

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

(назва факультету/ІНЦ)

«Транспортна інфраструктура»

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження сучасних технічних пристроїв забезпечення безпеки та діагностики рухомого складу відповідно до вимог інтероперабельності

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент

групи: ІН 2226

(підпис студента)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Володимир ЯВОРНИЦЬКИЙ /

Керівник:

(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ PhD Андрій КУЗИШИН /

Нормоконтролер:

(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

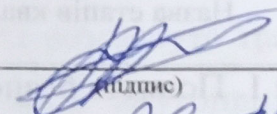
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»



Олексій ТЮТКІН  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 29.04.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Яворницькому Володимирі Олеговичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження сучасних технічних пристроїв забезпечення безпеки та діагностики рухомого складу відповідно до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Кузишин Андрій Ярославович, PhD, доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

«28» квітня 2023 р.

№ 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу українських та європейських норм. Дистанційні системи контролю технічного стану рухомого складу.

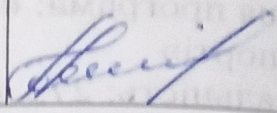
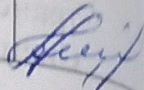
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Поняття безпеки на залізничному транспорті. Розділ 2. Вітчизняні пристрої автоматичного контролю технічного стану рухомого складу. Розділ 3. Технічні засоби рухомого складу по забезпеченню безпеки руху. Розділ 4. Дослідження використання дистанційної акустичної системи для контролю рухомого складу. Висновки.

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

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 11 слайдів).

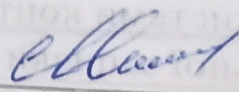
# 6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ      | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Завдання видав:<br>(підпис консультанта,<br>дата)                                   | Завдання прийняв:<br>(підпис студента)                                              |
|-------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Всі розділи | Кузишин А.Я.                              |  |  |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

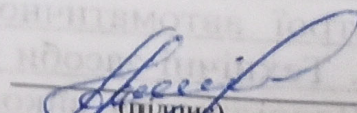
| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                                       | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Розділ 1. Поняття безпеки на залізничному транспорті.                                                                     | 30.10.2023-19.11.2023         |          |
| 2     | Розділ 2. Вітчизняні пристрої автоматичного контролю технічного стану рухомого складу.                                    | 20.11.2023-04.12.2023         |          |
| 3     | Розділ 3. Технічні засоби рухомого складу по забезпеченню безпеки руху.                                                   | 05.12.2023-17.12.2023         |          |
| 4     | Розділ 4. Дослідження використання дистанційної акустичної системи для контролю рухомого складу.                          | 18.12.2023-07.01.2024         |          |
| 5     | Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку. | 08.01.2024-14.01.2024         |          |
| 6     | Подання кваліфікаційної роботи до кафедри                                                                                 | 15.01.2024                    |          |
| 7     | Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії                                                         | Згідно з планом ЕК            |          |

Студент

  
(підпис)

Володимир ЯВОРНИЦЬ  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

  
(підпис)

Андрій КУЗИШИН  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

**Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»**

(назва факультету/ННЦ)

**«Транспортна інфраструктура»**

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження сучасних технічних пристроїв забезпечення безпеки та діагностики рухомого складу відповідно до вимог інтероперабельності

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ІН 2226

(підпис студента)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

/ Володимир ЯВОРНИЦЬКИЙ /

**Керівник:**

(підпис)(посада, Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

/ PhD Андрій КУЗИШИН /

**Нормоконтролер:**

(підпис)(посада, Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТКІН /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

**Explanatory Note**  
**to Master's Thesis**

Master

(higher education degree)

on the topic: Research of modern technical devices for ensuring safety and diagnostics  
of rolling stock in accordance with interoperability requirements

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport  
in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code )

Done by the student of the group: IH 2226 / Volodymyr YAVORNYTSKYI /  
(name, surname)

Scientific Supervisor: / PhD Andriy KUZYSHTYN /  
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /  
(position, name, surname)

Dnipro – 2024

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

58 стор., 18 рис., 1 табл., 11 літературних джерел.

Об'єкт розробки – рухомий склад залізничного транспорту.

Мета роботи – дослідження можливостей створення багаторівневої системи безпеки, яка є об'єднання технічних можливостей наявних та розроблюваних пристроїв всіх елементів технологічного процесу на транспорті.

Метод дослідження – аналіз нормативної документації України та ЄС. Дослідження віртуальних акустичних датчиків в оптоволокні для аналізу технічного стану рухомого складу та інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуто три групи факторів, що викликають порушення безпеки руху: зовнішні, внутрішні фактори технічної системи та людський фактор, встановлено, що найточнішу оцінку безпеки дають імовірнісні кількісні показники, оскільки вони мають загальний характер для різних систем та можуть бути визначені експериментально, розрахунковим шляхом або за допомогою моделювання на етапі створення нових технічних систем та пристроїв, відзначено, що на даний час ведуться роботи зі збільшення гарантійних плечей технічного обслуговування вагонів та ліквідації контрольних пунктів технічного обслуговування вагонів, відповідно до нормативних документів ДСТУ EN 50126-1:2019 та EN 50126-1:2017 побудовано V-подібну модель життєвого циклу системи, встановлено, що використовуючи принцип розподіленого акустичного зондування DAS (Distributed Acoustic Sensing) є можливість безперервного стеження за рухом поїздів, моніторингу колії та технічного стану рухомого складу.

Ключові слова: РУХОМИЙ СКЛАД, НАДІЙНІСТЬ, ПРИСТРОЇ БЕЗПЕКИ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, АКУСТИЧНИЙ ДАТЧИК, ТЕХНІЧНІ СПЕЦІФІКАЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

|      |                                                       |
|------|-------------------------------------------------------|
| СЦБ  | Система централізації та блокування                   |
| ПТЕ  | Правила технічної експлуатації залізниць України      |
| ТЗ   | Технічні засоби                                       |
| КЛУБ | Комплекс локомотивних пристроїв безпеки               |
| ЕОМ  | Електронно-обчислювана машина                         |
| ЕН   | Європейська норма                                     |
| ВЧД  | Вагонне депо                                          |
| ПТО  | Пункт технічного обслуговування                       |
| ППВ  | Пункт підготовки вагонів                              |
| ПКТО | Пункт контрольно-технічного огляду                    |
| КП   | Контрольний пост                                      |
| ТО   | Технічне обслуговування                               |
| АЛС  | Автоматична локомотивна сигналізація                  |
| ПК   | Приймальні котушки                                    |
| ЕПК  | Електропневматичний клапан                            |
| САУТ | Система автоматичного управління гальмами             |
| ДСТУ | Державний стандарт України                            |
| RAMS | Reliability, Availability, Maintainability and Safety |
| DAS  | DAS (Distributed Acoustic Sensing)                    |

## **ЗМІСТ**

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                          | <b>6</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ....</b>                                            | <b>8</b>  |
| 1.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕРМІНИ ТЕОРІЇ БЕЗПЕКИ РУХУ ПОЇЗДІВ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ....                      | 8         |
| 1.2. РОЛЬ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....                         | 18        |
| Висновки до розділу 1.....                                                                                 | 20        |
| <b>РОЗДІЛ 2. ВІТЧИЗНЯНІ ПРИСТРОЇ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ<br/>ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ .....</b>     | <b>22</b> |
| Висновки до розділу 2.....                                                                                 | 27        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ РУХОМОГО СКЛАДУ ПО<br/>ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ РУХУ .....</b>                    | <b>28</b> |
| 3.1. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ .....                                                  | 29        |
| 3.2. СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ .....                                                    | 31        |
| 3.3 КОМПЛЕКС ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ БЕЗПЕКИ .....                                                          | 34        |
| 3.4. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ WAGGON TRACKER ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВАГОНІВ .....                                     | 36        |
| Висновки до розділу 3.....                                                                                 | 45        |
| <b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ<br/>АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РУХОМОГО СКЛАДУ</b> | <b>46</b> |
| Висновки до розділу 4.....                                                                                 | 54        |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>                                                                                      | <b>55</b> |
| <b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРА.....</b>                                                                              | <b>57</b> |

## ВСТУП

Розробка нових технічних пристроїв, організація перевізного процесу, технологія виробництва, діагностика елементів інфраструктури залізничного транспорту та інші напрямки діяльності оцінюються насамперед із позиції безпеки. Немає важливішого для людини пріоритету, ніж її особиста безпека та безпека оточуючих. Безпечне функціонування технічних засобів та технологій транспортних процесів – завдання систем залізничної безпеки. Удосконалення існуючих систем забезпечення безпеки та формування принципів їх функціонального розвитку має базуватись на комплексному підході. Особливого значення при цьому надається людському фактору.

На залізничному транспорті безпеці транспортного процесу та аналізу наявних порушень завжди приділялася особлива увага. Упродовж багатьох десятиліть при створенні нових технічних систем та виробничих процесів використовувався принцип абсолютної безпеки, відповідно до якого ставилося завдання: виключити відмови (хоча б у встановлені терміни експлуатації). Завдання безпеки вирішувалися у кожному з розроблених пристроїв чи процесах, тоді як проблеми комплексності і сумісності у забезпеченні безпеки процесу перевезень залишалися осторонь. Створювалися запаси механічної та електричної міцності виробів та систем, що дозволяло забезпечувати (у тому числі й досі) високий рівень безпеки та довговічність роботи пристроїв. Змінні умови функціонування залізничних підприємств впливають на організацію робіт з безпеки на транспорті.

Технічні засоби безпеки, які наразі використовуються є застарілими. Традиційні системи залізничної автоматики і телемеханіки не дозволяють кардинально скоротити кількість відмов і збоїв.

Принцип абсолютної безпеки виключає можливість кількісного порівняння рівня безпеки, що забезпечується різними системами, та нормованого рівня безпеки, оцінки достатності фактичного рівня безпеки та, як наслідок, проблем сертифікації процесу руху за показником безпеки.

Недостатня професійна підготовка, незнання нормативних документів з безпеки руху зазвичай стають причиною аварій і катастроф.

Традиційний підхід до проблеми забезпечення безпеки за рахунок безпеки кожної з технічних систем, що використовуються, і створення запасів їх міцності в даний час не можна вважати ефективним і єдино правильним. Залізничний транспорт переходить на нові, насамперед інформаційні комп'ютерні технології, що дозволяє створювати багаторівневі ієрархічні системи забезпечення та управління безпекою руху. Причиною, яка зумовила необхідність розробки багаторівневої системи забезпечення безпеки руху, є проблема стикування окремих технічних систем, що формують єдиний транспортний комплекс.

Отже, завданням створюваної багаторівневої системи безпеки є об'єднання технічних можливостей наявних та розроблюваних пристроїв всіх елементів технологічного процесу на транспорті. При цьому формуються рівні системи: управління рухом поїздів; забезпечення надійної експлуатації технічних систем та забезпечення безпеки руху.

*Об'єктом дослідження* в даній роботі є рухомий склад залізничного транспорту.

*Предметом дослідження* являється робота сучасних технічних пристроїв забезпечення безпеки та діагностики рухомого складу при його експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності.

## РОЗДІЛ 1

### ПОНЯТТЯ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

#### 1.1. Основні поняття та терміни теорії безпеки руху поїздів та систем управління

Забезпечення необхідного рівня безпеки транспортних процесів – складна комплексна проблема, що включає питання проектування, виробництва та експлуатації пристроїв, вирішення організаційно-технологічних завдань, використання сучасних технічних систем та формування особливого менталітету працівників, орієнтованого на пріоритетність безпеки в їх професійній діяльності. При цьому безпека постає не тільки як моральний критерій, а й як суттєвий економічний показник.

«Безпека руху та експлуатації залізничного транспорту» визначена як стан захищеності залізничного рухомого складу та процесу його руху, при якому відсутній неприпустимий ризик виникнення транспортних пригод та їх наслідків, що тягнуть за собою заподіяння шкоди життю чи здоров'ю громадян, шкоди навколишньому середовищу, майну фізичних чи юридичних осіб [1].

Усі фактори, що викликають порушення безпеки, можна об'єднати у три групи: зовнішні, внутрішні фактори технічної системи та людський фактор. Порушення безпеки можливе через один або кілька факторів із зазначених груп (рис. 1.1).

Кожна група факторів має свої характеристики, які необхідно враховувати при організації руху, але управляти можна тільки технічним і людським факторами.

Для правильного обговорення та вирішення питань безпеки руху, як і безпеки будь-якого технологічного процесу, необхідно визначитися з основними поняттями, що характеризують цю проблему.

Під безпекою залізничного транспорту приймається властивість (відмінна якість) системи забезпечувати безпеку вантажів, технічних засобів та навколишнього середовища.

Безпека перевізного процесу завжди була найважливішою властивістю транспортної системи, але проблеми безпеки протягом періоду існування транспорту вирішувалися по-різному. Створювалися різні системи, що забезпечують безпеку технологічних процесів на транспорті, формувалася нормативна база, що визначає діяльність систем та працівників транспорту.

Сьогодні чинними стандартами визначено поняття «концепція безпеки»: сукупність положень, відповідно до яких здійснюється побудова системи, що відповідає вимогам безпеки. До поняття «система» входить і персонал, що забезпечує транспортний процес.

На безпеку руху впливають різні чинники: як кожен із них окремо, так і у сукупності (рис. 1.1).

