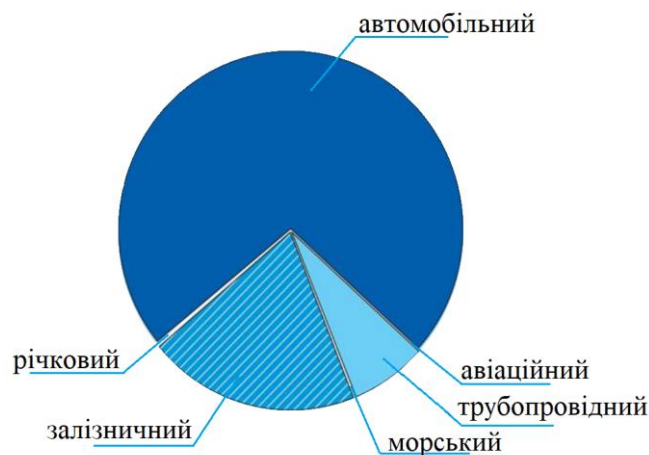


Рисунок 1.1 - Перевезення за різними видами транспорту

Залізничний транспорт це важливий засіб доставки великої кількості товару, матеріалів, сировини. Зокрема, його використання є особливо вигідним для перевезення великих обсягів товарів на великі відстані. Залізничні лінії можуть об'єднувати різні регіони та держави, створюючи ефективний транспортний коридор для потоку товарів.

З даних наведених в таблиці 1.1 видно, що залізниця посідає ключове місце у вантажообігу [1].

Таблиця 1.1 – Вантажообіг в розрізі видів транспорту

	2015	2016	2017	2018	2019
Транспорт	334,7	344,2	364,2	361,3	355,0
залізничний	195,1	187,6	191,9	186,3	181,8
морський	3,9	2,5	2,9	1,8	1,8
річковий	1,6	1,5	1,4	1,6	1,6
автомобільний – усього	53,3	58,0	62,3	72,1	65,0
у тому числі автопідприємства	20,2	21,8	23,8	24,0	30,3
авіаційний	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
трубопровідний	80,7	94,4	105,4	99,2	104,5

Однак з врахуванням росту конкурентоспроможності транспортних послуг залізничного транспорту виникає потреба в структурних трансформаціях в цій галузі. Додатково, залізничний транспорт відзначається своєю високою масштабованістю, здатністю перевозити великі об'єми вантажів із збереженням їхньої цілісності та безпеки. Це особливо важливо для секторів, які вимагають масових перевезень, зокрема промисловості, сільськогосподарського та будівельного секторів. Таблиця 1.2 ілюструє обсяги перевезень вантажів залізницею за типом вантажів [2].

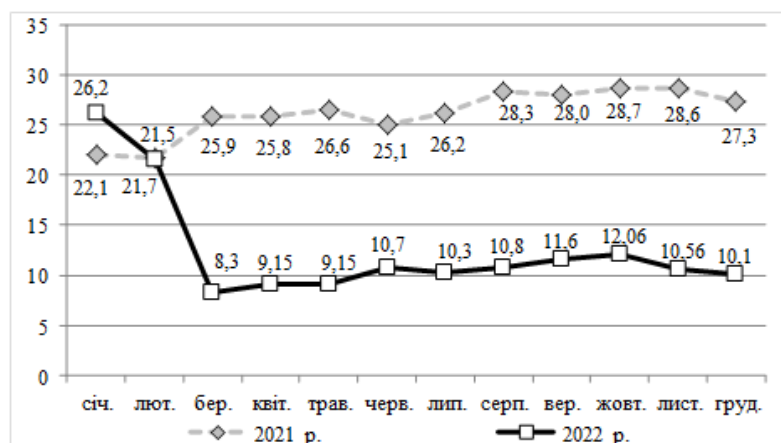
Таблиця 1.2 – Перевезення вантажів залізницею

	2015	2016	2017	2018	2019
	Млн.т				
Усі вантажі	350	343	339	322	313
нафта і нафтопродукти	17	15	14	12	12
вугілля	73	73	67	65	59
кокс	8	8	6	6	5
руда	85	77	70	71	75
цемент	6	6	6	6	6
хімічні і мінеральні добрива	10	11	12	9	9
лісові	5	4	4	3	1
чорні метали (включаючи брухт)	29	29	26	25	24
хлібні	29	32	37	34	40
інші вантажі	88	88	97	91	82

Крім того, залізничні перевезення можуть бути більш екологічно ефективними, у порівнянні з іншим транспортом, що важливо у контексті підвищення уваги до екологічних аспектів у сучасному світі.

Внаслідок вторгнення в Україну у 2022 р вітчизняний залізничний транспорт стикнувся з важливими викликами, що суттєво вплинули на його

показники. Обсяги перевезень у 2022 році, зокрема вантажних, скоротилися більш ніж в 2 рази (рисуюнок 1.2) [3].



Рисуюнок 1.2 - Вантажні перевезення залізницею

Агресивні дії вторгнення призвели до систематичних пошкоджень цивільної енергетичної інфраструктури, що викликало розриви в графіках руху потягів та, відповідно, зниження перевезень.

Структура залізничних перевезень за переліком вантажів в 2022 р значно змінилася (таблиця 1.3) [3].

Таблиця 1.3 – Залізничні перевезення вантажів у 2021-2022

Номенклатура вантажів	2021 р.	2022 р.
руда залізна і марганцева	77,6	31,7
кам'яне вугілля	50,2	29,5
будівельні матеріали	65,7	22,8
інші вантажі	65,5	28,5
чорні метали	21,7	9,2
зерно і продукти перемелу	33,6	28,9
Всього:	314,3	150,6

Зменшення обсягів перевезень на залізниці було викликане кількома факторами. По-перше, втрата потужних вантажогенеруючих промислових підприємств через військові події призвела до різкого спаду вантажопотоків. По-друге, зменшення врожаю та перевезення зернових також внесло свою частку у загальне падіння обсягів. По-третє, «економічна нестабільність та зниження активності привели до відповідного скорочення ВВП України, яке знизилося на 30,4% через російське вторгнення» [2].

Важливо відзначити, що у виняткових умовах воєнного конфлікту залізниця виконувала масштабні операції з евакуації населення, лише «протягом 2022 року евакуйовано понад 4 млн осіб у західні області України, та 600 тисяч за кордони держави» [3]. Рисунок 1.3 ілюструє перевезення залізничним транспортом в залежності від виду сполучення.

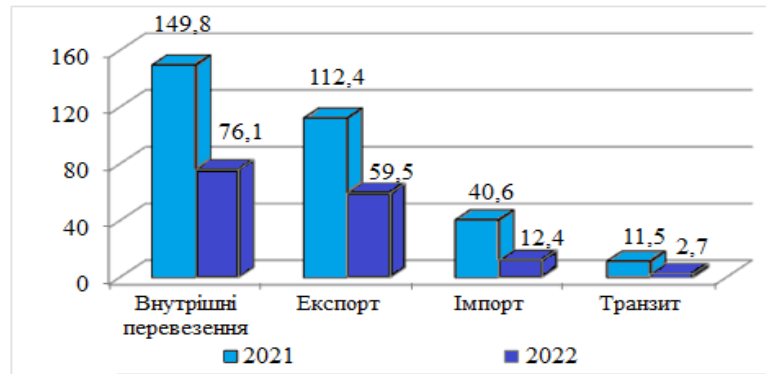


Рисунок 1.3 – Залізничні перевезення за видом сполучення

Залізничний транспорт не лише зберігає свою актуальність, а й продовжує бути ефективним засобом транспортування значних обсягів товарів, сприяючи розвитку та забезпеченню логістичних потреб різних галузей економіки.

1.2 Система залізнодорожного господарства

Система залізничного господарства (СЗГ) - це комплексна інфраструктура, технічні засоби (ТЗ), управлінські структури та процеси, що дозволяють забезпечувати функціонування і розвиток залізничного транспорту [4]. Вона включає в себе:

- інфраструктуру – залізнодорожну мережу та штучні споруди (ШС), такі як колія, переїзди, станції, мости, тунелі, депо, що необхідні для руху потягів;
- рухомий склад (РС) - локомотиви, пасажирські і вантажні вагони та ін;
- інформаційні та управлінські системи - автоматизовані системи управління (АСУ), зокрема системи безпеки, моніторингу, управління

переміщенням РС, диспетчерського управління та ін. технології для ефективної експлуатації СЗГ.

«Організаційна структура СЗГ включає управління персоналом, розробку стратегій розвитку, фінансове планування та управління ризиками, правове та регуляторне середовище СЗГ, зокрема, нормативні акти, правила та стандарти, включаючи безпекові та технічні вимоги» [5]. Ця система спрямована на забезпечення безперебійного та безпечного руху потягів, ефективного використання інфраструктури та забезпечення потреб у перевезенні як пасажирів так і вантажів.

Залізнодорожне покриття або залізничне полотно (ЗДП) - є складною комплексною конструкцією (рисунок 1.4), що включає різні компоненти та спеціальні пристрої, призначені для забезпечення руху поїздів. Верхня будова шляхів (ВБШ) призначена для прийняття навантаження від коліс РС та передачі його на нижню частину колії, а також для направлення руху РС. ВБШ є необхідним елементом будь-якого СЗГ [4].

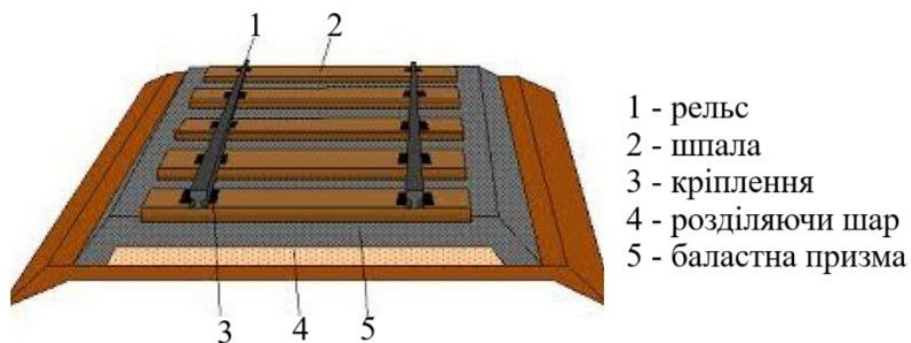


Рисунок 1.4 - Матеріали ВБШ

Основні елементи ЗДП включають

- рейки - довгі сталеві бруски, які утворюють основну структуру для руху коліс потягів, що закріплені на дерев'яних чи бетонних шпалах;
- шпали - дерев'яні, бетонні або металеві бруски, які підтримують рейки та розташовуються перпендикулярно до них, як правило укладаються вздовж ЗДП та забезпечують його стабільність;
- шурупи та болти - використовуються для кріплення рейсів між собою та для з'єднання зі шпалами;

- баластний шар - матеріал, зазвичай кам'яний або гравійний, який розташовується під шпалами і між ними та використовується для фіксації шпал й регулювання висоти рівня колії;

- підкладки - розташовуються між шпалами та рейками, забезпечуючи розподіл навантаження та захист шпал від пошкоджень.

Також до складу ЗДП входять:

- переїзди - складні системи, яка дозволяють залізничним потягам перетинати інші залізниці чи дороги;

- тунелі та мости - спеціальні інженерні споруди, які дозволяють залізничним шляхам перетинати природні перешкоди або інші дороги;

- сигнальна таблокова апаратура - система сигналізації та керування рухом РС, яка включає світлові та звукові сигнали, блокові апарати та інші пристрої для безпечного регулювання руху поїздів;

- контактна мережа - у електрифікованій СЗГ для подачі електричної енергії РС.

Ці компоненти утворюють інфраструктурну основу залізничного руху та повинні добре обслуговуватися, оскільки від їх стану залежать ефективність та безпечність перевезень.

Призначення рейок (рисунок 1.5) - створити поверхні з найменшими опорами для руху коліс РС, безпосередньо сприймати та пружно передавати вплив сили від коліс на опори (шпалі, бруси) та направляти рух коліс РС [6]. На ділянках з автоблокуванням рейкові стрічки виконують роль провідників сигнального струму, а на ділянках з електричним тяговим зусиллям - зворотного тягового струму.

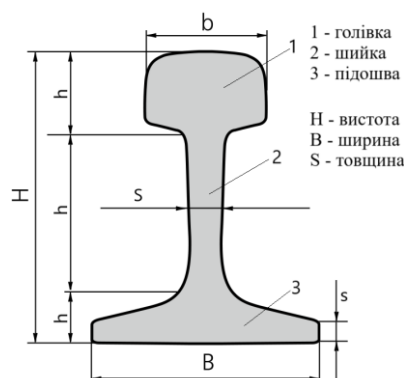


Рисунок 1.5 – Будова рейок

Експлуатація СЗГ у сучасних умовах вимагає підвищеного рівня безпеки, у зв'язку зі зростанням швидкостей руху РС та пропускнуої спроможності магістральної мережі залізниць. Від якості діагностики та постійного моніторингу стану об'єктів інфраструктури СЗГ залежить точність прогнозування стану ЗДП, а також достовірна оцінка ефективності виконуваних ремонтних робіт. Контроль якості рейок [8] визначається, як найважливіший етап у моніторингу стану ЗДП наступних причин:

- стан рейок напряму впливає на безпеку руху РС оскільки дефекти або пошкодження рейок можуть призвести до деформацій, а далі до аварій або інших проблем, що загрожують безпеці перевезень;
- якість рейок визначає їх стійкість до зносу, втоми матеріалу, корозії та інших негативних впливів, а контроль дозволяє вчасно виявляти ознаки зносу та вживати заходи для продовження терміну їх служби;
- рівність, гладкість та правильна геометрія ЗДП впливають на ефективність руху РС та комфорт пасажирів;
- контроль стану ЗДП дозволяє уникнути передчасної заміни або ремонту, що допомагає економити ресурси та кошти;
- контроль стану ЗДП дозволяє вчасно в
- визначати потенційні слабкі місця та вживати заходів для їхнього усунення, тим самим запобігаючи можливим відмовам та аваріям.

Контроль стану та якості ЗДП є ключовим елементом для максимального рівня безпечної, ефективної та тривалої експлуатації ЗДГ.

1.3 Моніторинг та контроль стану залізничного полотна

Залізнична колія характеризується конструктивно пов'язаними інженерними об'єктами, що утворюють ЗДП з колією, ВБШ, земляним полотном та ШС. Рейкова колія є об'єктом, що безпосередньо взаємодіє з РС [7]. Від її технічного стану безпосередньо залежить безпека руху РС із встановленими швидкостями та витрати на поточне обслуговування і ремонтно-колійні роботи. Несправності ЗДП можуть бути

спричинені не тільки відмовами елементів її конструкції, а й несправностями ВБШ та ШС. На залізницях діє багаторівнева система контролю (моніторингу) стану ЗДП [8-11], що включає заходи:

- комісійні огляди об'єктів СЗГ, що організуються керівниками різного рівня;
- періодичні натурні вимірювання об'єктів СЗГ з використанням ручних засобів вимірювання (колійних шаблонів, ручних візків, лінійок, рулеток та ін.);
- періодичні діагностичні дослідження об'єктів колії під реальним навантаженням із використанням вагонів-лабораторій (шляховимірювальних, дефектоскопних).

Безпека перевезень залізницею залежить від різноманітних факторів та аспектів, які охоплюють технічні, організаційні, технологічні та людські аспекти. Основними факторами, що визначають безпеку перевезень залізницею, є:

- стан інфраструктури, ЗДП, рейок, шляхопроводів, станцій, тунелів та інших інфраструктурних об'єктів має прямий вплив на безпеку, їх регулярний моніторинг та своєчасне обслуговування допомагають уникнути аварійних станів;
- технічний стан РС впливає на безпечність їх руху, періодичність технічних оглядів (ТО) та обслуговування, дозволяють запобігти технічним несправностям;
- ефективна система сигналізації та керування рухом грає важливу роль у запобіганні зіткнень;
- кваліфікація та підготовка працівників, які працюють у сфері залізничного транспорту, визначають безпеку перевезен, оскільки правильне виконання інструкцій та вміння реагувати на непередбачувані ситуації є ключовими аспектами;
- безпека на переїздах, включаючи правильне функціонування бар'єрів, знаків та освітлення виключає можливості зіткнень із залізничним транспортом.

Важливим є законодавче регулювання та встановлення стандартів. Безумовно, метеорологічні умови можуть впливати на безпеку, зокрема випадіння опадів, ожеледиця, сильний вітер.

Загальний підхід до безпеки залізничного транспорту включає в себе поєднання технічних інновацій, правильної експлуатації, навчання персоналу та відповідності законодавству для мінімізації ризиків та забезпечення безпечних перевезень.

Ефективне та безпечне функціонування залізниць має ключове значення для економіки. Залізничний транспорт посідає важливе місце у транспортуванні товарів, і якщо стан інфраструктури не контролюється, це може призвести до перешкод у перевезенні, економічних втрат та інших можливостей. На рисунку 1.6 наведено складові контролю якості ЗДП.



Рисунок 1.6 - Контроль якості ЗДП

Діагностування ЗДП - процес вимірювання та ТО для визначення стану об'єктів СЗГ, виявлення пошкоджень та визначення їх виду, включаючи контроль фізичного стану та пошук місця і визначення причин несправності (відмови), є частиною моніторингу шляху [8].

Моніторинг ЗДП – сукупність систематичних процесів оцінки, аналізу та прогнозу зміни стану об'єктів СЗГ, що експлуатується, заснована на даних, одержуваних при діагностуванні колії за допомогою ТО та ТЗ діагностики [11]. На рисунку 1.7 наведена система діагностики СЗГ.

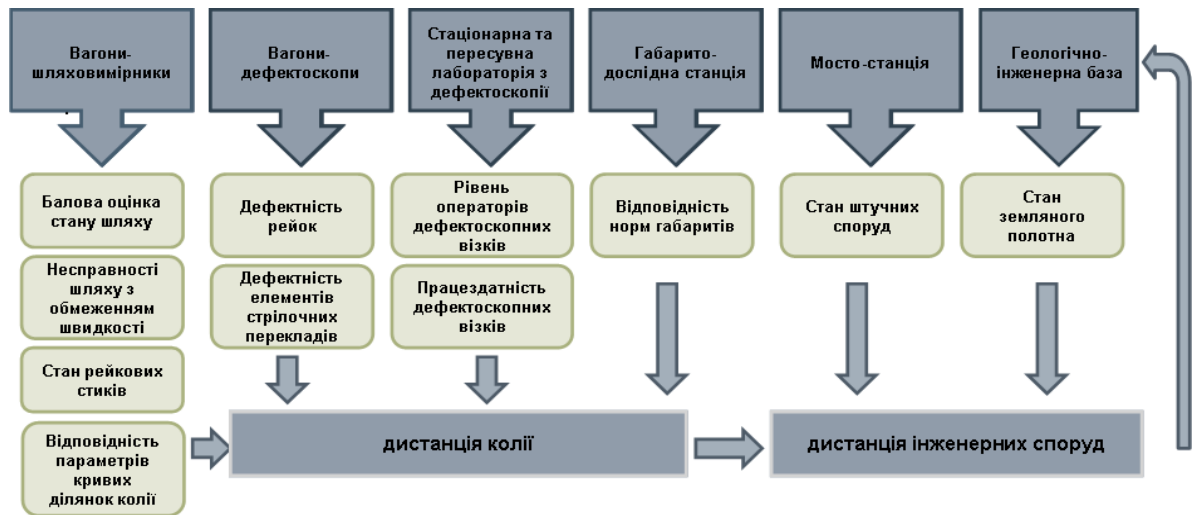


Рисунок 1.7 - Система діагностики та її елементи

Діагностичними засобами є діагностувальні комплекси, вагони-шляховимірники, вагони-дефектоскопи, автомотриси та інші засоби, що використовуються при діагностиці та оцінці стану ЗДП [9-11].

