

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

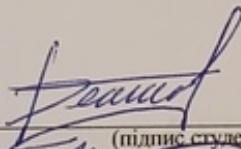
Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи магістра

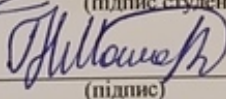
на тему: «Підвищення надійності функціонування системи автоматичної локомотивної сигналізації шляхом цифрової обробки кодів на локомотиві»  
за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»  
зі спеціальності: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Виконав: студент  
групи «АТ2326»

  
(підпис студента)

/Євгеній БІЛИЙ/  
(Ім'я ПІРІЗВИЩЕ)

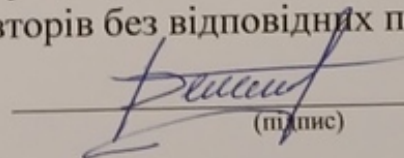
Керівник:

  
(підпис)

/ас. Наталія МАЛОВІЧКО/  
(посада, Ім'я ПІРІЗВИЩЕ)

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

Студент

  
(підпис)

Дніпро – 2025 рік

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

Faculty «Computer technologies and systems»  
Department «Automatics and Telecommunication»

Explanatory Note  
to Master's Thesis

on the topic: «Increasing the reliability of the operation of the automatic locomotive signaling system by means of digital processing of codes on the locomotive.»  
according to educational curriculum «Automatics and Automation on transport»  
in the Speciality: «174 Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2326:

/Yevhenii BILYI/

Scientific Supervisor:

/Nataliia MALOVICHKO/

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра: «Автоматика та телекомунікації»

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: «Автоматика та автоматизація на транспорті»

Спеціальність: «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра  
студенту Білому Євгенію Ігоровичу

1. Тема роботи: «Підвищення надійності функціонування системи автоматичної локомотивної сигналізації шляхом цифрової обробки кодів на локомотиві»

Керівник роботи: Маловічко Наталія Валентинівна, асистент  
затверджені наказом № 20 ст. від 05.01.2024

2. Строк подання студентом роботи: 15.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Процеси передачі, прийому та ідентифікації кодових посилки системи АЛСН

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

4.1 Аналіз існуючих систем АЛС на залізницях УКРАЇНИ та світу

4.2 Функціонування системи АЛСН при формуванні кодів

4.3 Покращення якості розпізнавання кодів АЛС на локомотиві

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

18 слайдів для презентації

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих систем АЛС на залізницях УКРАЇНИ та світу	1.12.24	30%
2	Функціонування системи АЛСН при формуванні кодів	15.12.24	60%
3	Покращення якості розпізнавання кодів АЛС на локомотиві	30.12.24	100%
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.25	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.01.25	

Студент

---

(підпис)**Євгеній БІЛИЙ**

---

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

---

(підпис)**ас. Наталія МАЛОВІЧКО**

---

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

80с., 25 рис., 3 табл., 11 джерел.

**Метою роботи** є розробка методів та технічних засобів для покращення якості розпізнавання кодів автоматичної локомотивної сигналізації на рухомому складі.

**Завданням роботи** є:

- аналіз функціонування систем автоматичної локомотивної сигналізації з метою виявлення шляхів покращення якості прийому кодів на локомотиві;
- розробка методів автоматичного розпізнавання кодів АЛС на рухомих одиницях;
- розробка структурної та принципової схеми покращення якості прийому кодів АЛС на локомотиві;

**Об'єкт дослідження** – процеси фіксації та розпізнавання кодів АЛС на локомотивах.

**Предмет дослідження** – технічні засоби та методи розпізнавання кодів АЛС на локомотивах.

Для вирішення поставлених задач застосовувався аналіз існуючих систем АЛС, розроблялись структурна та принципова схема системи розпізнавання, розроблялась математична модель каналу, методи інтегралів та взаємо кореляційний метод.

Ключові слова: ЛОКОМОТИВНА СИГНАЛІЗАЦІЯ, КОДИ, СИГНАЛИ, ФИЛЬТР, ІДЕНТИФІКАЦІЯ, МЕТОДИ ПОРІВНЯННЯ, КОРЕЛЯЦІЙНІ ФУНКЦІЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз існуючих систем АЛС на залізницях УКРАЇНИ та світу .....	9
1.1 Система автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу .....	9
1.2 Європейські системи локомотивної сигналізації.....	11
1.3 Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ.....	16
1.4 Система АЛС у складі КЛУБ.....	19
1.5 Система локомотивної безпеки «ImproTRAIN-250».....	22
1.6 Система маневрової автоматичної локомотивної сигналізації (МАЛС)...	25
1.7 Постановка задачі.....	29
2 Функціонування системи АЛСН при формуванні кодів .....	31
2.1 Статистичні дані по відмовах системи АЛСН .....	31
2.3 Особливості кодування АЛС на залізничних станціях .....	34
2.4 Моделювання каналу передавання кодів АЛСН до локомотива через рейкову лінію .....	40
2.5 Висновки до другого розділу .....	49
3 Покращення якості розпізнавання кодів АЛС на локомотиві .....	50
3.1 Причини збоїв кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) на локомотиві.....	50
3.2 Джерела завад у сигналах автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС).	53
3.3 Перетворення кодів АЛС у дискретну форму для аналізу .....	56
3.4 Схема пристрою для цифрової обробки сигналів складається .....	59
3.5 Розробка методу розпізнавання кодів АЛС на основі кореляційних функцій	62

3.6 Структурна схема та функціонування системи відеоспостереження.....	68
3.7 Ідентифікація кодів АЛС методом допустимих коридорів .....	69
3.8 Принцип функціонування розробленої системи ідентифікації кодів.....	71
3.9 Висновки до третього розділу.....	77
Висновки.....	78
Перелік посилань .....	79

## ВСТУП

Під час транспортування поїздів на відрізках залізничних колій між станціями системи автоматизованої локомотивної сигналізації відіграють ключову роль у регулюванні інтервалів руху. На залізничних магістралях України переважно застосовують автоматичну локомотивну сигналізацію безперервної дії (АЛСН). Аналіз методологічних підходів і технічних засобів обслуговування систем моніторингу функціонування автоматизованих локомотивних сигналізацій виявив, що діючі системи й вимірювальні пристрої є як морально, так і технологічно застарілими. Поточне технічне забезпечення сервісного обслуговування автоматизованих систем локомотивної сигналізації базується на періодичному контролі, що вимагає безпосередньої присутності персоналу на об'єктах залізничної інфраструктури. Це, своєю чергою, спричиняє суттєві затримки в обслуговуванні. Попри моральну застарілість і нестабільність роботи за умов підвищення швидкостей руху поїздів, АЛСН залишається базовою функціональною системою локомотивної сигналізації в Україні.

У контексті реалізації структурних реформ залізничного транспорту значна увага приділяється підвищенню ефективності функціонування залізничної інфраструктури, оптимізації витрат на транспортування вантажів і забезпеченню високого рівня безпеки перевезень. Одним із перспективних напрямів для досягнення цих цілей є комплексне впровадження автоматизованих технологій у залізничному господарстві, які базуються на використанні мікропроцесорної техніки. Перехід від аналогових до цифрових систем дозволяє суттєво зменшити габарити обладнання, знизити рівень енергоспоживання та оптимізувати витрати на виробництво й обслуговування.

Отже, розроблення підсистеми моніторингу та вимірювання кодів АЛСН, яка забезпечить автоматичну перевірку параметрів кодів у режимі реального часу під час їх передачі рейковою мережею і приймання локомотивами, є надзвичайно актуальним і пріоритетним завданням.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АЛС НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ ТА СВІТУ

## 1.1 Система автоматичної локомотивної сигналізації безперервного типу

Автоматична локомотивна сигналізація безперервного типу (АЛСН) являє собою комплекс технічних засобів, що автоматично відтворюють у кабіні машиніста сигнальні показання колійних світлофорів, до яких наближається поїзд, незалежно від профілю залізничної колії чи погодних умов.

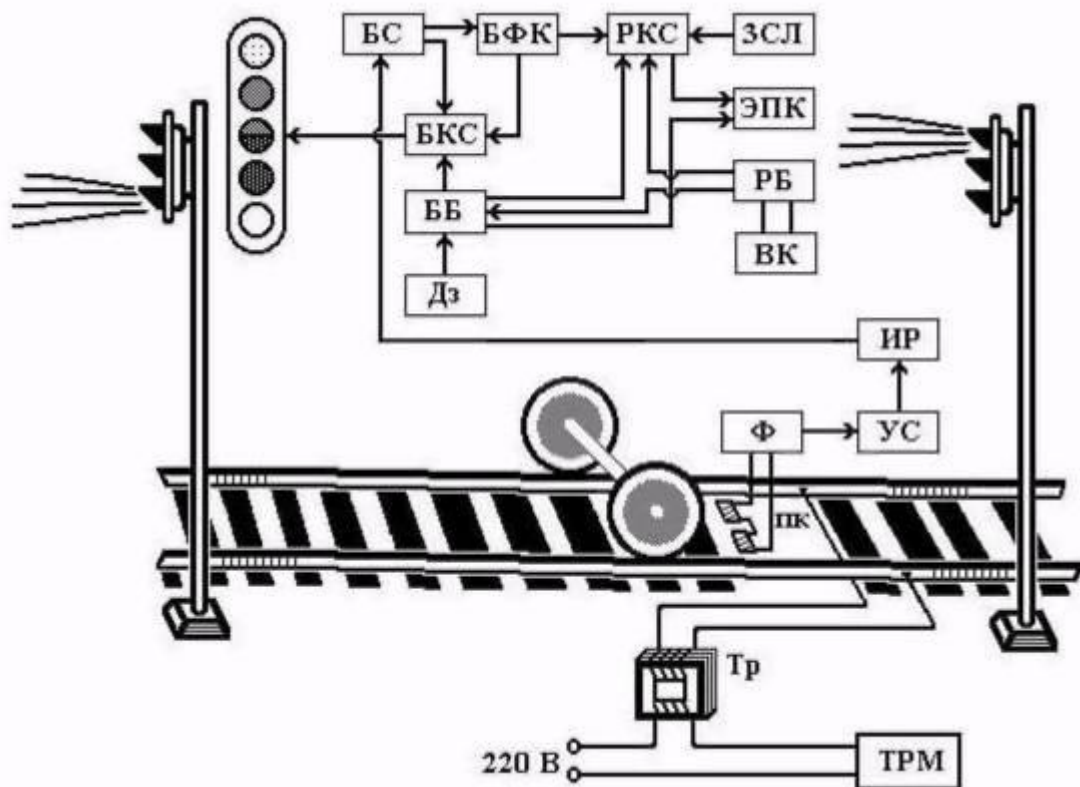


Рисунок 1.1 – Структурна схема АЛСН

Усі елементи, що складають АЛСН, поділяються на дві основні категорії: колійні пристрої, що виконують функцію передачі сигналів, та локомотивні пристрої, які ці сигнали приймають. Колійні пристрої розташовуються в релейній шафі, що знаходиться поблизу колійного світлофора. До складу колійного обладнання (див. Рис. 1.1) входять кодовий шляховий трансмітер (ТРМ) і трансформатор (Тр). Завдання трансмітера полягає у перетворенні

сигналу колійного світлофора в цифрово-імпульсну комбінацію: він періодично генерує у рейкове коло електричний сигнал змінного струму (код), що характеризується певною частотою імпульсів та інтервалами між ними.