Особливо слід зазначити вплив людського чинника, на частку якого припадає понад 50 % причин порушення безпеки. Застосування технічних засобів знижує вплив даного фактора, а при правильному управлінні професійною підготовкою персоналу рівень безпеки підвищується швидше та економічніше.

Важливим поняттям для оцінки безпеки є показник «рівень безпеки»: сукупність вимог до системи, що визначається граничними значеннями показників безпеки та відповідає певним вимогам безпеки.

Таким чином, слід вважати, що безпечна система – це система, побудована відповідно до певної концепції безпеки та задовольняє заданий рівень безпеки.

Безпеку об'єкта чи системи загалом можна поділити на зовнішню та внутрішню.

Зовнішня безпека – відсутність порушення безпеки об'єкта через зовнішні причини. Сам об'єкт у цьому випадку не є причиною порушення безпеки (пасивний щодо безпеки). Зовнішньою безпекою транспортного процесу загалом чи його елементів вважається усе те, що може впливати на роботу транспорту і на що сам транспорт вплинути не може.

Що стосується транспортного процесу проявом зовнішньої безпеки можна назвати умови експлуатації, зокрема природні умови чи поведінка людей – не учасників транспортних процесів. При розгляді окремих систем або пристроїв поняття зовнішньої безпеки буде виявлятися як ситуація, коли порушення безпеки відбувається не через пристрій або системи, що розглядається.

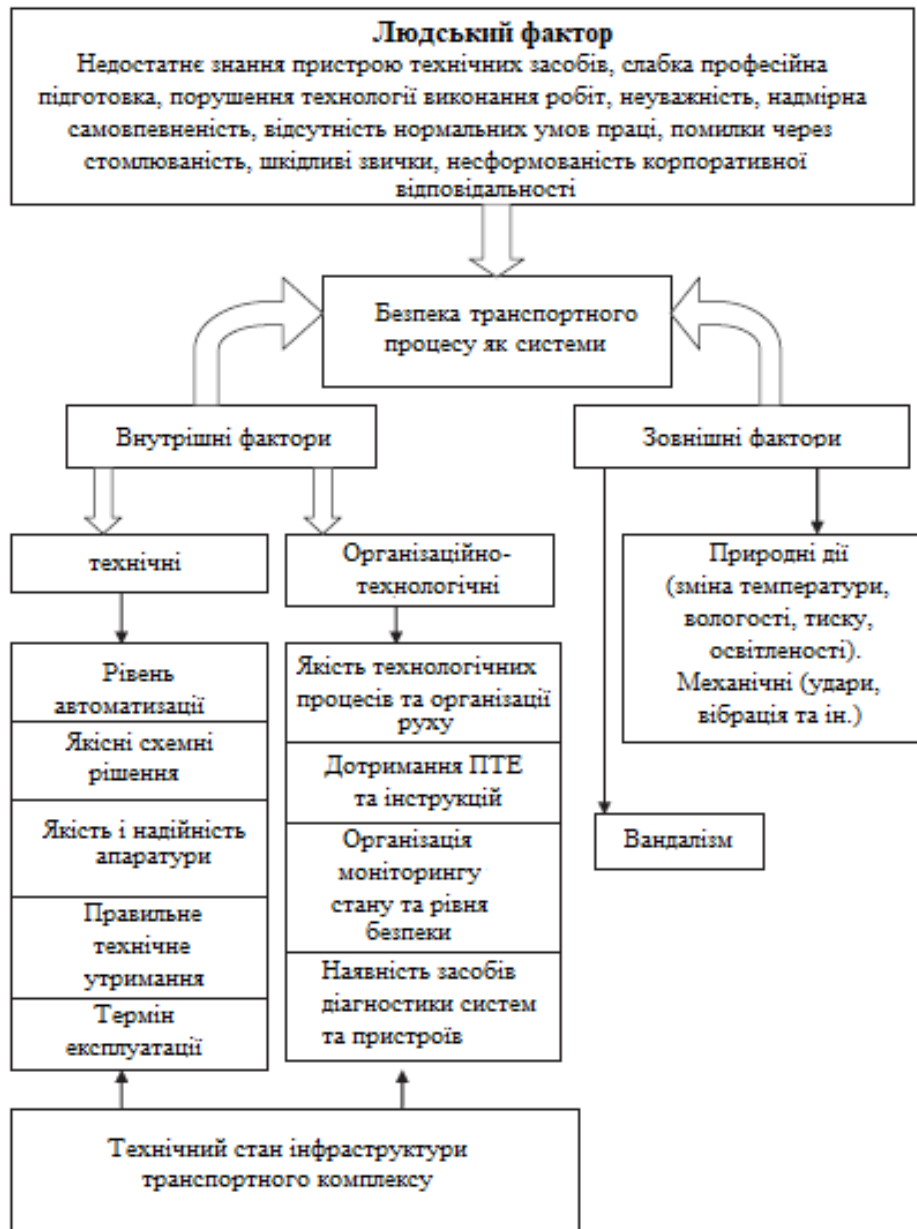


Рисунок 1.1 – Чинники, внутрішні фактори технічної системи та людський фактор

Внутрішня безпека – це здатність об’єкта не виступати джерелом небезпеки

стосовно людини чи зовнішнього середовища через порушення своєї працездатності (об'єкт активний щодо безпеки). Рівень внутрішньої безпеки – найважливіший показник в оцінці застосування пристрою, системи, технології виконання робіт чи експлуатаційного персоналу, оскільки саме управління внутрішньої безпеки багато в чому забезпечує загальний показник безпеки транспортного процесу. Конструктивні рішення та матеріали, що використовуються при виготовленні пристроїв, досконалість застосовуваних програмних продуктів та експлуатаційно-технологічні заходи впливають на рівень внутрішньої безпеки окремих пристроїв та транспортної системи загалом.

До терміну «безпека» близький термін «надійність». Щоби провести межу між цими поняттями, необхідно відповісти на запитання: що таке «надійний пристрій». Найбільш проста відповідь: це пристрій, який повністю справний або принаймні знаходиться в робочому стані.

Безпека системи тісно пов'язана з надійністю пристроїв, що становлять систему. Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Поняття «надійність» характеризується безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю та збереженням (рис. 1.2) [2-3].

Безвідмовність характеризує систему з її працездатності.

Довговічність пристрою або системи допускає випадки відновлюваних або усунутих відмов, але не допускається перевищення граничного рівня або стану об'єкта, що розглядається, чим і визначається термін експлуатації пристрою або системи. Граничний стан не допускає подальше використання за призначенням пристрою через неможливість або недоцільність. Даний стан настає через фізичне старіння, при виникненні порушень вимог безпеки.

Ремонтпридатність успішно реалізується в системах з блоковою (модульною) конструкцією, що дозволяють проводити швидку заміну блоків або

модулів, що вийшли з ладу, і продовжувати таким чином довговічність систем або пристроїв.

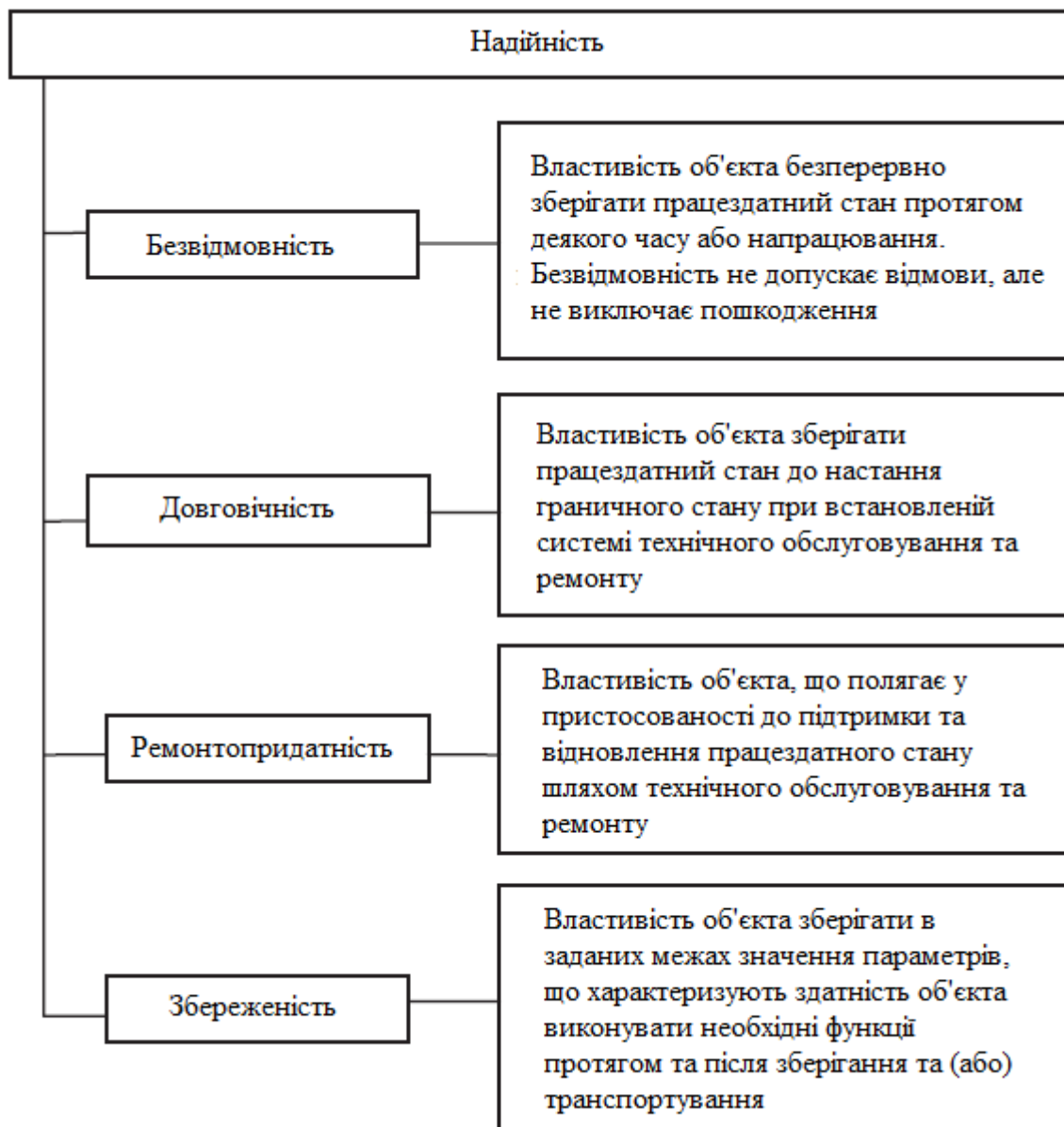


Рисунок 1.2 – Структура та зміст поняття «надійність»

Збереженість характеризує системи або пристрої з позиції їх функціонування протягом та після зберігання та (або) транспортування.

Будь-який пристрій, об'єкт або система може знаходитися в одному з чотирьох технічних станів:

справний стан – стан об'єкта, за якого він відповідає всім вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації;

працездатний стан – стан об’єкта, при якому значення параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації;

непрацездатний стан – стан об’єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської (проектної) документації. З безлічі непрацездатних станів виділяють частково непрацездатні стани, у яких об’єкт здатний частково виконувати необхідні функції. Перебуваючи у непрацездатному стані, об’єкт перетворюється на захисний чи небезпечний стан.

На практиці використовується поняття «граничний стан» – стан об’єкта, у якому його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, чи відновлення його працездатного стану неможливо чи недоцільно. Критерій граничного стану – ознака чи сукупність ознак граничного стану об’єкта, встановлені нормативно-технічною та (або) конструкторською (проектною) документацією. В залежності від умов експлуатації для одного і того ж об’єкта можуть бути встановлені два і більше критеріїв граничного стану.

Поняттю «надійність» відповідають справний ( $S_c$ ) та робочий ( $S_p$ ) стан, тобто справедлива формула:

$$S_n = S_c \& S_p \quad (1)$$

де  $S_n$  – надійний стан системи чи пристрою.

Неробочий стан системи ( $S_s$ ) не можна вважати надійним, але він безпечний, отже, «надійність» – вужче поняття, оскільки воно поглинається поняттям «безпека».

### **Показники та критерії безпеки та надійності**

У технічній документації пристроїв, що експлуатуються, вказуються основні показники їх безпеки та надійності. Вигляд показників залежить від характеру роботи пристрою, його структури та характеру поведінки у разі порушення його працездатності.

Показники безпеки – це кількісні та якісні характеристики безпеки.

Кількісні показники характеризують безпеку з допомогою деяких числових величин.

Якісні показники дають опосередковану оцінку безпеки. Якісний показник системи або пристрою дає можливість провести порівняльний аналіз за іншими ознаками та зробити висновок про якість системи у частині її надійності.

Кількісні показники безпеки діляться на детерміновані та імовірнісні.

Система показників теорії надійності представлена на (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Класифікація показників безпеки та надійності

Детерміновані показники виражаються фізичними величинами чи відношеннями цих величин. До них відносяться показники, що оцінюють роботу підприємств залізничного транспорту з питань безпеки (кількість аварій, катастроф і відношення цих випадків до показника технічної оснащеності або обсягів перевезень). Вони зазвичай застосовуються в існуючих системах оцінки експлуатаційної діяльності підприємств транспортного комплексу. Недоліком детермінованих показників є те, що вони не відображають ймовірнісну

поведінку експлуатації та обслуговування систем. Такі показники неможливо визначити аналітичними методами розробки систем.