Діагностичні засоби в сукупності повинні забезпечувати виконання завдань моніторингу стану колії, включаючи:

- виявлення та контроль за усуненням несправностей, що загрожують безпечному руху поїздів;
- оцінку параметрів улаштування шляху з аналізом ступеня відхилення їх від граничних значень;
- визначення ділянок, які потребують проведення конкретного виду оздоровчих робіт;
- прогнозування зміни стану шляху у часі;
- оцінку якості виконання та ін.

Вирішення всіх цих завдань досягається шляхом використання існуючих та розроблюваних засобів, а також їх взаємодією з іншими засобами діагностики шляху.

Для комплексного діагностування технічного стану колії та споруд застосовуються різноманітні інструментальні засоби, у тому числі шляховимірвальні вагони, автомотриси, дефектоскопічні вагони та візки, лабораторії з дефектоскопії, мостові, тунельні колійні обстежувальні, випробувальні, станційно-обвідницькі ін.

1.4 Технології та системи контролю стану залізничного полотна

Контрольно-вимірювальні прилади для системи контролю стану ЗДП поділяються на різні види та класифікуються залежно від їхніх функцій та завдань [10-13]. Основні види класифікації включають:

1. За функціональністю:

- прилади для вимірювання геометричних параметрів: широко міри, коло виміри, поперечно міри та ін.;
- баластоміри - прилади для вимірювання глибини та розмірів баласту;
- тріщиноміри - прилади для виявлення деформацій та тріщин.

2. За типом вимірювань:

- поперечні виміри: вимірювання ширини розгалуження, кута нахилу рейок, рівномірності поверхні шляху в поперечному напрямку;
- вимірювання глибини та розмірів баласту під рейками;
- вимірювання довжини та рівномірності рейок - поперечні виміри деформацій та тріщин.

3. За метою використання:

- ТО та планування робіт: прилади для визначення потреби в ремонті, планування та моніторингу робіт;
- моніторинг та валідація даних: прилади для оцінки ефективності робіт та аналізу даних.

4. За технологією вимірювань:

- механічні вимірювальні прилади: широкоміри зі шкалами, коловиміри зі спеціальними механізмами.
- електронні та оптичні прилади із застосуванням сучасних методик для точних вимірювань.

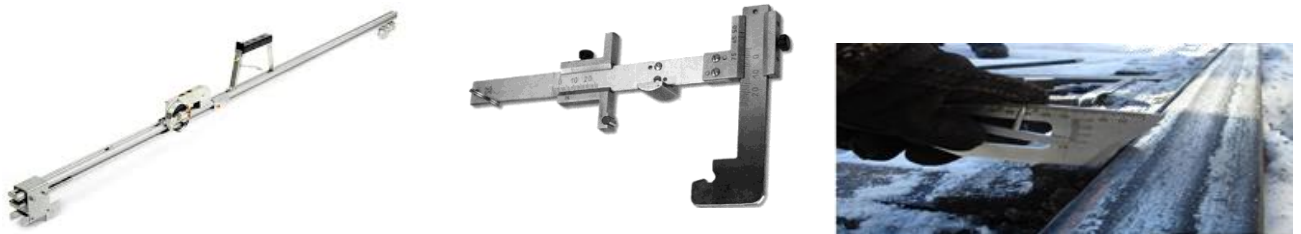
5. За методами діагностики:

- візуальні прилади для огляду стану рейок та баласту.
- акустичні та ультразвукові (УЗ) прилади для виявлення дефектів.

1.4.1 Діагностичні шляховимірювальні засоби

Спеціально розробленими для вимірювання та контролю параметрів залізничного шляху є ручні інструменти - стандартні зразки (шаблони, макети, скоби) для ЗДП. Вони можуть мати вбудовані вимірювальні засоби для оцінювання різних характеристик, що визначають безпеку, ефективність та стійкість ЗДП. Використовуються шляховимірювальні візки або самохідні вагони обстеження шляху. Більш складними засобами є діагностичні комплекси інфраструктури та навантажувальні поїзди для оцінки деформативності колії.

На рисунку 1.8 наведено приклад діагностувальних засобів.



Ручні засоби



Ручні вимірювальні візки



Автоматизовані комплекси

Рисунок 1.8 – Діагностувальні засоби

Ручний вимірювальний інструмент використовується при оглядах колії, локалізації та уточненні характеристик дефектів, виявлених мобільними пересувними станціями. Вони є робочим інструментом бригад, які

відповідають за поточне обслуговування ЗДП. Дорожні шаблони використовуються для визначення рівномірності поверхні ЗДП та можуть виявляти вибоїни, тріщини, виступи або спади, які можуть впливати на комфорт та безпеку, визначати глибину та розміри баластного шару під рейками та ін. Прилади для визначення поперечних розмірів та зносу елементів ВБШ дозволяють операторам швидко та з точністю виявляти аномалії та вирішувати їх перед тим, як вони набудуть критичного стану.

Шляховимірвальні візки є засобом контролю за роботами щодо поточного утримання станційних шляхів. Вони використовуються для вимірювання та оцінки різних параметрів ЗДП та призначені для здійснення поточного контролю стану та геометрії рейок і забезпечують безперебійний рух по залізниці. Також вони використовуються при оглядах головних шляхів і для контролю якості вимірів шляху бригад та дорожніх майстрів за допомогою ручного шаблону шляху.

Основні функції та використання шляховимірвальних візків включають: вимірювання ширини розгалуження для перевірки відповідності стандартам, величини кута нахилу рейок, забезпечують контроль глибини та стабільності баластного матеріалу, виявлення деформацій та дефектів рейок, оцінку рівномірності поверхні шляху, моніторинг сполучень та з'єднань.

Автоматизовані діагностичні комплекси є важливим елементом системи технічного контролю залізничного транспорту, дозволяючи ефективно ідентифікувати та усувати проблеми, що можуть впливати на руху по залізниці.

Використовуються також спеціальні вагони та поїзди для проведення діагностики полотна, які курсують по всій країні. На рисунку 1.9 наведені приклади, зокрема вагони шляховимірвальні - рухомі одиниці, що призначені для суцільного швидкісного контролю стану ЗДП під час динамічного навантаження; вагони призначені для автоматизованого контролю та оцінювання стану ЗДП у реальному часі на швидкостях до 120 км/год, з високою точністю.



Вагоди для діагностування стану полотна



Багатофункціональні діагностувальні поїзди



Дефектоскопні автомотриси

Рисунок 1.9 - Діагностичні комплекси

«Машина технологічного контролю колії є спеціальним самохідним рухомим складом, призначеним для комплексного контролю геометричних параметрів ЗДП та суцільного неруйнівного контролю рейок» [12]. Результати контролю програмно перераховуються у формат вихідних форм вагона-шляховимірника. Вони, як і шляховимірники, використовуються для контролю стану малодіяльних ділянок головного ходу, перевірки стану прийомовідправних шляхів, якості усунення несправностей на фронтах капітальних ремонтів та ін.

Самохідний універсальний шляховимірювально-дефектоскопічний комплекс відповідає сучасним тенденціям технічної естетики на залізничному транспорті та переміщається шляхом зі швидкістю 130 км/год.

Кузов за стійкістю до впливу кліматичних факторів (вологості та температури) зберігає експлуатаційні характеристики при температурах від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря 98% при температурі $+25^{\circ}\text{C}$ [13].

Діагностичним потягом (ДП) є склад із двох та більше діагностичних засобів, для комплексної діагностики параметрів стану об'єктів СЗГ, включаючи об'єкти інфраструктури, електрифікації, залізничної автоматики тощо. На рисунку 1.10 наведено приклади схем можливого формування ДП, де вагон СТО - станція обстеження шляхів, вагон ЛАТ - лабораторія автоматики і телемеханіки, вагон ВКМ – випробувань контактної мережі, Л – локомотив.

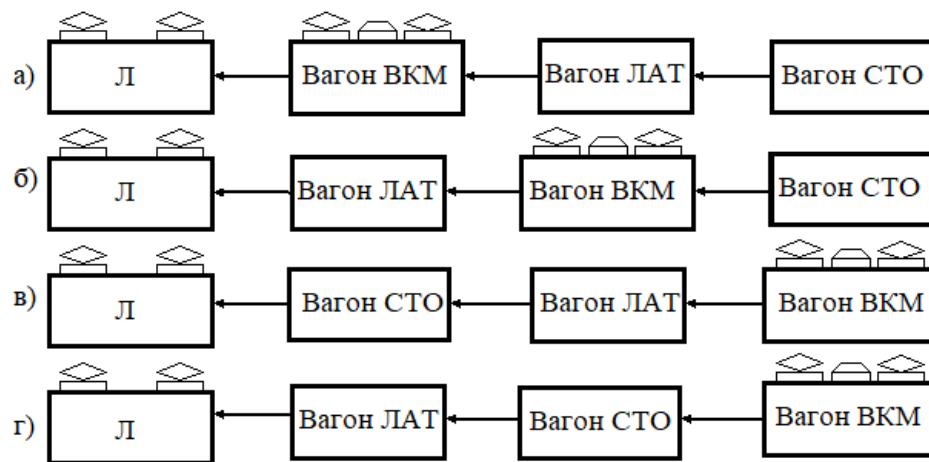


Рисунок 1.10 – Ваіарти компоновки діагностичного поїзда

1.4.2 Дефектоскопні засоби

До діагностичних дефектоскопних засобів відносяться (рисунок 1.11): «знімні дефектоскопи суцільного контролю; ручні дефектоскопи для контролю зварних швів та повторної перевірки окремих локальних місць; одиночні та спеціальні дефектоскопи для перевірки шляху та стрілочних перекладів; дефектоскопні автотрисис; дефектоскопні вагони та лабораторії: суміщені, УЗ, магнітні; діагностичні комплекси» [12].

Наприклад ДП «ЕРА» є двовагонним комплексом, кожен з вагонів-лабораторій якого є закінченим вимірювальним модулем, призначеним для вирішення завдань розширеного контролю стану технічних об'єктів

інфраструктури і може комплектуватися різноманітними системами відповідно до розв'язуваних завдань та вимог:

- контроль стану технічних об'єктів залізничної колії;
- контроль стану контактної мережі, АСУ та зв'язку.



Знімні дефектоскопи суцільного контролю рейок



Ручні дефектоскопи



Дефектоскопи для перевірки шляху та стрілочних переїздів



Обладнання дефектоскопічних вагонів та лабораторій

Рисунок 1.11 – Дефектоскопічні засоби

Особливістю комплексу є те, що кожен із вагонів-лабораторій може працювати автономно, за своїм графіком. На рисунку 1.12 наведено приклади отриманої інформації щодо діагностування.

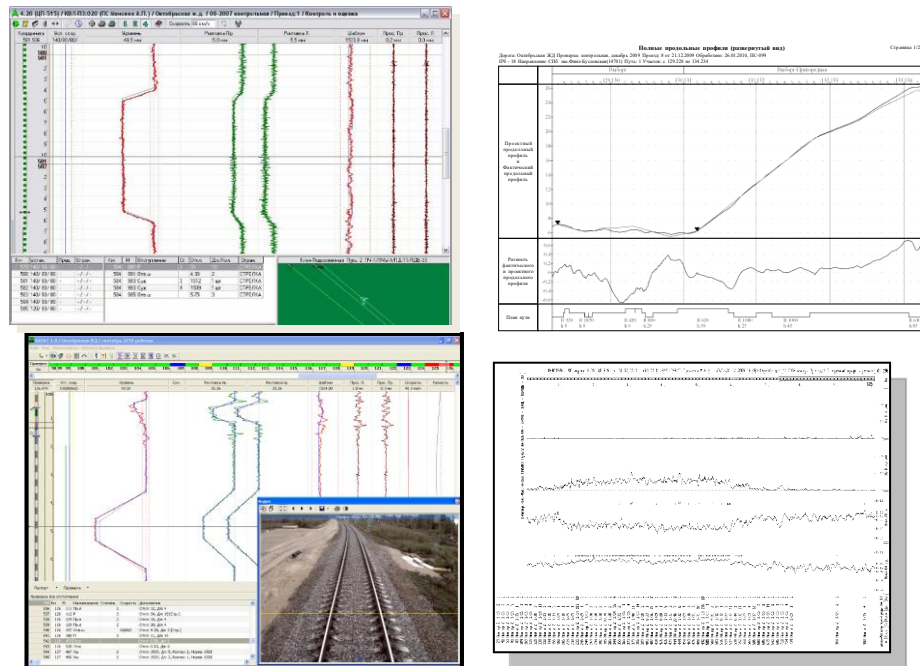


Рисунок 1.12 – Інформація отримана за допомогою ДП

На рисунку 1.13 наведений приклад діагностування рейок, зокрема профіль головки рейки: синій – до шліфування, червоний – після шліфування.

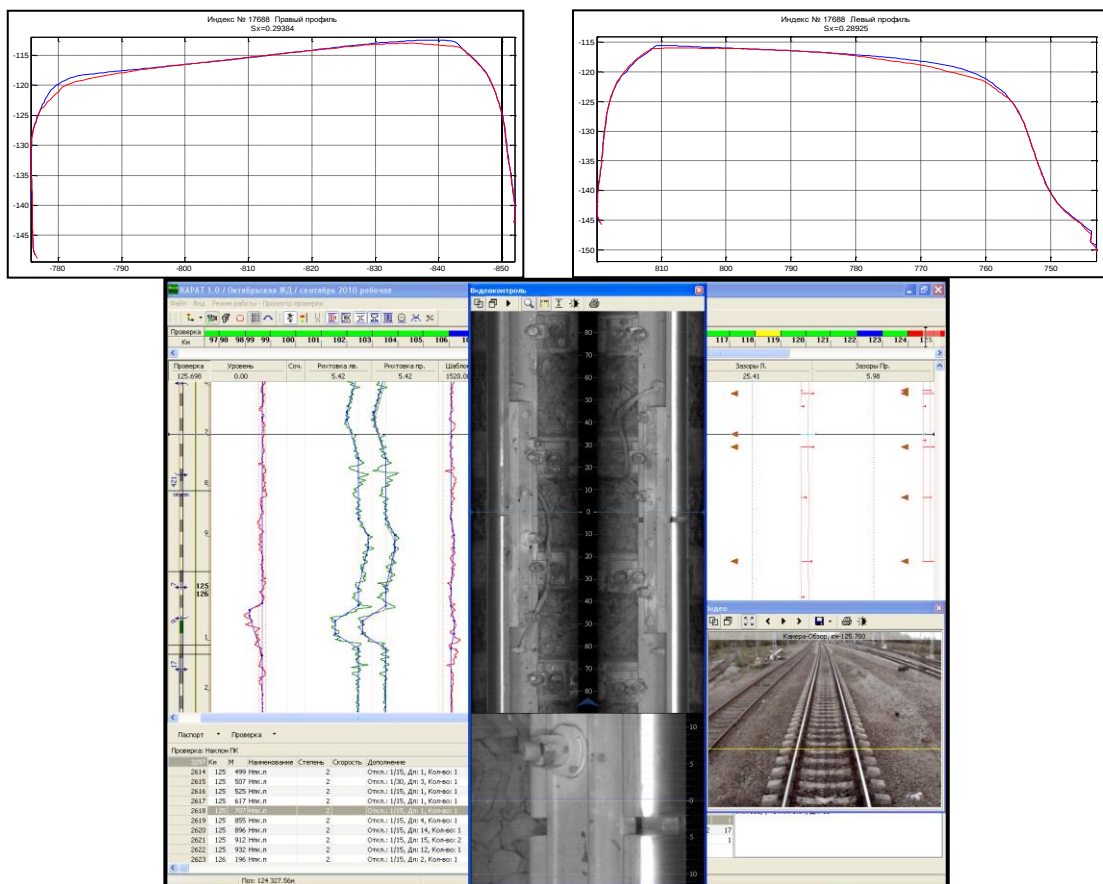


Рисунок 1.13 – Діагностування рейкового полотна

ДП оснащуються системою просторового сканування (рисунок 1.14).

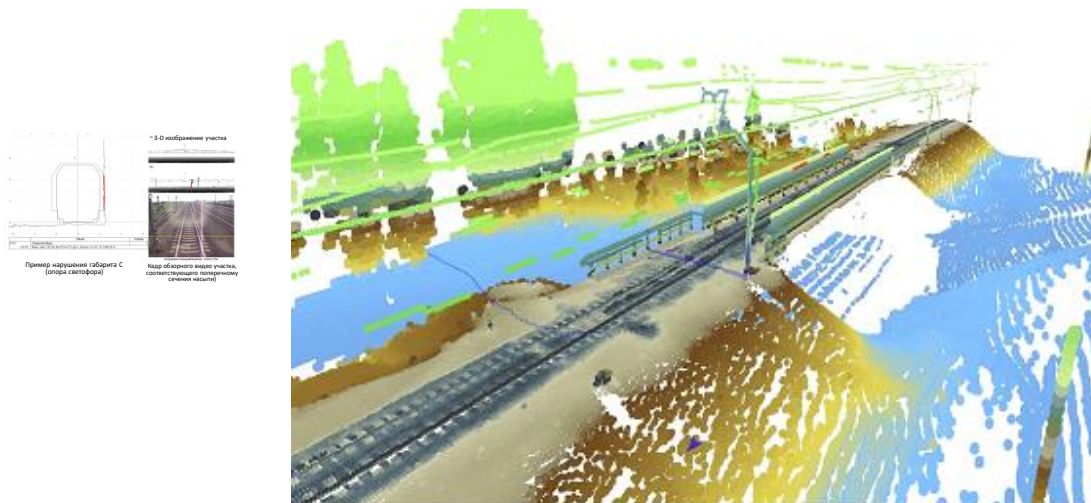
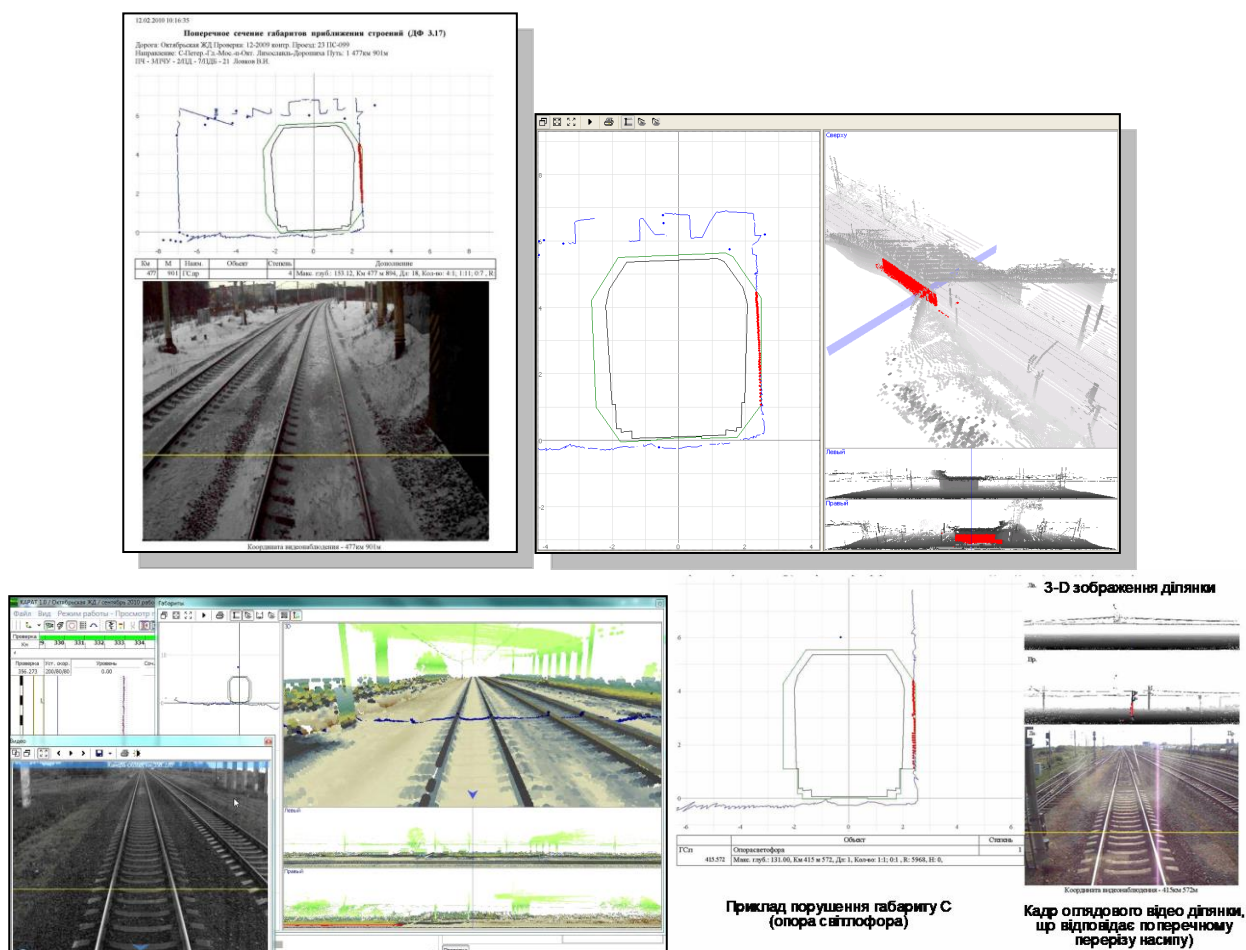


Рисунок 1.14 – Система просторового сканування

Передбачається можливість контролю габаритів наближення до будівель та міжшляхової відстані (рисунок 1.15).