Завдяки змінності кодів у кодовій автоблокувальній системі (КПТШ) забезпечується захист від випадкового показу дозволяючого сигналу прохідного світлофора (якщо блок-ділянка зайнята) або сигналу, що дозволяє рух із більшою швидкістю (при вільній блок-ділянці), зумовленого коротким замиканням чи пробоем ізолятора. Типові коди, застосовувані у КПТШ для різних категорій, представлені на рисунку 1.2.

5	«З»		9-3	13-33
	«Ж»		5-6	12-32
	«КЖ»		12-13	1-2
7	«З»		9-2	13-42
	«Ж»		5-7	12-31
	«КЖ»		12-14	1-3

Рисунок 1.2 – Схема кодів системи АЛСН

До складу локомотивних пристроїв АЛС входять: приймальні котушки (ПК), фільтр (Ф), локомотивний підсилювач (УС) з імпульсним реле (ІР), дешифратор (Д), електропневматичний клапан автостопу (ЕПК), локомотивний світлофор (ЛС), локомотивний швидкостемір (ЗСЛ), рукоятка (або кнопка) пильності (РБ), кнопка ввімкнення білого світла на локомотивному світлофорі (ВК), а також перемикач (тумблер) ДЗ для коригування періоду перевірки пильності машиніста.

**Блок рахунку (БС):** Містить реле-лічильники, які забезпечують підрахунок кількості імпульсів та пауз, що надходять із рейкового коду.

**Блок фіксації коду (БФК):** Містить сигнальні реле («З», «Ж», «КЖ»), що формують електроживлення для сигнальних ламп локомотивного світлофора.

**Блок контролю відповідності (БКС):** Здійснює перевірку коректності отриманого з колії коду порівняно зі станом сигнальних реле БФК. БКС кожні 5–6 секунд підключає сигнальні реле до реле-лічильників, забезпечуючи індикацію відповідного сигналу на локомотивному світлофорі. Це створює затримку зміни сигналу локомотивного світлофора на 5–6 секунд, що відповідає прийому трьох серій кодових імпульсів і частково захищає систему від помилкових кодових сигналів.

АЛСН є найпоширенішою системою сигналізації на залізничних магістралях України. Розроблення сучасних технічних рішень для підвищення функціональної надійності локомотивного обладнання цієї системи є актуальним завданням.

## 1.2 Європейські системи локомотивної сигналізації

Системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) класифікуються на три основні категорії:

- безперервні (АЛСН);
- точкові (АЛСТ);
- комбіновані (АЛСК).

Безперервні системи (АЛСН) забезпечують постійний обмін даними про стан світлофорів через канали зв'язку протягом усього часу перебування локомотива на блок-ділянці. Точкові системи (АЛСТ) передають інформацію лише у визначених точках маршруту, розташованих на фіксованій відстані одна від одної. Комбіновані системи (АЛСК) поєднують елементи як безперервного, так і точкового способу передачі даних.

На залізничних мережах країн Європи застосовуються різноманітні системи АЛС, спрямовані на забезпечення ефективної інформаційної підтримки машиністів [1].

## Франція

У Франції головною системою сигналізації є безперервна система **TVM 300**. На високошвидкісній магістралі «**Париж – Ліон**» (загальна протяжність 390 км, максимальна швидкість руху 270 км/год) відсутні наземні світлофори. Передача сигналів відбувається через рейкові кола за допомогою 18 частотно-модульованих сигналів, що відповідають дозволеним швидкостям руху.

Під час спорудження Північної високошвидкісної магістралі з проектною швидкістю 320 км/год і мінімальним інтервалом руху потягів у 3 хвилини було розроблено модернізовану систему сигналізації TVM 430, що забезпечує підвищену точність та надійність функціонування.

## Німеччина та Австрія

На залізничних лініях Німеччини та Австрії з початку 1980-х років активно впроваджується безперервна система сигналізації **LZB**, яка дозволяє забезпечити безпеку руху потягів на швидкостях понад 160 км/год. У цій системі обмін даними з локомотивом здійснюється через спеціальні шлейфи.

У Німеччині та Австрії також широко застосовується точкова система **АЛС**, яка використовує технологію Євробаліз.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд Євробаліз

Передача даних між бортовими пристроями локомотива і наземним обладнанням відбувається у визначених точках маршруту. Потяги, рухаючись через такі точки, передають енергію потужністю приблизно 20 Вт до антен, встановлених на колійних балізах (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Антена для прийому інформації від Евробаліз

Колійна баліза, заряджаючись цією енергією, передає потягу телеграму. Завдяки цьому система забезпечує передачу даних навіть на швидкостях руху до 500 км/год.

### **Особливості Евробаліз**

Евробалізи є автономними пристроями, що монтуються між рейками. Їх головне призначення – забезпечення обміну інформацією з рухомим складом. Залежно від рівня організації руху, балізи передають такі дані:

- координати;
- параметри кривих та ухилів маршруту;
- допустимі швидкісні обмеження;
- сигнали світлофорів.

У разі потреби передавання значного обсягу інформації встановлюється кілька баліз поспіль (до восьми одиниць). Відстань між балізами або їх групами визначається швидкісними обмеженнями на конкретній ділянці й коливається в межах 1–2,5 км.

## **Італія**

На високошвидкісній залізничній магістралі «Рим – Флоренція» (загальна протяжність 260 км, максимальна швидкість 260 км/год) застосовується безперервна система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН). Локомотивний пристрій виконує автоматизоване порівняння дозволеної та фактичної швидкості руху. У разі перевищення допустимого рівня швидкості активується примусове гальмування, яке може бути скасоване за допомогою кнопки «Скасування гальмування» після відновлення дозволеного режиму швидкості.

## **Фінляндія та Норвегія**

Зростання швидкостей руху на залізничних магістралях Фінляндії до 220 км/год стало підґрунтям для впровадження системи з розширеним набором сигналів, які передаються із колійної інфраструктури на рухомий склад, до 21. Загалом локомотив отримує чотири основні типи сигналів:

1. Сигнали основних та попереджувальних світлофорів, що прив'язані до координат траси.
2. Сигнали про віддаленість до цілі, які дозволяють машиністу планувати зупинку заздалегідь на відстані до 6000 м (еквівалент п'яти міжсвітлофорних інтервалів).
3. Сигнали щодо зниження швидкості, які повідомляють про необхідність короткочасного уповільнення, зокрема під час проходження стрілочних переводів.

Система, що використовується, є точковою і представлена моделлю EB1СAB-900, розробленою шведською компанією АВВ. Її функціонування забезпечується як на залізницях Фінляндії, так і Норвегії.

## **Іспанія**

На високошвидкісній залізничній магістралі «Мадрид – Севілья» безпеку руху забезпечує система автоматичної сигналізації типу LZB. Передача інформації здійснюється через індуктивні шлейфи, укладені між рейками.

Бортова антена локомотива приймає ці сигнали та передає їх у логічний пристрій LZB 80, який обробляє інформацію.

Ця система забезпечує передачу даних на швидкостях понад 300 км/год. Інформація, яка виводиться на дисплей машиніста, охоплює:

- стан колійних світлофорів;
- характеристику ділянки маршруту довжиною 10 км вперед;
- допустимі швидкості руху;
- відстань до найближчих станцій;
- координати ділянок з обмеженнями швидкості;
- планові та профільні характеристики колії.

Дані щодо фактичної швидкості руху також відображаються на дисплеї завдяки сигналам від осьових датчиків.

### **Загальноєвропейська система**

На залізницях більшості європейських країн активно використовується Європейська система управління поїздами ETCS. Передача сигналів у цій системі реалізується за допомогою технології Евробаліз. Для забезпечення інтеграції з національними системами АЛС застосовується пристрій EB1СAB-2000, розроблений компанією Bombardier Transportation. Цей пристрій здатен зчитувати дані з різних систем сигналізації та забезпечувати їх узгоджене передавання в межах ETCS.

На європейських залізницях відбувається поступовий перехід від безперервних систем сигналізації (АЛСН) до точкових систем, які базуються на використанні баліз і цифрових радіоканалів. Такі системи забезпечують безперервний обмін даними між рухомим складом і колійною інфраструктурою та визначення координат поїзда з високою точністю.

Водночас на залізничних мережах України домінує безперервна кодова система сигналізації АЛСН, яка має певні переваги. Зокрема, вона забезпечує оперативне інформування машиніста про зміну ситуації на ділянці руху. Однак основними недоліками таких систем є:

- значно вищі витрати на впровадження у порівнянні з точковими системами;
- підвищена чутливість до електромагнітних завад і збоїв, що зменшує ефективність експлуатації на високошвидкісних магістралях.