Найточнішу оцінку безпеки дають імовірнісні кількісні показники. Вони мають загальний характер для різних систем та можуть бути визначені експериментально, розрахунковим шляхом або за допомогою моделювання на етапі створення нових технічних систем та пристроїв.

Основні імовірнісні показники наведені у (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні імовірнісні показники теорії надійності

| Показник                        | Зміст                                                                                                                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ймовірність безвідмовної роботи | Імовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не виникає                                                                      |
| Ймовірність відмови             | Імовірність того, що в межах заданого напрацювання виникає відмова об'єкту                                                                         |
| Функція розподілу відмов        | Функціональна залежність ймовірності появи відмови за певний період                                                                                |
| Середнє напрацювання до відмови | Математичне очікування напрацювання об'єкта до першої відмови                                                                                      |
| Середнє напрацювання на відмову | Відношення сумарного напрацювання об'єкта, що відновлюється, до математичного очікування числа його відмов протягом цього напрацювання             |
| Інтенсивність відмов            | Умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до моменту часу, що розглядається, відмова не виникла       |
| Параметр потоку відмов          | Відношення математичного очікування кількості відмов об'єкта, що відновлюється, за достатньо мале його напрацювання до значення цього напрацювання |

|                            |                                                                                                                                |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Загальне напрацювання      | Тривалість чи об'єм роботи, виконаний об'єктом                                                                                 |
| Напрацювання до відмови    | Напрацювання від початку експлуатації об'єкта до виникнення першої відмови                                                     |
| Напрацювання між відмовами | Напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови         |
| Термін експлуатації        | Календарна тривалість від початку експлуатації об'єкта або відновлення після ремонту певного виду до переходу в граничний стан |
| Технічний ресурс           | Напрацювання об'єкта від початку експлуатації або його відновлення після ремонту певного виду до переходу до граничного стану  |

Інтенсивність відмов – основна характеристика безпеки, з допомогою якої розраховуються інші показники. Статистичну величину  $\lambda(t)$  визначають у результаті випробувань за формулою:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)} \quad (2)$$

де  $n(\Delta t)$  – кількість зразків системи, які мали відмову за інтервал часу  $\Delta t$ ;

$N_{cp}(\Delta t)$  – середня кількість працездатних зразків системи, які не мали відмов за період  $(\Delta t)$  (за умови, що зразки системи, які мали відмову в період, що розглядається, негайно замінювалися новими).

Оскільки небезпечні відмови рідкісні, то статистичні експерименти визначення  $\lambda(t)$  необхідно проводити тривалий час, що практично неможливо. У вищенаведеній формулі використовуються результати спостережень у процесі тривалої експлуатації системи або пристрою, тим більше, що в реальних умовах

експлуатації зразки, що вийшли з ладу, негайно замінюються новими і відновлюється працездатність системи.

Безпека систем, що відновлюються, характеризує параметр потоку відмов  $\omega(t)$ . Статистично цей показник визначають за результатами випробувань чи експлуатації за формулою:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0(\Delta t)} \quad (3)$$

де  $N_0$  – число зразків системи, поставлених на випробування на момент часу  $t$ ;

$n(\Delta t)$  – число зразків системи, що мали відмову за період часу  $(\Delta t)$ , за умови, що зразки системи, які мали відмову в період, що розглядається, негайно замінювалися новими.

Важливим показником для оцінки рівня безпеки та вжиття необхідних організаційних та технічних заходів є такий показник, як функція розподілу відмов системи або її елементів  $F_0(t)$ . Цей показник може описуватися формулою, таблично чи графічно.

Показник надійності – кількісна характеристика однієї чи кількох властивостей, які складають надійність об'єкта.

До них відносяться одиничний показник надійності, що характеризує одну з властивостей, що становлять надійність об'єкта; комплексний показник надійності, що характеризує кілька властивостей, що становлять надійність об'єкта; розрахунковий, значення якого визначаються розрахунковим методом; експериментальна, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними випробувань; експлуатаційна, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними експлуатації; точкова або інтервальна оцінка якого визначається на підставі результатів розрахунків, випробувань та (або) експлуатаційних даних шляхом екстраполявання на іншу тривалість експлуатації та інші умови експлуатації.

При розрахунках надійності складних систем створюють схему (модель) системи, що розглядається. У ній повинні бути відомі показники надійності елементів, що входять до системи, що розглядається, і збережений характер зв'язків між елементами з точки зору надійності.

## **1.2. Роль технічних засобів у забезпеченні безпеки на залізничному транспорті**

Комплекс технічних засобів, що забезпечують безпеку руху, включає:

- експлуатаційно-технологічні процеси, що впливають на рівень безпеки (проекування станцій та залізничних ліній, маршрутизація пересування станціями, організація технологічного процесу перевезення вантажів і пасажирів та ін.);

- широкий спектр пристроїв СЦБ, які вирішують у тому числі й питання безпеки руху;

- використання систем діагностики різних елементів і структурних підсистем залізничного транспорту (колії, рухомого складу, електропостачання та ін);

- технічні засоби професійного відбору та підготовки персоналу, що працює на транспорті.

Укрупнену структуру комплексу технічних засобів забезпечення безпеки на залізничному транспорті наведено на (рис. 1.4).

На рисунку одиночними стрілками показані інформаційні зв'язки та потоки інформації, а подвійними – функціональні зв'язки пристроїв у єдиному комплексі технічних засобів безпеки на транспорті. Об'єднання всього різноманіття технічних засобів, що забезпечують безпеку на транспорті в єдиний багаторівневий функціональний комплекс, здійснюється на основі сучасних інформаційних засобів та технологій.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграє людський чинник. Майже кожен випадок пошкодження, а тим більше аварії пов'язані з порушеннями ПТЕ, інструкцій та посадових обов'язків, які допускаються причетними працівниками залізничного транспорту.

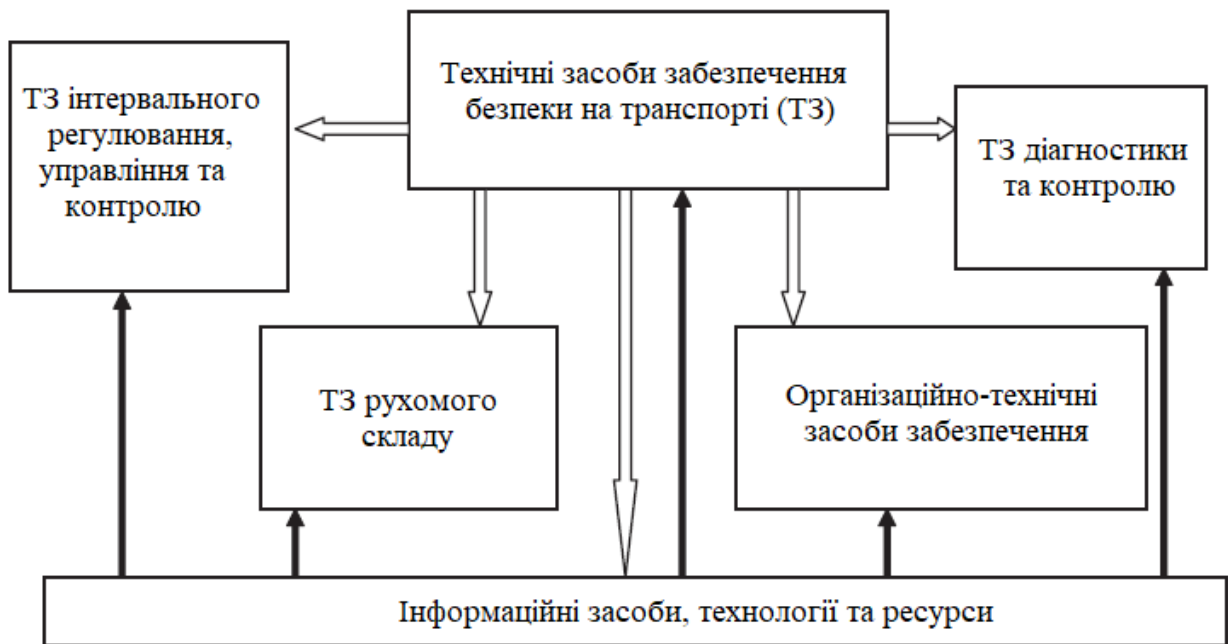


Рисунок 1.4 – Укрупнена структура комплексу технічних засобів, що забезпечують безпеку на залізничному транспорті

Залізничний транспорт – складна технічна система управління, у якій людина виступає не тільки як користувач результату процесу, а й як елемент системи (який завжди досить надійний), виконує функції оператора тієї чи іншої підсистеми. Як і будь-який елемент, персонал може переходити у стан «відмови».

Використання технічних засобів знижує вплив людського фактора. В умовах нормальної роботи технічних засобів персонал впевнено виконує необхідні дії щодо організації транспортного процесу, але при порушенні роботи пристроїв СЦБ або суттєвих порушеннях графіка руху поїздів виникає психологічна напруженість персоналу та зростає кількість помилок у роботі. Системи автоматики здійснюють постійний логічний контроль над роботою персоналу, виключаючи його помилки.

В даний час відбувається впровадження на мережі залізниць нових систем інтервального регулювання, автоматизації процесу ведення поїздів та забезпечення безпеки. До таких систем належать комплексний пристрій безпеки (КЛУБ-У), пристрій автоведення поїзда, технічна система контролю дій

машиніста, системи супутникової навігації та радіоуправління.

За статистикою, більшість випадків порушення безпеки на транспорті відбувається на залізничних переїздах, чим пояснюється необхідність впровадження технічних засобів у місцях перетину автомобільних і залізниць.

Класифікація систем дозволяє не тільки систематизувати весь спектр наявних технічних засобів, а й, використовуючи методи аналізу, декомпозиції та синтезу, створити інтегровані комплекси, що виключають дублювання функцій та вирішують проблему безпеки на нових принципах. При цьому необхідно визначитися з ознаками класифікації, що формують базу системного опису комплексу пристроїв, що забезпечують безпеку на транспорті.

Класифікацію наявних систем, що забезпечують безпеку на залізничному транспорті, можна проводити з використанням низки принципів на основі різних ознак та характеристик.

Основними принципами класифікації можна вважати вид елементної бази, ступінь інтеграції пристроїв, спосіб управління, конструктивні особливості, функціональне призначення, рівні надійності, вартість, ступінь захищеності пристроїв, варіант розміщення пристроїв (централізоване або децентралізоване), спосіб живлення пристроїв, умови їх роботи та цілий ряд інших принципів та ознак, які також можуть бути використані для систематизації технічних засобів і в кожному конкретному випадку будуть мати пріоритетний характер.

З метою вивчення загальних принципів побудови існуючих технічних засобів забезпечення безпеки та напрямів їх розвитку візьмемо за основу ознаку функціонального призначення пристроїв, тобто угруповання технічних засобів за характером дій, що виконуються. Кожен пристрій може бути описаний за всіма вищезгаданими ознаками та характеристиками.

## **Висновки до розділу 1**

– розглянуто три групи факторів, що викликають порушення безпеки руху: зовнішні, внутрішні фактори технічної системи та людський фактор;

- проаналізовано показники безпеки та надійності, встановлено їх переваги та недоліки;
- встановлено, що найточнішу оцінку безпеки дають імовірнісні кількісні показники, оскільки вони мають загальний характер для різних систем та можуть бути визначені експериментально, розрахунковим шляхом або за допомогою моделювання на етапі створення нових технічних систем та пристроїв;
- аналізуючи структуру комплексу технічних засобів, що забезпечують безпеку на залізничному транспорті відзначено, що класифікація систем дозволяє не тільки систематизувати весь спектр наявних технічних засобів, а й, використовуючи методи аналізу, декомпозиції та синтезу, створити інтегровані комплекси, що виключають дублювання функцій та вирішують проблему безпеки на нових принципах.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ВІТЧИЗНЯНІ ПРИСТРОЇ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Автоматизація контролю технічного стану (діагностики) відповідальних вузлів ходових частин – один із шляхів вирішення завдання підвищення безпеки руху поїздів. Застосування автоматизованих систем контролю дозволяє своєчасно виявити і усунути несправності ходових частин рухомого складу, що виникають у процесі експлуатації, попередити виникнення незворотних відмов, які можуть призвести до аварій і катастроф, скоротити витрати часу на технічне обслуговування поїздів, збільшити відстані безперервно гарантійного пробігу поїздів без технічного обслуговування вагонів.

Зі збільшенням швидкості руху та ваги поїздів, відстаней їх безперервного прямування, зменшення інтервалів між попутно наступними поїздами питання забезпечення високого рівня безпеки руху набувають першочергового значення. Вирішити таке завдання не можна без удосконалення традиційних та розробки нових методів контролю поїздів у процесі їхнього руху по ділянках безперервного прямування. Тому на мережі залізниць широко впроваджується апаратура контролю найбільш відповідальних вузлів рухомого складу (буксових вузлів, колісних пар, та ін.).

Поетапна модернізація систем діагностики з використанням мікропроцесорних контролерів, дозволила отримати якісно нові характеристики засобів інфрачервоної діагностики буксових вузлів, підвищити їхню надійність та продовжити термін їх використання.

До засобів автоматизованого контролю технічного стану рухомого складу на ходу поїзда належать стаціонарні системи виявлення окремих видів несправностей рухомого складу [4]. Дані пристрої є додатковими засобами підвищення безпеки руху поїздів за рахунок здійснення комплексного контролю рухомого складу з централізованим збором та обробкою на ЕОМ інформації про стан контрольованого об'єкта.