Контроль стану баластного шару і земляного полотна відображаються у вигляді георадарограми, результатів автоматизованого розшифрування та реальних зображень (рисунк 1.16).

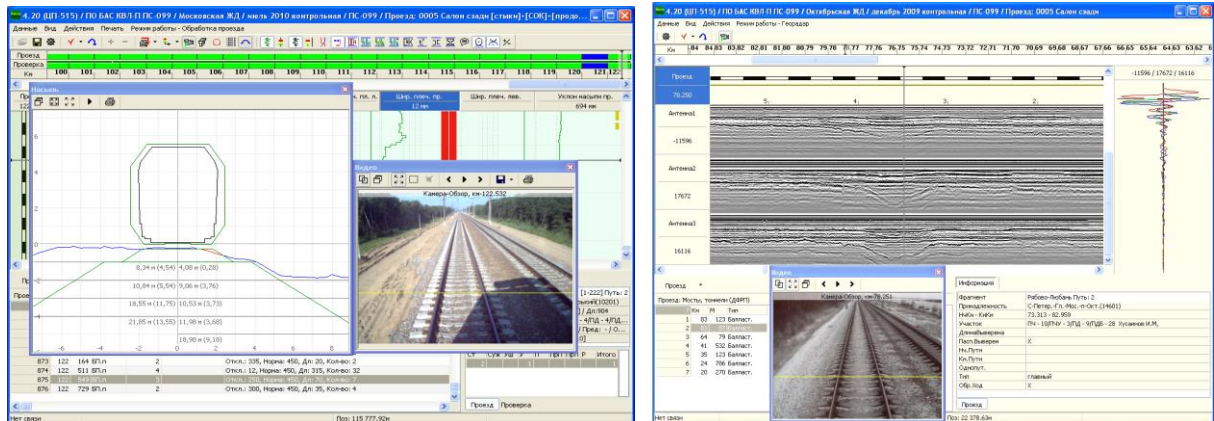


Рисунок 1.16 – Контроль баластного шару

На рисунку 1.17 наведено вікни форми контролю контактної мережі.

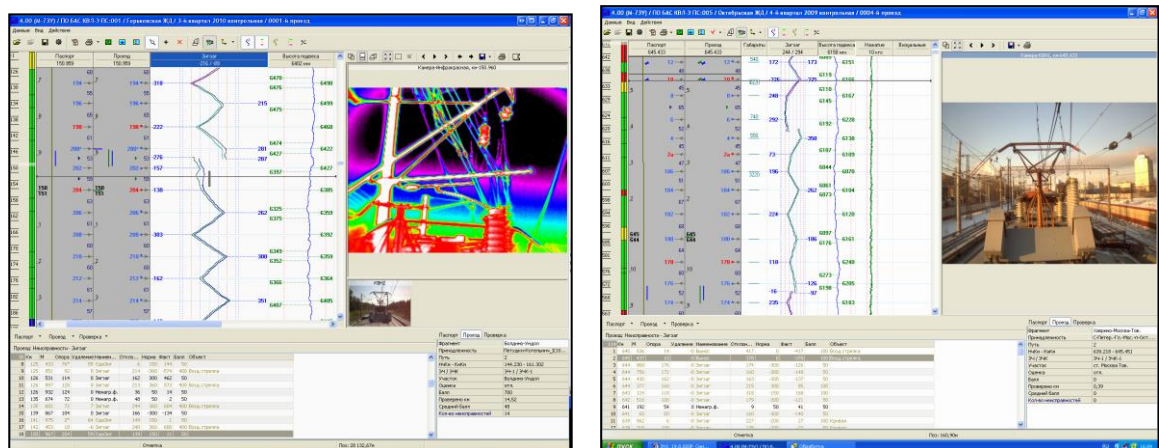


Рисунок 1.17 – Контроль контактної мережі

ДП «Інтеграл» є комплексом, аналогічним комплексу «ЕРА» але з можливістю дефектоскопії рейок. Все вимірювальне обладнання знаходиться в одному вагоні, два інших вагони використовуються для супроводу керівництвом та відпочинку бригади.

Діагностичні засоби на базі локомотивів - призначені для «перевірки рейкової колії на високошвидкісних залізничних лініях на швидкостях до 200 км/год із осьовим навантаженням до 19,5 тонн» [13]. Наприклад «самохідний багатофункціональний діагностичний комплекс на базі тепловоза 2ТЕ116 використовується для автоматизованого контролю залізничної

інфраструктури (ВБК, контактна мережа, автоматика та сигналізація поїзного радіозв'язку) з підвищеним навантаженням 23,5 т на вісь» [13]. Проект Infotrans-velaro є інтеграцією систем діагностики до пасажирського поїзда Siemens Velaro для отримання інформації, найбільш актуальної для діагностики стану високошвидкісних магістралей. Діагностика ведеться в умовах реальної взаємодії високошвидкісного рухомого складу з колійною інфраструктурою та контактною мережею. Повна автоматизація всіх процесів управління діагностичним обладнанням, вимірювання, обробки та оцінки, що не потребує присутності оператора, можливість отримання контрольованих параметрів та їх оцінки.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Автоматизовані системи управління залізничним господарством

Типовою системою інформаційного забезпечення технологічних процесів (ТП) у господарстві з/д шляхів та споруд є АСУТП (рисунки 2.1), що має широку функціональність за різними сферами діяльності та в реалізації бази об'єктів інфраструктури і має взаємозв'язки з іншими підсистемами [14-16]:

- АСУ шляхів - багаторівнева система, що охоплює всі складові колійного господарства. Вона включає кілька видів автоматизованих робочих місць (АРМ), об'єднаних у локальну мережу, наприклад підприємства чи міста, і пов'язаних у глобальну мережу.

- АСУ ТО - технічний паспорт ділянки шляху в електронній формі, що містить вичерпну інформацію щодо адміністративного поділу дистанції, опис плану та профілю всіх ділянок, повну характеристику ВБД, відомості про її ремонти, дані щодо рейково-шпало-баластної карти.

- АСУ РС - система передачі інформації по колійних машинах в електронному вигляді. Включає комплекс завдань щодо аналізу та керування експлуатацією та ремонтом РС з передачею даних на рівень АСУ шляхів.

- АСУ ШС – включає опис інфраструктури, виконує формування звітності, визначення оцінки стану ШС, контролює поїзне навантаження, що пропускається по мостах, дефекти споруд, формує графічний образ ШС. Усі дані передаються до рівня АСУ шляху з наступним об'єднанням.

- АСУ земляне полотно - система обліку та аналізу даних по земляному полотну, що дозволяє вести автоматизований облік протяжності земляного полотна, його геометричних характеристик, положення шляхів на ньому, типу, місця розташування та характеристик водопропускних, водовідвідних, протидеформаційних та інших споруд на дистанції колії.

- АСУ дефектоскопії - відповідає за аналіз та контроль дефектів на рейках та коліях. Здійснює збір даних щодо стану рейок та колій, проводить аналіз дефектів, що можуть вплинути на безпеку переміщення РС. Надає візуальне зображення виявлених дефектів на рейках та коліях, що допомагає операторам швидше виявляти та класифікувати проблеми. Генерує детальні звіти про виявлені дефекти, їх розмір, місце розташування на колії для подальшого ухвалення рішень щодо ремонту або заміни. Передає зібрані дані на рівень АСУ шляху для подальшого об'єднання з іншими даними про стан і експлуатацію залізничної інфраструктури.

- Програмне забезпечення (ПЗ) для моніторингу температурної роботи, планування та контролю виконання заходів з утримання з/д шляху.

- АСУ переїзд - Здійснює постійний моніторинг стану та безпеки на залізничних переїздах. Контролює роботу сигнальних систем, бар'єрів та інших пристроїв для забезпечення безпеки перетину. Контролює роботу світлофорів та інших сигнальних пристроїв на переїздах, регулює їх роботу в залежності від руху потягів та безпечного перетину. Включає автоматичні системи, які реагують на небезпечні ситуації на переїзді (наприклад, нерегулярний рух транспорту або виявлення перешкод на шляху) і автоматично активують безпекові пристрої. Забезпечує можливість віддаленого керування та моніторингу стану переїздів з центрального пункту управління залізницею для швидкого реагування на будь-які небезпечні ситуації. Здійснює збір даних щодо стану та роботи переїздів для подальшого аналізу їх функціонування та виявлення можливих покращень. Взаємодіє з іншими підсистемами АСУ залізничної інфраструктури, такими як управління маршрутами та іншими системами, для забезпечення координованої роботи залізничної мережі.

Автоматизація дозволяє швидко формувати, редагувати та переносити на папір основні звітні (паспортні) та облікові документи щодо земляного полотна. Принцип роботи системи у тому, щоб ввести один раз базові та настроювальні дані, а потім лише періодично доповнювати дані з оглядів, що забезпечує значне скорочення часу на документування.

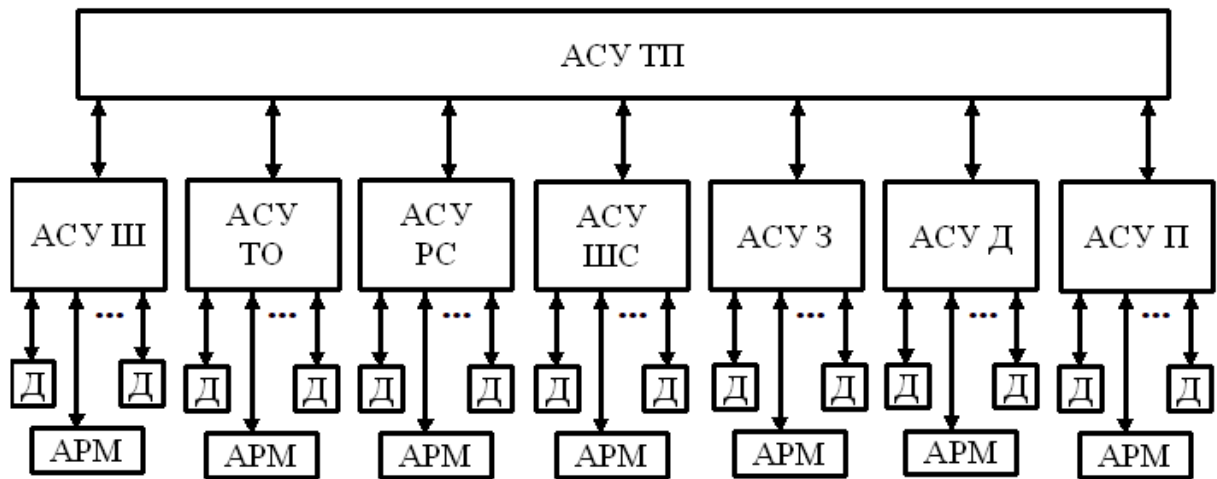


Рисунок 2.1 – Структура АСУ ТП СЗГ

АСУ дефектоскопії, безумовно, відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності експлуатації залізничної інфраструктури. Моніторинг стану залізничного покриття є важливим елементом для забезпечення безпеки, надійності та ефективності залізничних перевезень, що впливає на різні сфери, включаючи економіку та громадську безпеку.

Стан ЗДП має прямий вплив на безпеку перевезень. Дефекти або пошкодження, наприклад тріщини, сколи, вирви або нерівності, можуть стати причиною аварійних ситуацій.

Моніторинг дозволяє виявляти такі проблеми та вчасно вживати заходів для їх виправлення, що підвищує безпеку перевезень. Регулярний моніторинг забезпечує вчасне виявлення ознак зносу або деградації інфраструктури та запобігати можливим виробничим проблемам, дозволяє планувати обслуговування та ремонтні роботи згідно із фактичним станом інфраструктури, що дозволяє оптимізувати витрати та забезпечити тривалу та безперебійну роботу СЗГ.

ТЗ АСУТП розподілені за рівнями управління або територіально (рисунок 2.2). На лінійному рівні АСУ створено та підключено до системи ПЗ та бази даних (БД).

Для забезпечення ефективності руху по залізничних трасах, важливо регулярно контролювати стан ЗДП та своєчасно виявляти потенційні

недоліки. УЗ контроль є одним із найбільше ефективних методів для вирішення таких задач, зокрема виявлення внутрішніх пошкоджень чи дефектів, що недоступні для візуального огляду.

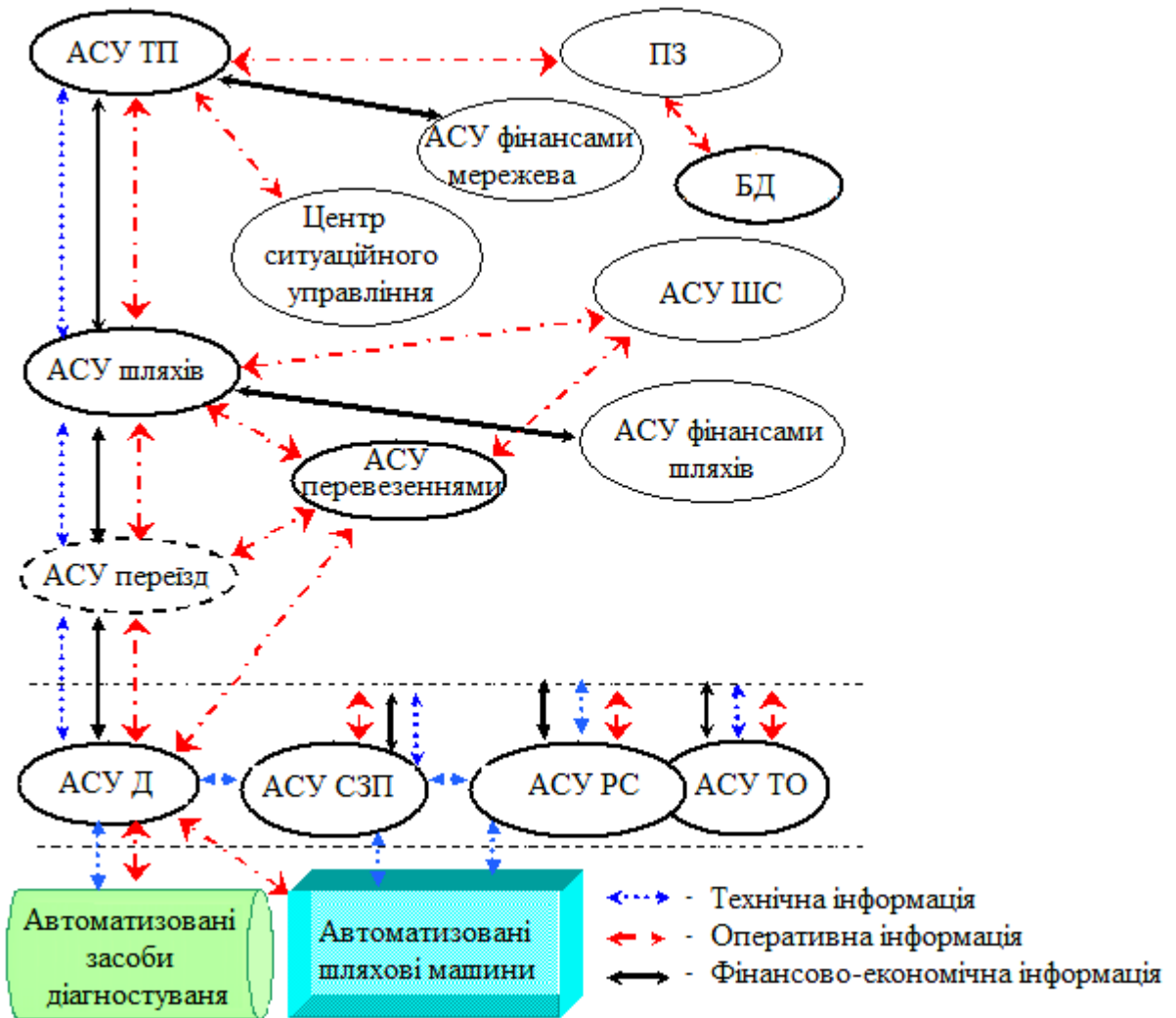


Рисунок 2.2 – Взаємозв'язки АСУ ТП

Тому дослідження, розробка комп'ютеризованої системи яка може контролювати та відстежувати стан ЗДП за допомогою розподілених засобів. є актуальною задачею. Така система поєднує передові технології УЗ контролю з комп'ютерною обробкою даних для автоматичного визначення та аналізу порушень, що забезпечує підвищення ефективності та точності контролю, зменшення залежності від людського фактору та скорочення часу, необхідного для діагностики та планування ремонтних робіт.

Розподілена комп'ютеризована система (РКС) означає, що дані та функціональність системи можуть розміщуватися на кількох вузлах або

пристроях. Це може включати збір та обробку даних на різних ділянках СЗГ та використання мережевих технологій для передачі цих даних.

Реалізація інтерфейсу користувача або системи візуалізації може показати дані відносно стану ЗДП у зручному для вигляді, що дозволить передбачати можливі поломки або знос компонентів за допомогою аналізу даних.

Результати впровадження проекрованої системи полягатимуть у зменшенні витрат на ТО шляхів та їх компонентів, запобіганні аварій та збільшенні тривалості служби шляхів. Забезпечення своєчасного обслуговування та ремонту дозволить зберегти безпеку та покращити ефективність руху РС.

РКС контролю стану ЗДП дозволить ефективно контролювати та підтримувати його стан з використанням методів контролю, включаючи ультразвукові методи та інші технології, які дозволяють проводити детальний аналіз стану шляху без його пошкодження.

Проектована РКС повинна забезпечувати можливості віддаленого доступу. Розробка даної системи передбачає її використання в свері контролю за ЗДП. РКС забезпечить мобільність і швидку передачу даних щодо ЗДП до АСУ шляху. Можливість збереження історії передачі даних, аналізу і визначення слабких місць, формування звітів.

2.2 Обґрунтування вибору методів та засобів неруйнівного контролю

Неруйнівні методи контролю дозволяють виявляти різні типи дефектів та отримувати інформацію щодо їхнього розміру та форми без пошкодження виробів [17-21]. УЗ дослідження реалізуються з використанням високочастотних звукових хвиль щоби отримати відображення внутрішньої структури, зокрема металевих деталей у дефектоскопії рейсів.

В основі методу лежить відбивання ультразвукових хвиль від меж різних матеріалів з різною щільністю та фізичними характеристиками. Дефекти чи неоднорідності в матеріалі відбивають звукові хвилі, створюючи

різні ехо сигнали та контури на зображенні. Аналіз часу, який потрібен для повернення звукової хвилі, дозволяє визначати характер дефектів, наприклад їх глибину, у структурі рейсів.