### 1.3 Автоматична локомотивна сигналізація АЛС-МУ

Однією з передових систем, яка дедалі ширше впроваджується на залізничних мережах України та частково усуває виявлені недоліки попередніх рішень, є автоматична локомотивна сигналізація магістральних локомотивів (АЛС-МУ) [3] (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд АЛС-МУ

АЛС-МУ розроблена з метою підвищення безпеки під час перевезень і маневрових операцій, а також для покращення умов управління рухомим складом. Її функціональні можливості передбачають:

- прийом і відображення сигналів від наземних пристроїв АЛСН;
- вимірювання та індикацію швидкості руху;
- запобігання несанкціонованому переміщенню локомотива чи самохідного складу;

- контроль швидкості відповідно до показників локомотивного світлофора;
- перевірку ефективності гальмування перед заборонним сигналом світлофора;
- моніторинг уважності та фізичного стану машиніста;
- фіксацію параметрів роботи локомотива та режимів руху.

Моніторинг стану машиніста здійснюється завдяки аналізу реакції на світлові або звукові сигнали чи за допомогою автономної телеметричної системи оцінювання бадьорості машиніста (ТСКБМ).

Система АЛС-МУ пристосована до роботи на всіх типах локомотивів навіть у складних умовах, таких як підвищена вібрація, запиленість, вплив електромагнітного випромінювання та висока температура.

До ключових переваг АЛС-МУ належать:

- використання сучасної елементної бази, що дозволяє суттєво зменшити габарити обладнання, встановленого на рухомому складі (зменшення розмірів у десятки разів);
- зниження енергоспоживання;
- підвищення надійності;
- зменшення вартості обладнання.

Перед початком руху система потребує введення інформації про передрейсову перевірку та активації реєстратора, після чого всі дії машиніста й системи записуються на носій інформації (деталі демонструються у відеоматеріалах [4], [5]).

Інноваційною функцією, яка відсутня у кодовій системі АЛСН, є адаптивне регулювання допустимої швидкості залежно від відстані до кінця блок-ділянки під час руху на червоний сигнал колійного світлофора за умов, коли на локомотивному світлофорі сигналізується жовтий із червоним.

У таких ситуаціях система автоматично зменшує допустиму швидкість із наближенням до закритого сигналу. Ця функція сприяє підвищенню безпеки та забезпечує чітку відповідність швидкісного режиму таблиці 1.

Таблиця 1. – Допустима швидкість  $V_{доп}$ , км/год залежно від відстані до кінця блок-ділянки, м

**Вантажний Пасажирський, швидкісний**

60	Більше 1077
59	1076 – 1045
58	1044 – 1029
57	1028 – 1013
56	1012 – 981
55	980 – 965
54	964 – 949
53	948 – 933
52	932 – 901
51	900 – 885
50	Більше 1179
49	1178 – 1147
48	1146 – 1115
47	1114 – 1083
46	1082 – 1051
45	1050 – 1003
44	1002 – 971
43	970 – 939
42	938 – 907
41	906 – 875
40	874 – 843
39	842 – 827
38	826 – 795
37	794 – 763
36	762 – 731
35	730 – 715
34	714 – 683
33	682 – 651
32	650 – 635
31	634 – 603
30	602 – 587
29	586 – 555

**Вантажний Пасажирський, швидкісний**

28	554 – 539
27	538 – 523
26	522 – 507
25	506 – 491
24	490 – 475
23	474 – 443
22	442 – 427
21	426 – 411
20	Менше 411

Машиніст має зобов'язання відстежувати поступове зниження допустимої швидкості та відповідним чином регулювати фактичну швидкість руху (деталі доступні за посиланням [6]).

**1.4 Система АЛС у складі КЛУБ**

На залізничних ділянках України, де експлуатуються поїзди з підвищеною швидкістю (Hyundai, Škoda), виявилось недоцільним оснащувати рухомий склад традиційною системою АЛСН. Тому було прийнято рішення встановити на ці транспортні засоби сучасну систему автоматичної локомотивної сигналізації на базі комплексного локомотивного пристрою безпеки (КЛУБ).

Комплексний локомотивний пристрій безпеки (КЛУБ) монтується на тяговий і самохідний залізничний рухомий склад (локомотиви, моторвагонний рухомий склад (МВПС), дрезини) і об'єднує функції автоматичної локомотивної сигналізації та електронного локомотивного пристрою вимірювання швидкості (рис. 1).

**Основні функції КЛУБ:**

- отримання, дешифрування сигналів АЛС (АЛСН, АЛС-ЕН) із відображенням показників прохідних та станційних світлофорів на локомотивному світлофорі;
- контроль допустимої швидкості руху залежно від показників АЛС і електронної карти (ЕК) відповідної ділянки;

- автоматична зупинка поїзда перед заборонним сигналом світлофора на закодованій ділянці, запобігання несанкціонованому руху локомотива, реєстрація параметрів руху та ключових характеристик роботи системи;
- прийом та обробка сигналів цифрового радіоканалу (РК);
- прийом і обробка даних із супутникової навігаційної системи (СНС) ГЛОНАСС/GPS;
- визначення координат місцеположення рухомого складу;
- розрахунок відстані до найближчого об'єкта інфраструктури;
- регулювання швидкості при наближенні до об'єкта колійної інфраструктури;
- перевірка уваги машиніста;
- моніторинг початку руху;
- аналіз стану гальмівного обладнання (тиск у магістралі, гальмівних циліндрах і зрівнювальному резервуарі);
- інформування машиніста про поточний стан системи;
- фіксація на електронному носії понад 40 параметрів.

Використання багатозначної системи АЛС-ЕН у перспективі дозволяє повністю реалізувати функціонал автоматизованого управління поїздом.

Наявність касети реєстрації, що зберігає всі дані про рух поїзда та стан обладнання, забезпечує внесення передрейсової електронної навігаційної карти маршруту, що сприяє більш гнучкому встановленню допустимої та рекомендованої швидкості для оптимального руху.

Використання супутникової системи позиціонування ГЛОНАСС/GPS (рис. 1.6) дозволяє постійно визначати місцеположення поїзда, його швидкість і прискорення.

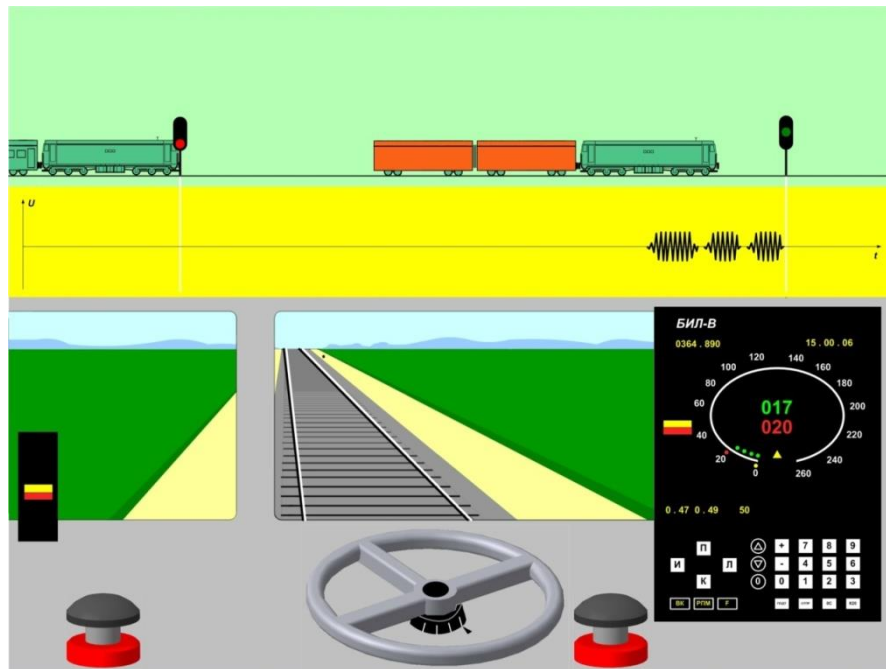


Рисунок 1.6 – Блок БІЛ у складі КЛУБ



Рисунок 1.7 – Супутникова навігаційна мережа системи КЛУБ

Для оперативного дешифрування й аналізу даних, записаних у системі КЛУБ на касеті прийому інформації, у локомотивних депо використовується стаціонарний пристрій дешифрування (СУД). Для забезпечення стабільної роботи системи передбачено комплексну передрейсову перевірку.

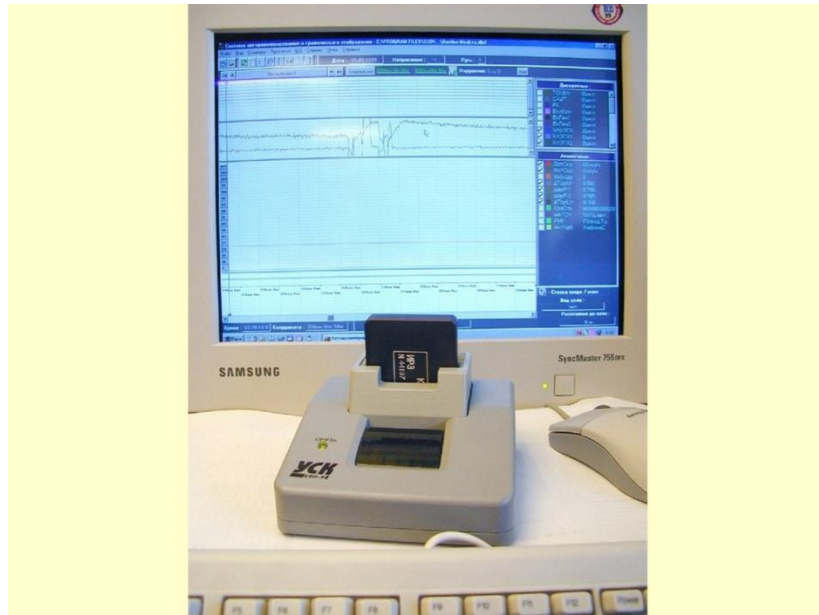


Рисунок 1.8 – Стационарний пристрій дешифрування (СУД)

СУД призначений для автоматизованого виявлення порушень у дотриманні режимів руху локомотивів (або інших одиниць рухомого складу), аналізу причин аварійних або передаварійних ситуацій під час рейсу, створення документів та архівів про рух рухомого складу відповідними маршрутами.