До складу засобів контролю входять системи виявлення: перегрітий букс; загальмованих колісних пар; дефектів коліс по колу кочення; відхилення верхнього негабариту рухомого складу; перевантаження вагонів.

Застосування на залізничному транспорті засобів автоматичного контролю перегріву букс дозволило скоротити кількість зламів шийок осей, підвищити безпеку руху, зняти обмеження швидкості руху поїздів на пунктах контролю та підвищити ефективність праці оглядачів вагонів. Застосування апаратури автоматичного виявлення перегрітих букс сприяло швидкому її розвитку та впровадженню.

Апаратура діагностики є стаціонарним комплексом електронних пристроїв, що розміщується через 40-60 км вздовж ділянки руху поїзда; комплекс забезпечує завчасну видачу обслуговуючому персоналу станції або локомотивній бригаді інформації про наявність та розташування у поїзді вагонів з несправними деталями чи вузлами.

Засоби контролю на кожному пункті їх встановлення – це перегінне та станційне обладнання, пов'язане між собою кабельною лінією зв'язку. Перегінне обладнання, у свою чергу, підрозділяється на колійне та постове, а станційне – на реєструючу та сигналізуючу.

Колійне обладнання засобів контролю встановлюється прямо на колії; воно призначене для зчитування інформації з рухомого складу. Сигнали від колійного обладнання надходять по кабелю до постового обладнання (яке знаходиться в спеціальному приміщенні, в безпосередній близькості від колійного обладнання).

Пристрої постового обладнання після обробки сигналів передають інформацію про стан проконтрольованого рухомого складу до станційного обладнання, де вона реєструється відповідними пристроями. Реєструються дані про наявність конкретної несправності, місце їх розташування в поїзді (локомотив, вагон), вид несправності та ряд допоміжних даних (загальна кількість рухомих одиниць у поїзді, кількість несправних рухомих одиниць, час

контролю поїзда, ступінь аварійності виявленої несправності, результати автоматичного контролю справності обладнання засобів контролю).

Засоби контролю на кожному пункті їх установки застосовуються комплексно. Базовий засіб, що має конструктивну і функціональну завершеність і дозволяє самостійно працювати в умовах експлуатації, - це, як правило, система виявлення перегрітих букс, а всі інші засоби контролю доповнюють її на тих чи інших пунктах контролю. Допускається відокремлене застосування в умовах експлуатації систем виявлення перевантаження вагонів або відхилень верхнього рухомого габариту з використанням частини перегінного та станційного обладнання базового засобу.

**Системи виявлення перегрітих букс** забезпечують контроль безконтактним методом температури корпусів букс і маточини колеса, що характеризує технічний стан буксових вузлів, розпізнавання за встановленими критеріями несправних букс, передачу та реєстрацію інформації про наявність та розташування таких букс у поїзді. Коли склад проходить контрольну ділянку, то колійні камери вловлюють теплові промені від кожної букси. Спеціальний пристрій (балометр) розрізняє тепловий сигнал від букси (нормально гріється або перегрітий). Конструктивно балометр поєднує в собі лінзу з германію, що пропускає інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі 1,7-15 мкм і фокусує промені на терморезистор на базі титанату барію. При нагріванні терморезистора його опір змінюється, що призводить до розбалансування вимірювального моста та утворення електричного сигналу, величина якого визначається інтенсивністю теплового випромінювання. При виявленні перегрітої букси всі типи систем видають сигнал «Тривога 1». Сигнал «Тривога 2» та «Тривога 0» видається системою ДИСК-Б.

**Системи виявлення загальмованих коліс** забезпечують контроль безконтактним методом температури маточин коліс кожної рухомої одиниці, що характеризує передачу тепла в ці елементи колісної пари при терті гальмівних колодок з ободом колеса, розпізнавання за певними критеріями рухомої одиниці з

несправним гальмівним обладнання, передачу і реєстрацію отриманої інформації. При цьому системи видають сигнали «Тривога 1». Теплове випромінювання від нагрітої маточини приймається балометром.

Системи виявлення деталей, що знаходяться за межами габариту рухомого складу, виробляють сигнал наявності таких деталей, при механічному зіткненні вузлів і деталей рухомої одиниці, що виходять за межі нижнього габариту і рухомого складу, з елементами колійного електромеханічного датчика (відновлюваного або невідновлюваного місця). При цьому системи видають сигнал «Тривога 2».

В якості чутливих елементів використовуються сталеві пружні пластини, встановлені поперек осі колії на висоті нижньої частини габариту рухомого складу. Пластини включені в магнітопровід намагнічувальних та сигнальних катушок. У разі удару в пластину елементом, магнітопровід розмикається і формується сигнал.

**Системи виявлення дефектів коліс по колу кочення [5-7]** забезпечують контроль динамічного впливу колеса на рейку, що характеризує величину та вид дефекту на поверхні кочення колеса, виділення за певними критеріями сигналу інформації у випадках, коли динамічний вплив колеса на рейку перевищує задане граничне значення, передачу та реєстрацію сигналів інформації про розташування несправних рухомих одиниць у поїзді та коліс у рухомій одиниці. Апаратура для виявлення дефектів коліс по колу кочення (повзунів, навару металу на обід, нерівномірності прокату), тобто дефектів, що роблять ударні імпульсні впливи (удари по рейці) при коченні, як датчик використовує динамічний датчик, що спрацьовує при перевищенні рівня динамічних коливань рейкових ліній у районі датчика. У датчику застосовується принцип вимірювання віброприскорень механічних коливань рейки за допомогою п'єзоелектричного акселерометра, що розміщується на рейках. Системи видають сигнал «Тривога 0» або «Тривога 1».

Система виявлення відхилень верхнього габариту рухомого складу забезпечує вироблення сигналу інформації при виході за встановлені межі бокових або верхніх частин рухомих одиниць, передачу та реєстрацію інформації про наявність та розташування в поїзді таких рухомих одиниць. Як датчики можуть застосовуватися поворотні електромеханічні датчики (наприклад, поворотні потенціометри або оптичні датчики, що працюють за принципом розриву оптичного ланцюга елементом, що виходить за габарит. При передачі та реєстрації система видає сигнал «Тривога 2».

**Система виявлення перевантаження вагонів** забезпечує вироблення сигналів інформації при перевищенні встановленого значення маси бруто, навантаження на вісь або нерівномірного завантаження рухомої одиниці по сторонах або візках, передачу та реєстрацію інформації про наявність, вид перевантаження та місце розташування в поїзді перевантажених вагонів. В якості датчика, що вимірює осьові навантаження, застосовується елемент, що діє за принципом прямого п'єзоефекту. Конструктивно еластомер встановлюється під підшву рейки та під впливом механічних навантажень відбувається поляризація діелектрика. При змінних напрямках напружень (стиснення, розтягнення) знак заряду що знаходиться на поверхні діелектрика змінюється на зворотний. В експериментальних установках як датчик навантаження застосовуються неруйнівні оптоелементи на основі оптоволоконних технологій. Еластомер, встановлений під підшву рейки, деформується від механічних навантажень; при цьому змінюється пропускна здатність світлового променя, що фіксується оптопарою («світлодіод-оптодіод»). Вихідний електричний сигнал пропорційний до рівня осьового навантаження. Точність датчика невелика (95–96 %), але достатня для виявлення перевантаження по пороговому значенню. Під час передачі та реєстрації інформації система видає сигнал «Тривога 1».

Засобами контролю рухомого складу оснащують, насамперед, подовжені вантажонапружені ділянки безперервного прямування поїздів із важкими умовами, а також швидкісні напрямки залізниць. З метою полегшення

експлуатації та технічного обслуговування засобів контролю однотипними засобами доцільно оснащувати комплексно цілі ділянки доріг, які розташовані в зоні обслуговування одного вагонного депо (ВЧД) або дистанції сигналізації та зв'язку (ШЧ).

Засоби контролю необхідно встановлювати перед станціями з достатнім колійним розвитком, у яких є ПТО, пункти підготовки вагонів (ППВ), контрольно-технічного огляду (ПКТО) чи контрольні пости (КП). Це робиться для того, щоб затримки поїздів за показаннями цих засобів впливали на виконання графіка руху поїздів якнайменше, а виявлені несправності можна було усунуто в найкоротший термін. В даний час ведеться робота зі збільшення гарантійних плечей технічного обслуговування (ТО) вагонів, ліквідації контрольних пунктів технічного обслуговування вагонів (КПТО).

## **Висновки до розділу 2**

– розглянуто засоби автоматизованого контролю технічного стану рухомого складу, а саме: системи виявлення перегрітих букс, загальмованих колісних пар, дефектів коліс по колу кочення, відхилення верхнього негабариту рухомого складу, перевантаження вагонів;

– встановлено, що дані пристрої є додатковими засобами підвищення безпеки руху поїздів за рахунок здійснення комплексного контролю рухомого складу з централізованим збором та обробкою на ЕОМ інформації про стан контролюваного об'єкта;

– відзначено, що на даний час ведуться роботи зі збільшення гарантійних плечей технічного обслуговування вагонів та ліквідації контрольних пунктів технічного обслуговування вагонів.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ РУХОМОГО СКЛАДУ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ РУХУ**

Пристрої безпеки рухомого складу істотно впливають на безпеку перевізного процесу. Більше того, локомотивні пристрої безпеки можна вважати найважливішим елементом загальної системи безпеки, оскільки саме локомотив (як і будь-який інший транспортний засіб) асоціюється з безпекою перевезення пасажирів і вантажів. Система організації забезпечення безпеки руху – це комплексний інтегрований результат взаємодії технічних систем (пристрою СЦБ, локомотивні пристрої безпеки, системи діагностики) та професіоналізм працівників, що забезпечує необхідний рівень безпеки.

Понад півстоліття на залізничному транспорті застосовуються системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС). Ці пристрої морально, технічно, фізично та інформаційно застаріли, але продовжують залишатися основним засобом передачі інформації про показання крільних світлофорів до кабіни машиніста та забезпечення безпеки руху з використанням підсистем автоматичного гальмування та контролю пильності машиніста. На принципі передачі інформації на локомотив, прийнятому в АЛС, а також нових способах передачі інформації, використання мікропроцесорної техніки та нових інформаційних технологій розроблено та активно впроваджуються нові системи забезпечення безпеки: система автоматичного управління гальмуванням; технічна система контролю пильності машиніста; пристрої автоведення поїздів та ряд інших.

Система автоматичного керування гальмуванням поїзда призначена для забезпечення автоматичної зупинки поїзда перед світлофором із забороняючим показанням або місцем обмеження швидкості. Додаткові функції системи: запобігання самовільного руху поїзда після зупинки, індикація на пульті машиніста фактичної та дозволеної швидкості руху тощо.

Комплексний локомотивний пристрій безпеки (КЛУБ) був розроблений для заміни бортового дешифратора АЛЧХ та додаткових приладів безпеки.

Функціональне призначення КЛУБ: прийом і дешифрація сигналів АЛС, відображення на локомотивному світлофорі показань колійного світлофора, що знаходиться попереду; контроль дозволеної швидкості руху; періодичний контроль пильності машиніста; захист від несанкціонованого руху локомотива; автоматична зупинка поїзда перед світлофором із забороняючим показанням на ділянці, що кодується.

КЛУБ виконаний з використанням мікропроцесорної елементної бази, має внутрішнє резервування та суттєві технічні ресурси для нарощування функціональних можливостей. Апаратура відповідає вимогам щодо виключення небезпечних відмов та має сертифікат безпеки.

В даний час реєстратори параметрів руху локомотивів з використанням паперових носіїв з ручним розшифруванням швидкостемірних стрічок змінюють на електронні носії (модуль пам'яті, касета реєстрації, блок накопичувача інформації тощо) з автоматизованим розшифруванням параметрів руху.

У рамках багаторівневої системи забезпечення та управління безпекою руху технічні засоби рухомого складу виділені в окрему підсистему – комплексна система управління та забезпечення безпеки на тяговому рухомому складі.

### **3.1. Системи автоматичної локомотивної сигналізації**

Автоматична локомотивна сигналізація (АЛС) призначена для підвищення безпеки руху поїздів, збільшення пропускної спроможності залізничних ліній та покращення умов праці локомотивних бригад, що безпосередньо впливає на безпеку (людський фактор). Пристрої АЛС через рейкове коло та приймальні котушки локомотива індуктивним способом передають сигнальні показання колійних світлофорів в кабінку локомотива. В результаті на локомотивному світлофорі включається показання, що відповідає показанню колійного світлофора. Систему АЛС доповнюють пристроями перевірки пильності машиніста та контролю швидкості. АЛС з автостопом здійснює гальмування

поїзда у разі перевищення допустимої швидкості або за непідтвердження машиністом своєї пильності.

Колійними пристроями АЛС обладнуються всі перегони, на яких діють системи автоблокування. На станціях колійними пристроями обладнуються всі головні колії і ті бокові, якими забезпечується безперервний пропуск поїздів зі швидкістю до 50 км/год.