У фізичному аспекті, основою УЗ дослідження є «п'єзоелектричний ефект, який виникає при деформації монокристалів певних хімічних з'єднань під впливом УЗ хвиль. При деформації на поверхні цих кристалів виникають протилежні за знаком електричні заряди» [17]. Важливим є використання прямого п'єзоелектричного ефекту, коли до таких кристалів застосовується змінний електричний заряд, вони генерують механічні коливання, що призводять до випромінювання ультразвукових хвиль. Ці явища лежать в основі генерації та виявлення УЗ хвиль у методах дослідження, що дозволяє використовувати їх для сканування та отримання зображень внутрішніх структур матеріалів, таких як металеві деталі, тканини чи інші речовини.

Принцип УЗ контролю наведено на рисунку 2.3 [19].

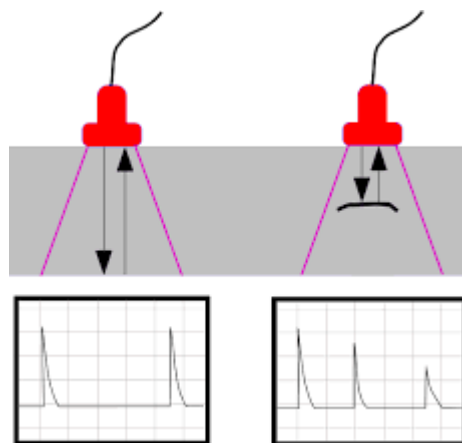


Рисунок 2.3 – Принцип УЗ контролю

УЗ - це звукові хвилі з частотою вищою за верхню межу слухового спектру людини, яка зазвичай становить 20 кГц, що використовуються для діагностики металевих конструкцій, включаючи рейки, залізничні рельси. УЗ діагностика базується на передачі ультразвукових хвиль через матеріал і реєстрації їх відбивання та розсіювання. Коли УЗ хвиля зустрічає межу між матеріалами або дефект, вона частково відбивається назад або розсіюється. За допомогою відповідних пристроїв, які називаються УЗ дефектоскопами або дефектосканерами, можна зареєструвати ці відбиті або розсіяні хвилі і

визначити характеристики дефектів або стан металевої конструкції.

УЗ виявляє високу ефективність у поширенні через певні матеріали, що робить його корисним для ультУЗ дефектоскопії виробів. Активний розвиток відбувається в УЗ мікроскопії, де використовуються частоти від 100МГц до 2ГГц, що дозволяє досліджувати підповерхневі шари матеріалу з високою деталізацією. Даний напрямок дозволяє докладне вивчення внутрішньої структури матеріалів на мікро рівні, дозволяючи виявляти і вивчати навіть найдрібніші дефекти чи неоднорідності у матеріалах. Пошкодження можуть виникати в наслідок порушення цілісності або однорідності структур матеріалу, зон корозійного ураження, відхиленнями в хімічному складі, розмірах та іншими параметрами. Використання УЗ відкриває можливості для більш точної та глибокої оцінки якості матеріалів і виробів, що має значення в різноманітних галузях, від медицини до промислового виробництва.

Для ідентифікації дефектів методами неруйнівного контролю у різних виробках, виготовлених з металевих та неметалевих матеріалів використовується дефектоскопія. Це область техніки та технологій, що займається розробкою та використанням дефектоскопів для виявлення та аналізу цих дефектів. Окрім дефектоскопів, існують і інші засоби неруйнівного контролю, такі як товщиноміри (для вимірювання товщини матеріалу), твердоміри (для визначення твердості), структуроскопи, інтроскопи та стилоскопи, які функціонально зв'язані з дефектоскопами і використовуються для вивчення різних характеристик матеріалів без їхнього пошкодження.

Існують багато різних дефектоскопів з різним призначенням, технологією вимірювання, та багато інших. Дефектоскопи застосовуються у різних сферах, таких як транспорт, машинобудування, хімічна і нафтова промисловості, енергетика, будівництво та науково-дослідницькі лабораторії для аналізу властивостей твердих тіл і молекулярних особливостей, а також для контролю деталей та заготовок.

У цих галузях дефектоскопи використовуються для перевірки деталей

або їх з'єднань, наприклад зварених, паяних, склеєних та ін.. Деякі з них призначені для перевірки виробів, які рухаються з великою швидкістю, наприклад, в процесі прокатки труб, або для використання на швидкісних механізмах, наприклад, рейкові дефектоскопи, візки та вагони-дефектоскопи. Також існують дефектоскопи, які призначені для контролю виробів, що нагріваються до високих температур. Їх використовують при контролі якості матеріалу і виробів у різних умовах експлуатації.

Імпульсними дефектоскопами використовуються різні методи контролю, зокрема [19-21]:

- ехо-метод - полягає в відстеженні часу проходження відбитих від дефекту акустичних хвиль (екхо). Ультразвукові хвилі надсилаються на матеріал, а потім відбиваються від межі між матеріалами або від дефектів. Інформація про розташування та розмір дефекту отримується з виміру часу між надісланням сигналу та прийняттям ехо.

- тіньовий метод - ґрунтується на виявленні тіней, що виникають за дефектом. Ультразвукові хвилі проходять через матеріал і в деяких випадках не проходять через дефект, що призводить до утворення тіні поза дефектом. Це дає змогу виявити присутність дефекту, але не дає детальної інформації про його розмір чи форму.

- дзеркально-тіньовий метод - поєднує тіньовий метод із використанням рефлектуючої поверхні. УЗ хвилі, які відбиваються від рефлектуючої поверхні, можуть утворювати образ тіні навколо дефекту, що дозволяє отримати більше інформації про його розмір та форму.

Під час контролю з'єднань після зварювання, особливо важливо забезпечити повне діагностування всього металу шва. УЗ хвилі подаються на шов крізь основний метал через похилі акустичні перетворювачі. Під час пошуку дефектів проводиться сканування, що включає переміщення перетворювача вздовж шва (вздовжний скан) одночасно з обертальним рухом.

Чутливість УЗ контролю визначає мінімальний розмір виявлених дефектів або за допомогою еталонних відбивачів - це моделі дефектів. В

якості таких еталонних відбивачів використовується плоскодонне свердління, яке орієнтоване перпендикулярно до напрямку сканування, а також бокове свердління або карби. Це дозволяє отримати точні дані щодо стану з'єднання, виявити можливі порушення та забезпечити належний рівень безпеки та якості у виробничих процесах. На рисунку 2.4 зображено ультразвуковий дефектоскоп для контролю рейок [22].

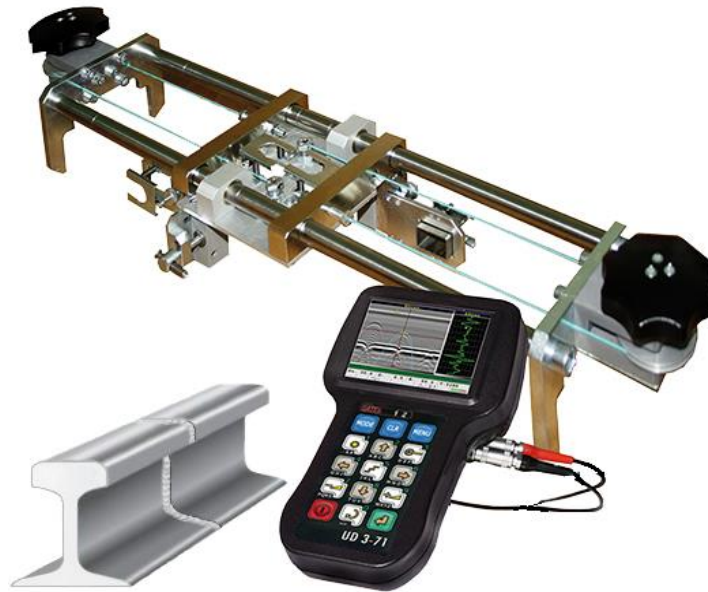


Рисунок 2.4 - УЗ дефектоскоп для контролю рейок

Імпедансні дефектоскопи використовують принцип вимірювання повного електричного опору (імпедансу) для виявлення відмінностей між дефектною та недефектною областями матеріалу. Відбувається процес сканування контрольованої поверхні двома п'єзоелементами. Один із них генерує коливання в матеріалі, викликаючи поширення акустичних хвиль. Другий п'єзоелемент відстежує ці коливання, що відбуваються в матеріалі. За допомогою отриманих даних про імпеданс (повний електричний опір) можна виявити зміни у матеріалі, які можуть свідчити про дефекти, розшарування, непростежуваність, пористість або пошкодження цілості матеріалів і структур.

Цей метод застосовується для контролю матеріалів і структур в різних промислових сферах авіаційній, автомобілебудуванні та ін. Він дозволяє точно виявляти дефекти та забезпечує високий рівень якості та безпеки виробництва у цих сферах.

Приклад імпедансного акустичного дефектоскопу зображений на рисунку 2.5 [23].



Рисунок 2.5 - Акустичний імпедансний дефектоскоп

В основі методу резонансної дефектоскопії лежить визначення резонансної частоти пружних коливань матеріалу (зазвичай в діапазоні 1-10 МГц). Цей метод дозволяє виміряти товщину матеріалу, а також виявляти зони ураження корозійного характеру, звичай використовується для оцінки товщини стінок металевих та деяких неметалевих виробів. Даний метод може використовуватися для виявлення зон корозійного ураження.

У резонансній дефектоскопії існує можливість проведення вимірювань з одного боку, і точність таких вимірювань зазвичай становить близько 1%. Це дозволяє здійснювати швидкі та ефективні виміри без необхідності доступу до обох сторін матеріалу.

Метод допомагає ідентифікувати дефекти та визначати їх розмір, що робить його важливим інструментом для контролю якості виробів, особливо в умовах, де важко здійснювати інші види вимірювань або контролювати обидві сторони виробу. Різновидами даного методу вважається спектрально-акустичний та інші методи акустичної дефектоскопії.

Ревербераційний метод заснований на базі аналізу тривалості об'ємної реверберації - процес поступового згасання звуку в певному обсязі - контрольованому об'єкті.

Акустично-емісійний метод контролю заснований на прийомі і аналізі хвиль акустичної емісії, що виникають у виробі при розвитку тріщин в процесі його навантаження.

Велосиметричний метод ехо-дефектоскопії ґрунтується на вимірюванні зміни швидкості з якою поширюються пружні хвилі у зоні, де розташовані дефекти, особливо у конструкціях з багатьма шарами. Метод використовується для виявлення зон, де може відбуватися розрив або зниження зчеплення між шарами металу.

В основі акустично-топографічного методу лежить на порушення в контрольованому виробі потужних згинаючих коливань заданої (у першому варіанті методу) або безперервно мінливій (у другому варіанті) частоти з одночасною візуалізацією картини коливань поверхні виробу, напр., шляхом нанесення на цю поверхню тонкодисперсного порошку. При досить сильні коливання поверхні виробу із заданою частотою частки порошку з місць, які не належать вузлів, поступово зміщується до вузлів коливань, малюючи картину розподілу вузлових ліній на поверхні - т.д. фігури Хладні. Для бездефектного ізотропного матеріалу ця картина виходить чіткою і безперервною. Якщо ж у матеріалі є дефект, то в зоні дефекту картина змінюється: вузлові лінії спотворюються в місці наявності включень, а також на ділянках, що характеризуються анізотропією механічних властивостей, або перериваються при наявності розшарування.

Приклад резонансного дефектоскопу зображено на рисунку 2.6 [24].



Рисунок 2.6 - Резонансний дефектоскоп

Якщо використовується другий варіант методу, то при наявності розшарування що знаходиться над ним ділянку верхнього шару виробу розглядається як коливається, закріплена за краю діафрагма; в момент резонансу, тобто збігу частоти порушення з власної частотою цієї діафрагми, амплітуда її коливань різко зростає, і частки порошку переміщуються до

кордонів дефектної зони, з великою точністю. Робота ведеться на частотах 30-200 кГц. Метод має досить високу чутливість: у багат шаровому виробі з товщиною верхнього листа 0,25 мм виявлені дефекти довжиною 1 -1,5 мм. Мертва зона відсутній, сканування не потрібно - випромінювач притискається до поверхні виробу в одній точці.

Магніто-порошковий дефектоскопічний метод використовується для контролю різних форм деталей, швів від зварювання та внутрішніх поверхонь отворів. Він ґрунтується на намагнічуванні певних ділянок або виробівзагалом за допомогою циркулярного або поздовжнього поля, створеного намагнічуючими пристроями, які живляться імпульсним або за допомогою постійного струму чи магнітів.

Магнітно-порошковий дефектоскоп зображено на рисунку 2.7 [25].



Рисунок 2.7 - Цифровий магнітопорошковий дефектоскоп

Принципом дії є створення поля розсіювання поблизу дефектів контрольованої деталі, яке застосовується для виявлення їх магнітною суспензією. «Найбільше скупчення магнітних силових ліній поля розсіювання спостерігатиметься безпосередньо над пошкодженням, поступово зменшуючись з віддаленням від неї» [25].

Для виявлення неоднорідностей на поверхні деталі використовують магнітний порошок, який розкидають на поверхню, важивши його у повітрі (сухий метод) або в рідині (мокрый метод). Частинки порошку потрапляють у поле розсіювання та під дією сил таких як магнітне поле, сили тяжіння, тиску рідини, тертя, електростатичної та магнітної взаємодії між

ними. Цей метод є досить ефективним для визначення дефектів та неоднорідностей на поверхні та в середині матеріалів, допомагаючи в підтримці високої якості та безпеки виробництва.

В магнітному полі частинки магнітного порошку намагнітяться та притягуватимуться, утворюючи ланцюжки. Під впливом цієї результуючої сили частинки тягнуться до перерви чи дефекту та збираються над ним, створюючи скупчення порошку. Ширина цієї смужки або валика з осажденного порошку значно перевищує ширину самої тріщини або дефекту.

За допомогою цього осадження порошку, яке утворює так званий індикаторний малюнок, можна визначити наявність дефектів або тріщин. Цей малюнок стає видимим показником чи індикатором наявності дефекту, дозволяючи операторам або фахівцям швидко та ефективно виявляти та оцінювати дефекти чи неоднорідності в матеріалах.

Цей метод є досить ефективним для ідентифікації дефектів та неоднорідностей на поверхні та в середині матеріалів, допомагаючи в підтримці високої якості та безпеки виробництва.

Ферозондові дефектоскопи застосовують метод магнітної дефектоскопії, що ґрунтується на русі феррозонда – чутливого елемента, реагуючого на зміну магнітного поля. Під час переміщення феррозонда уздовж виробу генеруються імпульси струму, їх форма залежатиме від присутності дефектів. Висока чутливість забезпечує виявлення дефектів з розмірами розкриття кілька мікрометрів та глибиною з 0,1 мм. Ці дефектоскопи можуть виявляти дефекти навіть під немагнітними покриттями товщиною до 6 мм. Поверхні для контролю можуть мати шорсткість до R_z 320 мікрометрів.

Цей тип дефектоскопів застосовується для контролю деталей виготовлених методом лиття, прокатних та зварювальних стиків. Прилади є ефективним інструментом для виявлення навіть мінімальних дефектів у різних матеріалах і виробках, допомагаючи забезпечити високу якість та надійність виробів.

Приклад вище описаного пристрою наведено на рисунку 2.8 [26].



Рисунку 2.8 - Феррозондовий дефектоскоп

УЗ діагностика металевих конструкцій, зокрема рельсів, має декілька переваг і можливостей:

- виявлення внутрішніх дефектів - УЗ хвилі проникають у матеріал і можуть виявити внутрішні дефекти, такі як тріщини, пухирчасті включення або порожнини. Це дозволяє виявити пошкодження, які не видимі за допомогою візуального огляду.
- вимірювання глибини дефектів - за допомогою УЗ методів дозволяють визначати глибину розміщення дефектів у матеріалі, що дозволяє оцінити ступінь пошкодження та вплив на міцність конструкції.
- визначення розмірів дефектів – УЗ методи також дозволяють виміряти розміри дефектів, такі як довжина тріщини або розміри включень. Це допомагає зрозуміти розміри пошкодження та оцінити його критичність.
- оцінка міцності матеріалу - за допомогою УЗ можна визначити механічні властивості матеріалу, такі як швидкість поширення звуку або акустична імпеданса. Це дозволяє оцінити міцність та якість матеріалу.

Застосування УЗ для діагностики металевих конструкцій, зокрема ЗДП, є важливим засобом досягнення безпечної та ефективної експлуатації залізничного транспорту. Вона дозволяє раннє визначення пошкоджень і дефектів, що допомагає уникнути аварій та забезпечує своєчасне планування ремонтних робіт для підтримки надійності та безпеки залізничної інфраструктури.

2.3 Розробка розподіленої комп'ютеризованої системи ультразвукового контролю стану залізнодорожного полотна

Отже, коли сформульовані основні вимоги до системи, можна приступати безпосередньо до розробки та проектування системи. В першу чергу будемо відштовхуватись від загальних вимог до системи: масштабованість, кросплатформність, можливість розширення функціоналу.

Масштабованість - це властивість системи збільшувати свої можливості шляхом нарощування числа функціональних блоків, які виконують одні і ті самі функції, для ефективнішого справляння з навантаженням. Тобто, нам потрібно спроектувати нашу систему так, щоб вразі потреби можна було легко збільшити її потужність з мінімальними затратами часу.

Кросплатформність, або незалежність від операційної системи (ОС), являється досить вагомим чинником при розробці даної системи. Оскільки УБР використовує ОС Windows, потрібно забезпечити працездатність нашої системи на даній ОС.

Рішенням є використання Web-орієнтованої моделі [27]. Основною перевагою якої є нечутливість до ОС клієнта. Також використання цього підходу звільнить нас від потреби будь-яких спеціальних налаштувань на стороні клієнта. Для роботи з системою йому потрібно буде тільки Web-браузер. Така архітектура носить назву клієнт-серверна. Структурна модель системи зображена на рисунку 2.9.

Розробка РКС для підвищення ефективності ультразвукового контролю стану ЗДП передбачає використання архітектурного шаблону клієнт-сервер. Ця архітектура, яка є основною концепцією для розробки розподілених мережних застосувань, забезпечує взаємодію та можливість обміну інформацією між компонентами системи.

Основні компоненти архітектури включають: сервери, які надають дані чи інші послуги програмам-клієнтам – операторам; клієнти, які користуються сервісами, що забезпечуються серверами, а також мережу, за допомогою якої забезпечується взаємодія серверів і клієнтів.

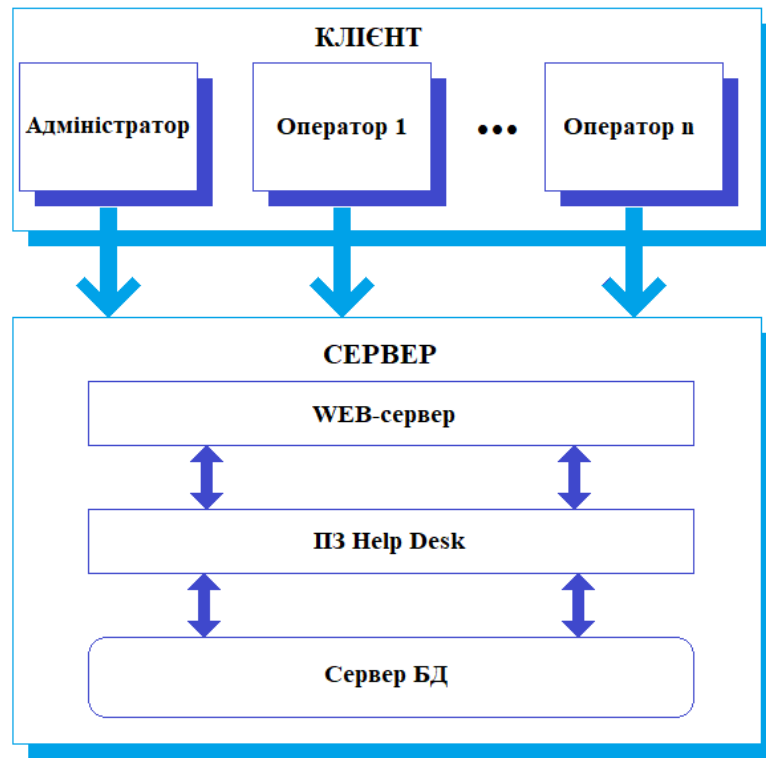


Рисунок 2.9 - Структурна схема WEB-орієнтованої РКС
клієнт-серверної архітектури

Важливо відзначити, що сервери функціонують автономно, а оператори працюють паралельно проте не залежать один від одного. Відсутність жорсткого зв'язку клієнта до конкретних серверів є характерною рисою цієї архітектури. На практиці виникають ситуації, при яких одним сервером одночасно обробляються запити різних клієнтів, та навпаки - клієнт може здійснювати запити до одного, або до іншого сервера. Клієнти отримують інформацію сервери, які доступні, але вони не отримують інформацію стосовно інших клієнтів.