### **1.5 Система локомотивної безпеки «ImproTRAIN-250»**

Ця система розроблена Северодонецьким науково-виробничим об'єднанням «Імпульс», тобто є продукцією вітчизняного виробництва. Система пройшла дослідну експлуатацію та впроваджується на рухомому складі українських залізниць [3]. «ImproTRAIN-250» є сучасною бортовою системою, спрямованою на підвищення рівня безпеки, автоматизацію процесів управління безпекою локомотивів і моторвагонного рухомого складу (рис. 1.9).

Сфера застосування:

- на залізничних коліях, включаючи високошвидкісні та швидкісні ділянки з автономною або електричною тягою постійного та змінного струму, обладнаних автоматичною локомотивною сигналізацією (АЛСН) або багатозначною автоматичною локомотивною сигналізацією (АЛС-ЕН);

- на ділянках залізниць із системою координатного регулювання руху поїздів на основі цифрового радіоканалу.

Ключові функції системи «ImproTRAIN-250»:

- визначення швидкості та координат локомотива за даними пристроїв супутникової навігації, датчиків швидкості та шляху;
- розрахунок допустимої швидкості з використанням сигналів АЛС, АЛС-ЕН, радіоканалу та електронної карти маршруту;
- індикація необхідної інформації для машиніста та його помічника;
- автоматичне гальмування при перевищенні фактичної швидкості над допустимою;
- виключення можливості проїзду заборонних сигналів світлофора;
- запобігання несанкціонованому руху (самовільному скочуванню) локомотива;
- службове гальмування через пристрій крана машиніста за командою, переданою цифровим радіоканалом;
- контроль уважності машиніста;
- запис параметрів руху локомотива на змінну касету реєстрації;
- інтеграція з іншими бортовими системами локомотива через цифрові інтерфейси (CAN, MVB, RS-485).



Рисунок 1.9 – Обладнання системи «ImproTRAIN-250», встановлене на  
ЛОКОМОТИВ

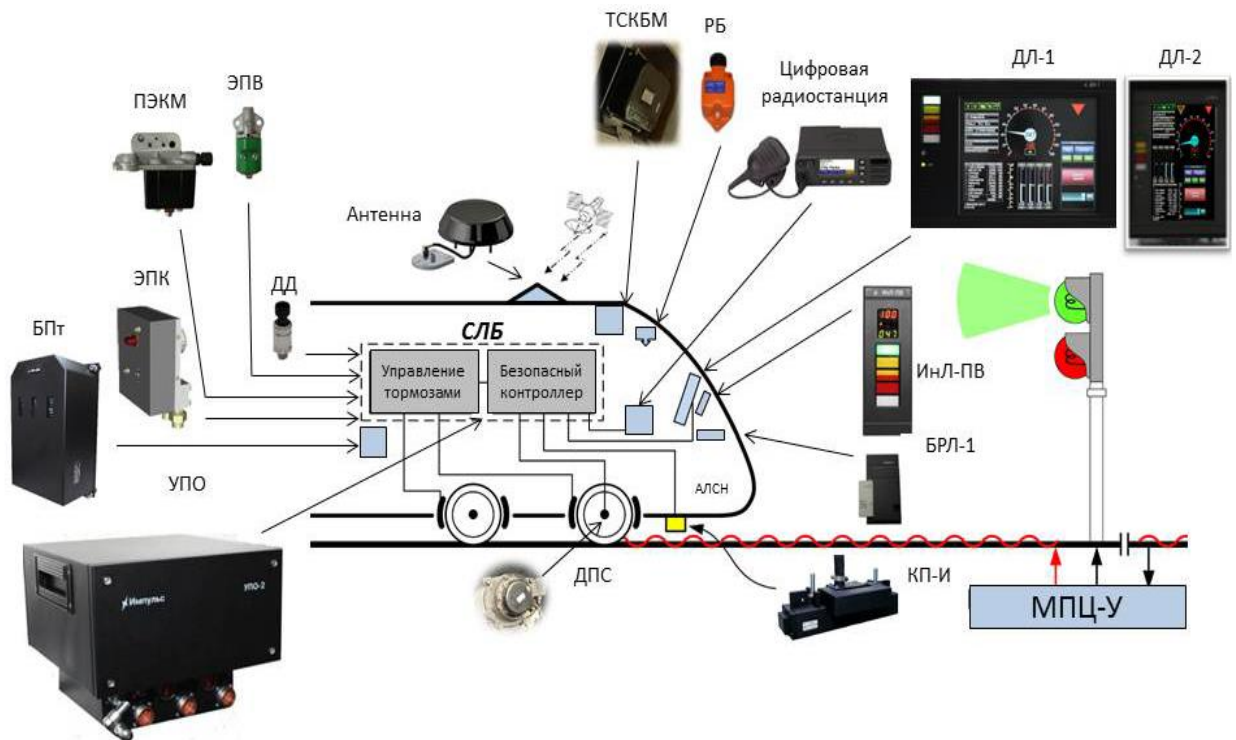


Рисунок 1.10 – Структура системы «ImproTRAIN-250»

Модульна архітектура забезпечує можливість адаптації системи до специфічних потреб замовника. Взаємодія із системами, такими як автоматизоване управління гальмуванням (САУТ), телемеханічна система контролю бадьорості машиніста (ТСКБМ) або автоматизована система водіння (автомашиніст), здійснюється через бортову локальну мережу.

#### **Багаторівнева система безпеки.**

Перший рівень – контроль швидкості руху відповідно до даних електронної карти маршруту.

Другий рівень – контроль допустимої швидкості, визначеної сигналами АЛСН або АЛС-ЕН.

Третій рівень – диспетчерський контроль із можливістю екстреної зупинки поїзда через радіоканал.

Четвертий рівень – внутрішній контроль на основі алгоритмів і оперативних даних (стан машиніста, режим роботи обладнання тощо).

Переваги системи «ImproTRAIN-250» у порівнянні з КЛІУБ:

- абсолютна стійкість до одиничних відмов, що дозволяє зберігати безпечний режим руху без необхідності зупинки через автоматичну реконфігурацію;
- мінімізація розмірів і кількості обладнання;
- відповідність вимогам кібербезпеки стандартів ISO та IEC;
- можливість проведення передрейсової діагностики із високою точністю локалізації несправностей до рівня модуля;
- використання методики плавного коригування допустимої швидкості з урахуванням динаміки руху, характеристик поїзда, гальмівної системи, плану маршруту та обмежень швидкості;
- застосування безконтактної змінної касети реєстрації, захищеної від зовнішніх впливів, із можливістю запису даних протягом 72 годин (рух, дії машиніста, результати діагностики);
- наявність резервного архіву у реєстраційному блоці, доступного у разі недоступності основного архіву;
- розширена діагностична інформація про стан системи, яка виводиться на дисплей локомотива;
- можливість масштабування системи за рахунок збільшення кількості каналів введення/виведення сигналів і адаптації під вимоги замовника;
- різноманітні варіанти дисплеїв із різними розмірами та способами встановлення.

У порівнянні з КЛУБ, система «ImproTRAIN-250» забезпечує виконання аналогічних функцій із вищою ефективністю та більшим потенціалом для широкого впровадження завдяки зазначеним перевагам.

## **1.6 Система маневрової автоматичної локомотивної сигналізації (МАЛС)**

Система маневрової автоматичної локомотивної сигналізації (МАЛС) активно впроваджується на залізничних мережах сусідніх країн та має значний потенціал для використання як на промислових транспортних вузлах, так і на

станціях «Укрзалізниці». Основним завданням МАЛС є запобігання проїзду маневровими локомотивами світлофорів із заборонними сигналами під час виконання маневрових операцій. Об'єктами управління системи виступають маневрові локомотиви, обладнані спеціальними пристроями МАЛС.

Система МАЛС включає такі основні елементи:

**Станційні пристрої (СУ).** Інтегровані із системами електричної централізації (ЕЦ) станцій. Містять обладнання керуючого обчислювального комплексу, контролери збору даних (для релейних систем ЕЦ), а також автоматизовані робочі місця (АРМ) для керівників станції, чергових по станції, операторів гірки та маневрових диспетчерів.

**Бортова апаратура (БА МАЛС).** Встановлюється безпосередньо на маневрових локомотивах (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд бортової апаратури МАЛС

**Обладнання радіоканалу передачі даних (РПД).** Включає стаціонарні та мобільні комплекти для забезпечення надійного зв'язку між елементами системи.

**Засоби супутникової навігації (СН).** Стаціонарні та мобільні комплекти, що забезпечують визначення місцезнаходження локомотивів і контроль їхнього руху.

**Засоби моніторингу.** Призначені для аналізу стану системи та її компонентів електромеханіками СЦБ і машиністами-інструкторами локомотивних депо. Забезпечують можливість віддаленого контролю.

### **Функціональні можливості МАЛС**

Між станційними пристроями та бортовою апаратурою зв'язок здійснюється виключно через радіоканал передачі даних. Основні функції системи включають:

**Контроль швидкості руху.** Забезпечує автоматичне регулювання набору або зниження швидкості локомотива.

Реалізує екстрене гальмування у випадках, коли:

- локомотив наближається до світлофора із заборонним сигналом;
- відбувається неконтрольоване переміщення локомотива;
- машиніст допускає типові помилки, такі як неправильне сприйняття або інтерпретація команд чергового по станції.

**Заборона перевищення швидкості.** Контролює, щоб локомотив не перевищував дозволеної швидкості відповідно до Правил технічної експлуатації (ПТЕ), розпоряджень начальника залізниці або тимчасових попереджень.