Індуктивний принцип передачі інформації на локомотив забезпечується імпульсами кодової комбінації сигнального струму, що протікає по колії та колісній парі локомотива (рис. 3.1). Кодовий сигнальний струм завжди спрямований назустріч руху поїзда. Сигнальний змінний струм створює навколо рейки змінне магнітне поле. На локомотиві перед першою колісною парою підвішено котушки індуктивності (приймальні котушки ПК). Коли ПК знаходяться у змінному магнітному полі, в них наводиться ЕРС, яка за тривалістю імпульсів та інтервалів відповідає кодовому сигнальному струму рейкового кола.

Приймальні котушки знаходяться під впливом зовнішніх магнітних полів (наприклад, що наводяться тяговим або сигнальним струмом, ЛЕП, імпульсними перешкодами різного походження). Поля відрізняються від АЛС сигналів за частотою. Відділення сигналів, що заважають, від сигналів АЛС здійснюється електричним фільтром (Ф), який пропускає тільки наведені струми кодового сигналу АЛС і подавляє струми інших частот.

Сигнали, що наводяться в котушках, малі для розшифровки, тому перед дешифратором (ДШ) встановлюється підсилювач (П). Дешифратор служить для розшифровки прийнятого коду та перетворення його у вихідні кодові комбінації, що відповідають показанням прохідних світлофорів. Дешифрація коду призводить до включення на локомотивному світлофорі (ЛС) відповідного показання. Крім того, схемним шляхом порівнюються допустима та фактична швидкості руху (визначається за допомогою локомотивного швидкостеміра – ЛШ). Якщо фактична швидкість перевищує допустиме значення, спрацьовує

електропневматичний клапан (ЕПК) гальмівної системи і звучить свисток. Вимкнення свистка та відновлення ЕПК відбувається коли машиніст натискає рукоятку пильності (РП); машиніст повинен зменшити швидкість до допустимого значення. До цього часу для виключення службового гальмування машиніст зобов'язаний кожні 15-20 с тиснути РП. Машиніст підтверджує пильність при зміні показань на ЛС (крім перемикання на зелене показання), а також періодично, під час руху поїзда, при загорянні сигнальної лампочки, що передуює спрацюванню свистка.

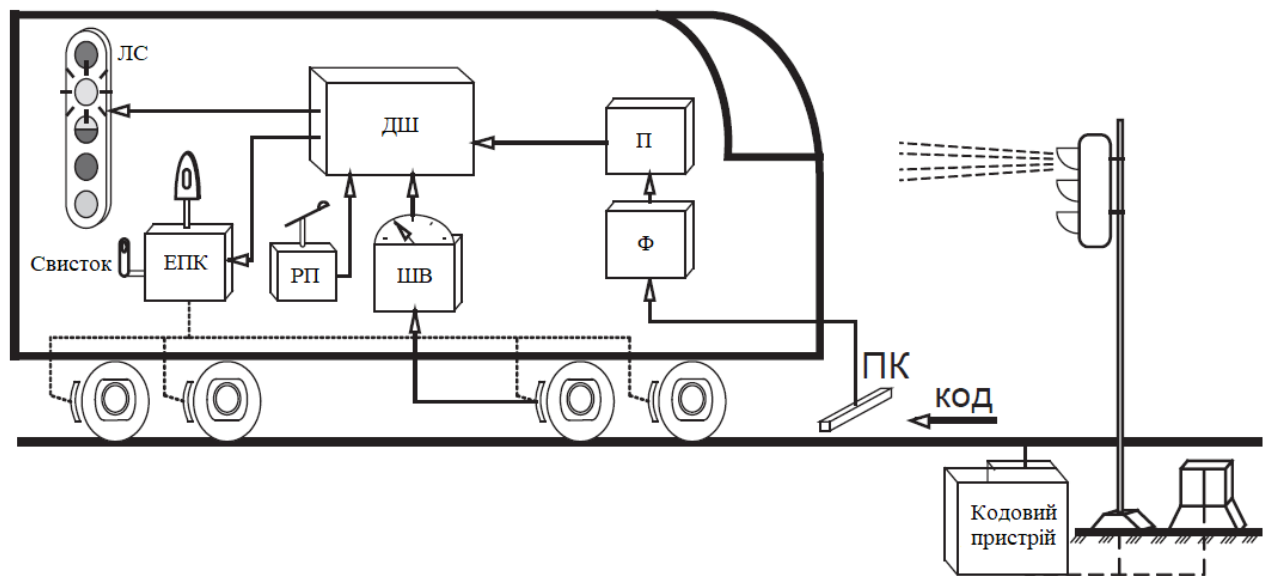


Рисунок 3.1 – Структурна схема АЛС

В АЛСН з контролем пильності машиніста і ступінчастим абсолютним контролем швидкості поїзда інформація для пристроїв АЛС про стан ділянок колії та про показання колійних світлофорів, що визначають допустиму швидкість руху, видається системою колійного автоблокування на всій ділянці проходження поїзда.

### 3.2. Система автоматичного керування гальмуванням

Ця система призначена для забезпечення автоматичної зупинки поїзда перед світлофором із забороняючим показанням або місцем обмеження швидкості. Додаткові функції системи: запобігання скочуванню поїзда після зупинки,

індикація на пульті машиніста фактичної та дозволеної швидкостей руху тощо.

САУТ – це інтелектуальна система. Вона визначає точку початку гальмування з урахуванням характеристик перегону та самого поїзда, чим підвищується безпека руху поїздів та виключається проїзд світлофорів з червоним вогнем.

Проїзди забороняючих сигналів рухомим складом, обладнаним САУТ, викликані відмовами колійних та локомотивних пристроїв та помилковими діями локомотивних бригад у нестандартних ситуаціях, у тому числі при справній апаратурі.

Для інтелектуального вибору точки гальмування бортовий комп'ютер повинен мати інформацію про довжину блок-ділянки, її план і профіль, швидкість складу, його вагу та ін. Інформація на локомотив передається через колійні датчики. У перших модифікаціях колійні датчики встановлювалися біля кожного світлофора і через спеціальну антену передавали на локомотив інформацію про довжини і ухили двох попереду розташованих блок-ділянок. Такий принцип передачі на локомотив мав істотні недоліки і низьку надійність.

При кожному гальмуванні поїзда САУТ визначає гальмівний коефіцієнт та коригує режим гальмування. Система має інформатор для попередження машиніста про показання світлофорів та наближення до переїздів, а також забезпечує додатковий контроль пильності машиніста. При в'їзді на нову блок-ділянку перегону з пам'яті бортового комп'ютера вилучається цифрова характеристика блок-ділянки, на основі якої у разі потреби гальмування розраховується точка початку гальмування.

### **Формування програмної швидкості**

Програмна швидкість – це максимальна швидкість руху у кожній точці колії, при якій забезпечується безпека руху.

Програмна швидкість може бути постійною (не залежить від відстані до сигналу або початку небезпечного місця) і знижується при наближенні до сигналу або початку небезпечного місця.

Якщо фактична швидкість руху перевищує програмну, САУТ виконує

гальмування.

Програмна швидкість залежить від конструкційної швидкості локомотива; відстані до точки зупинки; показання локомотивного світлофора; ухилу на поточній блок-ділянці; тиску в зрівняльному резервуарі та ступеня розрядки ЗР; ефективності гальм поїзда (розрахункового гальмівного натискання); обмеження швидкості на даному перегоні та відстані до «початку небезпечного місця»; маршруту прийому поїзда на станцію, а за жовтого показання локомотивного світлофора – від наведеної довжини наступної блок-ділянки.

Програмна швидкість може знижуватися при наближенні до забороняючого сигналу або сигнального знаку «Початок небезпечного місця» у разі низького розрахункового гальмівного коефіцієнта, підвищення тиску в зрівняльному резервуарі, при переході поїзда на крутіший спуск або при прийманні поїзда на бокову колію.

### **Алгоритм керування гальмами**

Блок електроніки постійно порівнює фактичну швидкість руху із програмною. Різниця цих швидкостей - резерв швидкості - відображається на індикаторі « $\Delta V$ » пульта індикації:  $\Delta V = V_{\text{пр}} - V_{\text{ф}}$ . Найбільшій швидкості руху відповідає мінімальний резерв швидкості.

Однак, якщо резерв швидкості стає менше 2 км/год, блок електроніки посилає в коло управління сигнал «Вимкнення тяги», одночасно з цим гальма поїзда переводяться на стан «перекриття».

Машиніст при цьому бачить на пульта індикації загорання лампи «Заборона відпуску».

Якщо після відключення тяги резерв швидкості продовжує зменшуватися, то за  $\Delta V = 0$  блок електроніки подає команду: «почати службове гальмування». Цю команду виконує приставка до крана машиніста, розряджаючи зрівнювальний резервуар або система електропневматичного гальмування, наповнюючи гальмівні циліндри.

Якщо службового гальмування недостатньо для зниження фактичної

швидкості і вона перевищує програмну більш ніж на 5 км/год, то САУТ відключає живлення котушки ЕПК і через 7 секунд відбувається автостопне гальмування.

### **3.3. Комплекс локомотивних пристроїв безпеки**

Комплекс локомотивних пристроїв безпеки (КЛУБ-У) призначений для безпеки руху. При інтервальному регулюванні руху КЛУБ-У визначає місце розташування поїзда на ділянці і видає машиністу і в підсистеми, що управляють, інформацію, що приймається від колійних пристроїв АЛСН, а також інформацію, дубльовану по радіоканалу про вільність (зайнятість) попередньої колії і показання колійних світлофорів значення допустимої швидкості.

Пристрій призначений для роботи на локомотивах і моторвагонному рухомому складі всіх типів з автономною та електричною тягою постійного та змінного струму. Бортові системи КЛУБ-У забезпечують безпеку руху, запобігаючи передаварійним та аварійним ситуаціям завдяки застосуванню примусового гальмування або зупинки поїзда [8].

Відмінні риси апаратного комплексу: модульна структура, відкрита локальна мережа, що дозволяє збільшувати або зменшувати кількість модулів (отже, і функцій). Пристрій реєструє параметри руху поїзда, сигнали АЛСН, стан гальмівного обладнання та системи безпеки на електронній касеті, що знімається. КЛУБ має цифровий радіоканал і ще кілька пристроїв зв'язку, що забезпечує високу достовірність інформації для прийняття рішення про режими ведення складу.

Функції пристрою КЛУБ-У: прийом та дешифрація сигналів АЛСН; визначення параметрів руху поїзда (координати, швидкості) за інформацією від каналів АЛСН, пристроїв супутникової навігації, датчиків відстані та швидкості та електронної карти ділянки; формування інформації про значення цільової та допустимої швидкостей руху; порівняння фактичної швидкості руху з допустимою і застосування екстреного гальмування при перевищенні фактичної

швидкості (у разі не вжиття машиністом заходів щодо зниження швидкості); автоматичне включення екстреного гальмування при появі ситуацій, що ведуть до небезпечних та катастрофічних наслідків; забезпечення екстреного гальмування за наказом чергового станції незалежно від дій машиніста; виключення можливості проходження ділянки із забороняючим сигналом світлофора без переданого по радіоканалу дозволу чергового по станції; виключення самовільного руху локомотива (скочування); безперервний контроль стану гальмівної системи; автоматичний облік категорії поїзда, типу тяги, довжини блок-ділянки, прийом інформації від систем локомотива; інформування машиніста про сигнали світлофора, кількість вільних блок-ділянок, фактичну швидкість (з точністю до 1 км/год) та допустиму на даній ділянці, криву гальмування, а також про поточний час з коригуванням за астрономічним часом, координатою місця знаходження локомотива з точністю до 30 м за допомогою супутникової навігації, дотримання графіка руху поїзда, назв станцій, номери стрілок, світлофори, перегони; відстанях до контрольних точок: станції, переїзду, мосту, тунелю, стрілки, світлофора, небезпечного місця, що зберігаються в електронній карті; регулярний контроль пильності машиніста; контроль спільних дій машиніста та помічника машиніста під час рушання поїзда та руху до забороняючого сигналу світлофора; запис параметрів руху в електронній пам'яті касети реєстрації та діагностика системи з наступною автоматичною дешифрацією.

Таким чином, КЛУБ дійсно є інтегрованою системою різних (що раніше існували самостійно) локомотивних пристроїв безпеки. Але це не просте об'єднання систем, а створення нового пристрою з розширеними функціями за рахунок нової елементної бази (мікропроцесорної) та застосування альтернативних джерел отримання інформації про параметри руху та місцезнаходження складу. У системі використовується радіоканал як канал передачі команд, до команд примусової зупинки складу.

КЛУБ має модульну структуру побудови. У мінімальну конфігурацію системи входять модулі, припинення функціонування яких призводить до вимкнення підсистеми КЛУБ-У та зняття напруги з ЕПК. Складова частина підсистеми КЛУБ-У, яка приймає та обробляє інформацію про вільність колії, виконається з дублюванням та резервуванням. Відмови в інших частинах підсистеми КЛУБ-У не повинні припиняти передачу сигнальних показань про вільність колії підсистемам і машиністу.

У системі КЛУБ команди, що дозволяють прослідкування вихідних світлофорів з бокових некодованих та головних станційних колій за несправності рейкових кіл, приймаються зі станції на локомотив радіоканалом. У системі вимірюється швидкість та поточний час, визначається місцезнаходження ТРС.

Для визначення місця розташування використовується супутникова навігаційна система. Вона визначає поточне значення лінійної швидкості і в порівнянні зі значеннями інших підсистем виявляє та усуває можливі похибки у визначенні швидкості, в першу чергу при синхронному буксуванні колісних пар.