Модель взаємодії клієнт-сервер визначається за розподілом функцій між цими двома складовими [28] та включає наступні рівні операцій:

- представлення даних, що відповідає за інтерфейс користувача. він показує дані користувачеві та отримує від нього команди.
- прикладний рівень, який містить основну логіку застосування та обробку даних.
- управління даними, де забезпечується збереження та доступ до інформації.

У дворівневій клієнт-серверній архітектурі реалізується взаємодія програмних модулів, і залежність від розподілу функцій між клієнтським та серверним, виділяються різні моделі. При моделі тонкого клієнта логіка роботи та керування даними зосереджується на сервері, а програма клієнта виконує лише функції рівня представлення даних. До тонких клієнтів можна віднести пристрої обмеженої потужності, наприклад портативні комп'ютери та мобільні телефони. При моделі товстого клієнта, де сервер керує лише інформацією, а на стороні клієнта знаходиться інтерфейс користувача та обробка даних.

В процесі проектування РКС планується використання моделі тонкого клієнта, тобто весь комплекс ПЗ та БД будуть зосереджені на сервері, а клієнт буде працювати з програмою через web-інтерфейс. Розглянута архітектура, як правило передбачає використання на стороні сервера інтерпретованої мови програмування. Тому варто підібрати оптимальне апаратне забезпечення на сервері, ніж на всіх клієнтах, для забезпечення необхідної швидкодії системи при інтерпретації скриптів, в порівнянні з Java. Найпоширенішими є мови програмування - php, python, ruby.

В плані розширення функціоналу РКС потрібно спроектувати додаток так щоб він забезпечував модульність, тобто розбити функціонал на модулі, які виконують якусь певну одну функцію. В такому випадку в майбутньому можна буде з легкістю замінити модуль чи розширити його функціонал. Також РКС буде використовувати дані, які можна упорядкувати у вигляді списків, з можливістю їхнього редагування, додавання чи видалення.

Проектована РКС буде відповідати принципам модульності, що означає, що функціонал буде розбитий на окремі модулі, і кожен відповідатиме за виконання конкретної функції. Такий підхід дозволить легко замінювати або розширювати окремі модулі у майбутньому, що сприятиме розвитку та удосконаленню системи. Окрім цього, РКС буде працювати з даними, які можна організувати у вигляді списків з можливістю їх редагування, додавання та видалення. Це забезпечить зручний та гнучкий доступ до інформації, необхідної для УЗ контролю стану ЗДП.

Архітектура проекрованої системи включає:

1. Мобільну діагностичну бригаду з наступним обладнанням:

- ультразвуковий дефектоскоп - використовується для безпосереднього діагностування стану ЗДП;
- додаткові засоби для контролю, які можуть включати, шаблони, ручні вимірювальні візки та ін;
- інші методи, які допомагають виявляти проблеми, наприклад, візуальний контроль.

2. Комунікаційна інфраструктура, до якої входять пристрої, що реалізують передачу даних з мобільних пристроїв на сервер:

- маршрутизатор;
- комутатор;
- передавальну мережу, яка забезпечує взаємодію мобільної бригади та сервера.

3. Сервер, який забезпечує прийом даних від мобільних пристроїв та здійснює їх збереження з метою подальшого глибокого аналізу для виявлення проблем та підготовки звітів..

4. Інтерфейс користувачів, реалізує візуалізацію даних, демонструє результати аналізу у зручній для розуміння формі.

Функціональними можливостями проекрованої РКС з точки зору:

- мобільної бригади є діагностування на місці, виявлення проблем за допомогою УЗ дефектоскопа та інших засобів, надсилання ториманих даних на сервер для подальшого аналізу;
- сервера - отримання даних від мобільних пристроїв, аналіз та збереження даних діагностики для виявлення проблем та збереження їх для подальшого використання, генерація звітів на основі аналізу для подальшого розгляду та ухвалення рішень.

Проектована РКС дозволяє проводити діагностику на місці та подальший детальний аналіз на сервері, що сприяє швидкій реакції на виявлені проблеми та плануванню ремонтних робіт для підтримки стану ЗДП.

2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів для реалізації системи

Проектована система дозволяє здійснювати швидкий та точний контроль стану ЗДП. Мобільна бригада, використовуючи УЗ дефектоскоп та інші засоби, оперативно виявляє проблеми на місці. А потім передача даних на сервер дозволяє провести більш глибокий аналіз для вжиття необхідних заходів

Для реалізації проектованої РКС, виходячи із запропонованої архітектури, розроблено структурні схеми її компонентів, які зображені на рисунках 2.10 і 2.11.

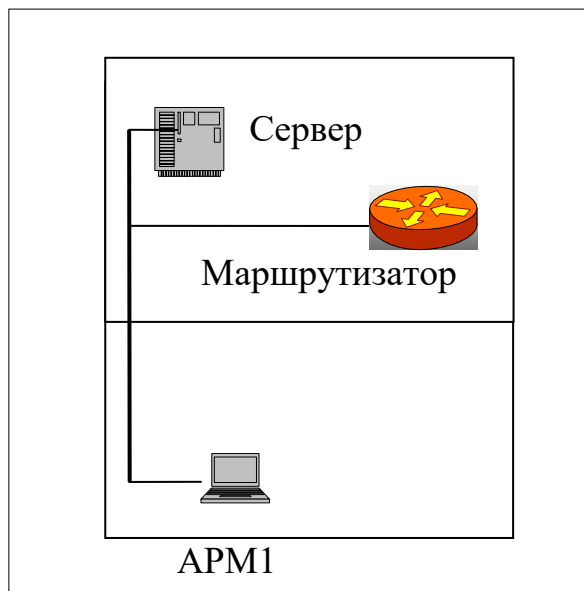


Рисунок 2.10 - Структурна схема РКС у відділі діагностування ЗДП

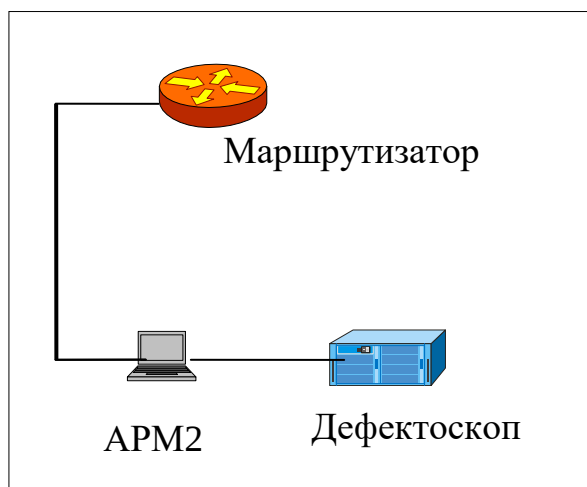


Рисунок 2.11 - Структурна схема РКС мобільної діагностувальної бригади

Для реалізації проекрованої РКС необхідні наступні ТЗ:

- маршрутизатор - 2шт.,
- комутатор - 1шт.,
- сервер - 1шт.,
- робочі станції - 2 шт,
- дефектоскоп - 1шт.

Для реалізації проекрованої РКС необхідно, як було зазначено, 2 маршрутизатори, як оптимальний варіант для невеликих систем обрано Cisco 867VAE-K9 (рисунок 2.12) [29], який є простим в обслуговуванні.



Рисунок 2.12 - Маршрутизатор Cisco 867VAE-K9

Функціонал 867VAE-K9 реалізує передавання і приймання пріоритетного VoIP та онлайн-трафіку, що забезпечує користувачам надійність мережевого підключення з мінімальними затримками.

Маршрутизатор дозволяє забезпечити захист від вірусних і DoS атак за допомогою міжмережевого екрану. Фільтрація пакетів використовується для забезпечення керування доступом на базі портів і MAC/IP-адрес джерела або призначення. Функція Port Forwarding забезпечує використання єдиного видимого IP для FTP з метою захисту від хакерів серверів і робочих груп. Також забезпечена можливість фільтрації сайтів, доменів і встановлення розкладу використання Інтернет.

Маршрутизатор оснащений 1 оптичним WAN портом 10/100/1000 Ethernet, а також VDSL2/ADSL2.

Для підключення до серверу та маршрутизатора потрібно використати мережений комутатор. В РКС, що розробляється використано

комутатор D-Link DGS-1005D (рисунок 2.13) [30].



Рисунок 2.13 - Комутатор

Пристрій має п'ять портів, що дозволяє підключити всіх користувачів і має можливість розширення мережі у майбутньому. Порти автоматично визначають «швидкість та переходять між режимами 10BASE-T Ethernet (мідна вита пара), 100BASE-TX Fast Ethernet та 1000BASE-TX Gigabit Ethernet» [30]. Модель комутатора DGS-1005D спрямована на збільшення ефективності робочих груп і надання високого рівня гнучкості для побудови мережі. Перевагами пристрою є потужність, простота використання та легкість підключення до будь-якого порту з швидкістю 10Mbps або 100Mbps для розширення пропускної здатності, зменшення часу очікування і відповідь на вимоги високого навантаження. Також він усуває втрату пакетів під час передачі сигналу колізій, у випадку переповнення буферу порту. Визначення підключення MDI/MDIX здійснюється автоматично, що дозволяє користувачам підключати будь-який порт до сервера, концентратора або іншого комутатора за допомогою звичайного прямого кабелю без необхідності застосування зворотнього кабелю чи спеціальних uplink-портів.

Для реалізації РКС обрано сервер HP ProLiant ML110 G7 (рисунок 2.14) з найпростішими серверними функціями для малих підприємств. Цей сервер загального призначення з одним процесорним роз'ом відрізняється оптимальним співвідношенням ціни і продуктивності, забезпечує простоту

налаштування, експлуатації та усунення несправностей [31].



Рисунок 2.14 - Сервер HP ProLiant ML110 G7

Основні характеристики HP ProLiant ML110 G7:

- Mini Tower;
- Intel Xeon E3-1220 4x3,1 ГГц, DDR3 1333MHz, 8Mb, LGA1156, 95W, int_rate: 92.6, fp_rate: 75.8;
- чипсет Intel 3420;
- 4Gb DDR3-1333 ECC;
- 1000Gb Supermicro SATA 7200rpm Enterprise (2x500 Gb);
- 2 порта Gigabit Ethernet;
- 1 блок живлення 350W ;
- HP Smart Array B110i SATA (RAID 0,1,10) NC 112i Gigabit Ethernet Server Adapter.

Даний сервер дає можливість підприємствам за оптимальну ціну придбати новітні технологічні розробки, що дозволяють успішно конкурувати і розвиватися у швидко мінливих умовах сучасного ділового світу. Цей сервер пропонує найпростіші серверні функції для малих підприємств. Цей сервер загального призначення з одним процесорним розніманням відрізняється чудовим співвідношенням ціни і продуктивності, забезпечує простоту налаштування, експлуатації й усунення несправностей.

Для забезпечення стійкості до збоїв системи на сервері передбачено об'єднання накопичувачів даних у масив RAID1.

Для даного проекту у якості робочих станцій та обладнання АРМ вибрано повнорозмірні HP Pro 3505 MT (рисунок 2.15) [32], а також ноутбук

HP ProBook 4540s(рисунок 2.16) [33] для забезпечення мобільності.



Рисунок 2.15 - HP Pro 3505 MT

Робоча станція HP Pro 3505 MT, дана робоча станція наділена такими характеристиками:

- дисплей 23" (1920 x 1080) Full HD
- процесор Intel Core i3-2130 2x3,4 ГГц
- оперативна пам'ять DDR3, 8 ГБ
- відео карта дискретна, AMD Radeon HD 7570, 2 ГБ
- чіпсет Intel H61 Express
- 1500ГБ Supermicro SATA 7200rpm Enterprise

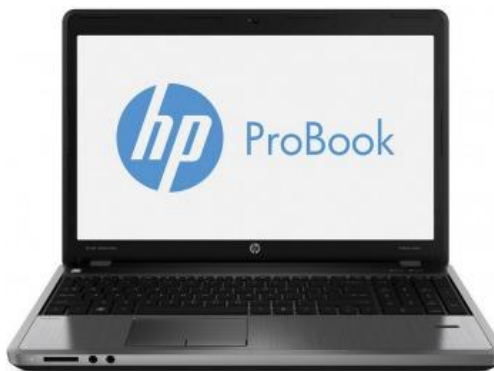


Рисунок 2.16 - HP ProBook 4540s

Робоча станція HP ProBook 4540s оснащена характеристика загальною якістю нам потрібні. Процесор ноутбука двохядерний (Intel Core i5-2450M (2,5 ГГц)) що підходить для проектованої ПКС, DDR3 4ГБ, наявність мережевих адаптерів Gigabit Ethernet, Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.0., це основні характеристики які нам потрібні для роботи.

Для роботи на ЗДП обрано дефектоскоп HARFANG VEO оскільки він

працює як стандартний цифровий дефектоскоп, за винятком того, що дозволяє отримати набагато більше акустичних параметрів для формування діаграми (рисунок 2.17) [34]. Всього через кілька днів навчання, оператори можуть вивчити до 80% можливостей приладу.



Рисунок 2.17 - Дефектоскоп

Дефектоскоп дозволяє виводити на екран одночасно до 4 стробів, при скануванні дані можуть також відображатися на секторальному і лінійному сканах, А-сканах, скані TOFD, видах об'єкта контролю зверху і збоку [34]. Перевагами HARFANG VEO є висока швидкість контролю. Він забезпечує одночасне отримання даних в широкому діапазоні кутів і глибин з допомогою одного датчика та зменшення витрат на контроль великогабаритних об'єктів, зменшення часу контролю.

Найбільш швидке відображення секторного (S-) сканування 64 елемента забезпечують високу роздільну здатність для отримання розмірів і розташування дефектів.

До 1024 променів дозволяють досягти максимального покриття при максимальному розширенні. Можливість 3D моделювання процесу контролю з'єднань зварювання і основного металу.

Основні характеристики HARFANG VEO [34]:

- вбудована пам'ять – 6 ГБ, а також слот Micro SD до 8ГБ;
- 3 USB порта, швидкість передачі даних (23 Мб/с-запис, 27 Мб/с-зчитування);
- Ethernet порт з швидкістю до 1Гбіт/с;
- відео вихід VGA аналоговий (1024x600);

- температура роботи -20 °С до 40 °С, зберігання -30 °С до 70 °С.

Живлення дефектоскопа від батареї 6600 mAh Li-Lon, та від 120В/220В, 40 до 60 Гц, потужністю 75 W.

Для дистанційної передачі даних використано GSM-модем фірми Siemens MC35i Terminal, що є конструктивно закінченим приладом для передавання даних та повідомлень у стандарті GSM 900/1800, розроблений на базі GSM-модуля MC39i (рисунок 2.18) [35].



Рисунок 2.18 - Модем GSM

Пристрій містить утримувач SIM-карти, блок живлення і повний інтерфейс RS-232. Управління здійснюється модемними AT-командами. Для роботи з GSM-терміналом необхідно виконати підключення антени до зовнішніх роз'ємів приладу, джерело живлення та мікроконтролер чи комп'ютер типу IBM PC послідовного COM-порт (RS-232). Додатково можливе підключення зовнішньої трубки та використання його у якості стаціонарного телефону.

Функціонально пристрій аналогічний модему TC-35i Terminal, але в даній конструкції передбачена робота з GPRS. Цей пристрій володіє стандартними інтерфейсами та вбудованим зчитувачем карт SIM, що спрощує його використання як двосмугового GSM-модему. Його функціональність і міцний корпус сприяють швидкій імплементації нових програм у галузях телеметрії та телематики.

Функціональні можливості цього GSM-модему відповідають можливостям модуля Siemens MC35i, але розширені додаванням зчитувача

карт SIM, інтерфейсу RS232, аналогових інтерфейсів для підключення телефону та широкого спектру напруг живлення.

Усі зовнішні інтерфейси GSM-модему MC35i Terminal надійно вбудовані в корпус пристрою, відповідають стандартам і не схильні до вібраційних умов.

Відмінними особливостями пристрою є:

- два діапазони частот EGSM 900 / GSM 1800;
- підтримання формату GPRS;
- передавання даних, мови, текстових повідомлень чи факсів;
- відповідає вимогам R&TTE, GCF;
- можливість простої інтеграції;
- стандартизовані інтерфейси;
- світлодіодна індикація режимів роботи;
- широкі можливості застосування;
- високий рівень продуктивності, компактні розміри.

Технічні характеристики SIMEMENS MC35IT:

- дводіапазонний EGSM 900 / GSM 1800;
- повна відповідність стандарту GSM;
- вихідна потужність: клас 4 для EGSM 900, 2 Вт; клас 1 для GSM 1800, 1 Вт;
- управління за допомогою AT-команд;
- діапазон входних напруг, +8 ... +30;
- допуск до експлуатації R&TTE, GC;
- аудіо у режимах HR, FR, EFR;
- точка-точка MT і MO;
- широкомовна розсилка SMS;
- режими Text і PDU;

Передача даних:

- CSDFlo 14,4 кбіт/с;
- USSD;
- неprozору режимі V.110.V.32;

Областями застосування SIEMENS MC35IT є: «системи управління рухом та навігації; телесервіс; системи безпеки; телематика; телеметрія; дистанційний контроль; дистанційні вимірювання» [35].

Спеціальні можливості SIEMENS MC35IT: функція телефонного довідника; багатостороння зв'язок; передача сигналів багаточастотного набору номера (DTMF).

Зовнішні інтерфейси SIEMENS MC35IT:

- роз'єм для підключення мережного блоку живлення;
- роз'єм для підключення телефонного апарату;
- тримач для мініатюрних SIM карт;
- роз'єм для підключення антени FME;
- інтер фейс RS-232 (V.24/V.28 роз'єм Sub-D).

Обладнання SIEMENS MC35IT: антени, SIM карти, мережеві блоки живлення, кабель RS-232, телефонний апарат, комплект для кріплення на монтажній шині можна замовити у різних виробників. Всі приналежності перераховані в описі відповідних інтерфейсів.

2.5 Імітаційна модель розподіленої системи контролю залізнодорожного покриття

Імітаційну модель РКС побудовано з допомогою пакету програм NetCracker [36]. Програма моделювання NetCracker використовується для створення і моделювання роботи комп'ютерних мереж. Ця програма забезпечує можливості у виборі обладнання зі вбудованої БД та його налаштування, а також додавання нових пристроїв різних видів до цієї БД. Користувач може розміщувати вибрані компоненти на полі, задавати їх структуру та типи зв'язку, визначати ПЗ та обсяг трафіку та інережі. Можна вказати аналізовані характеристики, налаштувати відображення статистики та безпосередньо реалізувати імітаційне моделювання мережі.

При розкладанні структури мережі пристрої розміщуються на полі та з'єднуються лініями зв'язку. Вибір класу та типу пристрою з панелі

компонент дозволяє розмістити його на полі. Далі вибраний пристрій можна перетягнути за допомогою миші до потрібного місця.

Функція Edit→Replicate забезпечує розміщення бажаної кількості пристроїв на полі. Для цього відкривається відповідне вікно, де можна вказати їх потрібне число і натиснути Replicate. Кнопка Organize дозволяє вибрати найзручніше розташування пристроїв на полі.

Щоб видалити пристрій з поля, треба виділити його та у головному меню Edit або контекстному меню запустити команду Delete.