**Автоматична зупинка.** Зупиняє маневровий локомотив перед світлофором із заборонним показанням або при наближенні до місць проведення робіт на коліях станції (рис. 1.12).

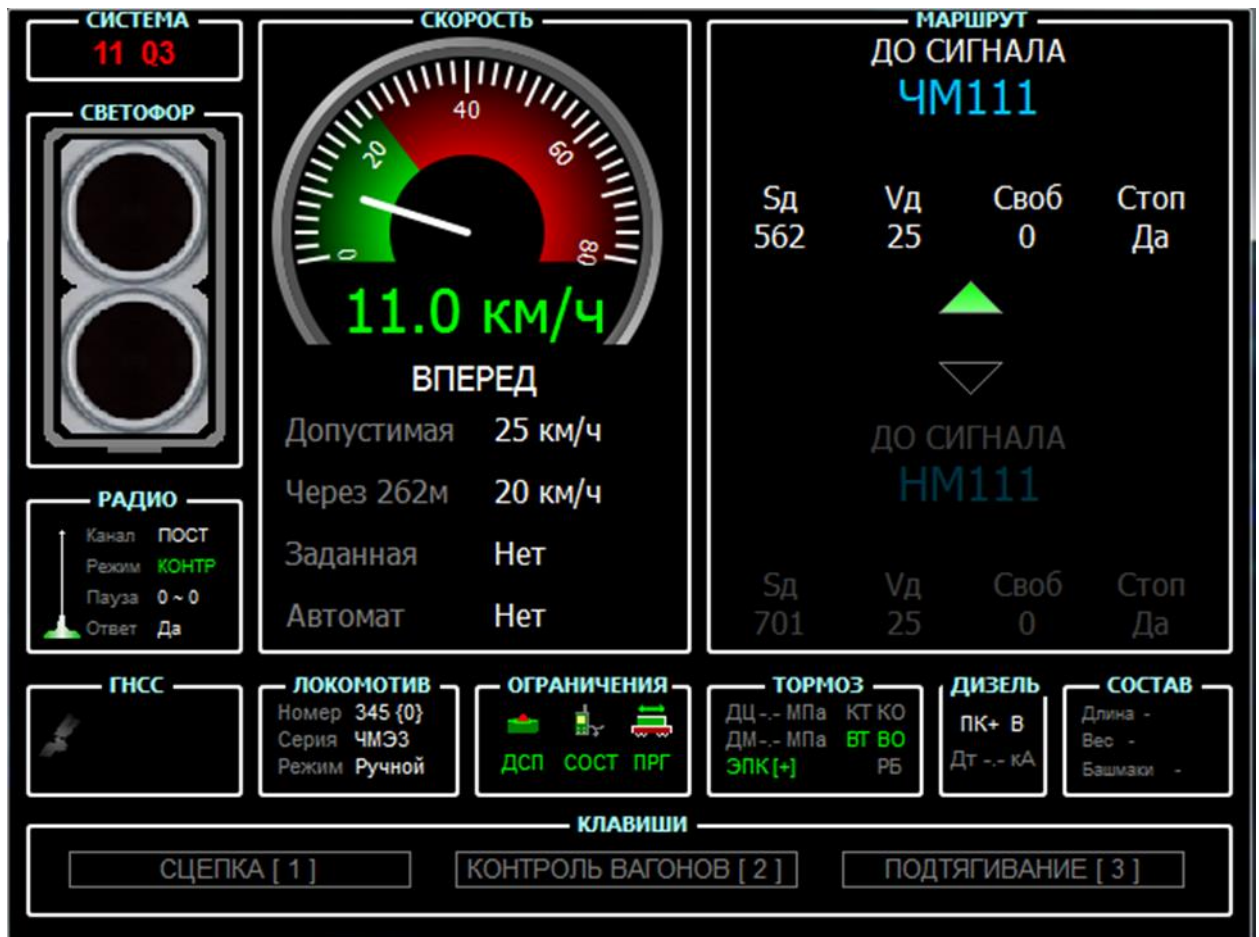


Рисунок 1.12 – Робочий екран машиніста в системі МАЛС

**Екстрена зупинка за наказом.** Забезпечує негайне зупинення локомотива за наказом чергового по станції через радіоканал.

**Дозвіл або заборона виїзду на перегін.** Передача дозволу або заборони на виїзд маневрового локомотива з території станції на перегін.

МАЛС розроблена для роботи у складних експлуатаційних умовах, таких як високий рівень вібрації, запиленість, вплив електромагнітного випромінювання та температурні навантаження. Система значно підвищує рівень безпеки маневрових операцій завдяки автоматизації ключових процесів і мінімізації ризиків, пов'язаних із людськими помилками.

МАЛС має перспективи для подальшого впровадження на промислових залізничних вузлах та інших об'єктах, де важливим є чіткий контроль за маневровими операціями.

## 1.7 Постановка задачі

**Актуальність роботи.** Засоби автоматичної локомотивної сигналізації які використовуються на рухомому складі залізниць є морально і технічно застарілими а заміна на нові системи вимагає значних вкладань капіталу. В зв'язку з цим розробка систем які будуть проводити аналіз кодів що поступають на локомотив та покращувати якість їх розпізнавання є актуальною задачею.

**Метою роботи** є розробка методів та технічних засобів для покращення якості розпізнавання кодів автоматичної локомотивної сигналізації на рухомому складі.

**Завданням роботи є:**

- аналіз функціонування систем автоматичної локомотивної сигналізації з метою виявлення шляхів покращення якості прийому кодів на локомотиві;
- розробка методів автоматичного розпізнавання кодів АЛС на рухомих одиницях;
- розробка структурної та принципової схеми покращення якості прийому кодів АЛС на локомотиві;

**Об'єкт дослідження** – процеси фіксації та розпізнавання кодів АЛС на локомотивах.

**Предмет дослідження** – технічні засоби та методи розпізнавання кодів АЛС на локомотивах.

Для вирішення поставлених задач застосовувався аналіз існуючих систем АЛС, розроблялись структурна та принципова схема системи розпізнавання, розроблялась математична модель каналу, методи інтегралів та взаємодія кореляційний метод.

## 1.8 Висновки до першого розділу

На залізницях України використовується в основному автоматична локомотивна сигналізація безперервного типу. Ця система є не досконалою та потребує покращення її роботи. В розділі проведено аналіз існуючих новітніх систем які впроваджені в експлуатацію як в Україні так і за кордоном. За результатами аналізу можна зробити висновок що закордонні точкові системи

АЛСН мають кращі характеристики по надійності сприйняття інформації але передають інформацію на поїзд тільки в певних точках шляху, використання радіоканалу актуальне для маневрових АЛС але для руху по перегонах потребує великих затрат для будівництва вишок повздовж перегонів. Сучасні системи АЛС які експлуатуються в Україні базуються на кодах що поступають з рейок у вигляді трьох імпульсної кодової послідовності і підвищення надійності їх роботи можливе лише при розробці методів математичної обробки інформації на локомотиві.

## **2 ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АЛСН ПРИ ФОРМУВАННІ КОДІВ**

### **2.1 Статистичні дані по відмовах системи АЛСН**

Дефекти у функціонуванні автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) можуть стати причиною порушень безпеки руху на залізничних коліях. Практичний досвід свідчить, що основними джерелами підвищеного ризику є несправності в індикації системи АЛС. Ці несправності виникають через значну кількість перешкод у вхідних сигналах приймачів, що призводить до збоїв у роботі локомотивного світлофора (ЛС).

Найпоширенішою проблемою є зміна індикації ЛС на білий колір на декілька десятків секунд. Такий сигнал є еквівалентним відсутності інформації про можливість вільного проходження маршруту. За подібних обставин поїзд, який рухається зі швидкістю 100 км/год, подолає понад 500 метрів без реального розуміння ситуації на колії. Це створює серйозну загрозу безпеці руху, адже подібна несправність еквівалентна наявності перешкоди на шляху.

Згідно зі статистичними даними, кількість таких відмов у мережі є суттєвою (табл. 2.1).

### **2.2 Аналіз роботи системи АЛС під час передачі сигналів від наземних пристроїв**

Зі збільшенням швидкостей руху поїздів на залізничних магістралях дедалі актуальнішою стає проблема функціональної стабільності пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН).

Функціонування АЛСН числового коду базується на принципі індуктивного зв'язку між колійним устаткуванням, яке передає сигнали, та бортовим обладнанням локомотива, що їх приймає.

Ефективність роботи системи АЛСН залежить від конструктивних характеристик рейкових кіл і їх електричних параметрів. Однак на стабільність роботи значний вплив здійснюють різноманітні зовнішні фактори, зокрема:

- зворотний тяговий струм, що створює небажані індуктивні ефекти;

- електромагнітна взаємодія з бортовими системами локомотива;
- тип ізоляторів, використання полімерних варіантів збільшує чутливість до перешкод;
- металеві конструкції, зокрема стрілочні хрестовини, ферми мостів, заземлювальні елементи, які викликають локальні електромагнітні спотворення.

Таблиця 2.1 – Статистика відмов у роботі системи АЛС

<u>Розподілення збоїв за службами, причини збоїв</u>	<u>Всього збоїв на залізницях по роках</u>				
	<u>2010 р.</u>	<u>2011р.</u>	<u>2012 р.</u>	<u>2013 р.</u>	<u>Середн.</u>
<u>Кількість збоїв, що повторювались</u>	4207	3500	4737	4215	4164,75
<u>Служба Ш</u>	1108	1108	823	1232	1067,75
<u>- короткі стрілочні секції</u>	19	47	64	33	40,7
<u>- несправність приладів кодування</u>	197	215	188	194	198,5
<u>- спотворення часових параметрів коду</u>	441	484	285	350	390
<u>- занижений струм кодування</u>	89	58	86	57	72,5
<u>- порушення в схемах кодування</u>	20	89	43	43	48,75
<u>- несправність або відсутність рейкових з'єднувачів на станціях</u>	77	59	14	5	38,75
<u>- вплив ЛЕП</u>	460	15	4	5	17,5
<u>- несправність кабеля</u>	24	11	8	33	19
<u>- розкрадання</u>	0	0	0	8	2
<u>- інші несправності</u>	195	130	131	437	223,25

Числовий код АЛСН оперує обмеженим набором сигналів:

- зелений (З), що дозволяє рух;
- жовтий (Ж), який попереджає про зниження швидкості;
- жовтий із червоним (КЖ), який інформує про необхідність зупинки.

