

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: «Телеметрична система контролю параметрів руху вантажних потягів»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальність)

В`юн К.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник Косенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дрючко О.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2025 рік

## Реферат

кваліфікаційної роботи «Телеметрична система контролю параметрів руху вантажних потягів»

Робота містить 79 сторінок, 19 ілюстрацій, 38 використаних джерел.

**Ключові слова:** залізниця, вантажні перевезення, телеметрична система, бездротова мережа, електровоз, енергоефективність, контроль параметрів.

Предметом розроблення кваліфікаційної роботи є залізнична телеметрична система, що базується на стандарті передачі даних IEEE 802.15.4. Використання протоколу ZigBee дозволяє здійснювати моніторинг багатьох телеметричних параметрів за низьких витрат.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів.

Прийнятий до використання у роботі комунікаційний протокол ZigBee характеризується доцільністю застосування у додатках з низьким енергоспоживанням і низькою вартістю реалізації. Так, розроблювана телеметрична система має можливість забезпечити постійний і в режимі реального часу моніторинг ключової інформації про вантажні рухомі склади. До її функціоналу також входить збір детальної інформації про рух потягів, надаючи додаткові інструменти для діагностики та профілактичних дій під час експлуатації та технічного обслуговування потягів.

Кваліфікаційна робота має практичну цінність і у випадку практичної реалізації розроблюваної системи, результатом може бути складання переліку ефективних рекомендацій для виявлення можливих проблем, пов'язаних з передачею даних, а також визначення методів забезпечення високої відмовостійкості телеметричної мережі.

## ABSTRACT

of the qualification work "Telemetric system for monitoring the parameters of freight trains"

The work contains 79 pages, 12 illustrations, 38 sources used.

**Keywords:** railway, freight transportation, telemetric system, wireless network, electric locomotive, energy efficiency, parameter control.

The subject of the development of the qualification work is a railway telemetric system based on the IEEE 802.15.4 data transmission standard. The use of the ZigBee protocol allows monitoring many telemetric parameters at low costs.


The purpose of this qualification work is to develop a telemetric system for monitoring the parameters of freight trains.

The ZigBee communication protocol adopted for use in the work is characterized by the expediency of use in applications with low energy consumption and low implementation cost. Thus, the developed telemetric system has the ability to provide constant and real-time monitoring of key information about freight rolling stock. Its functionality also includes collecting detailed information about train movement, providing additional tools for diagnostics and preventive actions during train operation and maintenance.

Qualification work has practical value and in the case of practical implementation of the developed system, the result may be the compilation of a list of effective recommendations for identifying possible problems associated with data transmission, as well as determining methods for ensuring high fault tolerance of the telemetry network.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Бакалавр  
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,  
електроніки та телекомунікацій  
 О.В. Шефер  
«01» квітня 2025 р.

### З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ В'юну Костянтину Геннадійовичу

1. Тема проекту (роботи) «Телеметрична система контролю параметрів руху вантажних потягів»  
керівник проекту (роботи) Косенко В.В., д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03. 03. 2025 року  
№ 306/1– ф.а.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідними даними є матеріали зібрані під час проходження практики.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд складових системи безпеки залізничних перевезень. Методика побудови телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів. Аналіз ефективності функціонування розроблюваної телеметричної системи. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів) Актуальність і мета роботи: полягає в необхідності підвищення ефективності та безпеки залізничних вантажних перевезень шляхом впровадження телеметричних систем моніторингу. Традиційні методи контролю не дозволяють оперативно реагувати на зміни стану рухомого складу, тому використання бездротових мереж, зокрема технології ZigBee, забезпечує в реальному часі збір і передачу важливих параметрів. Розробка телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів на основі бездротової сенсорної мережі, що забезпечує оперативний моніторинг технічного стану рухомого складу для підвищення надійності перевезень.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Огляд складових систем безпеки залізничних перевезень	22.04.25	I	20%	Пл. 1,2
2	Методика побудови телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів	08.05.25		40%	Пл. 3,4
3	Аналіз ефективності функціонування розроблюваної телеметричної системи.	22.05.25	II	60%	Пл. 5-9
4	Робота над висновками та оформлення кваліфікаційної роботи.	10.06.25	III	100%	Пл. 10-12

Студент  В`юн К.Г.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи  Косенко В.В.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ .....	10
1.1 Складові та функціонування системи безпеки управління потягами .....	10
1.1.1 Апаратні складові системи безпеки управління потягами.....	10
1.1.2 Універсальна система залізничної централізації SIRIUS .....	11
1.2 Загальна характеристика систем моніторингу потягів.....	15
1.2.1 Стандартна система моніторингу потягів .....	15
1.2.2 Сучасні система моніторингу руху поїздів .....	16
1.2.3 Порівняння ефективності розглянутих систем .....	21
Висновки до розділу 1 .....	21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОТЯГІВ .....	22
2.1 Обґрунтування вибору технологій для реалізації телеметричної системи....	22
2.1.1 Телеметрія у реальному часі.....	22
2.1.2 Бездротові сенсорні мережі.....	23
2.1.3 Протокол передачі даних ZigBee.....	27
2.1.4 Апаратне забезпечення ZigBee для WSN .....	32
2.1.5 Середовище розробки LabView .....	33
2.2 Характеристика розроблюваної телеметричної системи залізничних перевезень .....	34
2.2.1 Система вантажних перевезень .....	36
2.2.2 Система телеметрії ЗТС.....	38
2.2.4 Аналіз даних ЗТС .....	43
2.3 Збір телеметричних даних.....	44
Висновки до розділу 2 .....	45
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОЇ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ .....	46
3.1 Розгортання системи.....	46
3.1.1 Особливості взаємодії користувачів із системою.....	47
3.2 Відображення телеметричних даних.....	50

3.3 Рекомендації щодо тестування розробленої телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів .....	53
3.3.1 Особливості роботи з обладнанням .....	53
3.3.2 Інтерпретація результатів.....	54
Висновки до розділу 3 .....	55
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58
ДОДАТОК А.....	62
ДОДАТОК Б.....	74

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АКП	– автоматичне керування потягом
БС	– базова станція
ЗТС	– залізнична телеметрична система
МС	– мобільна станція
ОЗУ	– окреме залізничне управління
РК	– рідкокристалічний
СМ	– станція маршрутизатора
ЦМК	– центр моніторингу та керування
ЦП	– центральний процесор
ЦС	– центральна станція
AF	(Application Framework) – фреймворк застосунків
APS	(Application Support Sub-layer) – підрівень підтримки застосунків
CMOS	(Complementary-symmetry/metal-oxide semiconductor) – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник
CSMA-CA	(Carrier-sense multiple access with collision avoidance) – множинний доступ з визначенням несучої та запобіганням колізіям
EPROM	(Erasable Programmable Read Only Memory) – стираюча програмована пам'ять лише для читання
ERTMS	(European Rail Traffic Management System) – Європейська система управління залізничним рухом
FFD	(Fully Functional Device) – повністю функціональний пристрій
GGSN	(Gateway GPRS Support Node) – шлюз вузла підтримки GPRS
GIS	(Geographic Information System) – геоінформаційна система
GSM	(Global System for Mobile Communications) – глобальна система мобільного зв'язку
GPRS	(General Packet Radio Service) – Загальний сервіс пакетної радіопередачі
IP	(Internet Protocol) – Інтернет протокол
MAC	(Media Access Control) – рівень керування доступом до середовища

NWK	(Network Layer) – мережевий рівень
OSI	(Open Systems Interconnection) – взаємодія відкритих систем
PHY	(Physical Layer) – фізичний рівень
RAM	(Random Access Memory) – пам'ять з довільним доступом
RF	(Radiofrequency) – радіочастота
RFD	(Reduced Functional Device) – пристрій зі зниженою функціональністю
RFID	(Radio Frequency Identification) – радіочастотна ідентифікація
SAP	(Service Access Point) – точка доступу до служби
SCADA	(supervisory control and data acquisition) – диспетчерське управління і збір даних
SMS	(Short Message Service) – служба коротких повідомлень
SSP	(Security service provider) – постачальник послуг безпеки
WPAN	(Wireless Personal Area Networks) – бездротова персональна мережа
WSN	(Wireless Sensor Network) – бездротова сенсорна мережа
ZDO	(ZigBee device objects) – об'єкти пристроїв ZigBee

## ВСТУП

**Актуальність теми роботи.** В сучасних умовах, стандартних методів технічного обслуговування та моніторингу роботи залізничних вантажних рухомих складів, заснованих на періодичній перевірці, може бути недостатньо для уникнення певних експлуатаційних проблем. Так, ефективним інструментом є впровадження залізничної телеметричної системи (ЗТС), що розгортається на основі бездротової комунікаційної мережі, яка є недорогою, енергоефективною, модульною та здатною контролювати кілька телеметричних параметрів одночасно.

Доцільним варіантом бездротового стандарту передачі даних є ZigBee. Тож дані отримані від телеметричних датчиків дозволять центру моніторингу та керування (ЦМК) залізничного управління приймати більш швидкі та надійні рішення в режимі реального часу. Стандартизована інформація між ЦМК та рухомими складами підвищить динаміку та гнучкість у плануванні вантажних перевезень, а надання історичних даних буде корисним у ході дослідження та аналізу можливих несправностей рухомого складу.

Розроблювана у поточній роботі телеметрична система базується на стандарті передачі даних IEEE 802.15.4. Використання протоколу ZigBee дозволяє здійснювати моніторинг багатьох телеметричних параметрів за низьких витрат.

Основні характеристики протоколу ZigBee полягають у тому, що це протокол для додатків з низьким енергоспоживанням і низькою вартістю реалізації. Так, розроблювана телеметрична система має можливість забезпечити постійний і в режимі реального часу моніторинг ключової інформації про вантажні рухомі склади. До її функціоналу також входить збір детальної інформації про рух потягів, надаючи додаткові інструменти для діагностики та профілактичних дій під час експлуатації та технічного обслуговування потягів.

**Метою даної роботи** є розробка телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів.

Основні **задачі** роботи є наступними:

- провести огляд існуючих телеметричних систем, що використовуються на залізниці;
- обґрунтувати вибір технологій для реалізації телеметричної системи;
- визначити контрольовані телеметричні параметри;
- навести загальну характеристику розроблюваної телеметричної системи залізничних перевезень;
- виконати опис особливостей розгортання системи;
- сформулювати рекомендації щодо тестування розроблюваної телеметричної системи;
- скласти висновки за результатами роботи.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД СКЛАДОВИХ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

#### 1.1 Складові та функціонування системи безпеки управління потягами

##### 1.1.1 Апаратні складові системи безпеки управління потягами

###### *Баліза*

Назва даного пристрою походить від французького слова «balise», що означає маяк. Стандартизована євробаліза показана на рис. 1.1 – пристрої жовтого кольору, встановлені на залізобетонних шпалах [1].

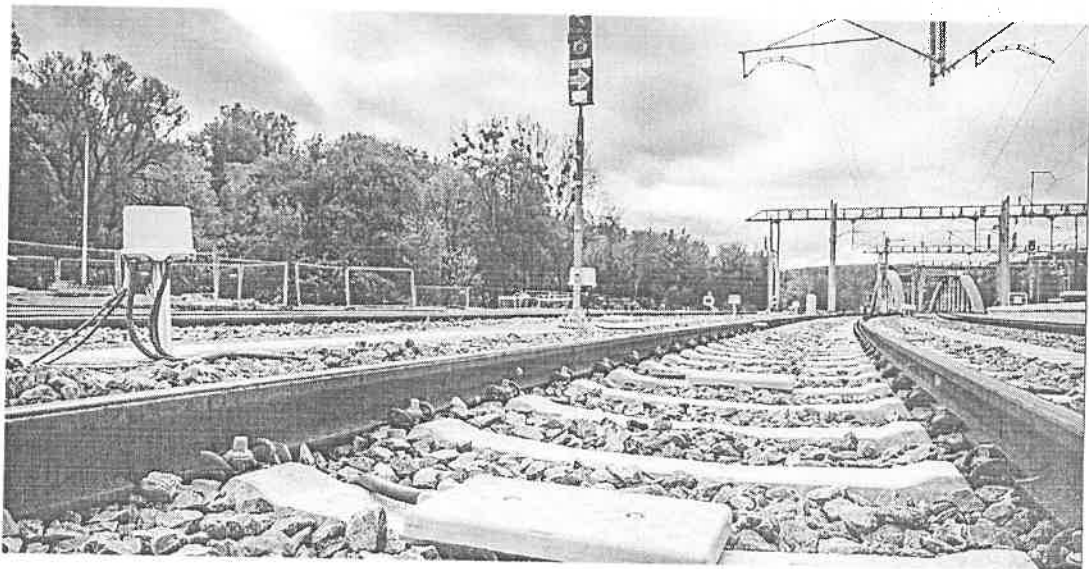


Рисунок 1.1 – Євробаліза у складі залізничної колії [2]

Це елемент, який встановлюється в залізничну колію. У свою чергу, локомотив оснащується балізним зчитувальним обладнанням, яке постійно передає сигнал на частоті 27 МГц для цих пристроїв. При проходженні балізи він отримує зворотні дейтаграми на діапазонах 3,9 і 4,5 МГц, які у випадку фіксованої балізи містять дані про її положення, а у випадку змінної балізи – статус ділянки шляху.

### *Лічильник осей*

Лічильник осей – це складна система обладнання, завданням якої є контроль за зайнятістю ділянки колії. Робота даного обладнання базується на двох так званих точках підрахунку, які визначають кількість осей і напрямок їх руху. Так, зайнятість залізничної секції визначається кількістю осей у ній [3].

### *Рейкові кола*

Це пристрій, який виявляє рейковий транспорт на ділянці колії. Він працює за принципом проходження струму через вісь рейкового транспорту. Детальний принцип виявлення за допомогою цього обладнання є досить складним.

### *Інші складові пристроїв безпеки*

Відповідна система безпеки може складатися з модуля керування (промисловий ПК, ПЛК або спеціальна апаратна частина), модулів введення (звичайні входи або контур струму), модулів виводу (звичайні виходи або безпечні виходи з гарантованим відключенням) і різноманітних спеціалізованих модулів. У якості останніх виступають, наприклад, роздільники ліній зв'язку, спеціалізовані маршрутизатори та комутатори [4].

## **1.1.2 Універсальна система залізничної централізації SIRIUS**

Оскільки у випадку з ранніми реалізаціями пристроїв безпеки можуть виникати проблеми з доступністю компонентів – в основному пам'яті та процесорів, то зростають витрати на кабельну розводку та будівництво технологічних приміщень. Так, зростає актуальність вимоги споживачів до розробки необслуговуваних пристроїв.

З причин, описаних вище, була створена нова технологія пристроїв централізації під назвою SIRIUS [5]. Реалізація даної технології базується на розподіленому рішенні, оскільки воно забезпечує вищу надійність. Це досягається за рахунок меншої кількості кабелів, що з'єднують входи та виходи з картриджами вводу-виводу і резервними лініями зв'язку. Також значними перевагами є застосування магістральної оптичної лінії, та нижча вартість розгортання системи,

порівняно із конкурентними рішеннями. Характерною рисою проекту є використання сучасних технологій – всі модулі використовують мікроконтролер від ST Microelectronics [6] з ядром ARM Cortex M. Це сприятиме майбутній доступності компонентів для виробництва та можливого ремонту, що особливо актуально з точки зору їх низького рівня споживання електроенергії. Блок живлення розділений на дві частини, внутрішня використовує безпечну напругу 24 В постійного струму, а зовнішня – 400 В постійного струму, що дозволяє використовувати кабелі меншого перерізу.

Дана система має поліпшення і в плані програмного забезпечення – порівняно зі старою системою К-2002, SIRIUS використовує модульне програмування мовою C++. Усі компоненти спочатку моделюються на ПК, що дає змогу краще тестувати окремі програмні модулі та виявляти помилки, які можуть мати негативний вплив на реальний пристрій під час роботи. Подальше зменшення помилок полягає в розробці відповідно Європейської системи управління залізничним рухом (англ. ERTMS), яка встановлює процедури та технічні вимоги до програмного забезпечення для програмованих пристроїв на залізниці з урахуванням умов безпеки [7]. Програмне забезпечення для всіх елементів, що стосуються безпеки, написані на власній однопотоковій операційній системі під назвою STARMos [5].

### *Лічильник осей PNS-03*

Лічильник осей PNS-03 – прилад для виявлення рейкових транспортних засобів на ділянках рейок. На підставі інформації про кількість осей у даній секції можна визначити, зайнята вона чи вільна, і встановити відповідний світловий сигнал. Так, кожна ділянка розмежована точками підрахунку, які зазвичай реалізуються за допомогою двосистемного індуктивного датчика RSR180 (рис. 1.2). Такий датчик встановлюється на рейці та дає змогу визначити вісь рейкового транспортного засобу, а також напрямок його руху за послідовністю обох сигналів. [3].



Рисунок 1.2 – Датчик подвійної системи RSR180 [8]

Для правильного виявлення осі між активацією обох систем має пройти заданий час ( $t_1, t_2, t_3$ ). Якщо цей час менший за вказаний мінімум, це означає так зване неправильне перехрестя та з міркувань безпеки сусідні ділянки колії будуть зайняті.

Вся система PNS-03 складається з комбінації кількох блоків (рис. 1.3), які забезпечують живлення, входи, виходи та зв'язок із зовнішньою системою, яка зчитує обидва датчики.

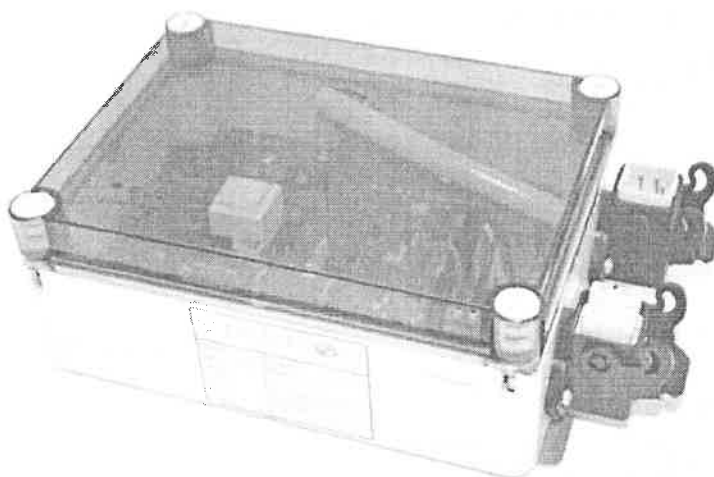


Рисунок 1.3 – Блок обробки сигналів лічильника осей PNS-03 [8]

Блок-схему пристрою PNS-03 наведено на рис. 1.4.