При виборі пристроїв для побудови мережі важливо враховувати кілька ключових параметрів:

- кількість портів - визначає скільки пристроїв може бути підключено до даного обладнання;
- типи портів - відповідність портів потрібним стандартам, наприклад, Ethernet, USB, HDMI тощо;
- пропускна здатність - максимальний обсяг даних, який може пройти через пристрій за певний час, це важливо для визначення швидкості передавання інформації в мережі;
- транспортні протоколи, які будуть підтримуватися, наприклад, TCP/IP, UDP тощо;
- налаштування протоколів маршрутизації для ефективного переміщення даних між пристроями в мережі
- кількість слотів може бути важливою при розширенні мережі, оскільки вона визначає, скільки додаткових пристроїв або карт можна додати до обладнання для розширення його функціональності.

Велика частина пристроїв вимагає додаткових компонентів для виконання своїх функцій. Наприклад, багато робочих станцій не мають мережних карт, і їх треба додати окремо. Це робиться через панель компонентів, обираючи необхідне обладнання та перетягуючи його на потрібний пристрій за допомогою миші.

У випадку встановлення додаткових пристроїв важливо враховувати кількість і тип слотів. Наприклад, коли у пристрою не має певного типу

портів, то встановлення обладнання, що розраховане на цей тип портів, буде неможливим. Також може бути ситуація, коли немає вільних слотів для встановлення додаткового обладнання.

Для перегляду та зміни параметрів пристрою можна користуватися командами у головному меню Object. Для підключення робочої станції (комп'ютера) до мережі потрібно встановити мережну карту. Це можна зробити через меню компонентів, обираючи необхідне обладнання зі списку LAN adapters і перетягуючи його до відповідного об'єкту.

Для того, щоб встановити зв'язки між пристроями, зокрема їхніми інтерфейсами або портами, виконується за допомогою кнопки Link Devices у режимі покажчика миші, який активується через команду View→Bars→Modes. Обиравши один із пристроїв за допомогою миші і, утримуючи кнопку, розтягувати зв'язок до іншого пристрою. Це відкриває вікно Link Assistant, де можна налаштувати параметри з'єднання, такі як протокол передачі даних, тип середовища передачі, пропускну здатність, і довжину з'єднання.

Більшість параметрів по замовчуванню змінювати не можна, проте іноді вони бувають варіативними (рисунки 2.19).

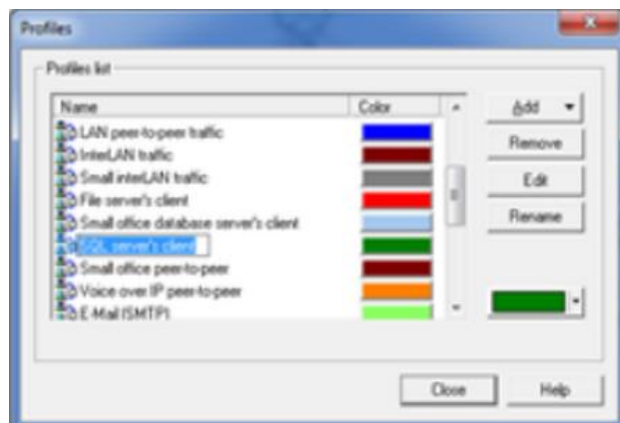


Рисунок 2.19 - Налаштування трафіку

Наприклад, для з'єднання аналогових або модемів пропускну здатність можна обрати з запропонованого переліку. Під час вибору з'єднання пристроїв із портами ISDN, можливий вибір із більш широкого списку типів з'єднань тощо.

Після того, як створено структуру мережі та топологію з'єднань, визначається ПЗ, яке буде використовуватися, шляхом вибору з категорії "Network and enterprise software" у списку компонентів і розміщення у відповідному об'єкті мережі.

Потім необхідно визначити трафік між вузлами (рисунк 2.20), що можна зробити за допомогою кнопки Set Traffic. Вибираючи пари абонентських станцій, визначаються тип та базові характеристики. Налаштування параметрів трафіку включає розмір запиту, інтервал між запитами та тип протоколів прикладного рівня.

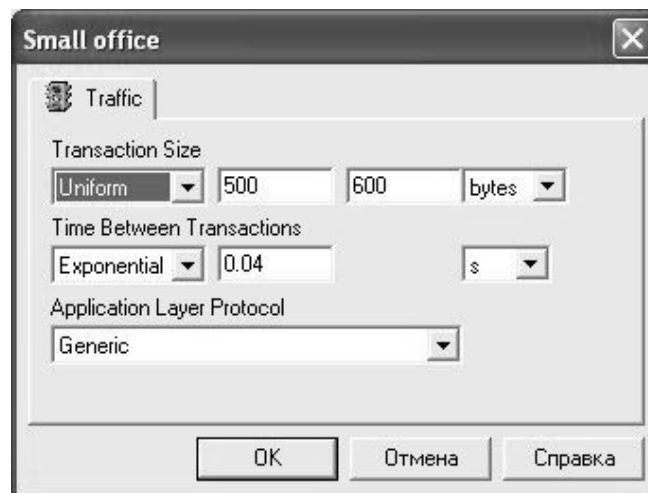


Рисунок 2.20 - Налаштування характеристик трафіку

Для внесення змін у типи трафіку, включаючи додавання нових, видалення або редагування існуючих, слід скористатися різними кнопками у діалоговому вікні Profiles. Натискання кнопок Add, Remove, Edit або Rename дозволяє вносити зміни до типів трафіку. У стовпці Color можна вибрати колір, який буде використовуватися для відображення пакетів певного типу трафіку під час моделювання.

Характеристики типів трафіку, що використовуються за замовчуванням, можна змінити через команду головного меню Global→Profiles. Крім того, для налаштування потоків даних у мережі використовується команда Global→Data Flow.

Щоб визначити характеристики, які аналізуються, можна скористатися командою Object→Define Statistics або Statistics у контекстному меню, що

відкриває діалогове вікно Statistical Items (рисунк 2.21), де вказуються типи характеристик і способи відображення статистичних даних під час моделювання. Це вікно матиме різний вигляд для різних типів об'єктів, в залежності від їхніх характеристик та можливостей відображення інформації.

Для конкретного об'єкта доступні різні способи відображення інформації, які можна вибрати в залежності від потреб моделювання. Ці способи можуть включати в себе індикатори, числові значення та графічні представлення. Це дозволяє користувачеві обирати той спосіб, який найкраще відповідає конкретним потребам в аналізі чи відображенні певних параметрів об'єкта під час моделювання мережі.

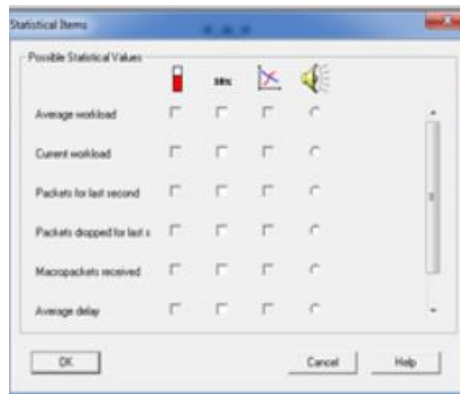


Рисунок 2.21 - Налаштування відображення статистичних даних при моделюванні

На останньому етапі моделювання проводиться імітаційне відтворення роботи РКС. Керування процесом моделювання відбувається через відповідні команди головного меню Control. Предбачається можливість запуску моделювання, його призупинки та зупинки процес. Реалізовані команди, що регулюють швидкість моделювання та візуалізації, налаштування параметрів інтенсивності, швидкості та розмірів пакетів та дзвінків у діалоговому режимі.

Для перегляду загальних характеристик результатів моделювання можна використовувати команду головного чи контекстного меню Associated Data Flow.

На рисунку 2.22 зображено імітаційну модель проектованої мережі.

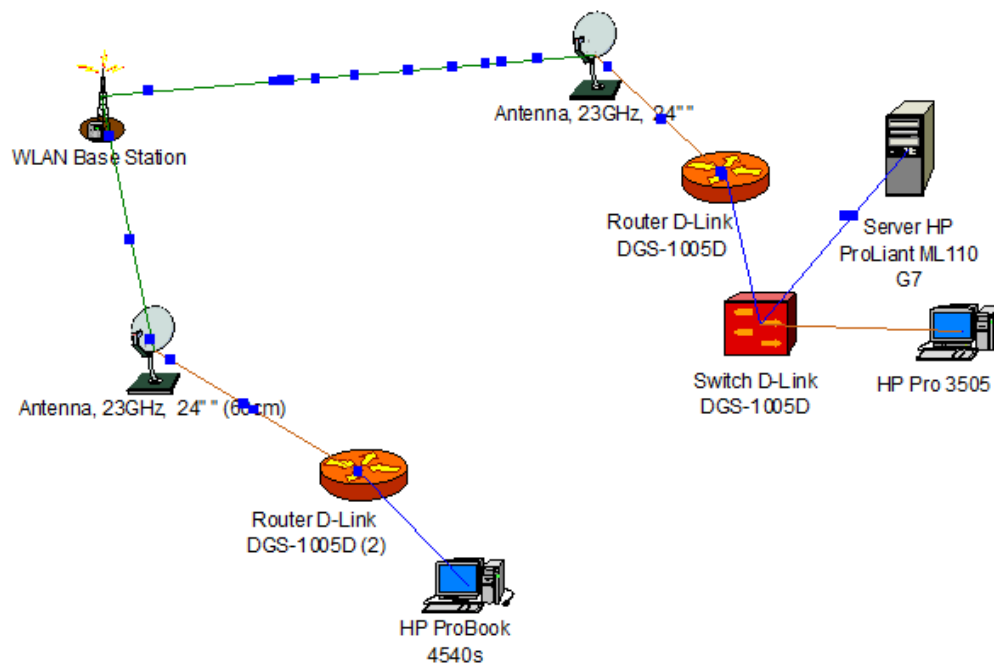


Рисунок 2.22 – Схема імітаційної моделі РКС

Ця команда показує статистику щодо відсоткового співвідношення кількості пакетів для вхідного Incoming Traffic та вихідного трафіку Outgoing Traffic.

В результаті проведено аналіз мережі, на базі якої буде побудована РКС. Вибрано необхідне мережене обладнання та побудована імітаційна модель системи. Здійснено вибір ПЗ для серверу, та наведено приклад його налаштування.

З РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ЗАЛІЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

3.1 Розробка алгоритмічного забезпечення

Алгоритм роботи нашої системи підпадає під категорію стандартних алгоритмів роботи клієнт-серверних систем. Програма працює на стороні серверу в очікуванні запиту від клієнту. Якщо запиту немає, програма відповідно теж нічого не виконує. Як тільки поступає запит від клієнта, в нашому випадку це запит до WEB-серверу Apache, сервер передає його нашій програмі. Програма обробляє даний запит, перевіряються права доступу користувача, що надіслав запит. Наступний крок – це формування відповіді клієнту. Спочатку програма формує відповідно до запиту користувача запит до БД MySQL. Це може бути запит на вибірку, додавання чи оновлення даних. Коли дані отримані, програма формує відповідь у вигляді HTML-код, який передає web-серверу. Web-сервер у свою чергу передає відповідь до клієнта.

Для даного проекту налаштуємо ПЗ для роботи з дефектоскопом. По-перше, встановити UTStudio і запустити додаток, щоб почати роботу (рисунок 3.1).

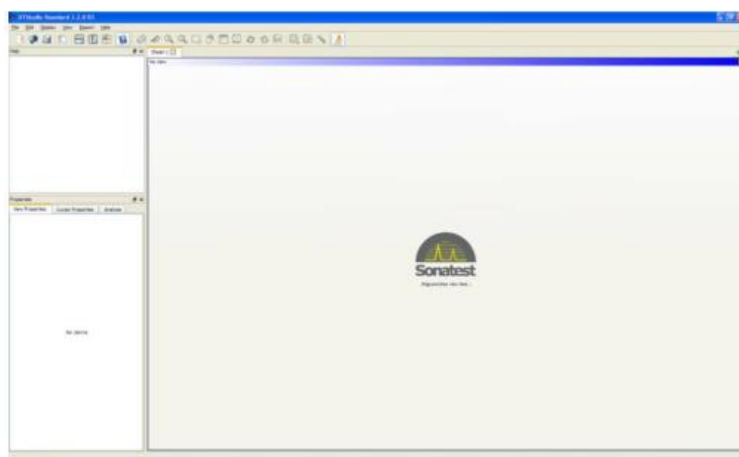


Рисунок 3.1 – Робоче вікно UTStudio

Дальше відкриєм файл або сесію. UTStudio запускається, спочатку виберіть Файл , Відкрити Файл або Сесію і вибираєм файл для прикладу з

розділу My UTStudio Files/Examples (рисунок 3.2) також можна відкривати файли та запускати UTStudio, двічі клацнувши на файлі в провіднику Windows.

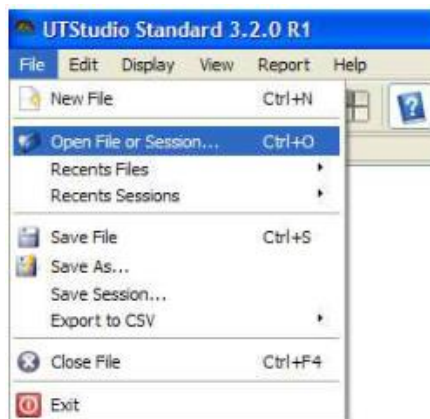


Рисунок 3.2 – Створення файлу або сесії

Нова конфігурація панелі буде відображатися. Вся інформація про файл і його наближені будуть доступні в цій області (рисунок 3.3).

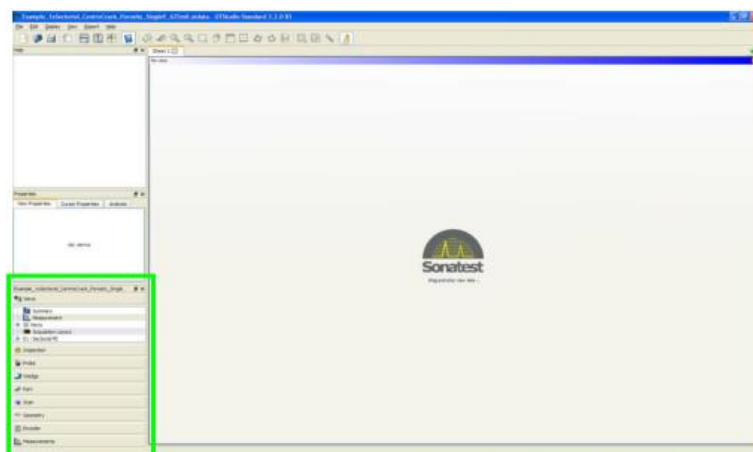


Рисунок 3.3 – Нова конфігурація панелі

Виберіть макет, для вибору шару, перейдіть в налаштування панелі / Views (Ультразвуковий подання доступні тільки з utdata files). Потім продовжити “S1 - XXXXX” з меню і виберіть макет для перетягування листа (drag-порожня площа) Є можливість вибрати між придбанням макета (як на записуючий пристрій так і на самий дефектоскоп), стандартних планувань або користувача макету. Переміщаючи курсор миші на макет, невелике вікно відображає макет проекту. При завантаженні макету, набір роздільників, вид і курсори, які створюються автоматично. стандартні макети були

підготовлені SONATEST, але може бути налаштований, щоб краще відповідати вашим потребам і може бути збережений як новий користувач макетів (рисунок 3.4).

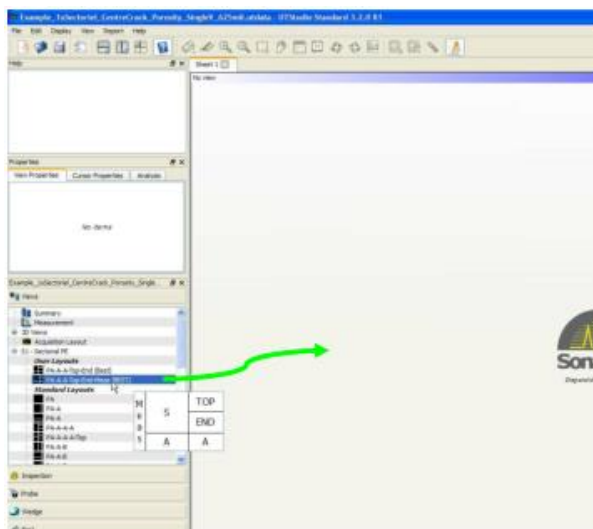


Рисунок 3.4 – Створення та налаштування макету

Коли макет був завантажений, використовуємо кнопки на панелі інструментів, щоб налаштувати макет. Коли макет був завантажений, щоб змінити макет. Також, клікнувши правою кнопкою миші курсор або подання додаткових опцій наведені деякі курсори пов'язані, наприклад, переміщення декартових Extractor курсор у поле вид зверху принесе відповідний кадр правої позиції S-скана (рисунок 3.5).

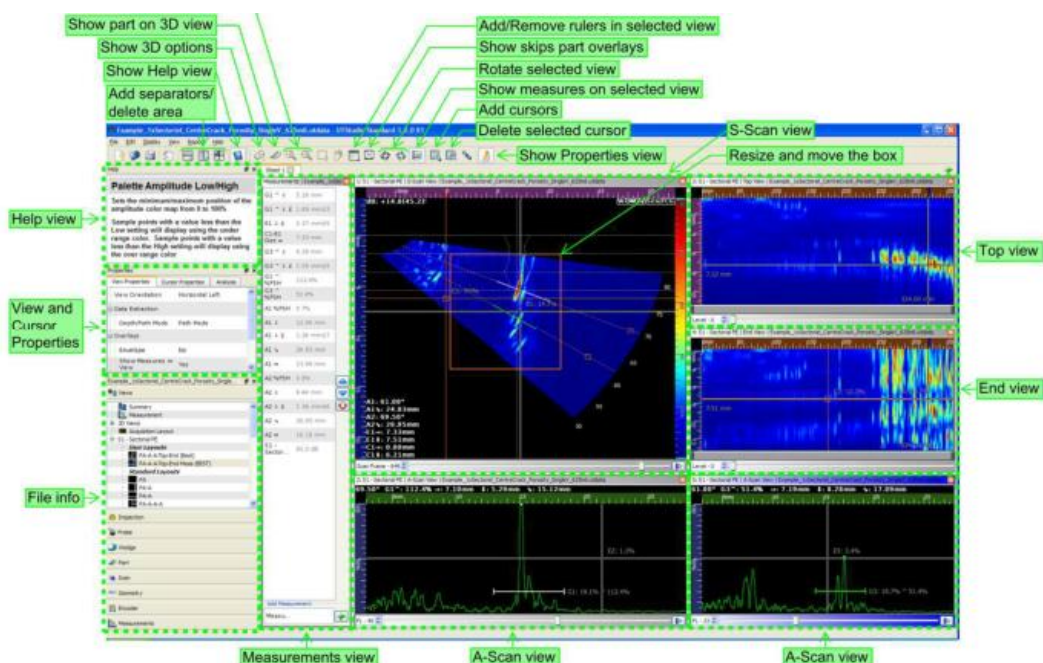


Рисунок 3.5 – Кнопки керування макетом

Ви також можете помістити 3D-перегляд в порожню область шляхом перетягування загальний вигляд (розташованому в 3D вигляді категорії Конфігурація (рисунок) 3.6.