Також код включає сигнал К (відсутність інформації на зайнятій ділянці) та білий сигнал, що вказує на відсутність інформації після кодів З або Ж.

При підвищенні швидкості руху зростає гальмівний шлях, що робить такий обмежений набір сигналів недостатнім для забезпечення безпеки на високошвидкісних магістралях.

Дослідження роботи АЛСН упродовж останніх семи років виявили такі ключові проблеми:

- Частота кодового струму 25 Гц. Система на цій частоті є менш стійкою до завад, особливо імпульсних.
- Імпульсні перешкоди в рейкових колах. Основними джерелами завад є імпульси, характерні для рейкових кіл, що працюють із частотою 25 Гц. Із підвищенням швидкостей ці завади зростають як за кількістю, так і за амплітудою.

Основними чинниками, що спричиняють збої, є:

#### **Електрична неоднорідність рейкових кіл, спричинена**

- ізолюючими стиками;
- контррейками на переїздах;
- незаземленими рейковими плітями, залишеними для ремонтних робіт;
- металевими конструкціями (мости, шляхопроводи, ЛЕП).

Найбільше збоїв спостерігається на рейкових колах завдовжки 60–200 м при швидкостях руху 60–140 км/год, оскільки імпульсні завади збігаються за часовими характеристиками з сигналами АЛСН.

#### **Нерівномірна намагніченість рейкових плітей.**

Проблема загострюється на швидкостях понад 80 км/год, особливо при використанні полімерних ізоляторів.

#### **Спорадичні імпульсні перешкоди.**

Викликані короткочасними шумовими імпульсами або стрибками напруги. Хоча самі по собі вони не критичні, у поєднанні з іншими факторами ці перешкоди значно знижують стабільність роботи системи.

#### **Вплив асиметрії тягового струму**

Асиметричний тяговий струм значно ускладнює декодування сигналів АЛСН, особливо в умовах високих швидкостей руху. У поєднанні з імпульсними завадами це створює критичні ситуації, які можуть призвести до збоїв у роботі локомотивного обладнання.

Для забезпечення стабільної роботи АЛСН на високошвидкісних магістралях необхідно:

1. Модернізувати конструкцію рейкових кіл, усуваючи електричну неоднорідність.
2. Підвищити стійкість колійних і локомотивних пристроїв до електромагнітних перешкод.
3. Адаптувати системи до умов високих швидкостей, доповнивши числовий код додатковими сигнальними показаннями.
4. Загальна стратегія розвитку систем АЛС має передбачати інтеграцію сучасних технологій та цифрових рішень для підвищення ефективності та безпеки залізничного руху.

### **2.3 Особливості кодування АЛС на залізничних станціях**

Сигнальні показання кожного світлофора системи автоблокування, включно з вхідними та вихідними світлофорами електричної централізації, формуються залежно від сигналу, який подає наступний світлофор. Узгодження між сигналами світлофорів та передача інформації про їхні показання в кабіну машиніста локомотива здійснюються за допомогою кодових комбінацій, що передаються через рейкові кола [6].

#### **Компоненти системи кодування**

До складу сигнальної установки автоблокування входять:

#### **Схема прийому та дешифрування кодових комбінацій:**

Обробляє сигнали, що надходять із рейкового кола захищеної блок-ділянки.

#### **Схема вибору сигнального показання світлофора:**

Забезпечує відображення відповідного сигналу світлофора залежно від стану блок-ділянки.

**Схема формування і передачі кодової комбінації:**

Генерує кодові комбінації для передачі їх у рейкове коло попередньої блок-ділянки.

Схеми електричної централізації (ЕЦ), що застосовуються для кожного напрямку руху, включають:

**Схему прийому та декодування кодових комбінацій:**

Приймає сигнали з рейкового кола першої ділянки видалення.

**Схеми вибору сигнальних показань:**

Визначають показання вхідних і вихідних світлофорів залежно від ситуації на станції.

**Схеми кодування рейкових кіл станції:**

Забезпечують підготовку кодових сигналів для передачі інформації про стан станційної колії.

**Схему формування та передачі кодової комбінації:**

Передає сигнали в рейкове коло першої ділянки наближення.

**Напрямок передачі сигналів**

Кодові комбінації завжди передаються в рейкове коло у напрямку, протилежному до руху поїзда. Це забезпечує передачу інформації про стан блок-ділянки, яка знаходиться попереду рухомого складу.

**Методи кодування**

Кодування сигналів може здійснюватися двома способами:

**На частоті сигнального струму рейкового кола:**

Кодові комбінації накладаються безпосередньо на основну частоту.

**На частоті накладення:**

Використовується частота, відмінна від частоти сигнального струму, що дозволяє уникнути взаємних завад.

**Типи організації кодування**

**Безперервне кодування:**

Реалізується незалежно від присутності поїзда на блок-ділянці.

#### **Кодування при вступі поїзда на ділянку:**

Активується в момент входу рухомого складу на блок-ділянку, забезпечуючи адаптивну передачу інформації.

#### **Попереднє кодування:**

Здійснюється під час перебування поїзда на попередній ділянці для підготовки інформації до передачі на наступну.

#### **Структурна схема кодування**

Організація кодування рейкових кіл числовими кодами для систем кодового автоблокування та автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) представлена на рис. 2.1. Структура системи охоплює ключові елементи, необхідні для синхронізації роботи світлофорів, кодування інформації та її безперебійної передачі до локомотивного обладнання.

Структурна схема організації кодування рейкових кіл числовими кодами при кодовому автоблокуванні і АЛС показана на рис. 2.1.

Кодові колійні передавачі функціонують для генерації кодових послідовностей. Оскільки контактні елементи цих пристроїв не адаптовані для комутації струмів підвищеної потужності, їх підключення до рейкових ланцюгів здійснюється опосередковано. Для інтеграції кодових сигналів у рейкову інфраструктуру застосовуються релейні трансмітери, які взаємодіють із контактами передавача та дублюють функціонування одного з його елементів.

Релейний трансмітер за допомогою свого контактного вузла комутує електричний ланцюг обмотки кодувального трансформатора. Унаслідок цього до рейкової мережі передаються імпульси змінного струму, які формують задані кодові послідовності.

Отримані імпульси зчитуються приймальними пристроями локомотива, зокрема приймальними котушками (ПК). Сигнали, що надходять, проходять обробку за допомогою узгоджувальних елементів (фільтрів, підсилювачів, імпульсних реле), які виділяють корисні складові, перетворюючи їх у імпульси

постійного струму, що надходять до входних ланцюгів системи декодування. Остання забезпечує відбір і передачу показань сигнального локомотивного світлофора (ЛС). На основі отриманої інформації ЛС активує відповідне світлове сигналізування, що інформує машиніста про допустиму швидкість руху залежно від стану наближеного колійного світлофора.