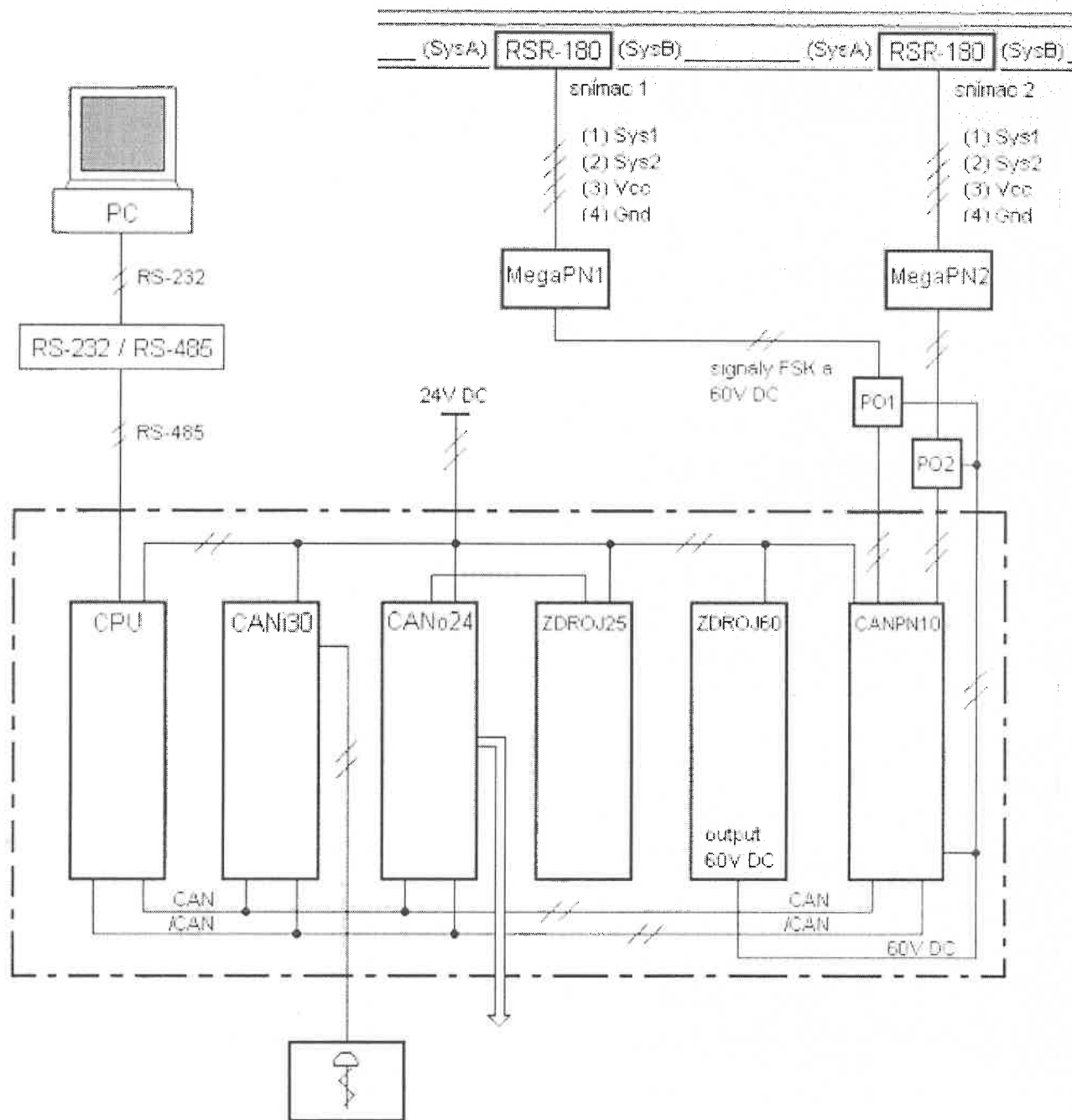


Рисунок 1.4 – Блок-схема PNS-03 [3]

Відповідно до рис. 1.4, ПК обслуговування відображає візуалізацію колії, кількість осей на окремих ділянках та їхню зайнятість. Якщо в систему входить сигнальна коробка К-2002, індикатори на сигналах також відображаються.

## 1.2 Загальна характеристика систем моніторингу потягів

### 1.2.1 Стандартна система моніторингу потягів

В даний час моніторинг потягів у ряді Європейських країн здійснюється періодично за допомогою портативних осцилографічних реєстраторів (рис. 1.5). Ці осцилографи є обладнанням для збору даних, яке може виконувати вимірювання датчиків і зберігати їх у внутрішній пам'яті.

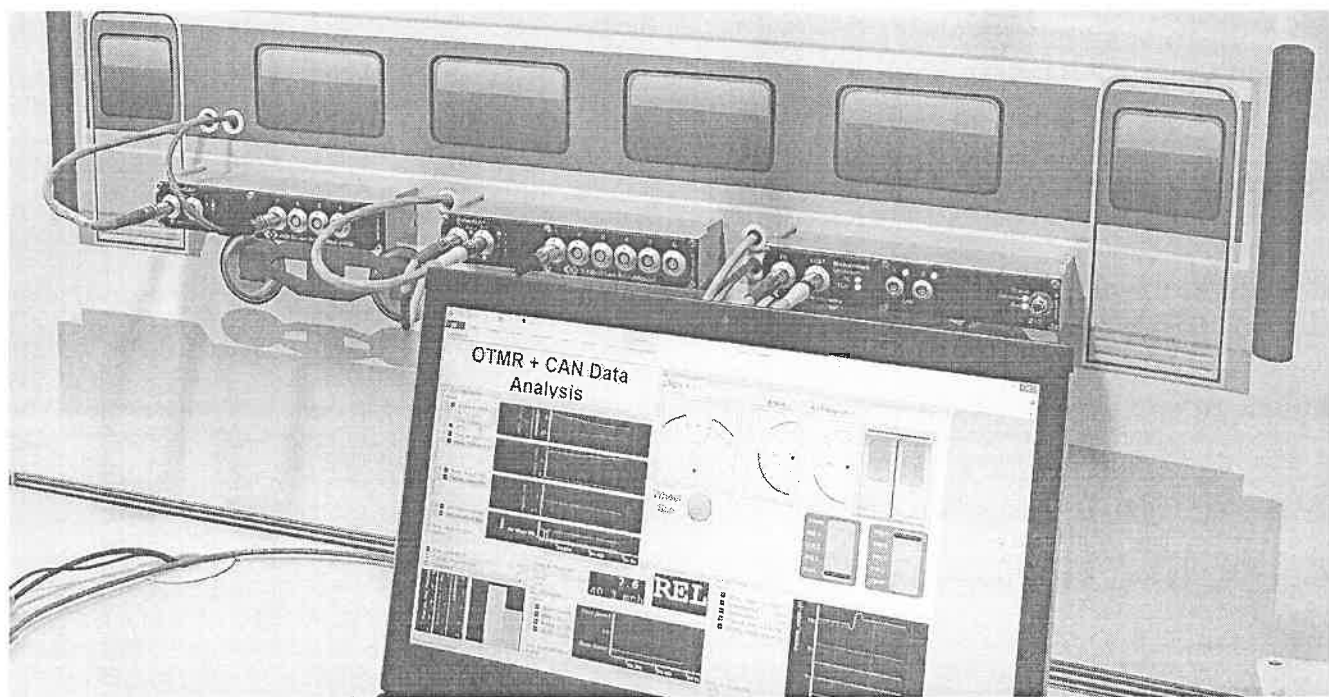


Рисунок 1.5 – Засоби осцилографії для моніторингу телеметричних параметрів потяга [9]

Моніторинг відбувається наступним чином: осцилограф розміщується в конкретному потязі, а його аналогові входи підключаються до датчиків у кабіні цього потяга, що дозволяє вимірювати фактори, які необхідно контролювати: швидкість, тиск, струм тягового двигуна та напруга живлення поїзда тощо. Для контролю зазначених параметрів, потрібна модель осцилографа, яка має 4 аналогових і 4 цифрових канали, що дозволить паралельно отримувати дані від чотирьох датчиків. Загалом, осцилограф продовжує збирати дані протягом заданого шляху. Наприкінці поїздки осцилограф вилучають із кабінки потяга та доставляють до інформаційного центру технічного обслуговування, де дані

вивантажуються та зберігаються на комп'ютері для обробки і аналізу інженерами та техніками.

Традиційні методи моніторингу і технічного обслуговування, засновані на періодичній перевірці, мають ряд обмежень і можуть бути недостатніми для запобігання деяким експлуатаційним дефектам. Так, якщо проміжок часу між перевірками відносно тривалий, багато дефектів можуть бути виявлені лише тоді, коли спричинене ними пошкодження стане розпізнаним або матиме серйозні наслідки для обладнання [10].

### 1.2.2 Сучасні система моніторингу руху поїздів

#### *Система моніторингу поїздів на основі радіочастотної ідентифікації*

Автори [11] пропонують систему моніторингу вагонів поїздів за допомогою модулів радіочастотної ідентифікації (англ. RFID), мікроконтролерів і глобальної системи мобільного зв'язку (англ. GSM), метою якої є автоматичне відстеження та запис розташування вагонів, усунення помилок, спричинених ручним відстеженням і записом цієї інформації. Ця система складається з модулів RFID-міток (рис. 1.6), прикріплених до поїздів, і модулів зчитування RFID (рис. 1.7), встановлених на залізниці на фіксованих відстанях.

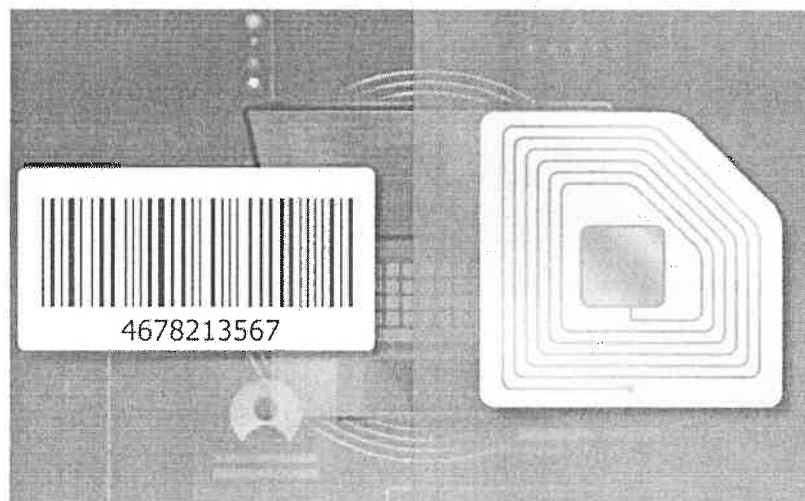


Рисунок 1.6 – RFID-мітка [12]

Кожен RFID-зчитувач підключається до комп'ютера через послідовний інтерфейс. Тим самим чином комп'ютер підключається до GSM-пристрою для надсилання зібраних даних на інші станції збору.



Рисунок 1.7 – RFID-зчитувач [12]

Системи RFID працюють у діапазонах частот від 30 до 500 кГц (низька частота), від 850 до 950 МГц і від 2,4 до 2,5 ГГц (обидва вважаються високочастотними).

Таким чином, у [11] пропонується використовувати недорогі RFID-модулі ID10 виробництва компанії Innovative Devices. Ці пристрої працюють на низькому рівні частоти – 125 кГц, які мають робочий діапазон 12 см. Використовувалися мікроконтролери AT89S52 (рис. 1.8).

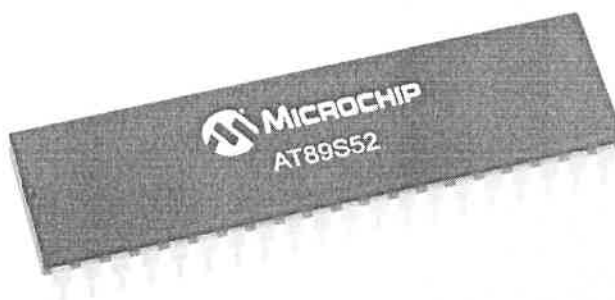


Рисунок 1.8 – Мікроконтролери AT89S52 [13]

Цей мікроконтролер має малопотужний процесор на основі комплементарної структури метал-оксид-напівпровідників (англ. CMOS), 8 кбайт стираючої програмованої пам'яті лише для читання (англ. EPROM), внутрішню 256x8-бітну пам'ять з довільним доступом (англ. RAM), 32 програмованих лінії вводу-виводу, 2 16-бітних таймера/лічильника, 8 джерел переривань і послідовний канал для програмування. Кристал з частотою 11,0592 МГц забезпечує тактовий сигнал для мікроконтролера.

Запропонована система працює наступним чином: RFID-мітки, прикріплені до вагонів потягів, надсилають інформацію про вагон (наприклад, ідентифікаційний номер і тип) до зчитувачів RFID щоразу, коли потяг проходить перед RFID-міткою. У свою чергу, зчитувачі закріплюються на рейках. Інформація, отримана за допомогою RFID-зчитувача обробляється мікроконтролером, відображається на маленькому РК-дисплеї (рідкокристалічному дисплеї) і одночасно надсилається на комп'ютер, який зберігає інформацію в базі даних. Комп'ютер підключено до стільникового телефону, який передає отримані дані на інші станції засобами служби коротких повідомлень (англ. SMS) у мережі GSM. Ця система виконує моніторинг лише положення поїздів і не виконує жодних інших типів вимірювань.

#### ***Бездротова система моніторингу швидкості поїздів на базі RCM3000***

У роботі [14] запропоновано систему для бездротового моніторингу швидкості поїзда, яка об'єднує сенсорні технології, мережі Ethernet і загального сервісу пакетної радіопередачі (англ. GPRS). Ця система виконує збір даних у режимі реального часу, передачу даних через бездротові мережі та керування вимірними даними поїзда. Система складається з центральної підсистеми управління та багатьох віддалених станцій моніторингу. Кожна станція має спеціальну IP-адресу (інтернет-протокол) і може стежити за потягами, які проходять її колією. Дані про швидкість потяга, виміряні кожною станцією, надсилаються до диспетчерського центру через мережу GPRS, а саме через шлюз вузла підтримки GPRS (англ. GGSN). Після отримання, дані можуть зберігатися на сервері центру керування та переглядатися авторизованими користувачами.

Дистанційні станції складаються з двох датчиків швидкості, плати зі схемою регулювання сигналу та плати, що містить мікропроцесор RCM3000 (рис. 1.9) і бездротовий модем. Два датчики закріплені на колії визначеним чином. Вихідні сигнали датчиків, які генеруються, коли потяг проходить повз них, піддаються різним типам збурень, що вимагає схеми для регулювання та налаштування сигналу, щоб його можна було точно зчитувати контактом RCM3000.

Коли кожне колесо поїзда проходить через два датчики, реєструється серійний номер і швидкість, а середню швидкість можна розрахувати після повного проходження поїзда. Швидкість розраховується на основі різниці в часі між імпульсами в двох датчиках. Отримані дані надсилаються на модем через послідовний порт RCM3000, а потім транспортуються до центру керування через мережу GPRS. Співробітники диспетчерського центру через центральну систему керування можуть отримувати, відображати та друкувати цю інформацію та контролювати стан поїздів, що проходять через станцію моніторингу.

### *Система бездротового зв'язку для моніторингу роботи залізничних транспортних засобів*

Автори [15] пропонують систему, засновану на поєднанні вбудованих комп'ютерів, цифрової обробки сигналів, бездротового зв'язку, GPS і технології геоінформаційної системи (англ. GIS). Система включає в себе платформи, встановлені всередині кожного контрольованого потяга, і центральну станцію, розташовану в офісі. Кожна платформа на борту виявляє різні події від транспортних засобів, що рухаються, поєднує час і місце розташування разом із даними та надсилає їх на центральну станцію засобами бездротового зв'язку. Відповідні функціональні блоки складаються з датчиків для конкретного застосування, GPS з антеною для зв'язку та електронного модуля, укладеного в корпус. Центральна станція записує дані в базу даних і показує місцезнаходження та стан кожного потяга, а також виявляє події на карті. Сигнали від усіх датчиків можуть надсилатися під час кожної події та можуть переглядатися оператором на центральній станції.

Система забезпечує дві форми зв'язку між центральною станцією та мобільною платформою всередині потяга. Залежно від вимог покриття цей зв'язок здійснюється через супутник або через бездротові мережі, пов'язані зі стільниковою передачею. Однак обидва методи мають певні проблеми, наприклад, дуже обмежений обсяг. Так, супутниковий зв'язок забезпечує найкраще покриття, але вартість таких послуг вище. Використання бездротових мереж у поєднанні з аналоговою стільниковою передачею забезпечує широкий діапазон за середньою ціною. Центральна станція отримує пакети даних від транспортних засобів і зберігає їх у базі даних. Для візуалізації даних використовується геоінформаційна система. Інтерфейс GIS представляє карту залізничної мережі та показує на ній зареєстроване розташування кожної віддаленої станції.

#### ***Пристрій стеження за потягом засобами бездротового зв'язку***

Відповідно до [16], система під назвою «Комп'ютер і мікрохвильове виявлення поїзда» дозволяє контролювати положення потягів через встановлені на коліях датчики та бездротовий зв'язок. Система складається з блоку передачі радіохвиль, який складається з: запитувача, відповідача, встановленого на колії та двох на борту поїзда, і блоку обробки даних. Колійні запитувачі та відповідальні пристрої мають радіопередавач/приймач, що працює на частоті 2450 МГц, і встановлені один проти одного на протилежних сторонах колії. Вони підтримують постійний зв'язок, посылаючи сигнали від одного пристрою до іншого. Коли потяг проходить між запитувачем і автовідповідачем на колії, зв'язок переривається, і система тоді припускає, що в цьому місці знаходиться потяг, що дає змогу визначити місцезнаходження цього потяга на основі відомого розташування обладнання. У цей момент два радіовідповідачі на борту потяга надсилають його ідентифікаційний код потяга та код місцезнаходження пристрою в потязі, які були попередньо визначені та збережені в пам'яті пристрою, до стаціонарного запитувача на колії. Ці відповідачі встановлюються всередині кабіни на певній відстані, так що кожен буде спілкуватися з радіостанцією запитувача в різний час. За цим порядком зв'язку можна виявити напрямок руху поїзда.

### 1.2.3 Порівняння ефективності розглянутих систем

У контексті поточної роботи було проведено дослідження основних технологій, що використовуються в сучасних системах моніторингу транспортних засобів на залізниці, з метою аналізу їх переваг і недоліків. Так, можна помітити, що багато з цих систем використовують технології бездротового зв'язку великої дальності, такі як GPS і GSM. Деякі роботи пропонують використання бездротових сенсорних мереж у поєднанні мікроконтролером або мікрокомп'ютером.

Отже, системи, що використовують GPS представляють перевагу великого діапазону покриття, що дозволяє здійснювати моніторинг у великій географічній зоні. Недоліком використання GPS для моніторингу потягів є висока вартість послуг і той факт, що це обладнання схильне до збоїв, спричинених електромагнітними перешкодами, такими як ті, що виникають під час проходження транспортного засобу через тунелі.

Ще одна технологія використана для моніторингу поїздів, це RFID у поєднанні з GSM-зв'язком. Модулі RFID, що використовуються, мають дуже обмежені діапазон та функції, лише ідентифікуючи потяг і визначаючи його місцезнаходження в певних точках.