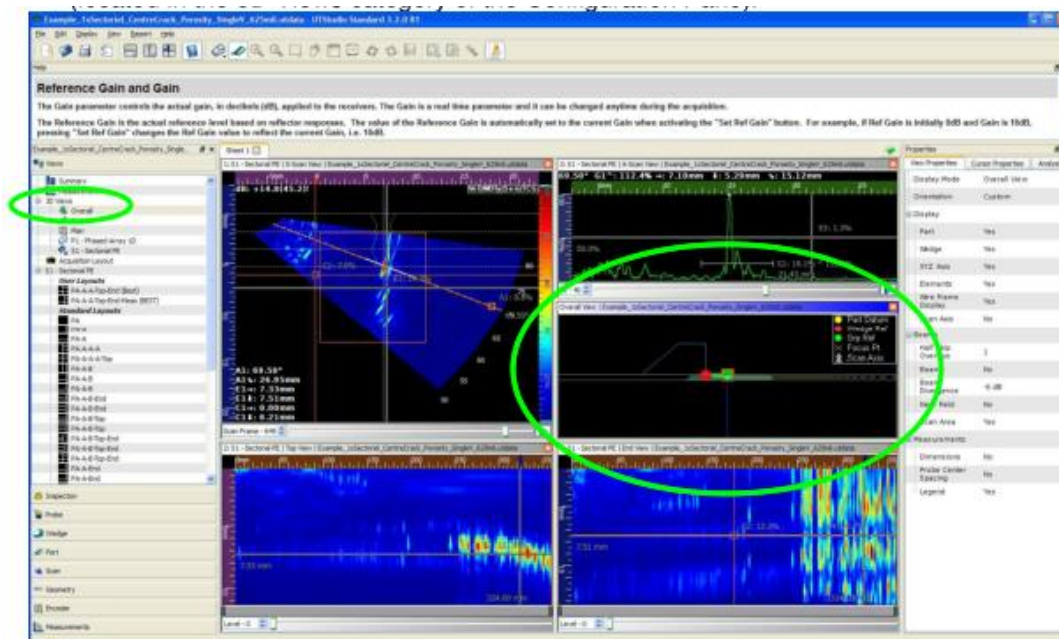


Рисунок 3.6 – 3D вигляд моделі

Для перевірки роботи дефектоскопа зробимо пробні сканування полотна із зварювальним швом (рисунок 3.7).

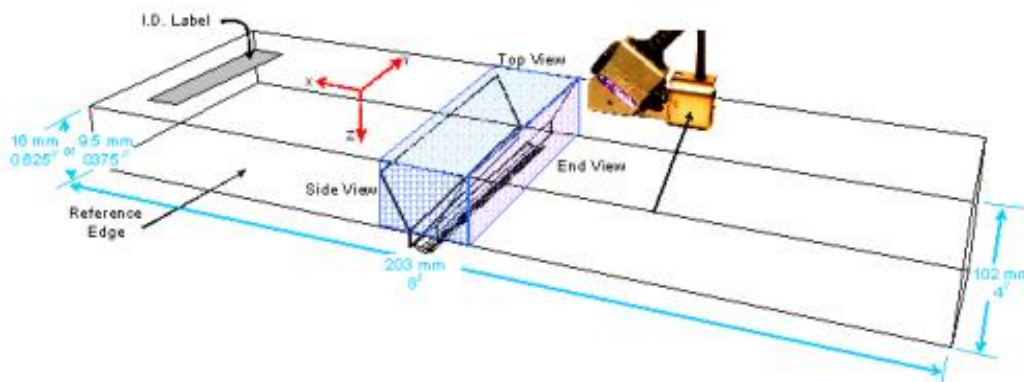


Рисунок 3.7 – Програма установки виконає перевірку та сканування полотна

Такі результати були отримані шляхом сканування полотна, як показано на рисунку 3.8. Зверніть увагу, що збір даних завжди починається з посилення medge наступні паралельні рух уздовж зварки. Крім того, зонд знаходиться на протилежній стороні ID Label і розміри показані дійсні для кожного прикладу.

Пошкодження ЗДП показано на рисунку 3.8.

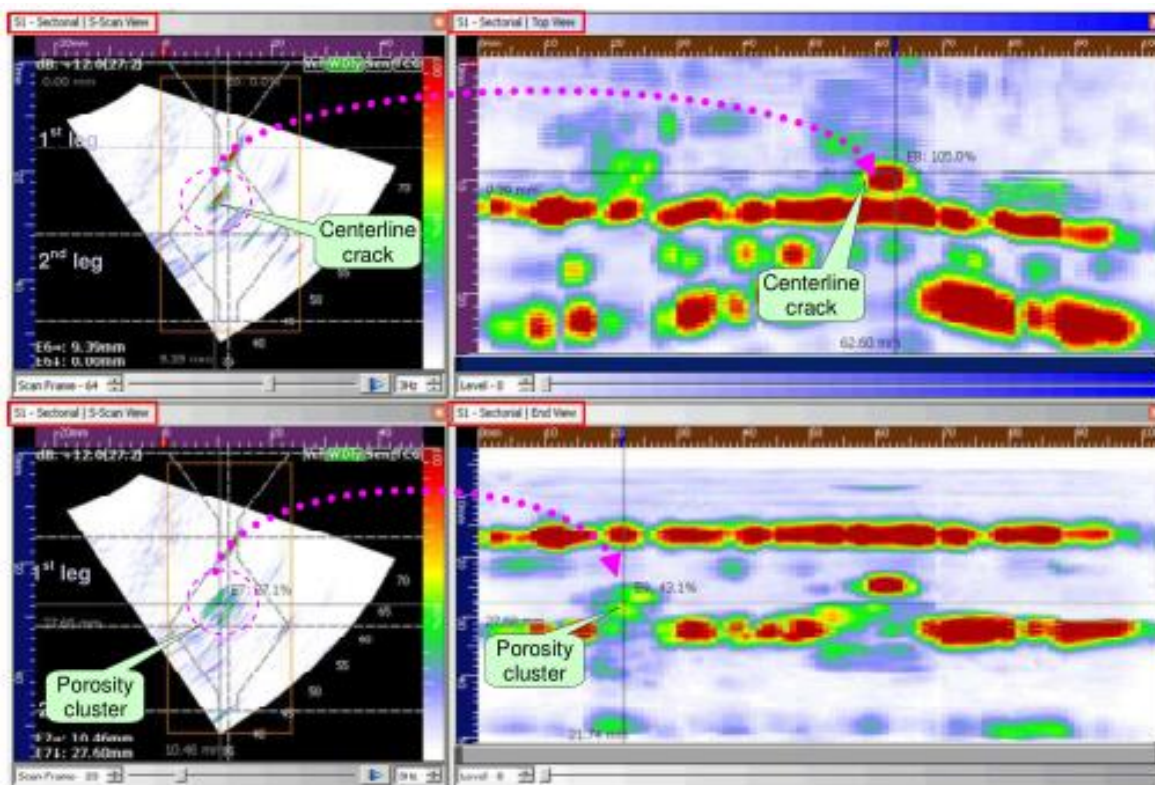


Рисунок 3.8 – Пошкодження ЗДП

Після провадження сканування потрібно налаштувати програму для автоматичного зберігання і передавання даних з дефектоскопа на сервер в офісі. Для того використаєм конфігураційне вікно, контроль, налаштування по звіту (рисунок 3.9).

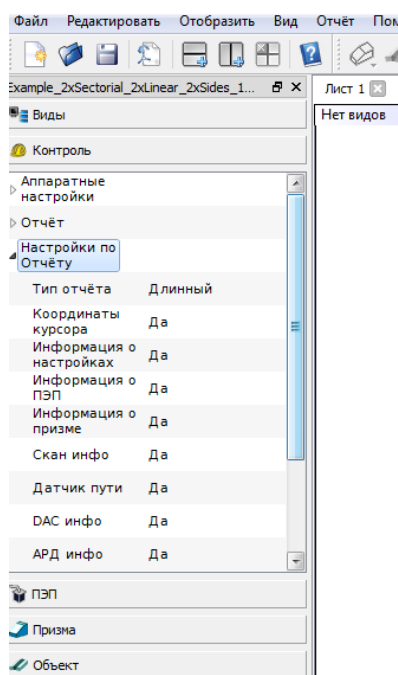


Рисунок 3.9 – Вікно налаштування, формування та відправлення звіту

3.2 Налаштування обладнання для роботи в GSM-каналі

Для роботи з GSM-каналу необхідно мінімум два модеми:

- перший - для прийняття повідомлень від дефектоскопу,
- другий - для відправлення повідомлень на сервер.

Спочатку виконується налаштування модему для прийому повідомлень. Для прийняття повідомлень від дефектоскопу працюють в GSM-каналі необхідний GSM-модем, рекомендовані моделі - Siemens MC35i або Wavcom M1306B. За допомогою кабелю RS-232 потрібно підключити модем до COM-порту комп'ютера, попередньо встановивши SIM-картку обраного оператора.

Наприклад, модем підключили до 3-го COM-порту ПК. Для налаштування і підключення цього модему до ПЗ UTStudio, необхідно у головному меню Адмін - Налаштування - Обладнання в області Порт 1 (можна вибирати будь-який інший логічний порт) у полі COM-порт вибрати номер COM-порту (в нашому випадку COM - 3) далі вибрати канал зв'язку GSM-основний і виставити відповідну швидкість. Встановити галочку біля напису Підключити - Порт 1. Після установки галочки програма відкриває COM-порт і починає приймати повідомлення від GSM-модему. При вдалому підключенні модему в сітці подій з'явиться відповідні повідомлення. Крім інформації про наявність зв'язку з модемом, при успішній реєстрації в мережі стільникового оператора на екрані з'являється повідомлення із зазначенням його назви (рисунок 3.10).

11:43:45	1-0	ПО МОСТ - Порт 1	Порт успешно открыт	COM1, 19200 бит/с
▶ 11:43:45	1-0	ПО МОСТ - Порт 1	Связь с GSM-оператором восстановлена	UA UMC
11:43:45	1-0	ПО МОСТ - Порт 1	Связь с GSM-оборудованием восстановлена	COM1

Рисунок 3.10 - Повідомлення в сітці подій при успішному підключенні модему та реєстрації в мережі стільникового оператора

При роботі по GSM-каналу для контролю можна використовувати безоплатну перевірку зв'язку.

Для передачі даних від дефектоскопу необхідний другий GSM-модем

та SIM-картка обраного оператора. Модем підключається до COM-порту комп'ютера за допомогою кабелю RS -232.

Наприклад, модем підключили до 2-го COM-порту ПК. Для налаштування і підключення цього модему до ПЗ UTStudio, пункт меню Адмін - Налаштування - Обладнання в області Порт 2 (можна вибирати будь-який інший логічний порт) у полі COM-порт вибрати номер COM-порту (в нашому випадку COM - 2) далі вибрати канал зв'язку - GSM-перевірка зв'язку» і виставити відповідну швидкість. Встановити галочку біля напису Підключити - Порт2.

Після підключення обох модемів вікно налаштування обладнання матиме вигляд як і у першому випадку (рисунок 3.10) .

Після успішного підключення GSM-модемів, ПЗ UTStudio налаштоване і готове для передачі звітів по GSM-каналу.

Далі необхідно виконати налаштування архівування БД. Резервна копія призначена для відновлення БД при аварії системи. У разі неполадок з БД необхідно буде провести відновлення, шляхом заміни файлу несправної БД на останню резервну копію, за допомогою утиліти BackUpRestore.exe. Тому, рекомендується виконувати резервування періодично і перед внесенням критичних змін до бази, в т.ч. при оновленні версії програми.

У результаті операції архівування БД в каталозі, зазначеному при налаштуванні параметрів архівації створюється архівний файл, ім'я якого утворюється на основі поточної дати і часу. Дані в такому файлі зберігаються в стислому вигляді, економлячи дисковий простір.

Наприклад, якщо задано створення архіву в каталозі C: \ file\prihod\, то при виконанні архівування в 11 годин 14 хвилин 29 квітня 2013 в результаті цієї операції буде створений файл: C: \ file\prihod \ most201304291114.utcfg містить копію БД і файлу налаштувань програми на цей час.

Архів БД призначений для зберігання застарілих подій, а також для відновлення при збоях в БД або файлі налаштувань. Програма дозволяє при необхідності переглянути події з архіву (Моніторинг - Історія подій (з архіву)). Параметри архівування і резервування задаються викликом

відповідного діалогу (меню Адмін - Налаштування - Архівування), (рисунок 3.11).

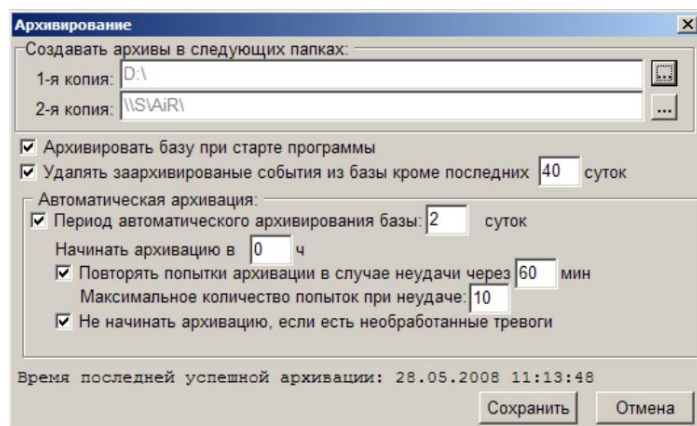


Рисунок 3.11 – Діалогове вікно архівування

Слід вказати шлях для створення 1-й і 2-й архівних копій. Рекомендується створювати дві резервні копії - як на комп'ютері, де встановлена система, так і на будь-якому іншому.

Якщо встановити прапорець Архівувати базу при старті програми, то при кожному запуску ПЗ UTStudio буде виконуватися архівування БД. При цьому в сітці Подій буде відображена інформація про хід архівування (резервування).

Оскільки при роботі програми розмір файлу БД постійно збільшується, знижуючи продуктивність системи, то настійно рекомендується вивантажувати старі події (наприклад, 10-денний і більше давності) з бази в архів. Це виконується при установці опції Видаляти заархівовані події з бази. Якщо встановити, крім останніх 40 діб, то, після архівації всієї БД, в основній БД будуть залишені тільки події, що надійшли за останні 40 діб. Решта події можна буде переглянути з архіву (Моніторинг - Історія подій з архіву).

Група параметрів Автоматична архівація призначена для проведення архівації без запиту оператора. При цьому періодичність архівації (в добі) задається параметром Період автоматичного архівування БД. Встановіть бажаний час проведення архівації параметром Починати архівацію у При цьому якщо архів створити не вдалося з довільних причин (наприклад,

мережевий комп'ютер був недоступний) і встановлений параметр Повторювати спроби архівації у разі невдачі через ..., то спроба створення архіву повториться, через вказану кількість хвилин.

Всього буде зроблено до Максимального кількості спроб при невдачі, після чого автоматична архівація буде відкладена на Період автоматичного архівування БД. Бажано встановити час автоматичного архівації відповідним мінімальному завантаженні пульта (наприклад, з 0000 до 0700, або з 2200 до 2300 годин).

Також можна провести архівування вручну (у будь-який момент роботи програми), скориставшись відповідною командою (Адмін - Створити архів БД).

У нижній частині вікна Архівування можна бачити інформацію про час останнього успішного архівації.

При операції архівування зберігається тільки сама БД, разом з посиланнями на графічні файли, а також файл налаштувань. Збереження ж самої графічної інформації (фото та малюнки до об'єктів) не виконується.

3.3 Розробка програмного забезпечення

Згідно стандартів доцільно вибрати ОС сімейства Linux [37]. Для робочих станцій виберемо rpm-based ОС Fedora 14. Це остання версія ОС від фірми RedHat призначена саме для використання на робочих станціях. Популярність цієї ОС серед Linux систем забезпечить велику кількість доступних програм та справ очну інформацію по налаштуванню системи.

Для серверу використаємо deb-based ОС Ubuntu Server Edithion. Ця версія ОС призначена саме для використання на серверах. Підтримує всі сучасні необхідні технології. Ubuntu Server орієнтований на надання надійної та безпечної серверної платформи, що дає користувачам зручність використання та управління. Ubuntu Server легко інтегрується з Linux, Windows та MacOS. Всі версії Ubuntu Server поставляються з Open LDAP, при потребі можна створити спільні служби каталогів. Всі клієнти без

проблем можуть обмінюватися файлами та мають однаковий доступ до сервісів серверу. Загальний доступ до файлів та принтерів забезпечує SAMBA. Інтеграція з існуючими UNIX і Linux системами, також підтримуються протоколи, NFS, Kerberos, SSH та ін.

В проєктованій РКС використовуємо вдосконалену версію ПЗ UTStudio, яке набагато ефективніше і простіше у використанні. Це ПЗ підтримує всі функції HARFANG VEO, а також має ряд інших можливостей для простої обробки. UTStudio дозволяє аналізувати зібрані дані і формувати звіти. Якщо встановлена Pro-версія, то можливий ще віддалений контроль і управління VEO з комп'ютера. Додавання та видалення виконуваних функцій спрощує роботу з ПЗ і підвищує продуктивність. Швидкий аналіз отриманих даних і вимірювання дефекту. Інтегрований симулятор функції PhaseFX, який забезпечує трасування променя.

UTStudio - це зручний для користувача ПЗ для автоматизованого отримання та аналізу даних. На вибір пропонуються 3 версії UTStudio: Viewer (demo), Lite (спрощена) і Pro (професійна). Viewer-версія має обмежені можливості, але вона дозволяє вашим клієнтам і колегам швидко переглянути отримані дані, до того ж ця версія доступна абсолютно безкоштовно. Lite-версія дозволяє провести повний аналіз зібраних даних.

Переваги UTStudio:

- Спрощує роботу - UTStudio була розроблена для полегшення роботи, її інтерфейс наочний і простий. Studio, ПЗ ретельно розроблена і спроектована може здивувати і зацікавити практично всіх! У порівнянні з рентгенівськими знімками. Як правило, людині легко вдається оцінити рентгенівські знімки, програма аналізу UTStudio формує результати, оцінити які так само просто.
- Автоматичне формування видів зверху/збоку/з торця - UTStudio дозволяє швидко сформувати із зібраних даних будь-який з видів. Вони ні трохи не змінюють свою інформацію ніж рентгенівський знімок, але на відміну від рентгенографії тут отримуємо потрібне зображення в миттєво.
- Складання звіту - UTStudio забезпечує складання звітів, які

відображають усю необхідну інформацію. Звіт відображає точне розташування та розміри дефектів. Точність ультразвукового контролю за допомогою UTStudio можна визначити глибину розташування дефекту для спроектованих видів. Це як формування рентгенівських знімків, але більш точно і надійно, та як це ультразвук.

UTStudio-Pro й автоматизовані сканери відмінно комплектуються один з одним. UTStudio-Pro дозволяє віддалено керувати автоматизованими сканерами, обробляти інформацію від координаторів положення, прив'язуючи її до отриманими даними, швидко і легко аналізувати дані.

Простий користувальницький інтерфейс з можливістю додавання та видалення функцій, швидкий вивід даних, швидка передача даних через мережу, можливість відображення безліч її видів, широкий вибір вимірювальних інструментів, можливість збереження даних у форматі ASCII, всі параметри, які використовуються при контролі, зберігаються, побудова 3-х мірних зображень для більш швидкого і зрозумілого подання обстановки, представлення всіх зон фокусування, складання звітів за шаблоном з емблемою вашої фірми.

Виміряти можна все що завгодно, при використанні UTStudio у вас є повний набір інструментів, що провести не обхід ні виміри. Так само на клавіатурі є ряд кнопок для зручності і швидкості роботи

PHPMyAdmin є важливим інструментом у веб-сфері. Оскільки цей веб-застосунок має відкритий код, розроблений на PHP, і виступає як інтерфейс для адміністрування MySQL, однієї з популярних систем керування БД. Його основною функцією є реалізація взаємодії з MySQL через браузер, надаючи можливість виконувати SQL-команди, переглядати вміст таблиць та БД. Для веб-розробників PHPMyAdmin став універсальним інструментом, який спрощує адміністрування MySQL, дозволяючи це робити через інтуїтивний і дружельобний інтерфейс, що уникне необхідності написання складних SQL-команд вручну(рисунок 3.12).