КЛУБ-У безперервно порівнює фактичну швидкість із допустимою; при перевищенні допустимої швидкості або перед світлофором із забороняючим показанням відбувається автоматичне відключення тяги; виключає рух поїзда після його зупинки на некодованих коліях станції та на головних коліях, при несправності кодування. Забезпечує зупинку поїзда за командою ДНЦ або ДСП, що передається цифровим радіоканалом, незалежно від дій машиніста.

### **3.4. Застосування системи Waggon Tracker для моніторингу вагонів**

Можливість постійно контролювати місцезнаходження вагона та деякі параметри вагона значною мірою сприяє підвищенню привабливості варіанта перевезення залізницею для логістичних компаній. Така можливість стала доступною завдяки використанню сучасних технологій моніторингу.

Розроблена компанією PJMesstechnik (Австрія) система Waggon Tracker здатна досить просто та економічно відстежувати місцезнаходження вантажних та пасажирських вагонів у режимі реального часу та надавати інформацію про

швидкість їх руху та пройденої відстані. У перспективі її впровадження має сприяти зменшенню сукупних витрат з допомогою підвищення ефективності використання вагонів, планування їх обороту та технічного обслуговування.

Система Waggon Tracker впроваджена в Австрії в 2011 р. і зараз використовується оператором пасажирських перевезень RTS Austria. Ще кілька європейських пасажирських операторів також розглядають можливість застосування цієї системи. У корпусі буксового вузла вагона під спеціально адаптованою кришкою монтується електронний пристрій з GPS-приймачем та чотиридіапазонним GSM-модемом, а також GPS- та GSM-антени, а також безконтактний генератор, який приводиться у обертання від осі колісної пари (рис. 3.2 – 3.3). Передбачено місце додаткового входу/виходу, що дає можливість підключення інших датчиків.



Рисунок 3.2 – Буксовий вузол візка пасажирського вагона із вбудованою системою Waggon Tracker

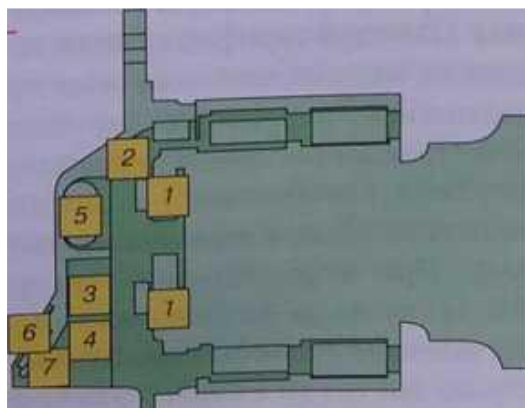


Рисунок 3.3 – Розташування обладнання системи Waggon Tracker у корпусі буксового вузла: 1 – ротор генератора; 2 – статор генератора; 3 – GSM-модем; 4 – GPS-приймач; 5 – акумуляторні батареї та електронна апаратура; 6 – GPS-антена; 7 – GSM-антена

Під час руху акумуляторна батарея заряджається від генератора системи. Завдяки цьому апаратура GPS/GPRS може функціонувати безперервно, надаючи дані про місцезнаходження конкретного вагона в режимі реального часу із заданим замовником інтервалом, наприклад через кожні 10 хв.

Система Waggon Tracker забезпечує точне обчислення пройденої відстані за результатами вимірювання кількості обертів генератора.

Ці дані можуть бути використані при складанні графіка попереджувального технічного обслуговування вагонів, що дозволяє точніше визначити, коли необхідні ремонт або заміна тих чи інших компонентів. Вимірювання пробігу може допомогти визначити реальний термін окупності вантажного вагона.

На основі інформації, отриманої за допомогою Waggon Tracker, проводиться детальний аналіз часу ходу та розрахунок середньої швидкості.

Система надає деякі інші дані, включаючи, наприклад, напрям руху, що може знадобитися для визначення орієнтації у складі поїзда спеціалізованих пасажирських вагонів або колійних машин. Крім того, вона забезпечує оперативне повідомлення про всі несанкціоновані пересування вагона та дозволяє відстежувати його місцезнаходження на різних інтернет сервісах, наприклад Googlemaps, що сприяє оперативному реагуванню на дії кримінального характеру.

Waggon Tracker працює з використанням сучасних апаратних засобів стандарту GSM та SIM-карток типу VGFN-8. Встановивши SIM-карту, за номером якої легко визначити ідентифікаційний номер вагона, можна просто передавати дані на різні сервери.

За твердженням компанії-виробника, витрати на обслуговування системи Waggon Tracker в Європі зазвичай не перевищують 10 євро на місяць з урахуванням оплати передачі даних у роумінгу. Відносно невисока вартість експлуатації системи пояснюється тим, що тарифікується не час з'єднань, а обсяг переданих даних. Крім того, компанія PJMesstechnik уклала спеціальні контракти з провайдерами щодо передачі даних у європейському роумінгу.

Обсяг інформації, що одночасно передається, порівняно невеликий. Наприклад, якщо оновлення даних здійснюється з інтервалом 10 хв протягом 30 діб, максимальна кількість оновлень за умови, що вагон постійно використовувався весь цей час (що вкрай мало ймовірно), дорівнює 4320. У цьому випадку на місяць передається не більше 500 Кбайт.

У той же час, загальна вартість передачі даних значною мірою залежить від витрат на роумінг у Європі. Більшість договорів роумінгу для стандартних SIM-карток тарифікується виходячи з мінімального обсягу переданої на території країни інформації, що дорівнює 10 Кбайт, незалежно від фактичного обсягу переданих даних. При використанні системи на пасажирських вагонах, які часто перетинають кордони європейських країн, це створює серйозну проблему. Для її вирішення компанія PJ Messtechnik уклала контракти з операторами мобільного зв'язку, які спеціалізуються на наданні послуг роумінгу Machine-to-Machine (M2M) та бездротовій передачі даних, мають технічні можливості функціонування на всьому полігоні обігу підключених до системи вагонів та пропонують спеціальні тарифи, які вигідні при невеликих обсягах даних по всій Європі.

На монтаж обладнання системи Waggon Tracker у буксовому вузлі зазвичай потрібно трохи більше 30 хв (рис. 3.4). В окремих випадках на деяких нестандартних вагонах для монтажу застосовується додаткове кільце між корпусом і кришкою букси.

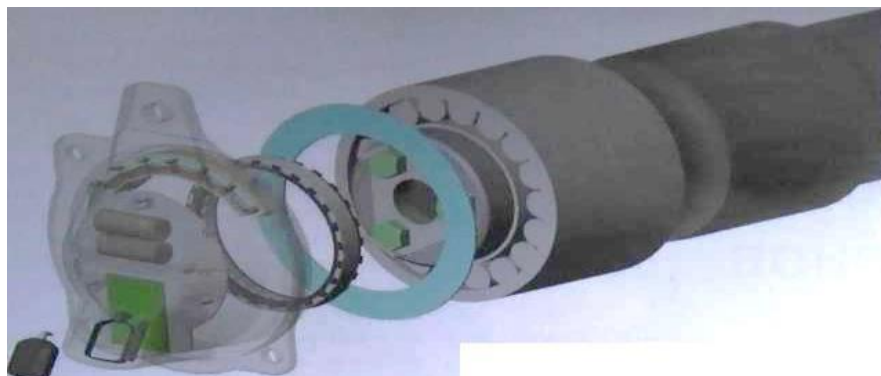


Рисунок 3.4 – Комплект обладнання системи Waggon Tracker у розібраному вигляді

У більшості сучасних систем дистанційного моніторингу використовуються працюючі від акумуляторних батарей пристрої (GPS-трекери), які зазвичай розраховані на передачу даних один раз на день, що дозволяє збільшити час роботи батарей, і мають обмежені можливості заряджання під час роботи. Іноді для живлення обладнання використовуються сонячні батареї. Використовується також радіочастотна ідентифікація (RFID). У цьому випадку інформація про вагон зчитується за допомогою розташованих уздовж колії колійних пристроїв. Однак якщо вагон і знаходиться де-небудь між пристроями, що зчитують, весь цей час буде доступна тільки інформація про останнє проходження вагоном такого пристрою. На відміну від цих систем Waggon Tracker оперативно оновлює інформацію та точно визначає місцезнаходження нерухомого вагона та посиляє повторне сполучення, коли фіксує початок руху. Завдяки цьому система здатна визначати час прибуття та відправлення вагона у встановлених розкладом пунктах, а також тривалість усіх незапланованих зупинок. Одного заряджання батареї Waggon Tracker достатньо для роботи обладнання системи протягом кількох днів стоянки вагона.

Крім того, можливе використання модуля датчиків для контролю деяких технічних характеристик вагонів, наприклад температури буксових підшипників колісних пар і тиску в гальмівній магістралі.

Для вдосконалення обміну даними на мережі залізниць країн ЄС розроблено технічні вимоги до техніко-операційної сумісності систем дистанційного моніторингу вантажних вагонів (TAFTSI). Застосування інноваційної системи Waggon Tracker може сприяти виконанню цих вимог шляхом надання необхідних даних безпосередньо користувачам, які у свою чергу використовують спільний інтерфейс протоколу TSI для однорангового зв'язку та спільного доступу до інформації.

Одна з визначених вимогами TAF-TSI функцій, яку може підтримувати Waggon Tracker, – це надання відомостей про пересування вагона (наприклад, про прибуття на сортувальну станцію та відправлення з неї), його стан

(завантажений або порожній), етапи проходження маршруту прямування (перетин кордонів, прибуття до пункту призначення, передача іншому оператору, зміна шляху прямування тощо).

Ці дані мають важливе значення для раціоналізації планування маршруту прямування вагона залізницями різних країн Європи, моніторингу пересування вагона від пункту відправлення до пункту призначення, а також автоматизації оформлення в електронній формі необхідних митних та комерційних документів.

### **3.4. Основні положення нормативних документів**

У міждержавних стандартах та європейських нормах містяться такі методи доказу надійності та безпеки технічних систем:

- експертно-розрахункові (на основі технічної експертизи та конструкторської документації);
- випробування імітаційних моделей програмно-апаратних засобів;
- стендові випробування;
- оцінка безпеки за статистичними даними про відмови в процесі експлуатації;
- випробування систем в умовах експлуатації.

Одним із основних методів дослідження безпеки складних технічних систем є методи імітаційних випробувань моделей апаратних та програмних засобів (імітаційне моделювання).

Дані методи дозволяють: забезпечити швидке отримання результатів; створити під час випробувань безліч можливих технологічних ситуацій; імітувати велику кількість відмов та збоїв апаратних та програмних засобів; зібрати статистичні дані щодо впливу збоїв на безпеку; скоригувати переліки небезпечних відмов.

Таким чином, для об'єктивного прийняття рішення про відповідність необхідному рівню безпеки необхідно застосовувати комплексний підхід до доказу безпеки систем використовуючи всю наявну інформацію (результати розрахунків, експертні методи, прискорені випробування, моделювання, стендові

випробування, аналоги експлуатації подібних систем тощо).

Відповідно до поточної нормативної бази ДСТУ EN 50126-1:2019 [9] та EN 50126-1:2017 [10], доказ безпеки загалом складається з трьох основних частин:

- звіт про заходи щодо управління якістю;
- звіт про заходи щодо управління функціональною безпекою;
- звіт про стан функціональної безпеки.

Мета системи управління якістю – зменшення кількості людських помилок на кожному етапі життєвого циклу.

Умова приймання безпеки – забезпечення керованості розробки системи за допомогою системи менеджменту безпеки, наприклад, що узгоджується з методологією RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) відповідно до EN 50126-1:2017. Метою даного процесу є подальше зниження ймовірних помилок, що призводять до порушення безпеки і є наслідками дій людини, а також помилок у роботі самої системи.

Слід зазначити, що європейські та вітчизняні стандарти передбачають розробку технічних систем відповідно до V-подібної моделі життєвого циклу. V-подібна модель була створена як різновид каскадної моделі із забезпеченням планування заходів щодо верифікації та тестування на ранніх етапах розробки. V-подібна модель застосовується як на рівні системи, так і на рівні програмного забезпечення. Таким чином, план та специфікація приймального тестування здійснюється на етапі розробки вимог до системи, а плани інтеграційного та модульного тестування – на етапах розробки проекту тощо. На (рис. 3.5) показано V-подібну модель життєвого циклу програмного забезпечення.

Слід зауважити, що як в галузі управління якістю (ISO 9001), так і менеджменту безпеки, обов'язковою вимогою є застосування ризик-орієнтованого підходу. Так, наприклад, оцінка ризиків та аналіз загроз є необхідними заходами для визначення необхідного рівня повноти безпеки.



Рисунок 3.5 – V-подібна модель життєвого циклу програмного забезпечення

При незаперечних перевагах мікропроцесорних систем, таких як широкі функціональні можливості, самодіагностика та кращі показники надійності, у процесі розробки має бути враховано низку особливостей:

1) Симетричність відмов. У елементів із симетричними відмовами ймовірність виникнення відмов виду  $0 \rightarrow 1$  та  $1 \rightarrow 0$  приблизно рівні (тобто мають один порядок).