#### *Висновки до розділу 1*

Таким чином, у рамках поточної роботи прийнято до використання радіочастотні модулі з технологією ZigBee для розробки системи моніторингу, яка дозволяє уникнути збоїв, викликаних електромагнітними перешкодами, що спостерігаються в системах, які використовують приймачі GPS. Система ZigBee також має перевагу в тому, що вона здатна постійно контролювати декілька факторів одночасно та надсилати отримані дані дистанційно на відносно великі відстані без необхідності використання додаткових технологій для передачі цих даних. На додаток до зазначених функцій, за допомогою технології ZigBee можна розробити автономну систему з набагато більш сприятливим співвідношенням витрати/вигоди, ніж розглянуті системи.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОТЯГІВ

#### 2.1 Обґрунтування вибору технологій для реалізації телеметричної системи

##### 2.1.1 Телеметрія у реальному часі

Телеметрія – це передача через фіксовану або бездротову мережу даних від кількох машин або віддалених пристроїв, розподілених у заздалегідь визначеній географічній зоні, до центру моніторингу та керування (ЦМК). Така система дозволяє отримувати дані від віддаленого обладнання [17].

Необхідність встановлення систем, які забезпечують передачу сигналів і даних для промислової автоматизації та моніторингу між різними точками, а також відстань, яка в деяких випадках може досягати сотень кілометрів, може стати проблемою, особливо в районах, де відсутня інфраструктура або де її важко реалізувати, а також через високі витрати, час виконання та інші фактори.

З появою та розвитком нових технологій передачі даних через радіо, які стають дедалі дешевшими та популярнішими, розробка систем дистанційного моніторингу та керування процесами стала легшою та економічнішою, оскільки деякі витрати можна зменшити або навіть усунути, наприклад витрати на прокладання кабелів та монтаж додаткового обладнання.

Використання системи телеметрії може принести суттєву користь компаніям, які її використовують. Для компанії, яка потребує моніторингу машин, наприклад, телеметрична система може виявити несправності в роботі та вказати причини її виникнення, дозволяючи направити найбільш кваліфікованих фахівців для вирішення конкретних проблем.

Системи телеметрії допомагають знизити страхові ставки, пов'язані з несправністю машин і, як наслідок, додатковими виробничими затратами. В останні десятиліття вони застосовуються в різних областях, наприклад, на

транспорті [18]. У багатьох випадках системи телеметрії також діють як системи реального часу.

У системах реального часу для коректної роботи недостатньо коректності дій, вони повинні виконуватися в заданий проміжок часу, тобто вимога часу є критичним фактором у визначенні ефективності такої системи. При експлуатації систем реального часу, призначених для автоматизації та контролю, недотримання часових обмежень системи може зробити її марною, оскільки це може призвести до поломки машини та/або серйозних аварій.

В телеметричних системах у режимі реального часу для нагляду або моніторингу часові обмеження можуть бути не такими серйозними, як у системах керування. Ці системи спрямовані на отримання даних від віддаленого обладнання та доставку їх у центральне місце розташування в найкоротші терміни. Залежно від типу здійснюваного моніторингу, втрата деяких даних або невелика затримка в доставці може не сильно вплинути на загальний результат.

### **2.1.2 Бездротові сенсорні мережі**

Бездротова сенсорна мережа (англ. WSN) у своїй найпростішій формі може бути визначена як мережа пристроїв, що називаються вузлами, які можуть контролювати середовище та надсилати інформацію, зібрану з контрольованих локацій через бездротовий зв'язок. Відповідні дані надсилаються до вузла-приймача (іноді його називають контролером або монітором), який можна використовувати локально або підключити до інших мереж (зазвичай Інтернету) через шлюз.

Зазначені вузли можуть бути нерухомими або мобільними. Вони можуть або не можуть «знати» про своє місцезнаходження та можуть бути або не бути однорідними [19]. Такого роду мережа підходить для ситуацій, коли для користувача не є доступним дротове встановлення, але потрібно мати постійний доступ до певної інформації. Бездротові сенсорні мережі стали можливими завдяки

швидкому зближенню трьох технологій: мікроконтролерів, бездротового зв'язку та мікроелектромеханічних систем.

WSN можна використовувати для моніторингу та, зрештою, контролю середовища. Цей тип мережі, як правило, складається із сотень або тисяч автономних пристроїв, які мають невеликі розміри (масштаб сантиметрів) та називаються сенсорними вузлами. Основними компонентами сенсорного вузла є: приймач для бездротового зв'язку, джерело живлення, сенсорний блок, пам'ять і процесор.

Логічним компонентом сенсорного вузла є програмне забезпечення, яке працює на процесорі. Бувають випадки, коли WSN також може складатися з пристроїв, які називаються приводами, які дозволяють системі контролювати параметри цільового середовища. WSN відрізняються від традиційних комп'ютерних мереж кількома аспектами. Як правило, ці мережі мають велику кількість розподілених вузлів, мають енергетичні обмеження та повинні мати механізми для самоконфігурації та адаптації через такі проблеми, як збій зв'язку та втрата вузла.

WSN має тенденцію бути автономною і вимагає високого ступеня взаємодії для виконання завдань, визначених параметрами мережі. Це означає, що традиційні розподілені алгоритми, такі як комунікаційні протоколи та протоколи виборів «лідерів», повинні бути переглянуті для цього типу середовища перед безпосереднім використанням. Проблеми та особливості архітектури WSN виходять далеко за рамки традиційних мереж.

### ***Класифікація WSN***

Класифікація WSN залежить від її призначення та області застосування. Програма безпосередньо впливатиме на функції, які виконуються вузлами мережі, а також на архітектуру цих вузлів (процесор, пам'ять, сенсорні пристрої, джерело живлення, трансивер), кількість вузлів, які складають мережу, спочатку запланований розподіл для мережі, тип розташування вузлів у середовищі, вибір протоколів комунікаційного стеку, тип даних, які будуть оброблятися, тип послуги, яка надаватиметься мережею, і, отже, термін служби цієї мережі.

Відповідно до [20], WSN можна класифікувати за їх конфігурацією, зондуванням та типом зв'язку. WSN також може відрізнятися залежно від типу обробки, яку вона виконує. Що стосується конфігурації, WSN можуть відрізнятися апаратним складом вузлів датчиків, організацією вузлів у мережі, мобільністю та способом розподілу і щільністю вузлів у місці розташування. Що стосується зондування, WSN можуть відрізнятися способом збору даних. Цей збір може відбуватися періодично, тобто через заздалегідь визначені проміжки часу, безперервно, в режимі реального часу, збираючи найбільшу можливу кількість даних за найкоротший проміжок часу, або дані можуть бути зібрані лише тоді, коли відбуваються події, що представляють інтерес, або за запитом спостерігача.

Відповідно до комунікації, мережі WSN можна класифікувати за способом розповсюдження зібраних даних, за охопленням вузлів мережі, за характеристиками передачі та прийому повідомлень і за способом виділення каналу.

Таким чином, WSN доцільно використовувати для моніторингу руху транспортних засобів, з отриманням таких даних, як швидкість, місцезнаходження та стан вантажу. Ці програми спрямовані на створення заходів безпеки та технічного обслуговування, аналізу продуктивності і надання покращень послуг користувачам транспортних засобів, що контролюються.

### *Топології WSN*

WSN, залежно від технології, яку вони використовують для зв'язку, можуть мати різні топології. Наприклад, в мережах, які використовують протокол ZigBee [21], підтримуються три типи топологій: зірка, дерево та сітка. Як правило, у WSN вузли можуть динамічно приєднуватися або залишати мережу, що призводить до непередбачуваних змін у її розмірі та топології. Це може бути спричинено збоями зв'язку між вузлами або дефектами апаратного забезпечення пристроїв [19]. У результаті цього сітчасті мережі можуть бути, у багатьох випадках, найкращим варіантом для WSN.

Сітчаста топологія мережі характеризується високим рівнем надійності. Цей тип мережі складається з кількох вузлів/маршрутизаторів, які починають вести себе

як єдина велика мережа, що дозволяє клієнтським вузлам підключатися до будь-якого з цих вузлів. Так, відповідні вузли діють як повторювачі, і кожен вузол підключається до одного або кількох інших вузлів/пристроїв (рис. 2.1). Таким чином можна передавати повідомлення від одного вузла до іншого різними шляхами.

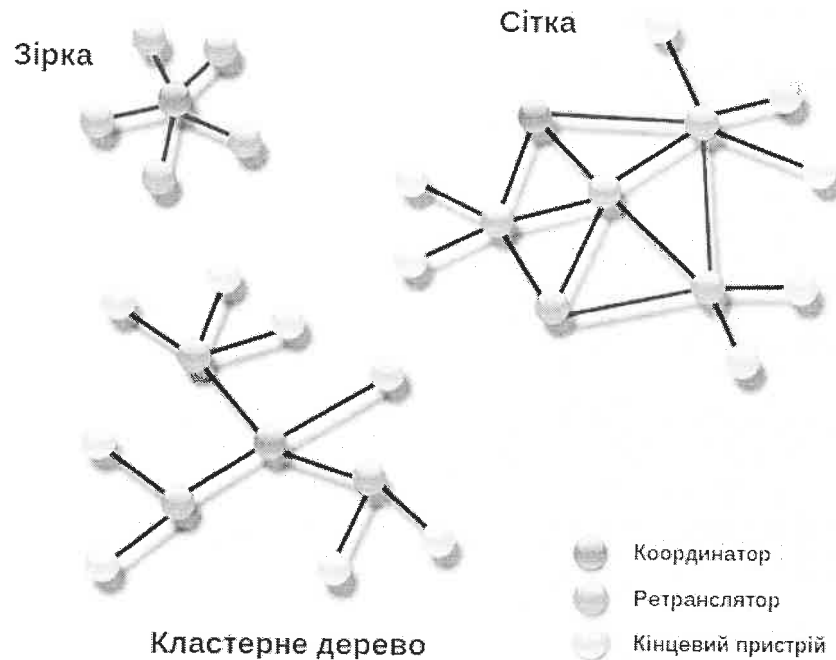


Рисунок 2.1 – Топологія мереж ZigBee [22]

Сітчасті мережі мають такі переваги, як: самоформування та самовідновлення. Самоформування відноситься до здатності вузлів автоматично асоціюватися один з одним для формування та оптимізації трафіку даних у мережі. Це дозволяє досить просто додавати нові вузли до мережі. Самовідновлення стосується здатності мережі відновлюватися після втрати певних вузлів шляхом налаштування та підтримки зв'язку між вузлами, які залишилися, що робить мережу досить відмовостійкою.

Сітчасту мережу можна вважати відповідною моделлю для великомасштабних бездротових сенсорних мереж, розподілених по географічній території, наприклад, у місті. На додаток до переваг, зазначених вище, сітчасті

мережі відрізняються низькою вартістю та простотою впровадження. Типові застосування наразі можна знайти в системах безпеки та спостереження за навколишнім середовищем або автомобілями, у додатках реагування на надзвичайні ситуації та системах керування дорожнім рухом.

### **2.1.3 Протокол передачі даних ZigBee**

Великий попит на системи для зони моніторингу та управління в поєднанні з технологічними досягненнями в області мікроелектроніки, особливо пристроїв бездротової передачі даних, і доступністю недорогих датчиків з обчислювальною потужністю, підвищили інтерес дослідників і компаній до розробки широкого спектру застосувань.

Моніторинг температури або вологості навколишнього середовища, виявлення пожежі чи інциденту, відстеження транспортних засобів, моніторинг навколишнього середовища, домашня автоматизація, біотехнології, промисловий моніторинг і контроль, громадська безпека та загальна безпека навколишнього середовища – це напрямки, де технологія ZigBee виступає ефективною альтернативою існуючим варіантам реалізації.

Протокол бездротових сенсорних мереж ZigBee був створений у 2002 році. Він розроблений Zigbee Alliance – асоціацією компаній, які спільно працюють над розробкою технологій на основі глобального відкритого стандарту. Такі технології забезпечують надійний, малопотужний і недорогий бездротовий зв'язок для програм моніторингу та керування [23].

#### ***Функції ZigBee***

Протокол ZigBee працює в трьох сегментах безкоштовних частот: 868 МГц у Європі, 915 МГц у Сполучених Штатах Америки, 2,4 ГГц в інших країнах світу. Він використовує визначення IEEE 802.15.4 для реалізації фізичного і рівня керування доступом до середовища. Решта рівнів протоколу визначаються ZigBee Alliance. Він має ряд важливих переваг перед іншими протоколами зв'язку, такими

як, наприклад, Wi-Fi і Bluetooth. Його енергоспоживання, як правило, нижче, ніж в мережах з іншими протоколами.

Важливою особливістю ZigBee, яка відрізняє його від інших, є те, що він дозволяє розширювати мережу за допомогою тисяч вузлів. Теоретично мережа ZigBee може містити близько 65 536 вузлів, хоча на практиці не рекомендується перевищувати показник у 3000 вузлів для однієї мережі [24]. Ще однією перевагою пристроїв ZigBee є швидкість додавання нових вузлів до мережі – 30 мс, у той час як вузол, який перебував у сні, можна розбудити за 15 мс, а потім почати спілкуватися з іншими вузлами в мережі.

У мережі ZigBee ідентифікуються два типи пристроїв: повнофункціональний пристрій (англ. FFD) та пристрій зі зниженою функціональністю (англ. RFD). У топології мережі ZigBee FFD здатні виконувати роль координаторів, маршрутизаторів або навіть кінцевих пристроїв і можуть спілкуватися з будь-якими іншими пристроями в мережі. У свою чергу, RFD взаємодіють лише як кінцевими пристроями та комунікують лише з FFD.

Координатор відповідає за ініціалізацію, розподіл адрес, обслуговування мережі та розпізнавання всіх вузлів, серед інших функцій, і здатен слугувати мостом між кількома іншими мережами ZigBee. Маршрутизатор може бути реалізований лише через пристрій FFD. Він має характеристики звичайного вузла в мережі, але з додатковими повноваженнями, щоб також діяти як проміжний маршрутизатор між вузлами без потреби в координаторі. За допомогою маршрутизатора також доступне розширення мережі ZigBee з розширенням її обсягу.

Кінцевий пристрій – це місце, де розміщуються приводи або датчики. Це може бути реалізовано за допомогою одного з пристроїв FFD або RFD.

Відповідно до рис. 2.1, мережа ZigBee підтримує три топології мережі: зірку, сітку та кластерне дерево [22].

Мережа топології «зірка» утворюється вузлом-координатором і кількома кінцевими вузлами. Координатор використовується для організації інформації про мережу та маршрут. Кінцеві вузли спілкуються з іншими вузлами через вузол-

координатор. Програми, які вписуються в цей тип топології: домашня автоматизація, периферійні пристрої персонального комп'ютера, ігри та медичні програми тощо.

Мережа «кластерне дерево» складається з кількох зіркових мереж, організованих координатором. Кінцеві вузли спілкуються не лише з вузлом-координатором, але й з кожним вузлом FFD із функцією маршрутизатора. Вузли маршрутизатора не можуть безпосередньо спілкуватися з усіма іншими маршрутизаторами. Ця комунікація здійснюється через координатора.

Мережа топології «сітка» забезпечує високу надійність. Тут маршрутизатор, на відміну від топології «кластерне дерево», може спілкуватися з будь-яким іншим безпосередньо. У цій топології мережа може налаштовуватися автоматично як під час запуску, так і під час входу/виходу. Мережа самоорганізується для оптимізації трафіку даних. З кількома можливими шляхами для зв'язку між вузлами, цей тип мережі здатен охоплювати широку географічну область.

### *Архітектура протоколу ZigBee*

Як зазначалося раніше, протокол ZigBee базується на стандарті 802.15.4, визначеному IEEE. Цей стандарт визначає протокол і взаємоз'єднання для пристроїв, які використовують низьку швидкість передачі даних, низьку потужність, низьку складність і радіочастотні передачі малого радіусу дії в бездротовій персональній мережі (англ. WPAN).

Архітектура ZigBee була розроблена блоками або рівнями, кожен з яких здійснює певні послуги для обслуговування рівня вище: об'єкт даних надає дані службі передачі, а об'єкт керування надає інформацію всім іншим службам. Кожен елемент служби надає інтерфейс для верхнього рівня через точку доступу до служби (англ. SAP), і кожна SAP підтримує низьку примітивів служби для забезпечення необхідної функціональності.

Архітектура ZigBee, показана на рис 2.2, базується на моделі взаємодії відкритих систем (англ. OSI) із семи рівнів, але визначає лише рівні, що стосуються досягнення бажаної функціональності. Якщо стандарт IEEE 802.15.4 визначає два найнижчі рівні: фізичний рівень (англ. PHY) та підрівень керування доступом до

середовища (англ. MAC), то ZigBee Alliance базується на цих рівнях, щоб розробити мережевий рівень (англ. NWK) і структуру для прикладного рівня, який включає підрівні підтримки застосунків (англ. APS), об'єкти пристроїв ZigBee (англ. ZDO) і об'єкти додатків, визначені постачальником (Application Object) [25].

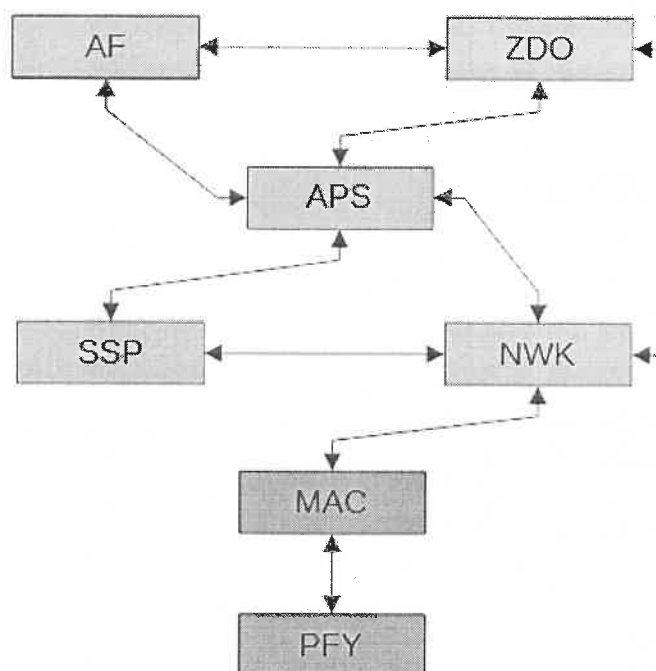


Рисунок 2.2 – Архітектура протоколу ZigBee

### *Фізичний рівень*

Стандарт IEEE 802.15.4-2003 визначає два рівні РНУ, які працюють у двох різних діапазонах частот: 868/915 МГц і 2,4 ГГц. Нижня частота охоплює європейський діапазон 868 МГц і діапазон 915 МГц, який використовується в таких країнах, як США та Австралія. Вища частота рівня РНУ використовується практично в усьому світі.