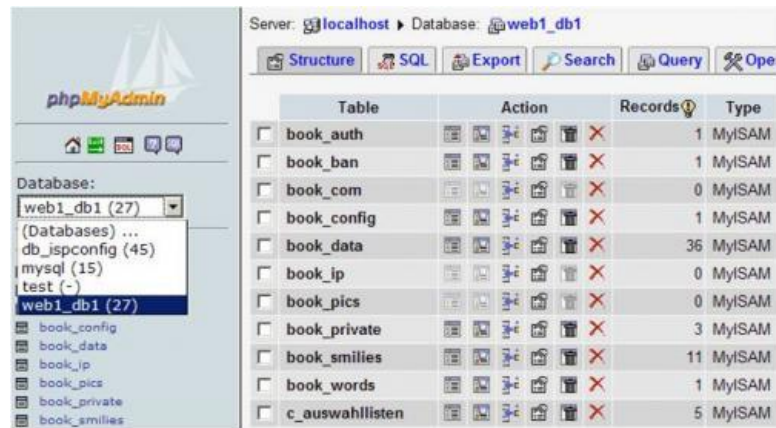


Рисунок 3.12 – Інтерфейс програми адміністратора

Розповсюдження програми відбувається під ліцензією GNU General Public License, що дозволяє іншим розробникам використовувати її в своїх проектах. Наприклад, вона інтегрується у такі проекти, як XAMPP та Denwer.

Експорт БД можна виконати за допомогою вкладки Експорт (рисунок 3.13). Це призведе до створення дампу БД, який складається з набору SQL (DDL) інструкцій. Такий дамп містить структуру БД і дозволяє зберегти інформацію у вигляді SQL-запитів, які можна використовувати для відновлення цієї БД на іншій системі чи для резервного копіювання.



Рисунок 3.13 – Експортне вікно

Для перенесення БД на інший сервер, потрібно виконати SQL-запит, який містить дамп БД.

Моделювання предметної області за допомогою реляційної моделі даних є поширеним підходом. Більшість БД створюються для моделювання конкретної частини реального світу, яку називають предметною областю.

На логічному рівні об'єкти в цій предметній області є сутностями (entities) і пов'язані між собою через відношення (relationships). На фізичному рівні системи керування БД представляє сутності у вигляді таблиць, а

відношення - у вигляді обмежень зовнішнього ключа (рисунок 3.14).

Основні типи відношень у реляційній моделі:

- Один-до-одного: кожен рядок таблиці пов'язаний з нулем або одним рядком іншої таблиці.
- Один-до-багатьох: кожен рядок таблиці пов'язаний з нулем, одним або декількома рядками іншої таблиці.
- Багато-до-багатьох: кожен рядок першої таблиці пов'язаний з нулем, одним або декількома рядками другої таблиці, і кожен рядок другої таблиці може бути пов'язаний з нулем, одним або декількома рядками першої таблиці.



Рисунок 3.14 – Структура БД РКС

Звичайно, в MySQL можуть не застосовувати інструкцію FOREIGN KEY для зовнішніх ключів. Часто цю функцію реалізують через логіку програми. Щоб підвищити продуктивність SQL-запитів, важливо індексувати поля, що виконують роль зовнішніх ключів.

Отримання інформації про якість ЗДП з вказаної групи полотен (група-зв'язок):

```
SELECT * FROM Quality
```

```
INNER JOIN RailTracks ON Quality.trackID = RailTracks.trackID
```

```
WHERE RailTracks.groupID = 'вказана_група_полотен';
```

Цей запит повертає дані про якість ЗДП для конкретної групи полотен.

Запит для отримання всієї інформації про якість ЗДП (зв'язок-зв'язок):

```
SELECT * FROM Quality  
INNER JOIN RailTracks ON Quality.trackID = RailTracks.trackID  
WHERE RailTracks.trackCode = 'вказаний_код_рейсу';
```

Цей запит витягає усі дані про якість ЗДП для конкретного рейсу.

Отримання детальної інформації про якість певного ділянки ЗДП (індивідуальний запис):

```
SELECT * FROM Quality  
WHERE trackID = 'вказаний_ID_полотна';
```

Цей запит повертає докладну інформацію про якість певної ділянки ЗДП.

В більшості випадків відношення в БД встановлюють між різними таблицями. Але іноді таблиця може мати зворотні відношення, що дозволяють таблиці взаємодіяти з собою. Це корисно для створення ієрархічних структур, наприклад, у реалізації ієрархії співробітників у компанії, де менеджер може мати під собою інших співробітників.

Так звані ієрархічні зворотні відношення, застосовуються для організації інформації про ієрархічні зв'язки в межах однієї таблиці. Давайте розглянемо приклад, де одна таблиця представляє інформацію про співробітників у фірмі.

Наприклад таблиця "RailwayTracks" може містити дані про ділянки ЗДП, включаючи інформацію про кожен відрізок, його стан і спеціалістів, які виконували контроль.

sqlCopy code

```
CREATE TABLE RailwayTracks (  
track_id INT PRIMARY KEY, track_name  
VARCHAR(100), section_id INT,  
FOREIGN KEY (section_id)  
REFERENCES RailwayTracks(track_id)  
);
```

У цьому прикладі "section_id" може посилатися на той самий "track_id" в тій же таблиці, що дозволяє створити відношення батько-дитина в межах даних про різні ділянки колій.

sqlCopy code

```
INSERT INTO RailwayTracks (track_id, track_name, section_id) VALUES  
(1, 'Північна ділянка', NULL), -- верхній рівень  
(2, 'Східний відрізок', 1), -- підпорядкований Північній ділянці  
(3, 'Західний відрізок', 1); -- підпорядкований Північній ділянці
```

У цьому випадку "Північна ділянка" є головною ділянкою (section_id = NULL), тоді як "Східний відрізок" і "Західний відрізок" підпорядковані цій ділянці (їхні section_id посилаються на track_id "Північної ділянки").

Ця ієрархічна структура може допомогти організувати та відображати різні рівні ділянок ЗДП, спрощуючи аналіз та управління якістю різних секцій через внутрішні зв'язки в межах однієї таблиці даних про залізничні ділянки.

Відношення реалізується у межах таблиці за рахунок додавання поля, яке посилається до ключового поля цієї ж самої таблиці, але до іншого запису рисунок 3.15.

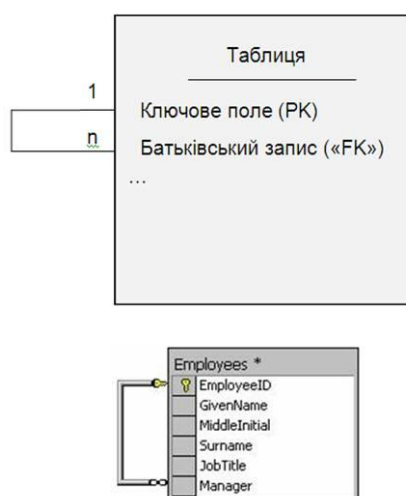


Рисунок 3.15 – Посилання на ключове слово

Наприклад, для отримання та виведення інформації про дефекти на ЗДП:

```
<?php
// З'єднання з БД
$link = mysql_connect('localhost', 'mysql_user', 'mysql_password');
if (!$link) {
    die('Could not connect: ' . mysql_error());
}
mysql_select_db('railway_database') or die('Could not select database');
// SQL-запит для вибору дефектів на ЗДП
$query = 'SELECT * FROM rail_defects';
$result = mysql_query($query);
// Виведення результатів
if ($result) {
    while ($row = mysql_fetch_assoc($result)) {
        echo "Тип дефекту: " . $row['defect_type'] . '<br />';
        echo "Розмір дефекту: " . $row['defect_size'] . '<br />';
        echo "Положення дефекту: " . $row['defect_location'] . '<br />';
        echo "Дата контролю: " . $row['inspection_date'] . '<br />';
        echo '<br /><br />';
    }
    mysql_free_result($result);
}
mysql_close($link);
?>
```

Цей код виводить інформацію про тип, розмір, положення та дату контролю різних дефектів на ЗДП, яка зберігається в таблиці rail_defects у БД railway_database.

Крім цього, можна створити подібний скрипт для відображення результатів контролю певних ділянок чи для виведення даних з ієрархічної

структури контролю ЗДП, що включає вищі рівні дефектів та їхні підпорядковані елементи.

Оскільки дані про УЗ контроль якості ЗДП можуть бути об'ємними, важливо правильно формувати запити до БД, щоб уникнути помилок.

Приклади налаштування запитів PHP-MySQL для контролю якості ЗДП наступні:

```
<?php
// Приклад 1: Отримання даних про УЗ контроль конкретної ділянки
ЗДП
$rail_id = 123; // ідентифікатор ділянки, дані якої потрібно отримати
$query = "SELECT * FROM ultrasonic_data WHERE rail_id = $rail_id";
print $query; // запит для перевірки коректності формування запиту
$result = mysql_query($query);
// ... решта коду для обробки результатів запиту
?>
```

```
<?php
// Приклад 2: Отримання зведених даних про УЗ контроль різних
ділянок ЗДП
$query = "SELECT rail_id, COUNT(*) as total_defects FROM
ultrasonic_data GROUP BY rail_id";
print $query; // запит для перевірки коректності формування запиту
$result = mysql_query($query);
// ... решта коду для обробки результатів запиту
?>
```

Текст програми наведено в додатку А, що відображає форми та дані для роботи з БД, сама функціональність зберігання, обробки і взаємодії з даними передбачає більш широкий стек технологій. HTML використано для створення користувацького інтерфейсу для проектованої РКС, зокрема для

візуалізації даних, представлення звітів, взаємодії з користувачем через веб-інтерфейс. Це лише частина більшого ПЗ, що включає в себе спеціалізовані програми, обробку сигналів УЗ датчиків та інші функції, які не відображаються в HTML-кодi.

3.4 Розробка драйвера послідовного інтерфейсу

Драйвер для РКС УЗ контролю якості ЗДП повинен забезпечувати безперервний обмін даними з контролером УЗ дефектоскопа через послідовний порт комп'ютера. При цьому він має забезпечувати буферизацію введення-виведення та належну роботу контролера переривань.

Інтерфейс драйвера має наступний набір функцій:

- InstallCOM - налаштовує обробку апаратного переривання в залежності від вибраного номера COM порту;
- OpenCOM - готує COM порт для роботи, встановлює швидкість обміну даними, кількість стопових бітів та контроль передачі;
- Sread - читає символ з програмного буфера, передає його програмі та видаляє з буфера;
- Swrite - записує символ у програмний буфер для подальшої передачі через COM порт;
- CloseCOM - завершує роботу з COM портом на встановленій швидкості, реалізує апаратний протокол закінчення роботи;
- RestoreCOM - відновлює попередні налаштування системи, що були до початку роботи програми;
- IsRing byte - перевіряє наявність виклику з модемно-телефонної лінії та повертає відповідні значення.

Дані функції дозволяють налагоджувати та керувати обміном інформацією між робочою станцією та контролером УЗ пристрою забезпечуючи необхідну обробку ввід та виведення, а також управління обладнанням УЗ контролю ЗДП через послідовний інтерфейс.

Текст програми наведено в додатку Б є частиною низькорівневої

програми для реалізації взаємодії з пристроями через послідовний інтерфейс, наприклад, для зчитування/запису даних з/на пристрої через COM-порти.

Фрагмент коду містить ASM-код, який відповідає за роботу з послідовним інтерфейсом для управління COM-портами комп'ютера. Він використовується для програмування на рівні мікроконтролерів. У даному випадку, йдеться про конфігурацію та керування параметрами портів COM (COM1, COM2 тощо), встановлення розмірів буферів для прийому і передачі даних, обробку переривань, управління реєстрами UART і контролерами переривань. У коді є інструкції для вибору конкретного порту, збереження поточного вектора переривань COM, ініціалізація регістрів UART, дозвіл переривань та інші операції, зв'язані з роботою з COM-портами.

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено розподілену комп'ютеризовану систему для ефективного контролю стану залізничного покриття з використанням УЗ дефектоскопії, що забезпечує можливості для регулярного моніторингу та швидкого реагування на проблеми, підвищуючи загальний рівень безпеки та надійності у залізничному транспорті.

Аналіз сучасного стану залізничної інфраструктури показав, що залізничний транспорт має важливу частку у перевезеннях, відіграючи ключову роль у транзитних операціях. Він не лише залишається актуальним, але й продовжує бути ефективним та економічним засобом транспортування значних обсягів товарів, сприяючи розвитку й задоволенню логістичних потреб різних галузей економіки.

Проаналізувавши систему залізнодорожного господарства визначено будову та характеристики її компонентів та визначено пріоритетні напрямки для її покращення та розвитку враховуючи сучасні вимоги до ефективності та безпеки залізничного транспорту.

Аналіз технологій і систем контролю стану ЗДП дозволив виявити переваги та недоліки різних засобів, а також визначити важливість моніторингу в реальному часі залізничної інфраструктури для оперативного виявлення потенційних недоліків для усунення аварійних ситуацій

Проведено дослідження АСУ залізничним господарством, зокрема її структура та функціональні можливості підсистем. Окреслено роль та місце системи автоматизованого контролю дефектів у цілісній структурі АСУ залізничного транспорту, що дозволило сформулювати вимоги до проектованої системи.

Досліджено різноманітних методів та засобів неруйнівного контролю дозволило обґрунтувати вибір УЗ дефектоскопії як найбільш ефективного засобу для вирішення завдань контролю.

В результаті розроблена комп'ютеризована система з використанням клієнт-серверної архітектури, що дозволяє розподіляти функціонал системи

між кількома вузлами або пристроями. Розроблено структуру РКС. Використання Web-орієнтованої моделі дозволяє нівелювати нечутливість до ОС клієнта. Реалізація інтерфейсу користувача або системи візуалізації дозволяє відображати дані щодо стану ЗДП у зручному для вигляді, що дозволяє аналізувати дефекти та здійснювати прогноз поломок або зносу компонентів за допомогою аналізу даних. Проектована РКС відповідає принципам модульності, тобто функціонал розбитий на окремі модулі, яких відповідають за виконання конкретної функції. Такий підхід дозволяє легко замінювати або розширювати окремі модулі у майбутньому, що сприятиме розвитку та удосконаленню системи.

Обґрунтовано вибір технічних засобів характеристики яких дозволяють реалізувати проєктовану систему та забезпечити її функціональні можливості й виконання передбачених завдань.

Розроблено алгоритмічне та ПЗ проєктованої системи, зокрема реалізовано користувацький інтерфейс для візуалізації даних, представлення звітів, взаємодії з користувачем через веб-інтерфейс. Розроблено драйвер послідовного інтерфейсу, що забезпечує безперервний обмін даними з контролером УЗ дефектоскопа через послідовний порт робочої станції АРМ. Спроектовано та реалізовано БД на СУБД MySQL та ПЗ на мові PHP.

Проведене імітаційне моделювання РКС контролю залізничного покриття що дозволило оцінити ефективність та продуктивність системи з використанням різних сценаріїв.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистичні дані про Українські залізниці.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html>
2. Транспорт України / За редакцією І.Петренко / Державна служба статистики України.- Київ, 2020.-116с.
3. Підсумки роботи залізничного транспорту України у 2022 році.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/pidsumky-roboty-zaliznychnoho-transportu-ukrayiny-u-2022-r>
4. Бутько Т.В. Системи технологій залізничного транспорту: / Т.В. Бутько, О.Е. Шандер, Л.О. Пархоменко, В.М. Прохоров.– Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 80 с.
5. Укрзалізниця для підвищення безпеки руху використовує інноваційні технології.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_news/219943/
6. ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм; Уведено вперше; надано чинності 2014-12-02. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с.
7. Ulianov C. Innovative Monitoring and Predictive Maintenance Solutions on Lightweight Wagon / C. Ulianov, P. Hyde. – England, 2020. – 169 с.
8. Постійна діагностика колії для безпеки руху поїздів.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.railway.supply/uk/postijna-diagnostika-koli%D1%97-dlya-bezpeki-ruhu-po%D1%97zdiv/>
9. Технології машинного зору на залізницях.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.railinsider.com.ua/tehnologiyi-mashynnogo-zoru-na-zaliznyczyah-ssha/>
10. Штомпель А.М. Колійне господарство / А.М.Штомпель, Н.В.Бугаєць, А.С.Малішевська, Н.О.Муригіна.–Харків: УкрДУЗТ, 2020.– 78с.
11. Моніторинг залізнодорожнього покриття та колій.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://mirnychyj.com.ua/topografichna->

zyomka/monitoring-zaliznodorozhnogo-pokritt/

12. Сушков В.Ф. Технологія ремонту й утримання колії: Підручник / В.Ф. Сушков, В.П. Шраменко, О.І. Белорусов, А.Д. Возненко – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 314 с.

13. Пуларія А.Л. Контроль технічного стану рухомого складу у сучасних умовах / А.Л. Пуларія, Л.П. Безовська.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9e1b53d4-e5d8-4c21-88ed-86f067626fa0/content>

14. Автоматизована система мікропроцесорної централізації для залізниць.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://www.ipra-soft.com/mpc_gd_u.html

15. Синєглазов В.М. Автоматизація технологічних процесів: Навч. Посібник / В.М. Синєглазов, І.Ю. Сергєєв – Київ, 2015. - 444 с.

16. Стрелко О.Г. Аналіз впровадження автоматизованих систем управління на залізничному транспорті / О.Г. Стрелко, Ю.А. Бердниченко, О.В. Петриковець, Т.О. Блистіва.- Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2019. Вип.33. Т.2.- с. 84-91.

17. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263

18. Куц Ю.В. Технології електромагнітного неруйнівного контролю / Ю.В. Куц, Ю.Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 63 с.

19. Геворкян Е.С. Неруйнівні методи контролю якості / Е.С. Геворкян, О.М. Мельник. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – 42 с.

20. Сусліков Л.М. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник / Л.М. Сусліков, І.П. Студеняк.– Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.

21. Неруйнівний контроль: досягнення та застосування в інспекції матеріалів і контролі якості. - [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://simvolt.ua/neruinivnyi-kontrol-dosiahnennia-ta-zastosuvannia-v-inspektsii-materialiv-i-kontroli-yakosti/>

22. Ультразвуковий дефектоскоп для контролю рейок.- [Електронний

ресурс].- Режим доступа: <https://www.ndt.com.ua/ru/products/ut/flaw-detectors/ultrazvukovoj-defektoskop-ud3-71-dlya-kontrolya-relsov-i-svarnykh-soedinenij>

23. Акустичний імпедансний дефектоскоп.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://xn--90anfscfbdt.com.ua/ua/p66292527-akusticheskij-impedansnyj-defektoskop.html>

24. Резонансний дефектоскоп.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://intron-set.com.ua/product/defektoskop-ultrazvukovoj-ud4-t-tomografik-2/>

25. Цифровий магнітопорошковий дефектоскоп.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://xn--90anfscfbdt.com.ua/ua/p776471792-magnitoporoshkovyj-defektoskop.html>

26. Феррозондовий дефектоскоп.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://bmci.by/upload/феррозондовому%20методу.pdf>

27. McFedries P. Web Design Playground.- Manning, 2023. - 504 p.

28. Saternos C. Client-Server Web Apps with JavaScript and Java.- O'Reilly Media, 2014. - 259 p.

29. Маршрутизатор Cisco 867VAE-K9.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://xn--h1aemkx.com.ua/marshrutizator-cisco-867-cisco867-k9>

30. Комутатор D-Link DGS-1005D.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://www.dlink.ru/ru/products/1/2552.html>

31. Сервер HP ProLiant ML110 G7.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://server-shop.ua/server-hp-proliant-ml-110-g7-4x35-lff-1ps-srv110g7.html>

32. HP Pro 3505 Microtower PC.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://support.hp.com/ua-uk/drivers/hp-pro-3505-microtower-pc/5270856>

33. HP ProBook 4540s Notebook PC.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://support.hp.com/ua-uk/drivers/hp-probook-4540s-notebook-pc/5229455>

34. Дефектоскоп HARFANG VEO.- [Електронний ресурс].- Режим доступа: <https://xn--90anfscfbdt.com.ua/ua/p294767241-ultrazvukovoj->

defektoskop-sonatest.html

35. GSM-модем Siemens MC35i Terminal.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://techinform.com.ua/GSM-3G-modems/Siemens/TC35iT-MC35iT.html>

36. Пакет програм NetCracker.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.netcracker.com/>

37. Операційна система сімейства Linux.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.linux.org/>