2) Особливості підтвердження коректності реалізації функцій на програмному рівні. Відомо, що часто неможливо виявити всі помилки в програмному коді шляхом перебору. До того ж це дуже трудомістке завдання. Потрібна розробка стратегії верифікації та валідації технологічних та системних функцій, а також функцій безпеки на рівні програмного забезпечення. Виконання відповідних заходів стає одним із ключових завдань при розробці

безпечних мікропроцесорних систем;

3) Різноманітність мікроелектронної та програмованої техніки;

4) Висока чутливість мікроелектронної елементної бази до впливів довкілля;

5) Різноманітність інтерфейсів, що визначають взаємодію підсистем і систем між собою та з експлуатаційно-технічним персоналом.

При побудові безпечних систем слід забезпечувати безвідмовність (reliability), відмовостійкість (fault-tolerance) та їхню безпечну поведінку при відмовах (fail-safe).

Перші дві стратегії мають на увазі, що система, яка правильно виконує свій алгоритм функціонування, є безпечною. Вони використовують у різних галузях техніки.

Третя стратегія використовується спеціально для побудови безпечних систем і полягає у переведенні системи в незворотний захисний стан у разі відмови. Зворотний перехід у працездатний стан виключається (малоймовірний) і проводиться штучним шляхом (зазвичай за участю людини).

Виконання вимог захищеності від небезпечних відмов чи безпеки (fail-safe) може бути забезпечено трьома різними способами.

1) Комбінаційна безпека (composite fail-safety). Кожна відповідальна операція повинна виконуватися не менш як двома технічними компонентами системи. При виникненні небезпечної відмови в одному з елементів він повинен бути виявлений та усунений доти, доки може виникнути небезпечна відмова у другому елементі.

2) Зворотна безпека (reactive fail-safety). Функція безпеки реалізується одним елементом, але з постійною перевіркою на відсутність небезпечної відмови шляхом безперервного обчислення, тестування чи іншим шляхом. Щоб уникнути відмов із загальної причини, функція перевірки та тестування може виконуватися другим незалежним пристроєм.

3) Власна безпека (inherent fail-safety). Функція безпеки забезпечується за

рахунок одного елемента, який явно має властивість безпеки (наприклад, реле першого класу надійності).

### **Висновки до розділу 3**

– розглянуто функціональні особливості роботи вітчизняних системи автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичного керування гальмуванням, комплексу локомотивних пристроїв безпеки;

– досліджуючи систему Waggon Tracker встановлено, що крім детального аналіз часу ходу та розрахунку середньої швидкості система дозволяє визначати деякі технічні характеристики вагонів, наприклад температури буксових підшипників колісних пар;

– відповідно до нормативних документів ДСТУ EN 50126-1:2019 та EN 50126-1:2017 побудовано V-подібну модель життєвого циклу системи.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ РУХОМОГО СКЛАДУ

Для вирішення завдань щодо виконання вимог підвищення безпеки руху поїздів, з одночасним скороченням експлуатаційних витрат, необхідне застосування ефективних цифрових систем діагностування та моніторингу технічного стану рухомого складу на основі новітніх технологій.

В даний час ціла низка розвинених залізниць приділяє особливу увагу технологіям моніторингу, заснованим на розподілених віртуальних акустичних датчиках в оптоволокну. До волоконно-оптичного кабелю передаються світлові імпульси високої частоти з наступною оцінкою відбитого сигналу (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Принцип дії технології DAS: звукові коливання та вібрації спричиняють зміну інтенсивності сигналу зворотного розсіювання

На довжину відбитої хвилі  $\lambda B$  впливає будь-яка варіація фізичних чи механічних параметрів бреггівських решіток (рис. 4.2).

Суть явища виражає рівність, де перший доданок у правій частині показує вплив розтягування на  $\lambda B$ , а друга частина – вплив температури на  $\lambda B$

$$\Delta \lambda B = \lambda B(1 - \rho\alpha)\Delta\epsilon + \lambda B(\alpha + \xi)\Delta T \quad (4)$$

де  $\Delta \lambda B$  – зміна довжини хвилі Брегга;

$\rho\alpha, \alpha, \epsilon$  – коефіцієнти фотопружності, термічного розширення та термооптичний коефіцієнт волокна відповідно;

$\Delta\epsilon$  – зміна натягу;

$\Delta T$  – зміна температури.



Рисунок 4.2 – Технічні конструктиви волоконно-оптичного кабелю

Для звичайних решіток, що спостерігаються в кварцовому волокні при  $\lambda B \approx 1550$  нм, чутливість до розтягування та температури становить приблизно 1,2 пм/мє і 10 пм/°C відповідно. Обидва члени рівняння є незалежні. Це означає, що волоконні ґрати Брегга можна використовувати для вимірювання температури, ізолювавши волокно від розтягування. Отже, знаючи температуру, можна проводити термокомпенсовані вимірювання розтягування, за це зазвичай відповідає друга ізольована решітка Брегга.

Крім температури і розтягування, волоконні решітки Брегга можна використовувати для вимірювань інших фізичних величин, таких як тиск, прискорення, зміщення і т. д., вбудувавши брегівські решітки в датчик. Застосування технічних рішень на основі волоконних брегівських решіток FBG (Fibre Bragg Grating) підтвердило принципову придатність оптоволоконних технологій для моніторингу технічного стану рухомого складу. Технологія FBG передбачає формування в оптоволокні за допомогою лазерного джерела сигналів періодичної структури, що має властивості відбивача для імпульсів певної довжини хвилі.

Принцип розподіленого акустичного зондування DAS (Distributed Acoustic Sensing) заснований на виявленні змін у відображеннях світлових сигналів, що

надсилаються в кабель лазером. Ці зміни обумовлені впливом на кабель зовнішніх акустичних сигналів низької частоти. Когерентні світлові імпульси заданої частоти посиляються лазером одномодове волокно і частково відбиваються під впливом природних зовнішніх чинників. При цьому волокно перетворюється, фактично, на набір віртуальних мікрофонів розміщених у кабелі. Інтенсивність відбитого сигналу залежить від часу, що минув з моменту відправлення імпульсу, що дозволяє зробити висновки про фізичні зміни у певних ділянках оптичного волокна. Ці зміни можуть бути обумовлені корпусним шумом та вібраціями поблизу волоконно-оптичного кабелю. Спеціально розроблені алгоритми дозволяють класифікувати причини змін, виходячи з виділення зворотного розсіювання відбитого сигналу. Завдяки цьому вимірювані сигнатури можуть бути перетворені на корисну інформацію [...].

На основі технології DAS фірмою Frauscher Sensortechnik GmbH (AUSTRIA) розроблено систему акустичного зондування FAS (Frauscher Acoustic Sensing) (рис. 4.3). Структурна схема FAS складається з: оптоволоконного кабелю (Optical Fibre), укладеного вздовж колії (Track); оптичного блоку (OPTI unit), що посиляє лазерні імпульси в оптоволокно та вимірює інтенсивність зворотного розсіювання; блоку обробка (PROC unit), що перетворює сигнали у спектри потужності та класифікує зареєстровані події; прикладного блоку (APPL unit), що визначає координати місця події і передає інформаційні пакети в інтерфейс користувача для відображення інформації на моніторі (DISP unit).

За допомогою технології DAS будь-яке одномодове волокно перетворюється на серію послідовно розташованих віртуальних мікрофонів. Для цього необхідно виконати мінімальні технічні заходи на кінцях оптичного волокна. Оскільки вздовж залізничних ліній найчастіше вже прокладено волоконно-оптичні кабелі, з'являється можливість безперервного стеження за рухом поїздів, моніторингу колії та технічного стану рухомого складу.

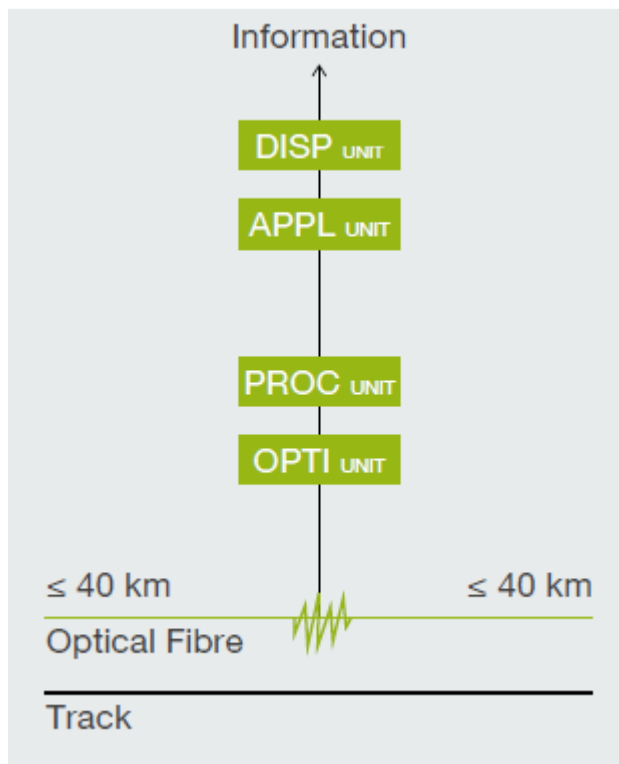


Рисунок 4.3 – Система акустичного зондування FAS

У режимі моніторингу технічного стану рухомого складу здійснюється безперервний контроль зламу осі колісної пари, осьової шийки або колеса, контроль дефектів поверхні кочення коліс рухомого складу, фіксація зламів бокової рами вагонного візка. Наприклад, на (рис. 4.4) наведено зображення повзуна, що знаходиться на поверхні кочення колеса. Система FAS дозволяє вимірювати швидкість руху поїзда та здійснювати зважування вагонів на ходу поїзда.

Слід зазначити, що система FAS дозволяє здійснювати як моніторинг технічного стану рухомого складу, і контроль стану компонентів колії – рейок, рейкових скріплень, баласту.

Є досвід застосування системи контролю загалом залізничних колій та області навколо них. Це стосується і зламів рейок, які є одним з основних ризиків для аварій на залізничній колії. Так на (рис. 4.5) наведено зображення рейки, що лопнула, через вплив повзуна.



Рисунок 4.4 – Зображення повзуна на поверхні кочення колеса (виділено червоним кольором та стрілкою)



Рисунок 4.5 – Фіксація зламу рейки під впливом повзуна

Визначення порядкового номера вагона з дефектною колісною парою та номера осі у вагоні можливе за умови використання відмітників проходу коліс (датчиків коліс рухомого складу). На відміну від рейкових кіл, що безпосередньо встановлюють вільність або зайнятість ділянки колії, система рахунку осей конкретизує відомості про контрольований рухомий склад. Використання

лічильників імпульсів, що функціонують за спеціальними алгоритмами, дає можливість здійснювати рахунок фізичних вагонів незалежно від кількості осей у них, а також фіксувати окремі осі у вагоні.

Серед інших призначень зазначено використання FAS у різних системах контролю та управління на залізничному транспорті [11].

Система реєстрації проходу коліс, побудована на лічильниках імпульсів дозволяє однозначно фіксувати дефектні осі. На (рис. 4.6) наведено приклад фіксації дефектної осі у конкретному вагоні з одночасним визначенням знаходження поїзда. Спільна дія системи FAS, що реєструє розташування поїзда на конкретній колії та системи реєстрації проходу коліс реалізують виконання необхідних умов забезпечення безпеки руху поїздів.

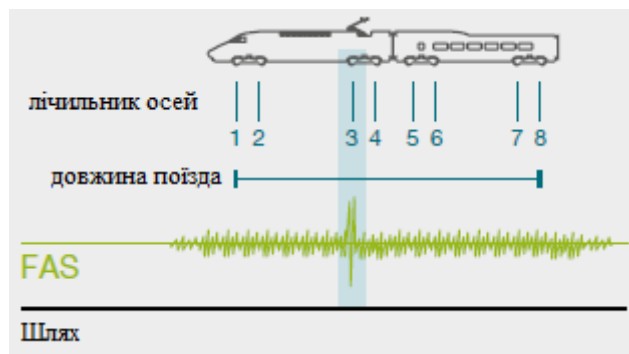


Рисунок 4.6 – Приклад спільної роботи систем реєстрації проходу осей та FAS

Алгоритми, розроблені на основі спеціальних аналогово-цифрових перетворювачів і схемах цифрової фільтрації, дозволяють класифікувати дефекти, що виявляються в контрольованому рухомому складі. Завдяки об'єднанню та суміщенню даних із системи FAS та системи рахунку осей у поїзді, реалізується можливість конкретної локалізації вагонної осі з дефектом на поверхні кочення колеса.

Система інтерфейсу користувача відображає в зручному вигляді як дані, отримані безпосередньо від системи FAS, так і інформацію, сформовану за допомогою комбінованих технічних рішень, що включає додатково лічильники осей і систему реєстрації проходу коліс рухомого складу. У ній, виявлені за

допомогою FAS та комбінованого технічного рішення, події класифікуються, і отримана інформація надається у наочному вигляді.

На (рис. 4.7) наведено інформаційне вікно системи DAS з повідомленням про виявлений дефект у контрольованому поїзді (показано червоною точкою), а також місцезнаходження поїзда (показано зеленою смугою). Вказано фактичну швидкість руху поїзда та час фіксації результатів контролю.