### *Рівень доступу до середовища*

Підрівень MAC стандарту IEEE 802.15.4-2003 контролює доступ до радіоканалу за допомогою механізму множинного доступу з визначенням несучої та запобіганням колізіям (англ. CSMA-CA). До сфери його відповідальності входить передача кадрів сигналізації, синхронізація та забезпечення надійного механізму передачі.

### *Мережевий рівень*

Рівень NWK Zigbee включає механізми, які використовуються для підключення та відключення пристроїв у мережі, застосування безпеки до кадрів і їх маршрутизації до місць призначення. Крім того, мережевий рівень включає виявлення та підтримку маршрутів між пристроями, задіяними в мережі. Виявлення та зберігання інформації про сусідство також здійснюється на рівні NWK. Координатор рівня NWK відповідає за запуск нової мережі, коли це необхідно, і призначення адрес новим пов'язаним пристроям.

### *Прикладний рівень*

Даний рівень складається з підрівня підтримки додатків, фреймворку застосунків, об'єктів пристроїв ZigBee і об'єктів додатків, визначених постачальником. Відповідальність підрівня APS включає підтримку таблиць для прив'язки, що дає змогу об'єднати два пристрої на основі їхніх послуг і потреб, надсилаючи повідомлення між об'єднаними пристроями. ZDO виконує функцію визначення правила для пристрою в мережі (Zigbee-координатора або пристрою), ініціювання та/або відповіді на запити прив'язки і встановлення безпечного з'єднання в мережі. ZDO також відповідає за виявлення пристроїв у мережі та визначення типів послуг, які надають ці пристрої.

AF – це середовище, де об'єкти програми розміщуються на пристроях ZigBee. У цьому середовищі є профілі додатків, які визначають угоди для повідомлень, форматів повідомлень і дій обробки, які дозволяють розробникам створювати взаємосумісні розподілені додатки, використовуючи сутності, які знаходяться на окремих пристроях. Ці профілі роблять програми здатними надсилати команди, запитувати дані та обробляти відповідні команди та запити.

### *Постачальник послуг безпеки*

Постачальник послуг безпеки (англ. SSP) – це підрівень, який забезпечує механізми безпеки для рівня мережі та додатків. Загальна безпека системи визначається на рівні профілю програми, який визначає тип безпеки, реалізований у конкретній мережі.

### *Порівняння з іншими комунікаційними протоколами*

ZigBee має функції, які відрізняють його від інших комунікаційних протоколів. Серед характеристик ZigBee виділяються велика масштабованість мереж, максимальний діапазон між вузлами, час асоціації та переходу вузлів у мережу. Масштабованість мережі означає її здатність розширюватися шляхом додавання нових вузлів до мережі. На відміну від інших протоколів, ZigBee дозволяє створювати мережі до 65536 вузлів [24]. Це робить його доцільним варіантом для побудови сенсорних мереж, які мають охоплювати дуже великі території. Ще однією особливістю, яка сприяє використанню цього протоколу при розробці великих сенсорних мереж, є його охоплення.

Хоча модулі ZigBee були розроблені для мереж малого радіусу дії, тепер у продажу доступні модулі ZigBee із радіусом дії від 300 до 1600 метрів. Іншою важливою особливістю ZigBee є дуже короткий час, який пристрої витрачають на підключення до мережі, і час, який пристрій, який був у режимі очікування, потрібен, щоб повернутися до активного стану. Для промислових застосувань, де час є критичним фактором (системи реального часу), ця функція має велике значення.

#### **2.1.4 Апаратне забезпечення ZigBee для WSN**

Для розробки бездротових сенсорних мереж з протоколом ZigBee зараз на ринку представлено багато компаній, які виробляють різні модулі з різними характеристиками та функціями. Серед основних і найвідоміших компаній, які співпрацюють з ZigBee Alliance, можна відзначити: Maxstream, Atmel, Radiocrafts, Texas Instruments і Freescale. У поточній роботі передбачено використання радіочастотних (англ. RF) модулів Maxstream. Для побудови мережі обрано модель XBee-Pro Znet (рис. 2.3).

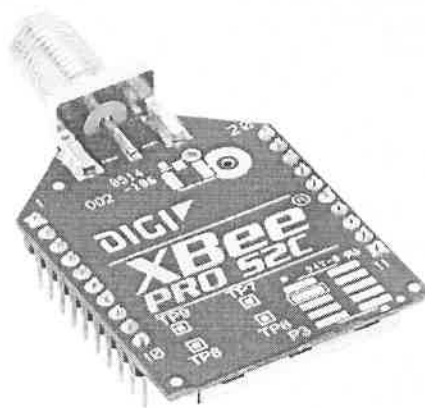


Рисунок 2.3 – Радіочастотний модуль Maxstream XBee-Pro Znet [26]

Цей тип модулів розроблено для простої та швидкої розробки сітчастих мереж. Вони мають 20 контактів, 4 з яких можна використовувати як аналогові входи (з вбудованими аналого-цифровими перетворювачами) і 12 як цифрові входи або виходи [25].

### 2.1.5 Середовище розробки LabView

LabView – це середовище розробки, створене компанією National Instruments для розробки систем, призначених переважно для вимірювання та автоматизації [27]. У LabView програмування системи виконується за допомогою графічної мови, яка використовує піктограми для представлення функцій і проводів для визначення потоку даних (рис. 2.4). На відміну від текстових мов програмування, в яких інструкції визначають виконання програми, LabView використовує програмування на основі потоку даних, де потік даних визначає виконання.

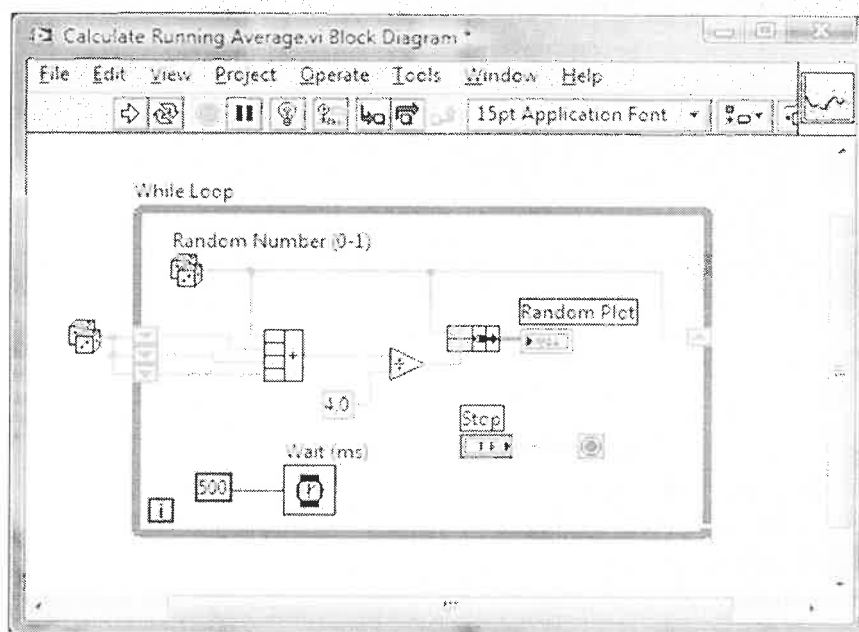


Рисунок 2.4 – Блок-схема програми у середовищі LabView

Програми LabView будуються за допомогою двох інтерфейсів: передньої панелі та блок-схеми. Використовуючи передню панель, для користувача доступне створення інтерфейсу користувача, використовуючи набір інструментів і об'єктів, попередньо визначених LabView, таких як кнопки, графіка та текстові поля. На блок-схемі додається код за допомогою графічних зображень функцій для керування об'єктами передньої панелі.

Використовуючи LabView, доступно створювати програми для тестування та вимірювання, збору даних, керування приладами, реєстрації даних, аналізу вимірювань та створення звітів. Також можна створювати виконувані файли та спільні бібліотеки, такі як DLL.

## 2.2 Характеристика розробленої телеметричної системи залізничних перевезень

Розроблена залізнична телеметрична система складається з трьох підсистем: телеметричної системи для захоплення сигналів на колії руху вантажних поїздів окремого залізничного управління (ОЗУ), системи для отримання, декодування та надсилання даних, отриманих системою захоплення, до системи

спостереження та системи спостереження для зберігання та перегляду даних, оброблених відповідною системою обробки.

Система ЗТС здатна отримувати дані від віддалених датчиків у кабіні вантажного рухомого складу (ВРС), обробляти їх і надсилати в центри контролю та моніторингу. Ця система використовуватиме бездротові сенсорні мережі з технологією ZigBee для обробки та надсилання даних, забезпечуючи моніторинг та розповсюдження інформації про продуктивність поїздів на ділянках маршруту руху, де вона буде встановлена. Отримання такої інформації, як місцезнаходження, фактична швидкість рухомого складу і вагове навантаження на візки вагонів, матиме велике значення для диспетчерів та інженерів ОЗУ. Завдяки безперервній візуалізації та аналізу цих даних, проблеми виявлятимуться в міру їх виникнення, що дозволить швидше вжити відповідних заходів.

На рис. 2.5 наведено блок-схему розроблюваної ЗТС.

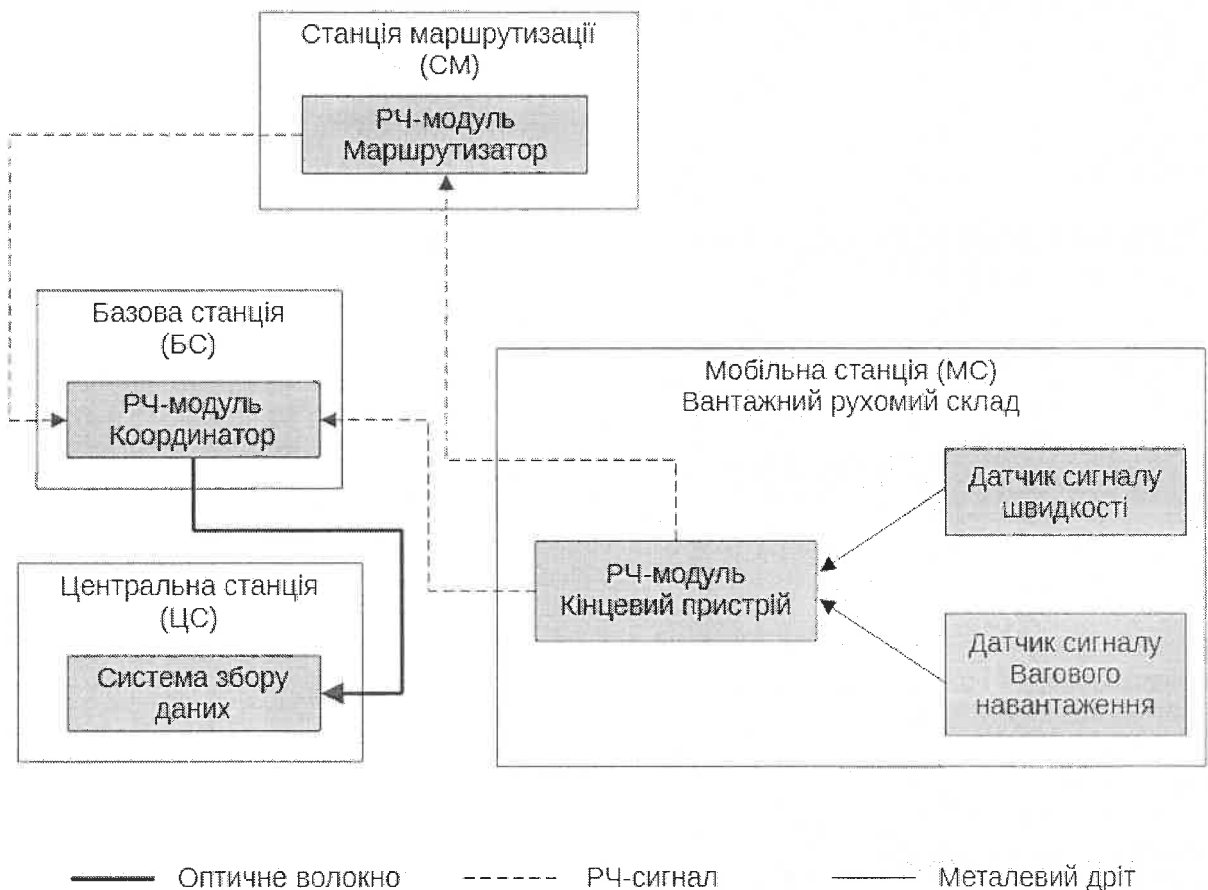


Рисунок 2.5 – Блок-схема залізничної телеметричної системи

Відповідний аналіз даних може свідчити про необхідність вжиття дій, спрямованих на підвищення ефективності перевезення вантажів. Вимірюючи швидкість рухомого складу, можна аналізувати ефективність роботи всіх задіяних учасників логістичного ланцюжка у реальному часі. Вимірюючи вагове навантаження, можна в режимі реального часу оцінювати вагу вантажів як всього рухомого складу, так і окремих вагонів. Маючи цю інформацію, диспетчери мають можливість вживати заходів для корекції відповідних логістичних процесів.

### **2.2.1 Система вантажних перевезень**

В межах поточної роботи прийнято, що система вантажних перевезень підпорядковується окремому залізничному управлінню (ОЗУ). Цей оперативний підрозділ безпосередньо обслуговує відповідний залізничний парк.

Залізнична система має включати кілька ліній, з шириною колії 1520 мм. Живленням ВРС передбачено через повітряну електрифіковану мережу напругою 3000 вольт, де живлення електровоза здійснюється за допомогою пантографа та контролюється системою автоматичного керування потягом (АКП).

Таким чином, ВРС – це електропоїзд, що складається з двох електровозів, які розташовуються з обидвох кінців рухомого складу, та необхідної кількості вантажних вагонів, призначений для перевезення вантажів на ділянках, що контролюються ОЗУ.

У якості рушійних одиниць можуть буди задіяні електровози та тягові агрегати, що підтримують робочу напругу у 3000 В.

У якості вагонів можуть використовуватись будь-які з шириною колісних пар у 1520 мм, наприклад, вантажні вагони для перевезення зерна українського виробництва (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Вагон хопер-зерновоз виробництва ДМЗ «Карпати» [28]

Конструктивно, ВРС складається з наступних систем: «корпус», «візки», «електрика», «комунікації та пневматика». Корпус – це верхня частина рухомої одиниці, призначена для розміщення користувачів і обладнання, необхідного для роботи ЗРС.

Візок – це частина рухомої одиниці ВРС, яка підтримує і дозволяє переміщати корпус по рейках. Кожен вагон має два візки.

На рис. 2.7 наведено місце розташування на візках вагону тензодатчиків, які є частиною розроблюваної телеметричної системи.

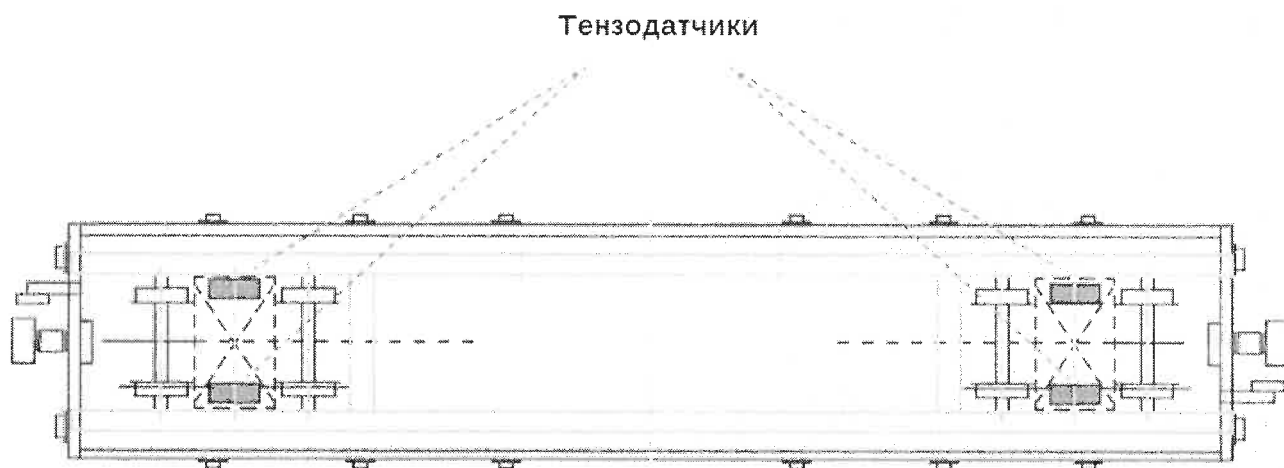


Рисунок 2.7 – Розташування тензодатчиків на візках залізничного вагону [29]

Електрична система призначена для приймання та розподілу електричної енергії у межах ВРС, розділеної на два кола: тягове і розподільне. Пантографи, розташовані на електровозах, приймають 3000 вольт постійного струму від повітряної електромережі для живлення тягових двигунів і перетворювачів. Далі, для потреб керування, освітлення, кондиціонування повітря та компресорного обладнання напруга знижується до значень у діапазоні 220-12 В, як змінного так і постійного струму, залежно від моделі електровоза.

Система зв'язку дозволяє машиністу через радіо підтримувати постійний зв'язок із ЦМК та персоналом технічного обслуговування.

Пневматична система призначена для стиснення, зберігання та розподілу повітря до пневматичного обладнання ВРС, яке складається з основного та допоміжного компресорів; ресиверів; труб; вентилів і клапанів. Основний компресор призначений для живлення гальм, зчіпного пристрою, склоочисників та звукового сигналу.

Режими роботи ВРС – це команди з ручним керуванням (АКП увімкнено) і без ручного керування (АКП вимкнено). У режимі АКП є контроль швидкості, який може здійснювати гальмування ВРС, а кабінний сигнал вказує швидкість, якої оператор повинен дотримуватися на пульті керування. Цей тип команд призначений для нормальної роботи. У режимі роботи АТЦ «вимкнено», машиніст не має доступу до системи контролю швидкості, але максимальна швидкість рухомого складу не перевищуватиме попередньо заданого значення, км/год.

### **2.2.2 Система телеметрії ЗТС**

Розроблювана телеметрична система складається з датчиків і модулів радіочастотної передачі, встановлених у поїзді та на залізничній колії, утворюючи бездротову сенсорну мережу з технологією ZigBee, яка дозволяє контролювати поїзд під час його переміщення в зоні покриття даної мережі. Ця мережа відповідає за збір даних, отриманих датчиками, і надсилання цих даних на базову станцію

(БС), де система ЗТС декодує дані, отримані з мережі бездротових датчиків, і надсилає їх до системи спостереження в центрі оперативного управління.

Таким чином, у даній роботі прийнято використана мережі із сітчастою топологією. Цей тип мережі був обраний з огляду на те, що кінцевий вузол, який встановлюється в кабіні ВРС, знаходиться в постійному русі і повинен спілкуватися з координатором безпосередньо або через маршрутизатор.