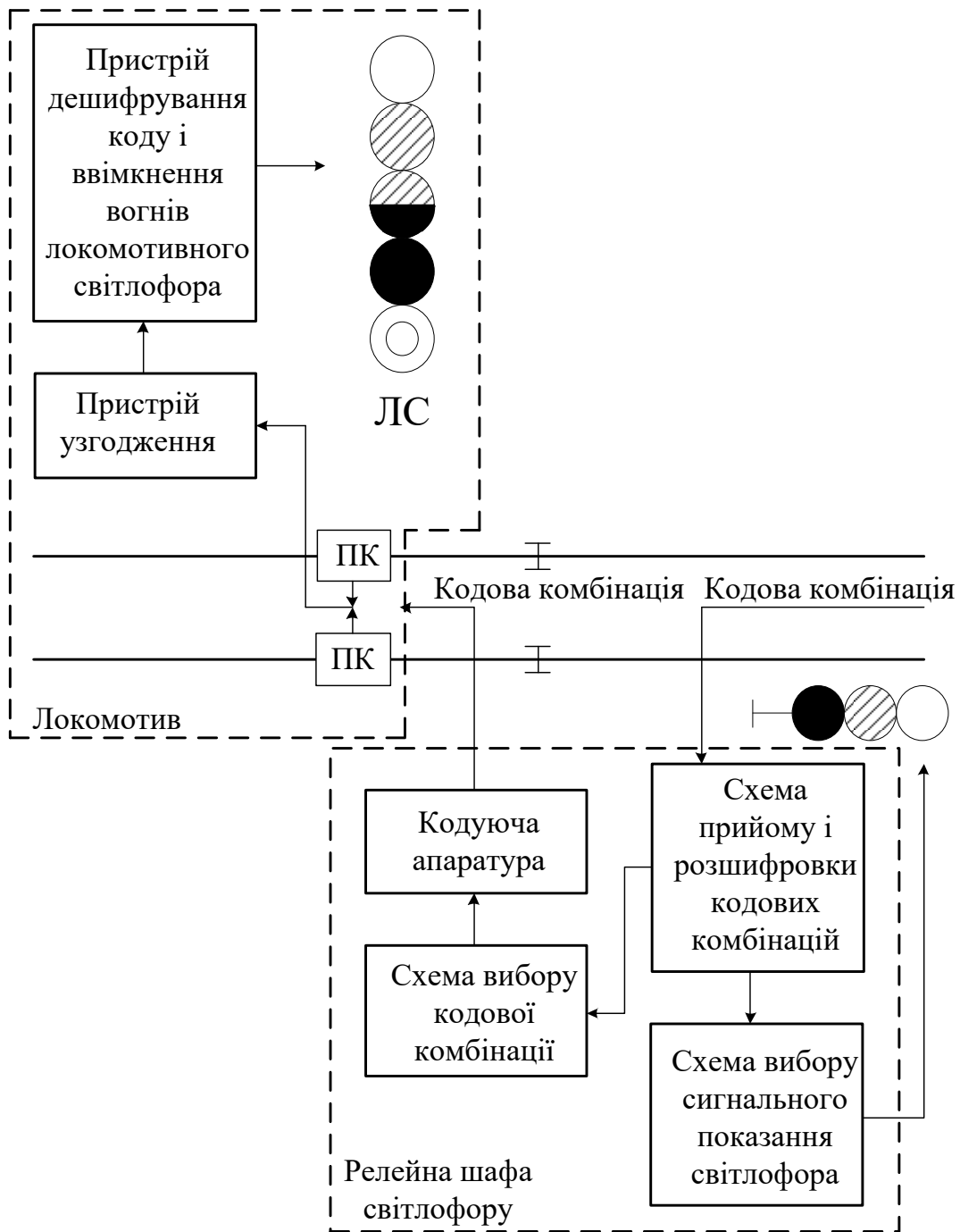


Рисунок 2.1 – Взаємодія колійних і локомотивних пристроїв АЛСН

Від червоного світлофора в рейкову мережу передається код КЖ, від жовтого – код Ж, а від зеленого, зеленого миготливого або жовтого миготливого – код З. У разі виходу з ладу лампи червоного світла трансляція коду КЖ до рейкової мережі припиняється, що автоматично спричиняє перенесення червоного сигналу на попередній світлофор. Вихід з ладу лампи жовтого світла не впливає на переданий кодний сигнал. Якщо несправність стосується лампи жовтого або зеленого миготливого світла, код З замінюється кодом Ж. У разі перегорання зеленої лампи в системі АБ змінного струму кодування залишається незмінним, тоді як у системі АБ постійного струму код З замінюється на код Ж.

Коли вхідний світлофор перебуває у закритому стані (маршрут приймання не встановлено) або сигналізує запрошувальний режим, у рейкову мережу передається код КЖ, а на попередньому світлофорі активується жовтий сигнал. Якщо вхідний світлофор відкрито для руху на головну колію, у рейкову мережу надходить код Ж або З залежно від сигналу, а на попередньому світлофорі активується зелений вогонь. У випадку приймання на бічну колію код Ж транслюється в рейкову систему, а попередній світлофор показує жовтий миготливий сигнал; для руху стрілочними переводами через хрестовини марки 1/18 використовується зелений миготливий вогонь.

Сигнальні показання вхідного світлофора на кодованій колії залежать від конфігурації маршруту (на головну чи бічну колію, основний чи варіантний шлях через стандартну чи пологу хрестовину) і від стану вихідного світлофора. Якщо маршрут веде на некодовану бічну колію, показання вхідного світлофора (два жовті вогні) не пов'язуються зі станом вихідного світлофора. У разі встановленого маршруту відправлення вихідний світлофор сигналізує відповідно до стану першого за віддаленням прохідного світлофора. При активному зеленому вогні вихідного світлофора до рейкової системи подається код З; у разі жовтого або двох жовтих вогнів – код Ж. За відсутності маршруту відправлення вихідний світлофор сигналізує червоним світлом, а в рейкову мережу передається код КЖ.

Оскільки кількість допустимих кодових комбінацій обмежується трьома (З, Ж, КЖ), а сигнальні показання світлофорів мають значну варіативність, прийнято, що світлофор, дозволяючи рух із встановленою швидкістю, генерує код З; при необхідності зниження швидкості транслюється код Ж; заборона руху або рух із максимальною обережністю супроводжується передачею коду КЖ.

Особливості кодування на станції полягають у тому, що під час руху поїзда маршрутом відбуваються часті переходи локомотива через межі окремих колійних секцій, а стабільність функціонування автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) обумовлюється сукупністю факторів:

- 1. Тривалість затримки під час перемикання живлення рейкових ланцюгів з безперервного режиму на кодований для зайнятої колійної секції.** Цей час включає кілька етапів:
  - відпускання якоря рейкового реле;
  - активацію кодувальної апаратури;
  - розгін кодового передавача (КПТ) до швидкості обертання, при якій формуються імпульси, коректно сприймані локомотивним дешифратором;
  - стабілізацію нормальної чутливості локомотивного підсилювача після отримання на попередній секції сигналів із великою амплітудою струму.
- 2. Спосіб кодування рейкових ланцюгів** – з живильного чи релейного кінця. При кодуванні від живильного кінця під приймальними котушками локомотива під час перемикання може проходити змінний безперервний струм. Такий сигнал здатен інтерпретуватися дешифратором як імпульс коду, що призводить до порушення коректного приймання активного сигналу.
- 3. Довжина стрілочних секцій,** які перетинає локомотив. У випадку коротких секцій локомотив може отримувати неповні кодові цикли, що потенційно спричиняє зміну показань локомотивного світлофора. Для

запобігання цим змінам довжина секції має перевищувати дистанцію, яку проходить локомотив протягом 1,5–2 кодових циклів.

4. **Тип трансмітерів, що використовуються для кодування стрілочних секцій** – спільні або роздільні. Застосування роздільних трансмітерів збільшує ймовірність спотворення кодів до двох кодових циклів, тоді як кодування від спільного трансмітера обмежує спотворення лише одним циклом.

Для мінімізації затримок і попередження збоїв у роботі АЛС використовується **попереднє увімкнення кодування**. Цей процес передбачає активацію трансмітера та релейного механізму до моменту зайняття стрілочної секції, тобто одночасно із завданням маршруту, відкриттям сигналу та входженням поїзда на підхідну ділянку перед світлофором.

Одночасно реалізується **прискорене перемикання живлення** з безперервного на кодоване, яке починається з моменту розмикання фронтового контакту рейкового реле секції. Завдяки цьому тривалість перемикання зменшується, оскільки виключається часовий інтервал, необхідний для переміщення контактів рейкового реле й запуску кодувальної апаратури.

#### **2.4 Моделювання каналу передавання кодів АЛСН до локомотива через рейкову лінію**

З метою підвищення ефективності функціонування автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) розглядається можливість удосконалення інформаційного обміну шляхом збільшення кількості імпульсів у переданих повідомленнях. Для оцінки здатності каналу передавання кодів АЛСН забезпечити надійну передачу сигналів із підвищеним числом імпульсів необхідно створити математичну модель каналу та перевірити його параметри для таких умов.

Розглянемо схематичну блок-ділянку, розташовану між двома ізолюючими стиками (ІС), як це зображено на рисунку 2.2. Припустимо, що поїзд входить

на ділянку зі сторони IC1 та рухається до IC2 зі швидкістю  $V_{\Pi}$ . Довжину блок-ділянки позначимо як  $L_{\text{лч}}$ . Колійний передавач (генератор), розташований на відстані  $L_{\Gamma}$  від IC2, генерує електрорушійну силу (ЕРС), яка залежить від часу і позначається як  $e_{\Gamma}(t)$ .

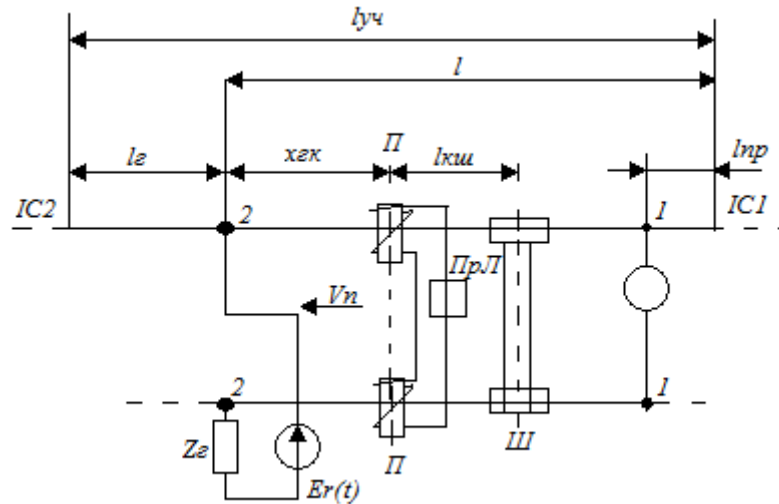


Рисунок 2.2 – Схематичне представлення блок-ділянки для передавання сигналів

Частотна залежність внутрішнього опору передавача описується як  $Z_{\Gamma}(a)$ . Відстань між точкою підключення генератора та перерізом, що проходить через геометричну вісь приймальних котушок локомотива, позначимо як  $x_{\Gamma К}$ , вимірюючи від генератора до котушок. Відстань між передньою віссю локомотива та цією точкою приймання позначимо як  $l_{\text{КШ}}$ .

Приймальний пристрій локомотива (скорочено ПрЛ) оснащений котушками, які з'єднані узгоджено для сигнальних струмів і протифазно для тягових струмів. У межах блок-ділянки вважається, що відсутні неоднорідності (стрілки, хрестовини тощо), а рух кузова локомотива є виключно поступальним. Таким чином, рейкова лінія моделюється як однорідне середовище з урахуванням лише специфічних елементів, таких як котушки, осі локомотива та колійні реле (ПР).

Миттєве значення електрорушійної сили в локомотивній котушці, що індукуюється струмом  $i(t)$ , який протікає рейкою, визначається рівнянням:

$$e(t) = -M(t) \frac{di(t)}{dt} - i(t) \frac{dM(t)}{dt} \quad (2.1)$$

де  $M(t)$  – взаємна індуктивність між рейкою та котушкою.

Оскільки поперечний розмір котушок є малим порівняно з довжиною блок-ділянки  $L_{\text{уч}}$ , а рейкова лінія є однорідною, значення  $M(t)$  вважається постійним і позначається як  $M$ . Тоді вираз для ЕРС спрощується:

$$e(t) = -M \frac{di(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Вхідна ЕРС локомотивного приймача, яка є подвоєним значенням ЕРС котушки, визначається як:

$$e_{\text{ВхПрл}}(t) = 2e(t) = -2M \frac{di(t)}{dt} \quad (2.3)$$

З наведеної формули випливає, що моделювання електричних процесів у межах блок-ділянки, які формують вхідний сигнал для локомотивного приймача, найраціональніше здійснювати через побудову моделі струму  $i(t)$  у перерізі приймального пристрою.