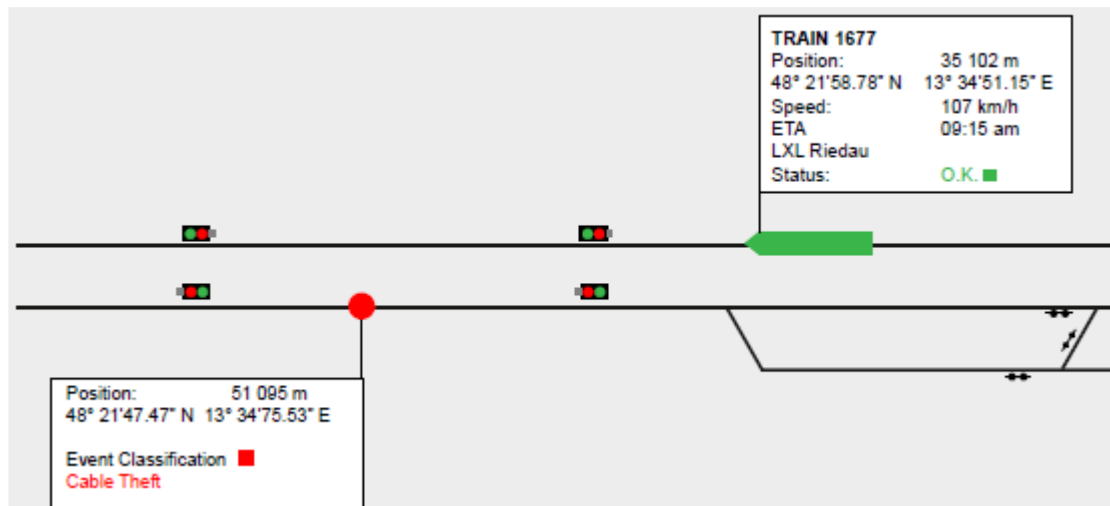


Рисунок 4.7 – Інформаційне вікно системи DAS із зазначенням дефекту у проконтрольованому поїзді

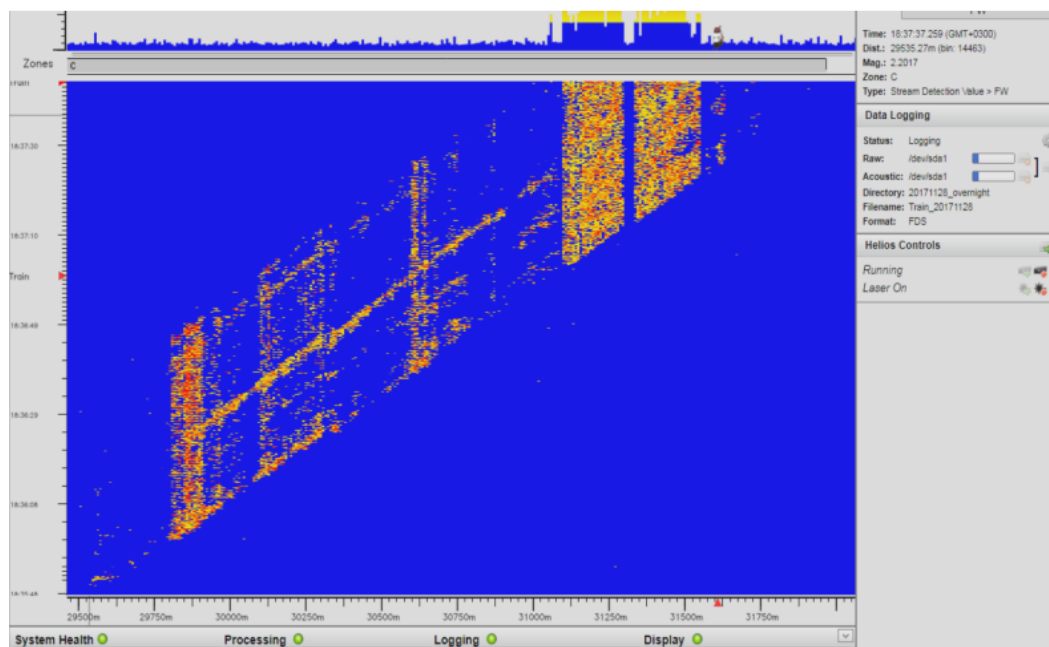


Рисунок 4.8 – Скріншот акустичного сигналу зображення повзуна на поверхні кочення колеса під час руху завантаженого вагона

Випробування підтвердили можливість виявлення дефектів коліс та рейок. На (рис. 4.8) наведено скріншот сигналу акустичного зображення повзуна на поверхні кочення колеса під час руху завантаженого вагона. З аналізу зображення можна дійти невтішного висновку про залежність сигналу від швидкості руху поїзда. Характерний фрагмент зображення сигналу під час руху поїзда зі збільшеною швидкістю розташований у правій верхній частині.

Амплітуда сигналу залежатиме і від маси вагона. На (рис. 4.9) наведено скріншот сигналу акустичного зображення руху порожнього вагона з повзуном.

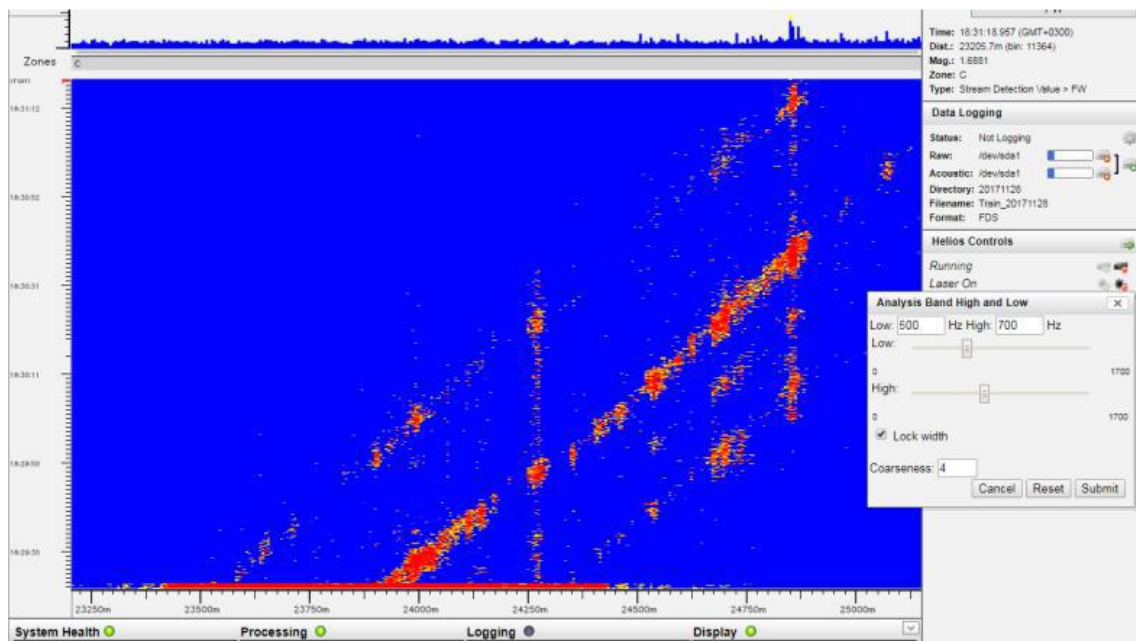


Рисунок 4.9 – Скріншот акустичного сигналу зображення повзуна на поверхні кочення колеса під час руху порожнього вагона

При використанні опції GPS вказуються географічні координати розташування поїзда.

Інтегрована обробка результатів вимірювань під час руху поїзда дозволяє визначати величини повзунів із похибкою до 0,2 мм.

Характерною особливістю цих вимірів є підвищення точності у міру руху поїзда. Розподіл цифрових показників дефектів коліс у вигляді повзунів за класами несправностей складається з трьох груп: дозволено експлуатацію вагона при величині повзуна від 0 до 0,5 мм; умовно допустима експлуатація вагона із

зупинкою на найближчій станції – за величиною повзуна від 0,5 до 1,0 мм; негайне вилучення вагона з експлуатації – при величині повзуна понад 1,0 мм.

Результати отриманої та обробленої інформації є основою планування та реалізації заходів для усунення виявлених дефектів у проконтрольованих поїздах.

Це відкриває широкі перспективи зростання ефективності контролю технічного стану рухомого складу та інфраструктури залізничних ліній. Актуально отримання та використання інформації про місцезнаходження поїзда, напрямок та швидкість руху поїзда, кількість виявлених дефектних осей, повзуни, злами рейок та бокових рам вагонних візків, схід рухомого складу та іншу діагностику. Останні два дефекти є основним ризиком аварій на залізничній колії. Слід зазначити і реєстрацію електричних розрядів на пантографах електровозів та повітряних високовольтних лініях внаслідок перенапруження.

#### **Висновки до розділу 4**

– розглянуто можливість використання віртуальних акустичних датчиків в оптоволокну при дослідження технічного стану рухомого складу та інфраструктури;

– встановлено, що використовуючи принцип розподіленого акустичного зондування DAS (Distributed Acoustic Sensing) є можливість безперервного стеження за рухом поїздів, моніторингу колії та технічного стану рухомого складу;

– використовуючи скріншот сигналу акустичного зображення повзуна на поверхні кочення колеса під час руху завантаженого вагона можна дійти невтїшного висновку про залежність сигналу від швидкості руху поїзда.

## ВИСНОВКИ

- розглянуто три групи факторів, що викликають порушення безпеки руху: зовнішні, внутрішні фактори технічної системи та людський фактор;
- проаналізовано показники безпеки та надійності, встановлено їх переваги та недоліки;
- встановлено, що найточнішу оцінку безпеки дають імовірнісні кількісні показники, оскільки вони мають загальний характер для різних систем та можуть бути визначені експериментально, розрахунковим шляхом або за допомогою моделювання на етапі створення нових технічних систем та пристроїв;
- аналізуючи структуру комплексу технічних засобів, що забезпечують безпеку на залізничному транспорті відзначено, що класифікація систем дозволяє не тільки систематизувати весь спектр наявних технічних засобів, а й, використовуючи методи аналізу, декомпозиції та синтезу, створити інтегровані комплекси, що виключають дублювання функцій та вирішують проблему безпеки на нових принципах;
- розглянуто засоби автоматизованого контролю технічного стану рухомого складу, а саме: системи виявлення перегрітих букс, загальмованих колісних пар, дефектів коліс по колу кочення, відхилення верхнього негабариту рухомого складу, перевантаження вагонів;
- встановлено, що дані пристрої є додатковими засобами підвищення безпеки руху поїздів за рахунок здійснення комплексного контролю рухомого складу з централізованим збором та обробкою на ЕОМ інформації про стан контрольованого об'єкта;
- відзначено, що на даний час ведуться роботи зі збільшення гарантійних плечей технічного обслуговування вагонів та ліквідації контрольних пунктів технічного обслуговування вагонів;
- розглянуто функціональні особливості роботи вітчизняних системи автоматичної локомотивної сигналізації, автоматичного керування гальмуванням, комплексу локомотивних пристроїв безпеки;
- досліджуючи систему Waggon Tracker встановлено, що крім детального

аналіз часу ходу та розрахунку середньої швидкості система дозволяє визначати деякі технічні характеристики вагонів, наприклад температури буксових підшипників колісних пар;

- відповідно до нормативних документів ДСТУ EN 50126-1:2019 та EN 50126-1:2017 побудовано V-подібну модель життєвого циклу системи;

- встановлено, що використовуючи принцип розподіленого акустичного зондування DAS (Distributed Acoustic Sensing) є можливість безперервного стеження за рухом поїздів, моніторингу колії та технічного стану рухомого складу;

- використовуючи скріншот сигналу акустичного зображення повзуна на поверхні кочення колеса під час руху завантаженого вагона можна дійти невтішного висновку про залежність сигналу від швидкості руху поїзда.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України. Затверджено Наказом Міністерства інфраструктури України від 01.04.2011 №27.
2. ДСТУ 2860 94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 01.01.1996.
3. Бабанін, О.Б. Способи побудови алгоритмів діагностування вагонних конструкцій [Текст]/ О.Б. Бабанін, І.Д. Борзилов// Зб. наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Вип. 54. – С. 77-84.
4. Равлюк В. Г. Передовий досвід технічного утримання вагонів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – Ч. 3. – 98 с.
5. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм (конструкція, технічне обслуговування та ремонт): Підручник для навчальних закладів залізничного транспорту / С. В. Панченко, А. О. Каграманян, І. Д. Борзилов, І. Е. Мартинов, Є. Р. Можейко; В. Е. Стріленко, А. І. Феногенов. Під заг. ред. С. В. Панченка. – Харків: РРВ УкрДУЗТ, 2018. – 367 с.
6. Бондаренко В. В. Застосування шумодіагностичного методу для контролю технічного стану ходових частин вагонів під час руху [Текст] / В. В. Бондаренко, Д. І. Скуріхін, В. В. Аракелян // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 135. – С. 211-215.
7. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 095-Ц від 15.03.2006 р. – К.: Укрзалізниця, 2006. – 79 с.
8. Локомотивные приборы безопасности и контроль за их работой. – М.: Транспорт, 1992. – 61 с.
9. ДСТУ EN 50126-1:2019 (EN 50126-1:2017, IDT) Залізничний транспорт. Специфікація та демонстрування надійності, доступності, безпеки та ремонтпридатності (РАМН). Частина 1. Основні вимоги та загальний процес.
10. EN 50126-1:2017 Railway Applications - The Specification and

Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process.

11. Yao, J. P. Microwave photonics for high-resolution and high-speed interrogation of fiber Bragg grating sensors // J. P. Yao // Fiber and Integrated Optics. – 2015. – Vol. 34. – P. 230–242.