Бездротова мережа зондування складається з трьох типів модулів ZigBee, які називаються мобільною станцією (МС), станцією маршрутизатора (СМ) і базовою станцією (БС). Кожен із цих модулів виконує певну функцію в мережі, яка визначається типом і налаштуваннями мікропрограми, встановленої в модулі.

### ***Мобільна станція***

Мобільна станція складається з пристрою ZigBee, налаштованого діяти як кінцевий вузол. Цей пристрій розташований усередині кабінки поїзда та має два аналогових входи, підключених до датчиків фактичної швидкості та вагового навантаження вагону.

### ***Станція маршрутизатора***

Вона складається з запрограмованого пристрою ZigBee як маршрутизатор і схема для підтримки та живлення пристрою. Даний пристрій має бути встановлено на кінці платформи залізничної станції №1. Так, даний пристрій ретранслює дані, отримані від МС, до БС.

### ***Базова станція***

Дана станція складається з пристрою ZigBee, налаштованого на роботу у якості вузла-координатора мережі, підключеного до комп'ютера, який декодує дані, отримані від МС, і надсилає їх до ЦМК.

Для налаштування сітчастої мережі потрібно запрограмувати та налаштувати кінцевий вузол, встановлений в електричній шафі кабінки управління ВРС, а також модулі, які використовуються як маршрутизатор і вузол-координатор, встановлені на залізничній станції №1. Виробник Maxstream надає різноманітні мікропрограми для різних типів модулів ZigBee, які розробник мережі може використовувати та налаштовувати відповідно до бажаного типу програми.

По-перше, потрібно провести дослідження протоколу ZigBee, апаратного забезпечення модулів ZigBee (XBee Znet від Maxstream), що використовуються в проекті, а також різних мікропрограм, щоб визначити найкращу програму для встановлення в кожен тип модуля.

Після вибору прошивки починається процес налаштування кожного модуля для формування мережі. Кожне мікропрограмне забезпечення має кілька вхідних параметрів, які потрібно правильно налаштувати, щоб пристрій міг асоціюватися та коректно спілкуватися в мережі.

За допомогою програмного забезпечення X-CTU [30], розробником якого є компанія Maxstream, можна завантажити мікропрограму до модулів ZigBee і налаштувати їх параметри (рис. 2.8).

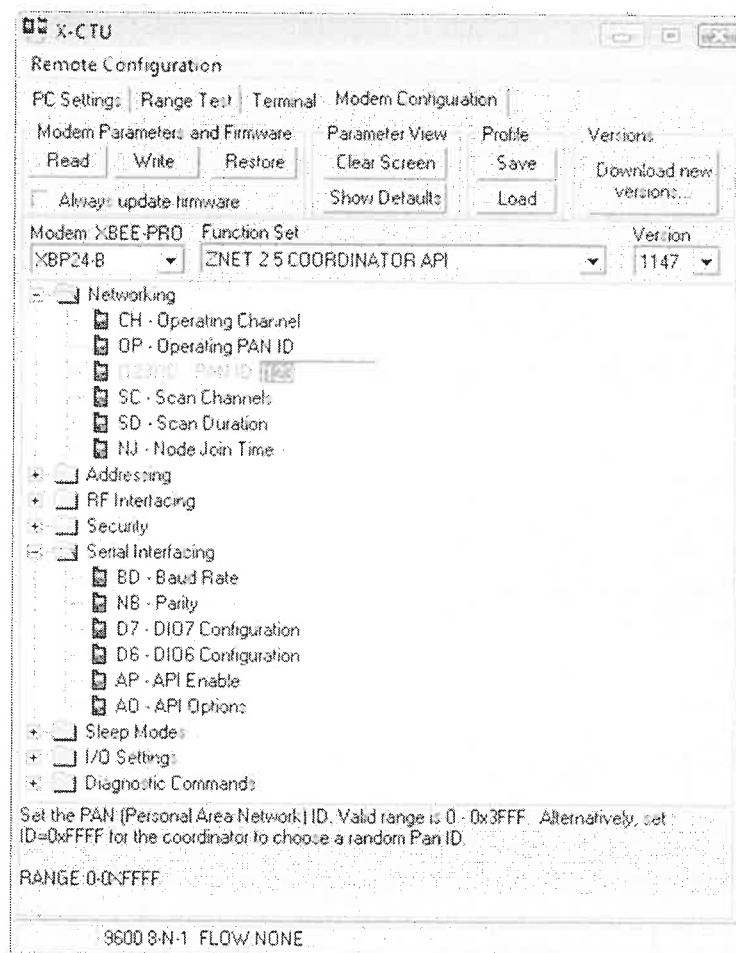


Рисунок 2.8 – Вікно налаштування вузлів мережі ZigBee у X-CTU

Для вузла в мережі ZigBee можна налаштувати параметри мережі, адресацію, послідовний інтерфейс, безпеку, конфігурацію вхідних і вихідних контактів, серед іншого.

Рис. 2.8 демонструє інтерфейс X-CTU, представляючи деякі параметри для налаштування вузла-координатора мережі. Для координатора основними налаштованими параметрами є ідентифікатор мережі (ID – PAN ID), час для приєднання вузлів до мережі (NJ – Node Join Time), визначення списку каналів для перевірки (SC – Scan Channels) і час для перевірки цих каналів (SD – Scan Duration). Оскільки вузол-координатор буде підключатися до комп'ютера через послідовний інтерфейс, необхідно також налаштувати параметри, які визначають налаштування послідовного зв'язку із зовнішнім середовищем, наприклад швидкість передачі даних і біти парності.

У всіх мережах ZigBee координатор буде налаштовано з ID 123. Призначення однакового ID всім мережам дозволяє кінцевим вузлам зв'язуватися з будь-яким координатором швидко й автоматично.

Параметр «SC» встановлюються для сканування всіх 16 каналів, які він дозволяє. Це означає, що координатор може керувати до 16 підключеннями одночасно з вузлів маршрутизатора або кінцевих вузлів. Параметр «NJ» налаштовуються так, щоб маршрутизатор і кінцеві вузли могли підключатися у будь-який час, тобто мережа була відкритою для швидкого включення нових вузлів.

Для вузла, який буде діяти як станція маршрутизатора, конфігурація мережі подібна до конфігурації координатора, з додаванням додаткового параметра для перевірки каналу. Цей параметр має бути ввімкненим, щоб вузол маршрутизатора під час увімкнення або перезапуску перевіряв наявність координатора на тому самому частотному каналі, щоб переконатися, що він працює на правильному каналі. Окрім вузла-координатора, кожен маршрутизатор також може керувати з'єднаннями з 16 іншими вузлами.

Для останнього вузла конфігурація дещо детальніша, оскільки потрібно налаштувати більшу кількість параметрів. Параметр «ID» налаштовується для

динамічного отримання мережевої адреси під час завантаження. У конфігурації адресації адреса призначення даних встановлюється на значення «0», що відповідає адресі вузла координатора мережі.

Всередині кабіни поїзда кінцевий вузол матиме контакти «20» і «19», підключені до датчиків фактичної швидкості ВРС і вагового навантаження, тому необхідно дозволити вхідним параметрам цих контактів діяти як аналого-цифрові перетворювачі, щоб уможливити вимірювання та перетворення показників від підключених датчиків. Ця конфігурація виконується за допомогою параметрів мікропрограми «D0» (контакт 20) і «D1» (контакт 19).

Для роботи кінцевого вузла також необхідно налаштувати частоту дискретизації вхідних і вихідних даних. Параметр «IR» дозволяє визначити інтервал часу в мілісекундах між отриманням послідовних зразків. Для цього проекту параметр ІЧ-випромінювання доцільно налаштувати з шістнадцятковим значенням «7D» (125 у десятковій системі), що означає, що кожні 125 мс буде отримано та надіслано вибірку, що призведе до частоти дискретизації 8 Гц.

Система обробки даних – це підсистема, яка входить до складу ЕБ і відповідає за отримання даних від координатора бездротової мережі, їх декодування та відправлення оброблених даних до ЦМК. Апаратне забезпечення цієї системи складається з модуля координатора ZigBee та комп'ютера, з'єднаного через послідовний інтерфейс, встановленого в кімнаті диспетчера залізничної станції №1.

Система нагляду дозволяє контролювати та відстежувати інформацію з виробничого процесу або фізичної установки. Така інформація збирається за допомогою обладнання для збору даних, а потім обробляється, аналізується, зберігається та згодом надається користувачеві. Це системи диспетчерського управління і збору даних (англ. SCADA). Метою цього є забезпечення інтерфейсу високого рівня між оператором і процесом, інформуючи його в режимі реального часу про всі важливі події на підконтрольному об'єкті [31].

Таким чином, система нагляду, розташована в ЦМК, отримує дані, надіслані через мережу Інтранет БС, вилучає дані, пов'язані з отриманими вимірюваннями, і

відображає цю інформацію в режимі реального часу, дозволяючи диспетчеру руху мати те саме зображення, що й оператор потяга в кабіні. Ця система отримує вимірювання фактичної швидкості та вагового навантаження. Система також відповідає за управління зберіганням і візуалізацією отриманих даних. Вона зберігає отриману інформацію в базі даних і містить різні параметри інтерфейсу, які дозволяють користувачеві переглядати вимірювання.

#### **2.2.4 Аналіз даних ЗТС**

Для проведення експериментальних випробувань потрібно розгорнути мережу ZigBee для моніторингу ділянки колії між залізничними станціями №2 і №1, розташованими на одній лінії. Так, відповідна мережа складається з мобільної станції, станції маршрутизатора, базової станції і центральної станції (ЦС). БС доцільно встановити в кабінеті начальника станції №1, а СМ – у кінці платформи на колії цієї ж залізничної станції. У свою чергу, МС встановлюється в кабіні електровоза, а ЦС в центрі моніторингу та керування.

Два аналогових канали кінцевого вузла використовуються для реєстрації параметрів реальної швидкості та вагового навантаження. Для перевірки даних, отриманих мережею ZigBee, всередині поїзда необхідно встановити осцилограф, який збиратиме дані паралельно з мережею ZigBee.

МС складається з кінцевого вузла, встановленого в електричній шафі в кабіні електровоза. Даний вузол має відповідні входи, підключені до центрального процесора (ЦП), де збираються сигнали для моніторингу фактичної швидкості та вагового навантаження. Він складається з основного модуля ZigBee, радіочастотного модуля ZigBee, запрограмованого як кінцевий пристрій, антени, джерела живлення та модуля дільника напруги.

БС встановлюється в координаційному приміщенні залізничної станції №1. Так, БС складається з модуля базової плати ZigBee, радіочастотного модуля ZigBee, запрограмованого як координатор, антени, з'єднувального USB-кабелю та мікрокомп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням, розробленим для

даної системи. БС надсилає дані через Інтранет до ЦС, яка встановлюється у ЦМК, і складається з системи з мікрокомп'ютером та спеціальним програмним забезпеченням, розробленим для отримання, зберігання та перегляду вимірювань, отриманих у ході моніторингу.

Маршрутизатор складається з базової модульної системи ZigBee, РЧ-модуля ZigBee, запрограмованого як маршрутизатор, антени та джерела живлення.

### *Статистичний аналіз даних*

Для виконання відповідних тестів доцільно застосувати методи нормального розподілу [32] та однорідності дисперсії [33], що підтверджує використання критерію «t» Стьюдента для незалежних вибірок [34], з даними, представленими середнім і стандартним відхиленням, з рівнем значущості  $p < 0,05$ .

Критерій узгодженості можна застосувати, щоб перевірити, чи походить досліджувана характеристика вибірки із сукупності з нормальним розподілом. Тест базується на найбільшій абсолютній різниці між спостережуваною кумулятивною частотою та частотою, оціненою за нормальним розподілом.

Тест на однорідність дисперсії є доцільним, коли є експеримент, у якому кількість повторів обробок неоднакова. Так, він виступає доцільним інструментом для перевірки того, є дисперсії однорідними чи ні.

Критерій Стьюдента «t» є одним із найбільш використовуваних для порівняння середніх значень двох вибірок, отриманих від обробок із незалежною або незалежною масою даних, виділених із нормальної сукупності, з рівним або наближеним стандартним відхиленням.

## **2.3 Збір телеметричних даних**

Таким чином, збір телеметричних даних доцільно проводити на ділянці між залізничними станціями №1 та №2, з вантажного рухомого складу, в умовах реального руху поїздів у продовж одного тижня.

Для реєстрації параметрів реальної швидкості та середнього вагового навантаження використовуються два аналогові канали кінцевого вузла.

### ***Збір даних про вагове навантаження***

Дані про середнє вагове навантаження ВРС збираються в момент відправлення потяга з платформ станцій №1 та №2, коли швидкість руху складає «0» км/год, тобто коли рухомий склад стоїть на платформі після завершення завантаження.

Програмне забезпечення для збору даних ЦМК зберігає дані у файлі «txt» у блокноті, який перетворюється на файл «xls» у електронній таблиці Excel [35].

### ***Збір даних про фактичну швидкість рухомого складу***

Дані про швидкість доцільно збирати під час руху ВРС в умовах реальної експлуатації на території, охопленої телеметричною системою.

Програмне забезпечення для збору даних ЦМК зберігає дані у файлі «txt» у блокноті, який перетворюється на файл «xls» у електронній таблиці Excel, як і попередньому випадку. Подібний формат даних є зручним для контролю та подальшої обробки.

### ***Висновки до розділу 2***

У ході виконання даного розділу прийнято структуру розробленої залізничної телеметричної системи, яка складається з: бездротової сенсорної мережі на основі технології ZigBee, що відповідає за отримання даних від датчиків у кабіні електровоза та надсилання даних на комп'ютер, встановлений на залізничній станції; системи для отримання та декодування даних, отриманих від бездротової мережі, і надсилання даних до системи спостереження в центр моніторингу та контролю, до якої вони будуть підключені через локальну мережу Ethernet; і системи контролю, що встановлюється на комп'ютері в центрі моніторингу та контролю, підключеному до системи залізничної станції, з даними, які відображаються, як тільки вони надходять від рухомого складу, у вигляді графіків і таблиць та зберігаються в базі даних для подальшої обробки.

## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОЇ ТЕЛЕМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

#### 3.1 Розгортання системи

Загалом, система диспетчерського контролю дозволяє контролювати та відстежувати інформацію з виробничого процесу або фізичної установки. Така інформація збирається за допомогою обладнання для збору даних, а потім обробляється, аналізується, зберігається та згодом надається користувачеві. Мета цієї системи полягає в забезпеченні високорівневого інтерфейсу між оператором та процесом, інформуючи його в режимі реального часу про всі важливі події на підконтрольному об'єкті [31].

Розроблювана телеметрична система контролю має встановлюватись на персональному комп'ютері в центрі моніторингу та керування, розташованому поблизу станції №1, а також в Інформаційно-технічному центрі. Передбачається, що у ЦМК працюють диспетчери та інженери, відповідальні за управління рухом поїздів на всіх лініях, підконтрольних ОЗУ. Таким чином розроблювана система контролю надає диспетчеру уявлення про функціонування та рух кожного рухомого складу в режимі реального часу. Він отримує дані, що надсилаються через мережу Інтранет від усіх базових станцій, вивантажує дані, що стосуються отриманих вимірювань, та відображає цю інформацію в режимі реального часу, дозволяючи диспетчеру руху мати огляд основних телеметричних даних від потяга. Так, ЗТС виконує вимірювання швидкості, вагового навантаження, місцезнаходження, напруги живлення та струму тягових електродвигунів від кожного потяга, що рухається в межах відповідної ділянки. Усі ці показники попередньо розраховуються в базовій станції, що звільняє систему на стороні оператора від виконання відповідних обчислень і залишає її відповідальною за управління зберіганням та візуалізацією отриманих даних.

Телеметрична система зберігає отриману інформацію в базі даних та пропонує різні варіанти інтерфейсу, які дозволяють користувачеві переглядати вимірювання всіх потягів одночасно або для кожного окремо. Зазначена візуалізація реалізується з використанням середовища програмування LabView.

Знаючи швидкість та місцезнаходження, диспетчер може зв'язатися з машиністом кожного потяга та запросити збільшення або зменшення швидкості, щоб пришвидшити рух та скоротити час очікування рухомого складу. Також можливою є реалізація спостереження попереджувальних або аварійних знаків, таких як: перевищення швидкості, небезпечне наближення, зупинка в неналежному місці або перевищення часу перебування на станції.

Вимірюючи вагове навантаження на візках, система управління рухом повідомляє про час і місце, де відбувається перевантаження або не повне завантаження вагонів. Це дозволяє вживати заходів для оптимізації виконання відповідних робіт, щоб уникнути нераціональних режимів експлуатації рухомого складу.

Телеметрична система може відображати графіки даних, отриманих у режимі реального часу, а також тих, що зберігаються в базі даних. Це дозволяє інженерам проводити дослідження та створювати звіти, які допомагають вживати превентивних та коригувальних заходів.

### **3.1.1 Особливості взаємодії користувачів із системою**

Можливі варіанти взаємодії користувачів із системою наведено на діаграмі за рис. 3.1. Так, зазначено, які послуги будуть доступні оператору у межах телеметричної системи.



Рисунок 3.1 – Діаграма взаємодії користувача із телеметричною системою

Далі більш детально наведено функціонал системи відповідно до рис. 3.1.

1) *Вхід*: система повинна дозволити доступ лише авторизованому користувачеві.

2) *Підключення серверів*: під час входу в систему оператор ЦМК може підключити систему до серверів, вбудованих у вмонтовану на колесах мобільну станцію, для отримання оброблених даних.

3) *Перегляд потягів*: основний інтерфейс телеметричної системи складається з таблиці, яка відображає дані з усіх потягів одночасно. Так, система повинна дозволити оператору переглядати дані з конкретного потяга в окремому інтерфейсі.

4) *Запит даних*: система повинна надавати користувачеві різні способи запитів даних, що зберігаються у відповідній базі. Цей запит може бути у формі графіка або таблиці.

5) *Генерація звіту*: на основі запиту, зробленого користувачем, система має створити звіт про оброблені дані.

б) *Експорт даних*: система повинна дозволяти експорт даних з банку у файли, що дозволить оператору використовувати дані в інших програмах або виконувати їх резервне копіювання.

7) *Відключення системи*: користувач повинен мати можливість відключити систему від серверів за потреби.

### ***Вибір робочих інструментів телеметричної системи***

Взаємодія з телеметричною системою базується визначенні варіантів її використання, які показують конкретні потреби щодо здійснення операторського контролю та вказують на функціональні можливості, які слід розробити. Серед вимог до системи найвищим пріоритетом є одночасна візуалізація даних у режимі реального часу з усіх потягів, що курсують коліями, та візуалізація інформації для кожного потяга окремо, що дозволить диспетчерам знати про робочий стан цих рухомих складів, а також мати уявлення про дії, що виконуються машиністом у кабіні електровоза.

Таким чином, розробка системи починається з визначення та побудови інтерфейсів для представлення інформації диспетчерам дорожнього руху, а пізніше з реалізації коду для зв'язку між мережевими системами та зберігання відповідної інформації в базі даних.

Так, початково розробляється система диспетчеризації з використанням середовища програмування LabView, яке пришвидшує побудову інтерфейсів. Останнє зумовлено тим, що LabView надає розробнику низку готових компонентів, які можна легко комбінувати, швидко генеруючи дуже складні інтерфейси, реалізація яких за допомогою мов програмування зайняла б набагато більше часу.

Окрім можливостей для створення інтерфейсів, LabView надає середовище паралельного програмування, яке дозволяє просту розробку додатків з кількома процесами, що працюють паралельно, а також має кілька компонентів для розробки мережесистем.

Хоча LabView має зазначені переваги, йому притаманні й деякі недоліки. Окрім того, що LabView є пропрієтарним інструментом, у своїй оригінальній версії він не має інструментів для підтримки баз даних, тому доцільною є розробка даної

підсистеми на мові Java з використанням середовища розробки NetBeans. Це середовище розробки можна безкоштовно завантажити з веб-сайту Sun Microsystems, воно має низку розширених функцій для розробки систем різних типів [36].

### 3.2 Відображення телеметричних даних

На рис. 3.2 показано інтерфейс виводу телеметричних даних, розроблений для системи за допомогою інструментів LabView. Цей інтерфейс покликаний імітувати реальну панель керування потягом, надаючи користувачеві можливість мати такий самий вигляд елементів керування, як і машиністу у кабіні електровоза. Крім того, він надає додаткову інформацію, яка недоступна у кабіні, таку як інформація про вагове навантаження та графіки проведених вимірювань.

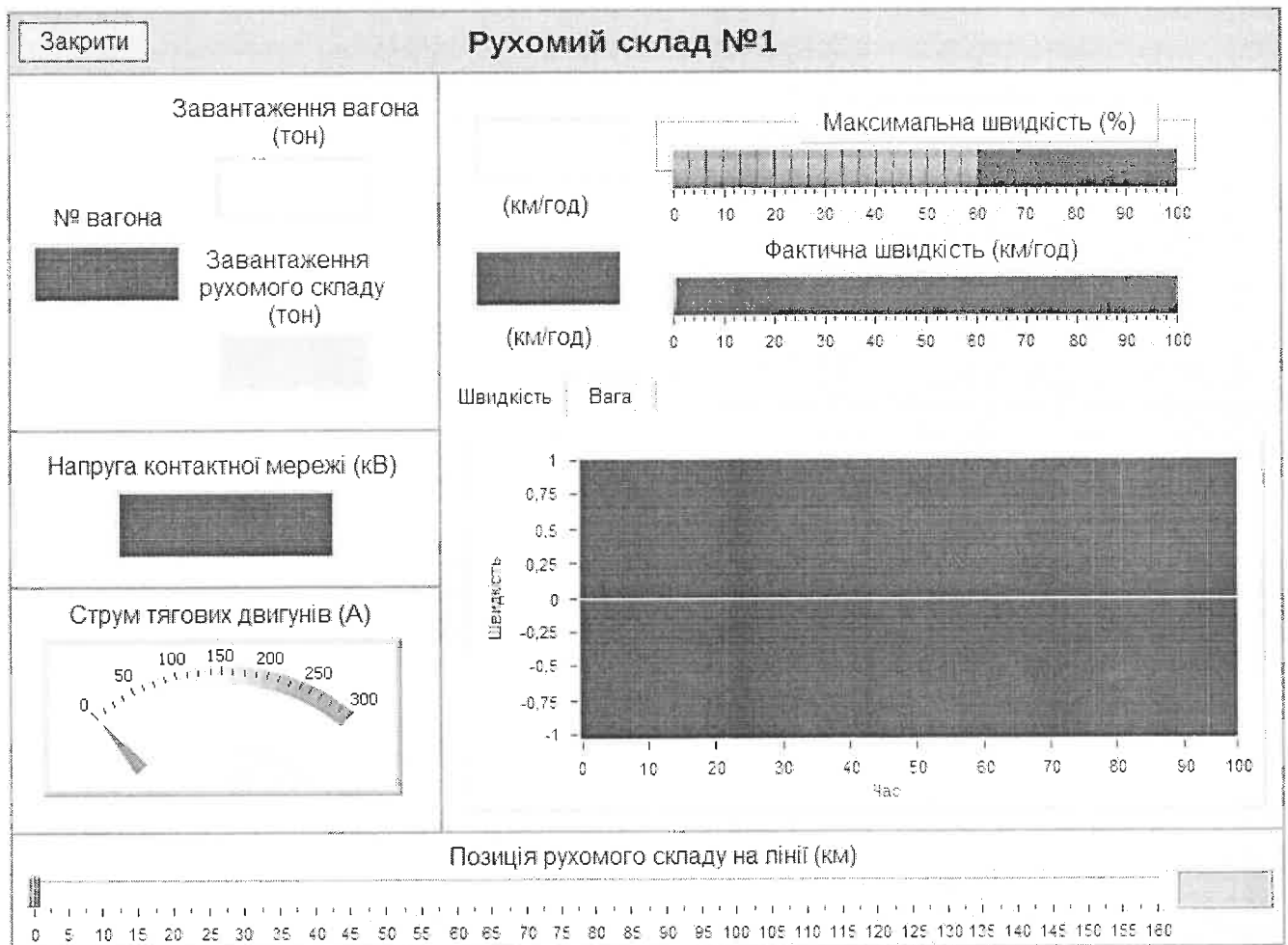


Рисунок 3.2 – Системний інтерфейс візуалізації телеметричних даних

За допомогою даного інтерфейсу диспетчер руху може переглядати роботу конкретного рухомого складу, маючи змогу оцінити роботу потяга та відповідного машиніста. Інтерфейс складається з амперметра для вимірювання струму двигунів, двох індикаторів виконання, які показують фактичну швидкість та максимально дозволена швидкість, а також індикатора виконання, який вказує на положення потяга, та графіків для вимірювань швидкості і вагового навантаження рухомого складу.

Таким чином, після тестування системи, розробленої за допомогою LabView, слід починати реалізацію відповідних підсистем мовою Java з використанням середовища розробки NetBeans.

Для перегляду даних з усіх потягів, що рухаються, система має інтерфейс, який складається з таблиці, де відображається інформація щодо вимірювань кожного поїзда. Поруч із кожним рядком таблиці має бути кнопка, після натискання якої відкривається інтерфейс, для перегляду даних для окремого поїзда. Такий інтерфейс є подібним до розробленого в LabView, але має виконуватись на Java з графічними компонентами API під назвою JFreeChart [37], який можна знайти для завантажити в мережі Інтернет. Таким чином, можливою є розробка системи з необхідними інтерфейсами, використовуючи повністю безкоштовні інструменти.

Окрім відображення зібраних даних у режимі реального часу, вони також можуть зберігатися в базі даних, де є таблиця для зберігання інформації про кожен потяг окремо. Така база даних також зберігає інформацію про сервери та радіочастотні модулі, встановлені на потягах. Система дозволяє користувачеві переглядати історичні дані, що дає змогу аналізувати та вивчати роботу кожного рухомого складу під час його експлуатації не лише в поточний момент часу, але й протягом тривалих періодів у минулому. На основі аналізу цих історичних даних можна створити статистику, яка вкаже на необхідні дії щодо оптимізації логістичних процесів.

На рис. 3.3 показано інтерфейс, призначений для виконання деяких запитів. У показаному інтерфейсі користувач вибирає потяг, з телеметричними даними якого має намір ознайомитись, вводить потрібну дату та час початку й закінчення для фільтрації інформації. Користувач також може визначити, які параметри будуть частиною запиту, поставивши позначку у відповідних прапорцях. Дані, повернуті запитом, відображаються у вигляді графіків, причому для кожного вибраного параметра генерується один графік. Інтерфейс також має пропонувати можливість перегляду даних у таблицях та дозволяти експортувати ці дані у форматі електронних таблиць з розширеннями «txt» та «xls», що дозволить працювати з ними із використанням будь-якого програмного забезпечення, призначеного для обробки електронних таблиць.

Період даних

№ рухомого складу

Виконати запит

Дата

Початок

Завершення

Параметри запиту

Швидкість

Напруга

Позиція

Загальна вага

Струм

Вага по вагонам

Швидкість

Загальна вага

Напруга

Струм

Позиція

Вага по вагонам

Швидкість (км/год)

Час (с)

Експортувати дані

Показати таблицю

Рисунок 3.3 – Інтерфейс для запиту даних телеметричної системи

### **3.3 Рекомендації щодо тестування розробленої телеметричної системи контролю параметрів руху вантажних потягів**

#### **3.3.1 Особливості роботи з обладнанням**

Для контролю телеметрії через бездротову мережу, обробки тестових даних вбудованою системою та системи диспетчерського контролю потрібно розгорнути невелику мережу ZigBee для моніторингу ділянки колії між залізничними станціями №1 та №2, розташованими на одній лінії.

Встановлена мережа має складатись із базової станції (БС), маршрутизатора (СМ) та мобільних станцій (МС). Базова станція, що складається з вбудованої системи та координаційного вузла, встановлюється на платформі залізничної станції №1. Вбудована система та маршрутизатор розміщуються в пластиковому боксі та з'єднані послідовним кабелем. До вбудованої системи підводиться кабель Ethernet, який з'єднує її з локальною мережею Ethernet для зв'язку із телеметричною системою.

У свою чергу, маршрутизатор потрібно встановити на протилежному від БС кінці платформи залізничної станції №1 (на відстані приблизно 50 метрів від БС), що збільшить охоплення мережі на платформі, у напрямку залізничної станції №2. А МС встановлюється в шафі керування електровозу.

Систему контролю за отриманням даних, надісланих БС, встановлену на залізничній станції №1, потрібно встановити на персональний комп'ютер в приміщенні ЦМК.

Два аналогові канали від кінцевого вузла підключаються до датчиків швидкості та вагового навантаження, розташованих у центральному процесорному блоці в шафі електровозу. Також знімаються покази з датчиків струму електродвигунів та напруги живлення електровозу. Відповідні записи виконуються в кілька різних моментів часу. Для перевірки даних, отриманих мережею ZigBee, осцилограф доцільно розмістити всередині електровоза для отримання даних одночасно з мережею ZigBee. Оскільки осцилограф є високоточним приладом, дані, виміряні ним, можна порівняти з даними, отриманими ZigBees, визначаючи рівень похибки проведених вимірювань.

Модуль ZigBee, налаштований як вузол маршрутизатора (СМ), потрібно розмістити у пластиковому боксі та закріпити в кінці залізничної платформи. БС встановлюється на протилежному кінці даної платформи.

### 3.3.2 Інтерпретація результатів

Після розгортання системи, потрібно виконати збір даних на ділянці між залізничними станціями №1 та №2, з підконтрольного електровоза, в реальних умовах руху потягів, протягом всього робочого тижня.

Для перевірки даних, зібраних мережею ZigBee, доцільно використовувати осцилограф, підключений до тих самих датчиків, що й МС. У ЦМК система контролю збирає вимірювання, надіслані ЕМ від рухомого складу, а осцилограф здійснюватиме вимірювання всередині електровоза.

Після збору телеметричних даних, інформація, отримана мережею, буде порівняна з даними осцилографа. Під час порівняння кривих, отриманих на основі даних, записаних на двох приладах, має спостерігатись збіг результатів за параметрами фактичної швидкості та вагового навантаження потяга. Коефіцієнт кореляції даних за двома каналами доцільно прийняти 0,99 [38].

Використовуючи відповідні дані, можна здійснити калібрування датчиків телеметричної системи мережі, зменшуючи можливі помилки.

Використовуючи графік вимірювань швидкості потяга, зібраних системою на ділянці між залізничними станціями №1 та №2 можна перевірити зону покриття моніторингу через бездротову мережу. Так, дані мають збиратись на відстані до 1000 метрів між маршрутизатором та кінцевим пристроєм в кабіні електровоза.

Прийнято, що зазначена ділянка колії є прямою лінією без перешкод, що забезпечить велику дальність між маршрутизатором та кінцевими вузлами. Вимірювання швидкості потяга також допомагає, обчислити час його зупинки на станціях та пройдено ним відстань по маршруту.

### *Висновки до розділу 3*

Аналізуючи ефективність функціонування розробленої телеметричної системи слід зазначити, що контролюючи зміну вагового навантаження на візки вагонів, можна дізнатися, чи виконано заплановане завантаження окремих вагонів, та оцінити середнє значення ваги вантажу рухомого складу. Оскільки потяг зазнає вібрацій через свій рух, вимірюваний сигнал вагового навантаження може бути досить шумним. Так, щоб якомога точніше розрахувати середню вантажу, необхідно отримати та визначити значення тензOMETричних датчиків, коли потяг є стабільним, тобто після повного завантаження вагонів, але перед початком руху.

Шляхом постійного датчиків вагового навантаження визначається щоденна зміна вантажопотоку на кожній станції. Використовуючи відповідні дані, диспетчери можуть розробити стратегії оптимізації логістичних операцій у межах відповідного залізничного управління.

## ВИСНОВКИ

На початковому етапі виконання роботи визначено, у теперішній час спостерігається зростання інвестицій у сферу бездротової телеметрії. Це дозволяє уникнути кількох експлуатаційних незручностей у існуючих системах та відкриває додаткові можливості для нових систем, які неможливо реалізувати за допомогою дротових технологій. Так, використовуваний у поточній роботі протокол бездротової передачі інформації IEEE 802.15.4 дозволяє розробити систему зі значно нижчою вартістю та ширшими можливостями масштабування, ніж поширені телеметричні системи залізничного вантажного транспорту.

У ході виконання роботи прийнято структуру розроблюваної залізничної телеметричної системи, яка складається з: бездротової сенсорної мережі на основі технології ZigBee, що відповідає за отримання даних від датчиків у кабіні електровоза та надсилання даних на комп'ютер, встановлюваний на залізничній станції; системи для отримання та декодування даних, отриманих від бездротової мережі, і надсилання даних до системи спостереження в центр моніторингу та контролю, до якої вони будуть підключені через локальну мережу Ethernet; і системи контролю, що встановлюється на комп'ютері в центрі моніторингу та контролю, підключеному до системи залізничної станції, з даними, які відображаються, як тільки вони надходять від рухомого складу, у вигляді графіків і таблиць та зберігаються в базі даних для подальшої обробки.

Слід зазначити, що порівняно з експлуатованими системами контролю, що використовуються на залізниці, запропонована тут телеметрична система має значно вигідніше співвідношення витрат і вигод. Так, окрім використання технології, яка є значно дешевшою, ніж дротові комунікаційні системи, вона дозволяє збирати та надсилати дані в режимі реального часу під час руху потягів, що дозволяє швидко та практично аналізувати дані.

Також розроблювана система є зручною для масштабування. А основними ресурсами, направленими для розширення області телеметричного контролю є

придбання і подальше встановлення маршрутизаторів уздовж залізничних колій та мобільних станцій на рухомих складах.

У випадку практичної реалізації розробленої системи, доцільним є проведення попередніх поглиблених досліджень роботи бездротової мережі для виявлення можливих проблем, пов'язаних з передачею даних. Тож такі дослідження можуть вказати на заходи, які необхідно вжити, щоб забезпечити вищу відмовостійкість мережі.

Щодо подальшого розвитку даного дослідження, доцільним є вивчення методів дистанційного моніторингу споживання енергії пристроями бездротової мережі, що дозволить більш контрольовано використовувати заряд акумуляторних батарей для живлення маршрутизаторів на колії, в точках, де використання електричної мережі залізниці для живлення цих пристроїв не є доцільним.

Визначено, що раціональним напрямком розвитку системи контролю є розробка додаткових інструментів для аналізу зібраних даних та подальшого формування відповідних процедур щодо профілактичної експлуатації та технічного обслуговування складових розробленої телеметричної системи.

Підсумовуючи, слід зазначити, що у ході проведення дослідження опрацьовано всі раніше сформовані задачі роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтервальне регулювання руху поїздів. URL: <https://iua.waykun.com/articles/intervalne-reguljuvannja-ruhu-poizdiv.php> (дата звернення: 01.03.2025).
2. ETCS balise (Eurobalise). URL: <https://ledicoferroviare.mediarail.be/balise-etcs-eurobalise-en/> (дата звернення: 02.03.2025).
3. From Tracks to Technology - The Expanding Horizon of the Track Vacancy Detection Axle Counters Market. URL: <https://www.marketresearchintellect.com/blog/from-tracks-to-technology-the-expanding-horizon-of-the-track-vacancy-detection-axle-counters-market/> (дата звернення: 03.03.2025).
4. СИСТЕМА ЛОКОМОТИВНОЇ БЕЗПЕКИ «ImproTRAIN-250». URL: <https://impulse.ua/index.php/ua/slb-ua> (дата звернення: 04.03.2025).
5. SIRIUS for Railway. URL: <https://www.siriuscms.in/railways.html> (дата звернення: 05.03.2025).
6. STMICROELECTRONICS. URL: [https://liven.com.ua/stm?srsltid=AfmBOopFB4nstXWPzT3Nba8CV7hu\\_va6Lbs\\_JvNFClq4UXL9XqRqqmd5](https://liven.com.ua/stm?srsltid=AfmBOopFB4nstXWPzT3Nba8CV7hu_va6Lbs_JvNFClq4UXL9XqRqqmd5) (дата звернення: 06.03.2025).
7. European Rail Traffic Management System (ERTMS). URL: <https://www.railway-technology.com/projects/european-rail-traffic-management-system-ertms/?cf-view> (дата звернення: 07.03.2025).
8. Safety assessment – ISA services. URL: [https://ys-common.s3.eu-central-1.amazonaws.com/VUZ\\_PL\\_EN\\_6\\_b2df5579ad.pdf](https://ys-common.s3.eu-central-1.amazonaws.com/VUZ_PL_EN_6_b2df5579ad.pdf) (дата звернення: 08.03.2025).
9. Technical Article: Making On-Train Monitoring Recorder Data Easy to Interpret. URL: <https://www.vector.com/int/en/news/news/technical-article-making-on-train-monitoring-recorder-data-easy-to-interpret/> (дата звернення: 09.03.2025).
10. Sharma Rajev, Sharma Ajay, Kanaujia Sandeep. (2024). Smart Maintenance of Railway Infrastructure Using Wireless Sensor Networks. International Journal of Experimental Research and Review. 46. 113-126. 10.52756/ijerr.2024.v46.009.

11. Sharma, V.K., Vaidya Yogita. M. Radio Frequency Identification Based Rail Wagon Monitoring System, In 4th Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronic, Kumamoto Japan, 8-10 May 2007.
12. «What are RFID Tags? How do RFID Tags Work?». URL: <https://www.camcode.com/blog/what-are-rfid-tags/> (дата звернення: 12.03.2025).
13. AT89S52. URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/at89s52> (дата звернення: 13.03.2025).
14. Zeng-Qiang Ma, Zhan-Feng Gao, Yan Yan. Wireless Monitoring System of Train Speed Based on RCM3000, In IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2006.
15. Guan Ke, He Danping, Rupp Markus, Shahid Mumtaz, Zhong Zena. (2023). Challenges and Future Research Trends of Window Glass for Smart Rail Vehicles: From the Perspective of Wireless Propagation. IEEE Communications Standards Magazine. 7. 10-15. 10.1109/MCOMSTD.0004.2200024.
16. Nishibori N., Sasaki T., Kawai O., Ogushi H., Kasai T., Toyoda A. Development of tracking train detection device (COMBAT) by using wireless communication, Proceedings of the 2001 IEEE/ASME Joint Railroad Conference, 2001.
17. Yongjian Wang, Tingxian Zhou. (2004). Research of a newer spread-spectrum CDM telemetry communication system. Systems Engineering and Electronics, Journal of. 15. 516-519.
18. Hernandez Norager Nicolas, Lilja-Cyron Alexander, Hansen Torben, Juhler Marianne. (2019). Deciding on the Appropriate Telemetric Intracranial Pressure Monitoring System. World Neurosurgery. 126. 10.1016/j.wneu.2019.03.077.
19. Verdone R., Dardari D., Mazzini G., Conti A. Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analyses and Design. Burlington: Elsevier, 2007.
20. Cheriyan Riboy. (2024). A Comprehensive Review – Energy Efficient Wireless Sensor Network. International Journal of Engineering Research and. 11. 10.17577/ICCIDT2K23-108.

21. Lv Haorun, Liu Lina, Li Juanjuan, Xu Yi, Sheng Yan. (2024). Design of Hybrid Topology Wireless Sensor Network Nodes Based on ZigBee Protocol. *Electronics*. 14. 115. 10.3390/electronics14010115.
22. «What is ZigBee?». URL: [https://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial\\_wireless\\_communication/wireless\\_solutions/zigbee\\_introduction.html](https://www.icpdas.com/root/product/solutions/industrial_wireless_communication/wireless_solutions/zigbee_introduction.html) (дата звернення: 22.03.2025).
23. Yamazaki Takefumi, Akazawa Nobuyuki, Otaka Akihiro, Takagi Nobuhiro, Muto Kenji, Nakagawa Takenao, Terao Kazuyuki. (2014). Cooperation between Telecommunication Enterprises in Japan and Other Countries in Smart Home Standardization Efforts--Activities of the HGI/ZigBee Alliance. *NTT Technical Review*. 12. 10.53829/ntr201411gls.
24. Ascariz J., Boquete L. System for Measuring Power Supply Parameters with ZigBee Connectivity. *em Proc. 2007 IEEE Instrument and Technology Conf.*, pp. 1-2.
25. Rezaeirad Mohammad, Mazloom Sahar, Iqbal Muhammad, Perkins Dmitri, Bayoumi Magdy. (2015). Investigating the feasibility of LEAP+ in ZigBee specification. 406-412. 10.1109/IRI.2014.7051918.
26. Los módulos ZigBee integrados ofrecen a los OEM una forma sencilla de integrar la tecnología de malla en su aplicación. URL: <https://es.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/rf-modules/2-4-ghz-rf-modules/xbee-zigbee> (дата звернення: 03.04.2025).
27. El-Bayoumi A., Salem M., Khalil A., El-Emam E. (2015). A new Checkout-and-Testing-Equipment (CTE) for a satellite Telemetry using LabVIEW. 10.1109/AERO.2015.7119305.
28. Вагон-хопер ДМЗ «Карпати». URL: <https://www.railinsider.com.ua/z-rochatku-roku-dmz-karpaty-pobuduvav-majzhe-300-vantazhnyh-vagoniv/> (дата звернення: 07.04.2025).
29. Precise Freight Measurement in Rail Transport. URL: <https://www.a1.digital/news/weighing-technology-freight-wagons-in-rail-transport/> (дата звернення: 10.03.2025).

30. Configuration Platform for XBee/RF Solutions. URL: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu> (дата звернення: 15.04.2025).
31. Rychlicki Mariusz, Kasprzyk Zbigniew, Pelka Małgorzata, Rosiński Adam. (2024). Use of Wireless Sensor Networks for Area-Based Speed Control and Traffic Monitoring. *Applied Sciences*. 14. 9243. 10.3390/app14209243.
32. Mballo Chérif, Diday Edwin. (2006). The criterion of Kolmogorov-Smirnov for binary decision tree: Application to interval valued variables. *Intell. Data Anal.*. 10. 325-341. 10.3233/IDA-2006-10403.
33. Odoi Benjamin, Twumasi-Ankrah Sampson, Samita Sembakutti, Al-Hassan Sulemana. (2022). The Efficiency of Bartlett's Test using Different forms of Residuals for Testing Homogeneity of Variance in Single and Factorial Experiments-A Simulation Study. *Scientific African*. 17. e01323. 10.1016/j.sciaf.2022.e01323.
34. Ruxton Graeme. (2006). The Unequal Variance T-Test is an Underused Alternative to Student's T-Test and the Mann-Whitney U Test. *Behavioral Ecology*. 17. 10.1093/beheco/ark016.
35. Munisif Bharathvamsi. (2025). Excel to Cloud: Migrating Legacy Trader Tools to Scalable Java & Python Applications. *International Journal of Multidisciplinary Research in Science, Engineering and Technology*. 08. 10.15680/IJMRSET.2025.0803341.
36. Pratama Muhamad, Hilabi Shofa, Ihsan Mohammad, Ferdiansyah Indra, Nizar Hafiz. (2024). Application of the Waterfall Method in Creating Payroll Applications Based on Java Netbeans. *Jurnal Multimedia dan Teknologi Informasi (Jatilima)*. 6. 35-45. 10.54209/jatilima.v6i01.432.
37. Linwood Jeff, Minter Dave. (2004). Building Portals with the Java Portlet API. 10.1007/978-1-4302-0754-2.
38. Landau Shir, Liu Zaoxing, Rexford Jennifer. (2025). Compact Data Structures for Network Telemetry. *ACM Computing Surveys*. 57. 10.1145/3716819.

## ДОДАТОК А

### «РОЗДІЛ 1»

## CHAPTER 1

### REVIEW OF THE COMPONENTS OF THE RAILWAY SAFETY SYSTEM

#### 1.1 Components and operation of the train control safety system

##### 1.1.1 Hardware components of the train control safety system

###### *Balise*

The name of this device comes from the French word “balise”, which means beacon. The standardized Eurobalise is shown in Fig. 1.1 – yellow devices installed on reinforced concrete sleepers [1].

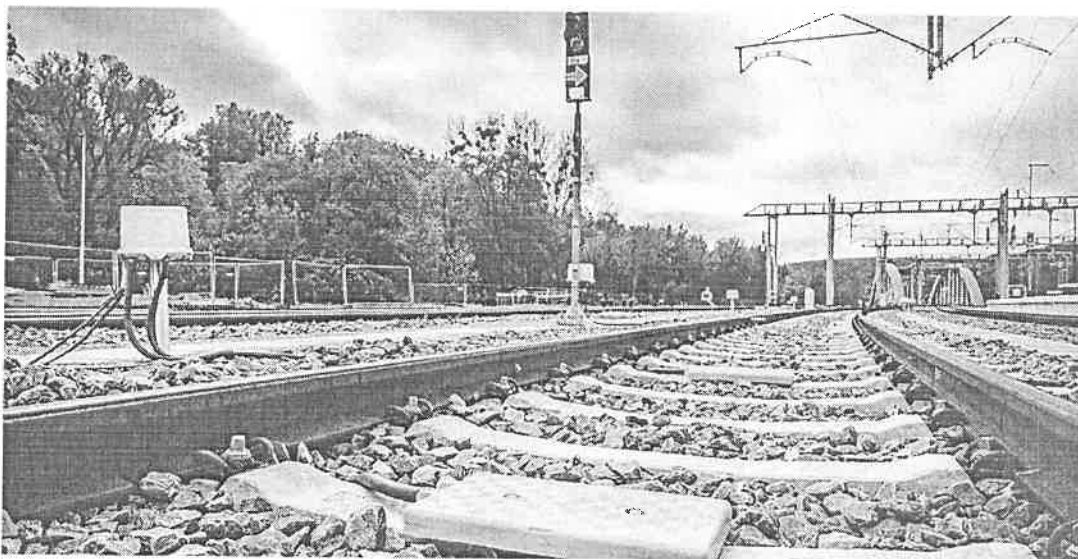


Figure 1.1 – Eurobalise as part of a railway track [2]

This is an element that is installed in the railway track. In turn, the locomotive is equipped with balise reading equipment that constantly transmits a signal at a frequency of 27 MHz for these devices. When passing the balise, it receives return datagrams on the 3.9 and 4.5 MHz bands, which in the case of a fixed balise contain data about its position, and in the case of a variable balise – the status of the track section.

### *Axle counter*

The axle counter is a complex system of equipment whose task is to monitor the occupancy of a track section. The operation of this equipment is based on two so-called counting points that determine the number of axles and the direction of their movement. Thus, the occupancy of a railway section is determined by the number of axles in it [3].

### *Rail circles*

This is a device that detects rail transport on a track section. It works on the principle of current passing through the axis of the rail transport. The detailed principle of detection using this equipment is quite complex.

### *Other components of safety devices*

A corresponding safety system can consist of a control module (industrial PC, PLC or special hardware), input modules (conventional inputs or current loop), output modules (conventional outputs or safe outputs with guaranteed disconnection) and various specialized modules. The latter are, for example, communication line splitters, specialized routers and switches [4].

## **1.1.2 SIRIUS universal railway centralization system**

Since in the case of early implementations of safety devices there may be problems with the availability of components – mainly memory and processors, the costs for cabling and construction of technological premises increase. Thus, the relevance of consumer requirements for the development of maintenance-free devices is increasing.

For the reasons described above, a new centralization device technology called SIRIUS [5] was created. The implementation of this technology is based on a distributed solution, as it provides higher reliability. This is achieved due to the smaller number of cables connecting the inputs and outputs to the I/O cartridges and redundant communication lines. Also significant advantages are the use of a backbone optical line and the lower cost of system deployment, compared to competitive solutions. A characteristic feature of the project is the use of modern technologies – all modules use a microcontroller from ST Microelectronics [6] with an ARM Cortex M core. This will contribute to the future availability of components for production and possible repair,

which is especially relevant in terms of their low power consumption. The power supply is divided into two parts, the internal one uses a safe voltage of 24 V DC, and the external one – 400 V DC, which allows the use of cables of smaller cross-section.

This system also has improvements in terms of software – compared to the old K-2002 system, SIRIUS uses modular programming in C++. All components are initially simulated on a PC, which allows for better testing of individual software modules and detection of errors that may have a negative impact on the real device during operation. Further error reduction consists in developing in accordance with the European Rail Traffic Management System (ERTMS), which establishes procedures and technical requirements for software for programmable devices on the railway, taking into account safety conditions [7]. The software for all safety-related elements is written on its own single-threaded operating system called STARMos [5].

#### ***PNS-03 axle counter***

PNS-03 axle counter – a device for detecting rail vehicles on rail sections. Based on information about the number of axles in a given section, it is possible to determine whether it is occupied or free, and set the appropriate light signal. Thus, each section is delimited by counting points, which are usually implemented using a dual-system inductive sensor RSR180 (Fig. 1.2). Such a sensor is installed on the rail and allows you to determine the axis of the rail vehicle, as well as the direction of its movement by the sequence of both signals. [3].



Figure 1.2 – RSR180 dual system sensor [8]

For correct axis detection, a specified time ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) must elapse between the activation of both systems. If this time is less than the specified minimum, this means a so-called incorrect intersection and for safety reasons the adjacent track sections will be occupied.

The entire PNS-03 system consists of a combination of several blocks (Fig. 1.3) that provide power, inputs, outputs and communication with an external system that reads both sensors.

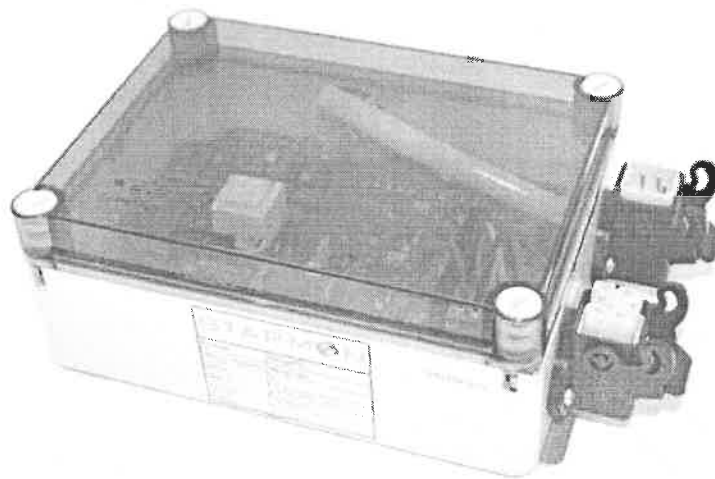


Figure 1.3 – Signal processing unit of the PNS-03 axle counter [8]

The block diagram of the PNS-03 device is shown in Fig. 1.4.

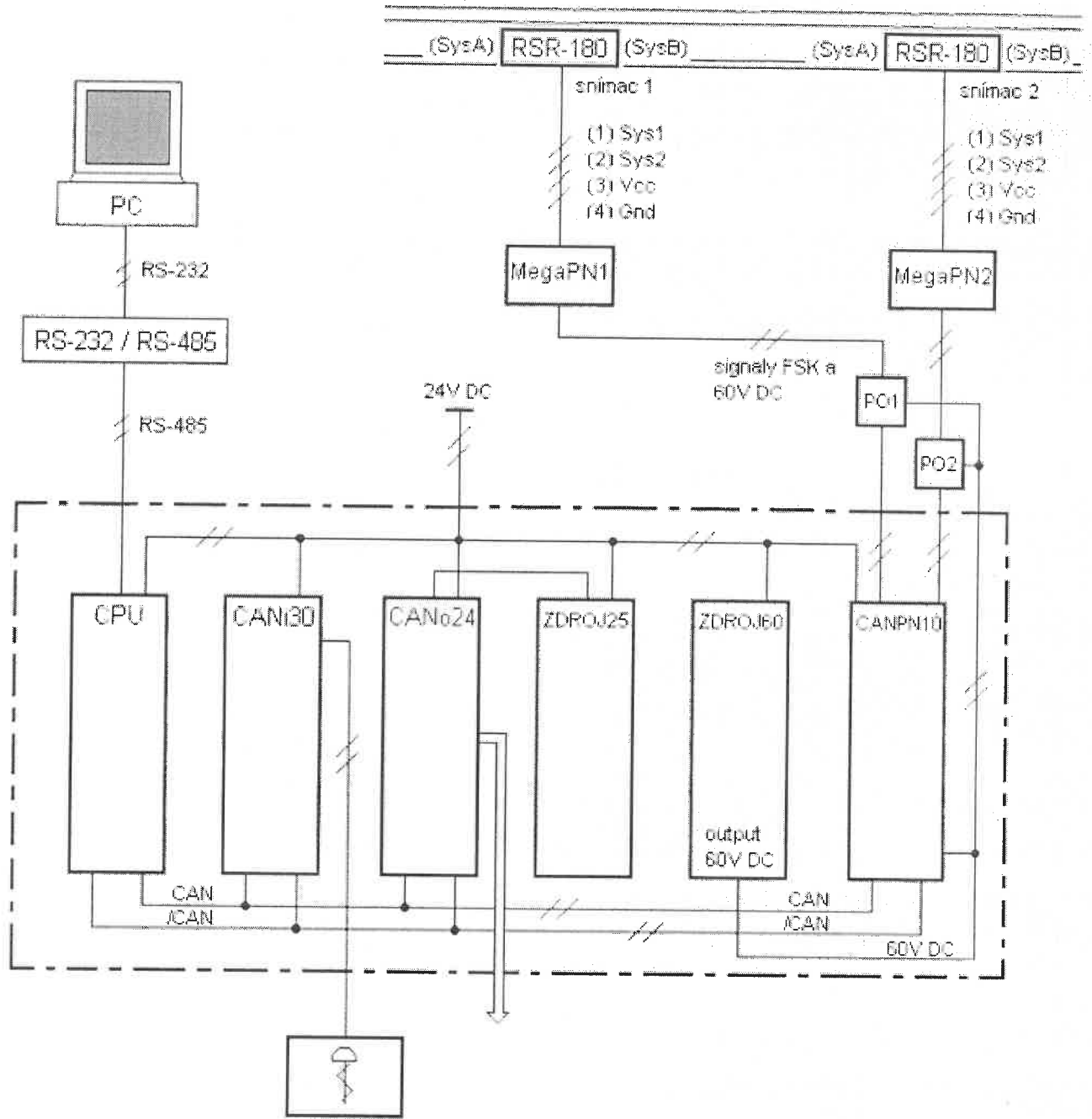


Figure 1.4 – Block diagram of PNS-03 [3]

According to Fig. 1.4, the maintenance PC displays the visualization of the track, the number of axles in individual sections and their occupancy. If the system includes a K-2002 signal box, the indicators on the signals are also displayed.

## 1.2 General characteristics of train monitoring systems

### 1.2.1 Standard train monitoring system

Currently, train monitoring in a number of European countries is carried out periodically using portable oscilloscope recorders (Fig. 1.5). These oscilloscopes are data acquisition equipment that can perform sensor measurements and store them in internal memory.

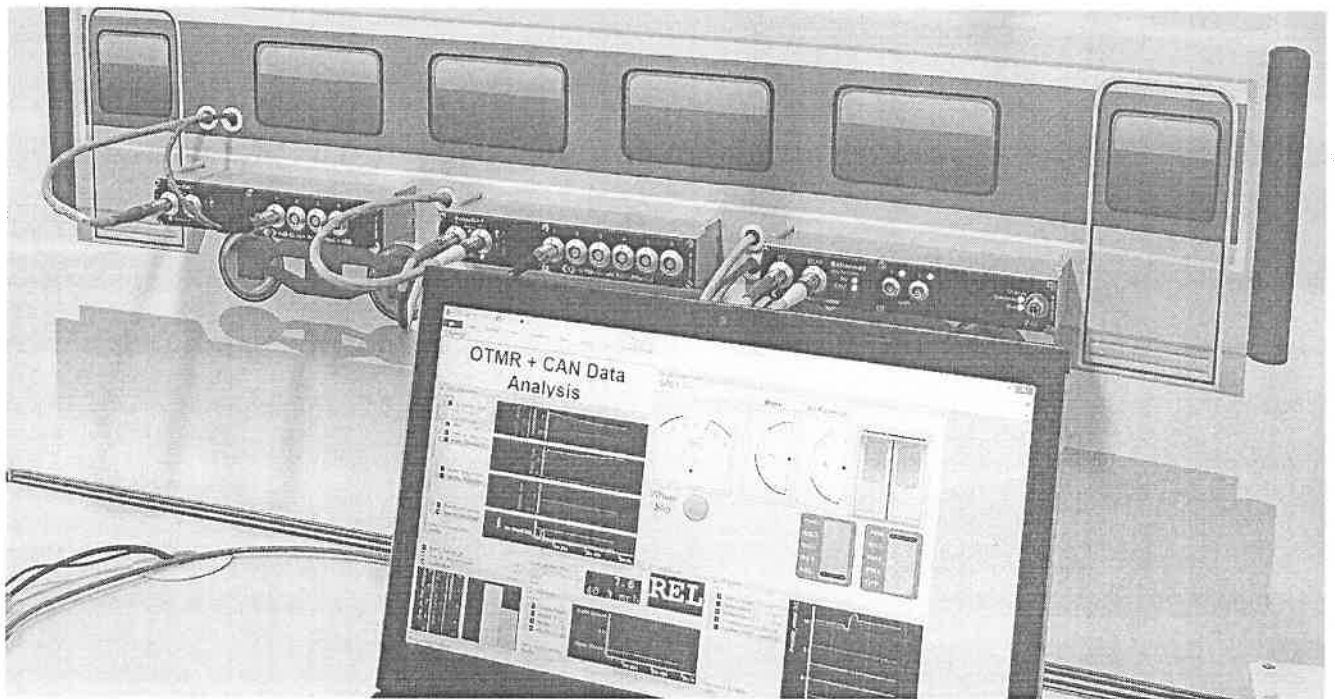


Figure 1.5 – Oscillography tools for monitoring train parameters [9]

Monitoring is carried out as follows: an oscilloscope is placed in a specific train, and its analog inputs are connected to sensors in the cab of this train, which allows measuring the factors that need to be controlled: speed, pressure, traction motor current and train supply voltage, etc. To control the specified parameters, an oscilloscope model is required that has 4 analog and 4 digital channels, which will allow receiving data from four sensors in parallel. In general, the oscilloscope continues to collect data throughout a given route. At the end of the trip, the oscilloscope is removed from the train cab and delivered to the maintenance information center, where the data is downloaded and stored on a computer for processing and analysis by engineers and technicians.

Traditional monitoring and maintenance methods, based on periodic checks, have a number of limitations and may be insufficient to prevent some operational defects. Thus, if the time interval between inspections is relatively long, many defects can be detected only when the damage caused by them becomes recognizable or has serious consequences for the equipment [10].

### 1.2.2 Modern train monitoring systems

#### *Train monitoring system based on radio frequency identification*

The authors of [11] propose a train car monitoring system using radio frequency identification (RFID) modules, microcontrollers and global mobile communication system (GSM), the purpose of which is to automatically track and record the location of the cars, eliminating errors caused by manual tracking and recording of this information. This system consists of RFID tag modules (Fig. 1.6) attached to the trains and RFID reader modules (Fig. 1.7) installed on the railway at fixed distances.

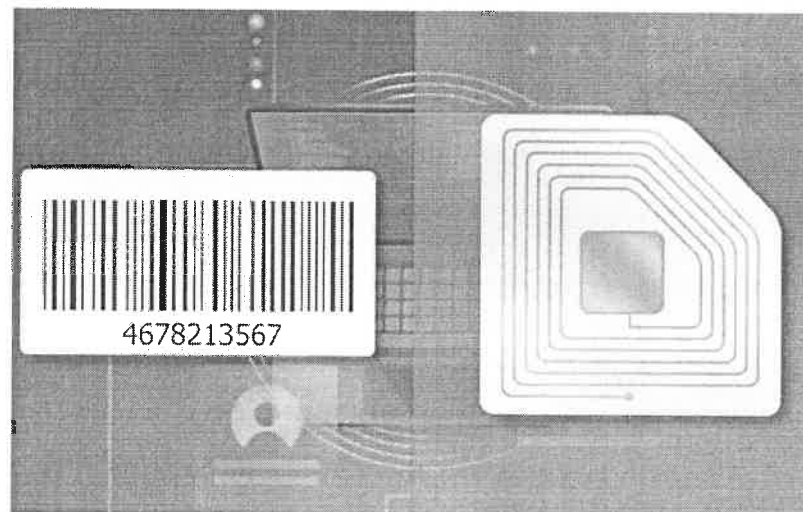


Figure 1.6 – RFID tag [12]

Each RFID reader is connected to a computer via a serial interface. In the same way, the computer is connected to a GSM device to send the collected data to other collection stations.



Figure 1.7 – RFID reader [12]

RFID systems operate in the frequency ranges from 30 to 500 kHz (low frequency), from 850 to 950 MHz and from 2.4 to 2.5 GHz (both considered high frequency). Thus, in [11] it is proposed to use inexpensive RFID modules ID10 manufactured by Innovative Devices. These devices operate at a low frequency level – 125 kHz, which have an operating range of 12 cm. AT89S52 microcontrollers were used (Fig. 1.8).



Figure 1.8 – AT89S52 Microcontrollers [13]

This microcontroller has a low-power complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) processor, 8 KB of erasable programmable read-only memory (EPROM), an internal 256x8-bit random access memory (RAM), 32 programmable I/O lines, 2 16-bit timer/counters, 8 interrupt sources, and a serial port for programming. An 11.0592 MHz crystal provides the clock for the microcontroller.

The proposed system works as follows: RFID tags attached to train cars send information about the car (e.g., identification number and type) to RFID readers whenever the train passes in front of the RFID tag. The readers, in turn, are mounted on the rails. The information received by the RFID reader is processed by a microcontroller, displayed on a small LCD (liquid crystal display) and simultaneously sent to a computer that stores the information in a database. The computer is connected to a cell phone that transmits the received data to other stations via the Short Message Service (SMS) on the GSM network. This system only monitors the position of trains and does not perform any other types of measurements.

### ***Wireless Train Speed Monitoring System Based on RCM3000***

In [14], a system for wireless train speed monitoring is proposed that combines sensor technologies, Ethernet networks and General Packet Radio Service (GPRS). This system performs real-time data collection, data transmission via wireless networks and management of measured train data. The system consists of a central control subsystem and many remote monitoring stations. Each station has a dedicated IP (Internet Protocol) address and can monitor the trains passing through its track. The train speed data measured by each station is sent to the control center via the GPRS network, namely the GPRS Gateway Support Node (GGSN). Once received, the data can be stored on the control center server and viewed by authorized users.

The remote stations consist of two speed sensors, a signal conditioning circuit board, and a board containing the RCM3000 microprocessor (Fig. 1.9) and a wireless modem. The two sensors are fixed to the track in a specific manner. The output signals of the sensors, which are generated when a train passes by them, are subject to various types of disturbances, which requires a circuit to regulate and adjust the signal so that it can be accurately read by the RCM3000 contact.

As each wheel of the train passes through the two sensors, the serial number and speed are recorded, and the average speed can be calculated after the train has completely passed. The speed is calculated based on the time difference between the pulses in the two sensors. The received data is sent to the modem via the RCM3000 serial port and then transported to the control center via the GPRS network. The dispatch center staff can

receive, display and print this information through the central control system and monitor the status of the trains passing through the monitoring station.

#### ***Wireless communication system for monitoring the operation of railway vehicles***

The authors [15] propose a system based on a combination of embedded computers, digital signal processing, wireless communication, GPS and geographic information system (GIS) technology. The system includes platforms installed inside each monitored train and a central station located in the office. Each platform on board detects various events from the moving vehicles, combines the time and location together with the data and sends them to the central station by wireless communication. The corresponding functional blocks consist of sensors for a specific application, a GPS with a communication antenna and an electronic module enclosed in a housing. The central station records the data in a database and shows the location and status of each train, and also detects the events on a map. Signals from all sensors can be sent during each event and can be viewed by the operator at the central station.

The system provides two forms of communication between the central station and the mobile platform inside the train. Depending on the coverage requirements, this communication is carried out via satellite or via wireless networks associated with cellular transmission. However, both methods have certain problems, for example, very limited scope. Yes, satellite communication provides the best coverage, but the cost of such services is higher. The use of wireless networks in combination with analog cellular transmission provides a wide range at an average cost. The central station receives data packets from vehicles and stores them in a database. A geographic information system is used to visualize the data. The GIS interface presents a map of the railway network and shows the registered location of each remote station on it.

#### ***Wireless train tracking device***

According to [16], a system called "Computer and Microwave Train Detection" allows the position of trains to be monitored through track-mounted sensors and wireless communication. The system consists of a radio wave transmission unit, which consists of: an interrogator, a transponder installed on the track and two on board the train, and a data processing unit. Trackside interrogators and responders have a radio

transmitter/receiver operating at 2450 MHz and are mounted opposite each other on opposite sides of the track. They maintain constant communication by sending signals from one device to the other. When a train passes between the interrogator and the trackside transponder, the communication is interrupted and the system then assumes that a train is present at that location, allowing the location of that train to be determined based on the known location of the equipment. At this point, the two transponders on board the train send its train identification code and the location code of the device on the train, which have been previously determined and stored in the device's memory, to the stationary interrogator on the track. These transponders are mounted inside the cab at a certain distance, so that each will communicate with the interrogator's radio at different times. By this order of communication, the direction of the train can be detected.

### **1.2.3 Comparison of the effectiveness of the considered systems**

In the context of the current work, a study was conducted of the main technologies used in modern railway vehicle monitoring systems in order to analyze their advantages and disadvantages. Thus, it can be seen that many of these systems use long-range wireless communication technologies, such as GPS and GSM. Some works propose the use of wireless sensor networks in combination with a microcontroller or microcomputer. Therefore, systems using GPS present the advantage of a large coverage range, which allows monitoring over a large geographical area. The disadvantage of using GPS for train monitoring is the high cost of services and the fact that this equipment is prone to failures caused by electromagnetic interference, such as those that occur when a vehicle passes through tunnels.

Another technology used for train monitoring is RFID in combination with GSM communication. The RFID modules used have a very limited range and functions, only identifying the train and determining its location at certain points. The use of GSM communication makes the system quite vulnerable to failures, since it depends on the quality of the telephone service signal available at the location.

### *Conclusions to Section 1*

Thus, in the current work, radio frequency modules with ZigBee technology have been adopted to develop a monitoring system that avoids failures caused by electromagnetic interference observed in systems using GPS receivers. The ZigBee system also has the advantage of being able to continuously monitor several factors simultaneously and send the received data remotely over relatively long distances without the need to use additional technologies to transmit this data. In addition to the above functions, using ZigBee technology, it is possible to develop an autonomous system with a much more favorable cost/benefit ratio than the systems considered.

## ДОДАТОК Б

### «Демонстраційні матеріали»

#### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема роботи: Телеметрична система контролю параметрів руху вантажних потягів

Виконав:

Керівник:

#### Б.1 – Тема роботи

*Актуальність теми роботи.* В сучасних умовах, стандартних методів технічного обслуговування та моніторингу роботи залізничних вантажних рухомих складів, заснованих на періодичній перевірці, може бути недостатньо для уникнення певних експлуатаційних проблем.

Так, ефективним інструментом є впровадження залізничної телеметричної системи (ЗТС), що реалізується на основі бездротової комунікаційної мережі, яка є недорогою, енергоефективною, модульною та здатною контролювати кілька телеметричних параметрів одночасно.

Детальним варіантом бездротового стандарту передачі даних є ZigBee. Тож дані отримані від телеметричних датчиків дозволять центру моніторингу та керування (ЦМК) залізничного управління приймати більш швидкі та надійні рішення в режимі реального часу. Стандартизована інформація між ЦМК та рухомими складами підвищить динаміку та гнучкість у плануванні вантажних перевезень, а надання історичних даних буде корисним у ході дослідження та аналізу можливих несправностей рухомого складу.

#### Б.2 – Актуальність теми роботи

**Мета роботи** – розробка пристрою захисту інформації від витіку акустичними каналами розвідки.

**Задачі роботи** є наступними:

- провести огляд існуючих телеметричних систем, що використовуються на залізницях;
- обґрунтувати вибір технології для реалізації телеметричної системи;
- визначити контрольовані телеметричні параметри;
- навести загальну характеристику розроблюваної телеметричної системи залізничних перевезень;
- виконати оцінку особливостей реорганізації системи;
- сформулювати рекомендації щодо тестування розроблюваної телеметричної системи;
- скласти висновки за результатами роботи.

### Б.3 – Мета і задачі роботи

#### Обладнання залізничної телеметрії

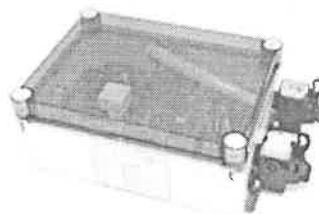
Євробайт у складі залізничної телеметрії



Датчик подвійної системи P/SR100

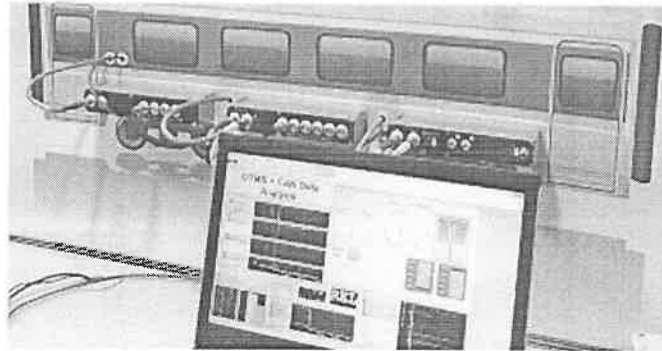


Блок обробки сигналів приладів осей P/S-03



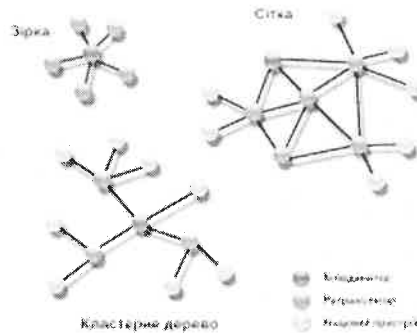
### Б.4 – Обладнання залізничної телеметрії

Засоби осцилографії для моніторингу телеметричних параметрів потяга



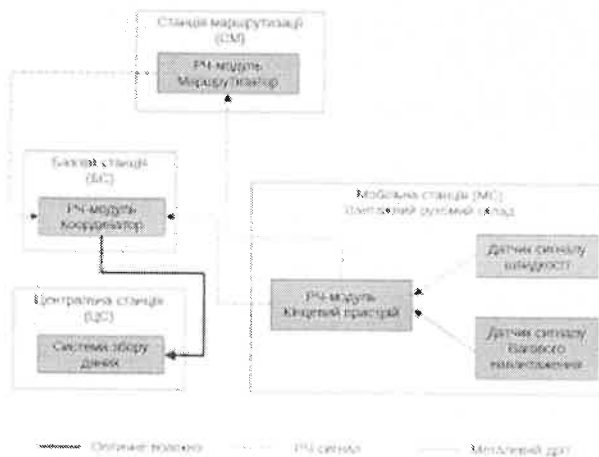
Б.5 – Засоби осцилографії для моніторингу телеметричних параметрів потяга

Топологія мереж ZigBee



Б.6 – Топологія мереж ZigBee

Блок-схема залізничної телеметричної системи



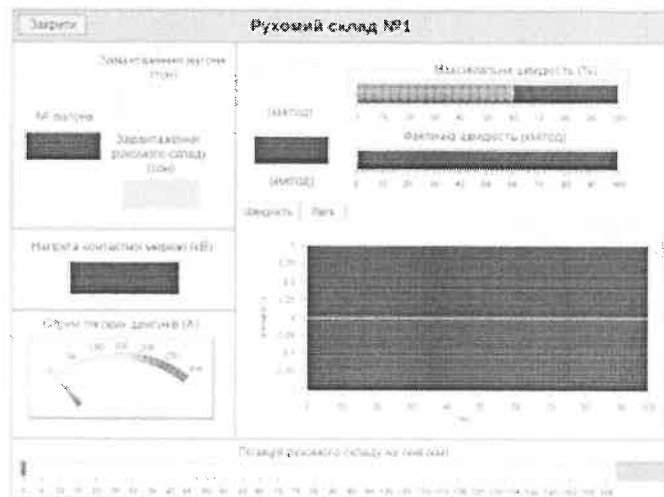
Б.7 – Блок-схема залізничної телеметричної системи

Діаграма взаємодії користувача із телеметричною системою



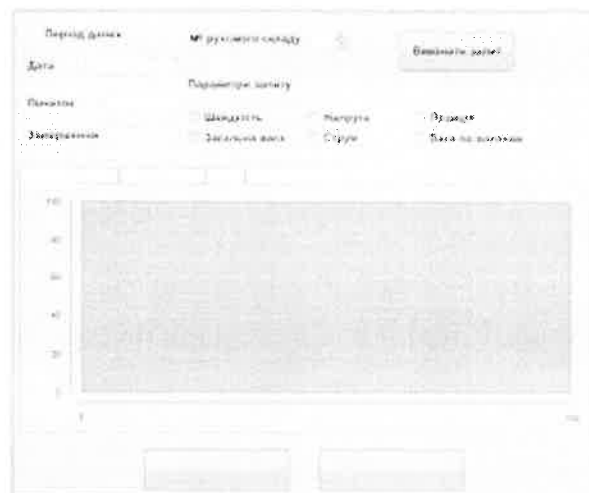
Б.8 – Діаграма взаємодії користувача з телеметричною системою

### Системний інтерфейс візуалізації телеметричних даних



Б.9 – Системний інтерфейс візуалізації телеметричних даних

### Інтерфейс для запиту даних телеметричної системи



Б.10 – Інтерфейс для запиту даних телеметричної системи

**Висновки:**

У ході виконання роботи прийнято структуру розробленої запитової телеметричної системи, яка складається з бездротової сенсорної мережі на основі технології ZigBee, що відповідає за отримання даних від датчиків у кабіні електровоза та надіслання даних на веб-сервер, встановлений на залізничній станції, система для отримання та декодування даних, отриманих від бездротової мережі і надіслання даних до системи спостереження в центр моніторингу та контролю, до якої кошти будуть підключені через локальну мережу Ethernet, і системи контролю, що встановлюється на комп'ютері в центрі моніторингу та контролю, підключеному до системи залізничної станції, з даними, які відображаються, як тільки кошти надходять від рухомого складу, у вигляді графіків і таблиць та зберігаються в базі даних для подальшої обробки.

Слід зазначити, що порівняно з експлуатованими системами контролю, що використовуються на залізницях, запропонована тут телеметрична система має значно вищійше співвідношення витрат і вигод. Так, оскільки використання технології, що є значно дешевшою, ніж дротові комунікаційні системи, вона дозволяє збирати та надіслати дані в режимі реального часу під час руху потягів, що дозволяє швидко та практично аналізувати дані.

Такою розробленою системою є зручною для масштабування. А основними ресурсами, направленими для розширення області телеметричного контролю є придбання і подальше встановлення маршрутизаторів уздовж залізничних колій та мобільних станцій на рухомих складах.

Висновково, що раціональним напрямком розвитку системи контролю є розробка додаткових інструментів для аналізу зібраних даних та подальшого формування відповідних процедур щодо профілактичної експлуатації та технічного обслуговування складових розробленої телеметричної системи.

Підсумовуючи, слід зазначити, що у ході проведення дослідження опрацьовано певний рівень сформовані задачі роботи.

## Б.11 – Висновки по роботі

Дякую за увагу!

## Б.12 – Завершення доповіді