Розпочнемо аналіз цього питання з урахуванням того, що, як відомо, рейкова лінія для сигналу залізничної автоматики функціонує як довга лінія. Це зумовлено тим, що довжини хвиль напруги та струму є співмірними з довжиною рейкової лінії. У загальному випадку нестационарного режиму функціонування РЛ напругу та струм можна виразити такими рівняннями:

$$-\partial i / \partial x = G_0 u + C_0 \partial u / \partial t \quad (2.4)$$

$$-\partial u / \partial x = L_0 \partial i / \partial t + R_0 i \quad (2.5)$$

Тут  $R_0, L_0, C_0, G_0$  — це первинні параметри рейкової лінії, а координата  $x$  вимірюється від початкової точки лінії (тобто від місця розташування генератора). Схематична еквівалентна модель елементарної ділянки довгої лінії, що відповідає рівнянням (2.4) і (2.5), подана на рисунку 2.2 (де  $dx$  наближається до нуля).

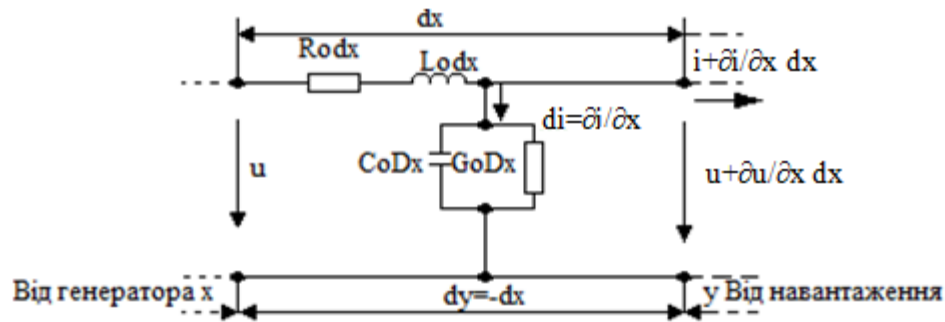


Рисунок 2.3 – Еквівалентна схема елементарної ділянки довгої лінії каналу передачі сигналів числового коду АЛСН

Система диференціальних рівнянь із частинними похідними (2.4) і (2.5) зводиться до одного рівняння для струму. Для цього здійснюється диференціювання рівняння (2.4) за  $x$ , а рівняння (2.5) — за  $t$ :

$$-\partial^2 i / \partial x^2 = G_0 \partial u / \partial x + C_0 \partial^2 u / \partial t \partial x \quad (2.6)$$

$$-\partial^2 u / \partial t \partial x = L_0 \partial^2 i / \partial t^2 + R_0 \partial i / \partial t \quad (2.7)$$

Результат перегрупування членів дає рівняння наступного вигляду:

$$\partial^2 i / \partial x^2 = L_0 C_0 \partial^2 i / \partial t^2 + (L_0 G_0 + R_0 C_0) \partial i / \partial t + R_0 G_0 i \quad (2.8)$$

Це одномірне хвильове рівняння, рішення якого залежить від початкових умов (тобто розподілу струму у вибраному перерізі лінії в початковий момент часу) і граничних умов (значення струму на кінцях лінії в заданий момент). Загалом розв'язок рівняння (2.8) має складну структуру, що ускладнює його практичне застосування в інженерній діяльності.

Сутність аналізу полягає в тому, що струм у лінії складається з кількох компонентів: перша залежить від координати перерізу, тоді як інші являють собою затухаючі хвилі з рівними амплітудами, які визначаються вхідним сигналом. Таким чином, можна зробити висновок, що розв'язок рівняння (2.8) описує струм як суперпозицію лінійно перетвореного вхідного сигналу (з урахуванням фазо- та амплітудно-частотних характеристик рейкової лінії) і затухаючих відбиттів, спричинених неоднорідностями на початковому та кінцевому етапах лінії.

Інакше кажучи, побудова математичної моделі струму на основі рівняння (2.8) передбачає попереднє визначення коефіцієнтів відбиття на початку й наприкінці РЛ. Важливо зазначити, що зі зменшенням втрат у лінії кількість таких відбиттів, які необхідно враховувати в розрахунках, зростає.

У цьому розділі було розглянуто підхід до визначення струму у заданому перерізі лінії шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь, яка зводилася до одномірного хвильового рівняння для шуканого струму. Далі розглянемо альтернативний метод, який полягає у розв'язанні системи (2.4)-(2.5) операторним способом. Позначимо операторне зображення напруги  $u(x,t)$  як  $U(x,p)$ , а струму  $i(x,t)$  як  $I(x,p)$ . Враховуючи ці позначення, рівняння (2.4) та (2.5) в операторному вигляді набувають наступної форми:

$$\begin{aligned} -\frac{dI(x,p)}{dx} &= (G_0 + pC_0)U(x,p) \\ -\frac{dU(x,p)}{dx} &= (R_0 + pL_0)I(x,p) \end{aligned}$$

Визначивши  $Z_0(p) = R_0 + pL_0$  та  $Y_0(p) = G_0 + pC_0$ , можна переписати рівняння у вигляді:

$$-\frac{dI(x,p)}{dx} = Y_0(p)U(x,p) \quad (2.9)$$

$$-\frac{dU(x,p)}{dx} = Z_0(p)I(x,p) \quad (2.10)$$

Продиференціюємо рівняння (2.9) за  $x$ :

$$-\frac{d^2I(x,p)}{dx^2} = Y_0(p)\frac{dU(x,p)}{dx}$$

Підставивши похідну  $\frac{dU(x,p)}{dx}$  із рівняння (2.10), отримаємо:

$$\frac{d^2I(x,p)}{dx^2} = Z_0(p)Y_0(p)I(x,p) \quad (2.11)$$

Введемо позначення:

$$\gamma(p) = \sqrt{Z_0(p) \cdot Y_0(p)} = \sqrt{(R_0 + pL_0)(G_0 + pC_0)} \quad (2.12)$$

Після цього розв'язок рівняння (2.11) набуває вигляду:

$$I(x,p) = \frac{1}{Z_B(p)} \left( -A_1 e^{\gamma(p)x} + A_2 e^{-\gamma(p)x} \right) \quad (2.13)$$

де  $Z_B(p)$ — операторний хвильовий опір лінії:

$$Z_B(p) = \sqrt{\frac{R_0 + pL_0}{G_0 + pC_0}}$$

Операторне зображення струму можна подати у наступній формі:

$$I(x, p) = \frac{E_r(p) \cdot \left( \cosh[\gamma(p) \cdot (l - x)] + \frac{Z_H(p)}{Z_B(p)} \sinh[\gamma(p) \cdot (l - x)] \right)}{(Z_r(p) + Z_H(p)) \cosh[\gamma(p) \cdot l] + \left( Z_B(p) + \frac{Z_r(p) \cdot Z_H(p)}{Z_B(p)} \right) \sinh[\gamma(p) \cdot l]} \quad (2.14)$$

Тут  $E_r(p)$  — операторне зображення ЕРС генератора,  $Z_r(p)$  та  $Z_H(p)$  — операторні опори генератора і навантаження відповідно, а  $l$  — довжина лінії.

Запровадимо операторські коефіцієнти відбиття відповідно на вхідному та вихідному рівнях.

$$r_1(p) = \frac{Z_r(p) - Z_B(p)}{Z_r(p) + Z_B(p)}$$

$$r_2(p) = \frac{Z_H(p) - Z_B(p)}{Z_H(p) + Z_B(p)}$$

Після заміни гіперболічних функцій у рівнянні (2.14) на їх еквівалентні вирази через експоненційні функції

$$\frac{1}{1 - r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-2\gamma(p) \cdot l}} = \sum_{k=0}^{\infty} [r_1(p) \cdot r_2(p)]^k \cdot e^{-2\gamma(p) \cdot kl}$$

Припускаючи, що виконується умова  $|r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-2\gamma(p) \cdot l}| < 1$ , отримуємо операторне зображення струму у спрощеній формі:

$$I(x, p) = \frac{E_r(p)}{Z_r(p) + Z_B(p)} \cdot \left[ e^{-\gamma(p)x} - r_2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(2l-x)} + r_1(p) \cdot r_2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(2l+x)} - r_1(p) \cdot r_2^2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(4l-x)} + r_1^2(p) r_2^2(p) \cdot e^{-\gamma(p)(4l-x)} - \dots \right] \quad (2.15)$$

Визначення первісної функції  $i(x, t)$  за її оперативним зображенням  $I(x, p)$ , яке наведено в загальній формі (2.15), є доволі об'ємним завданням. Відтак, на поточному етапі нашою метою стане формулювання загальних висновків щодо часової структури зазначеного оригіналу. З цією метою скористаємося правилом переходу від оперативного представлення часових функцій до їх спектрального аналога, яке передбачає заміну  $p$  на

$j\omega$ . У результаті цієї трансформації, виходячи з виразу (2.15), отримаємо спектральну щільність струму в перерізі лінії з координатою  $x$ .

$$\begin{aligned} \underline{I}(x, \omega) = \frac{E_r(\alpha)}{Z_r(\omega) + Z_B(\omega)} \cdot [ & e^{-\gamma(\omega)x} - r_2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(2l-x)} + r_1(\omega)r_2(\omega) \cdot \\ & e^{-\gamma(\omega)(2l+x)} - r_1(\omega) \cdot r_2^2(\omega) \cdot e^{-\gamma(\omega)(4l-x)} + r_1^2(\omega) \cdot r_2^2(\omega) \cdot \\ & e^{-\gamma(\omega)(4l+x)} - \dots ] \end{aligned} \quad (2.16)$$

У цьому виразі  $E_g(\alpha)$  визначає спектральну щільність сигналу генератора, тоді як  $Z_g(\alpha)$  та  $Z_v(\alpha)$  описують частотні залежності хвильового опору та внутрішнього опору генератора відповідно.  $\gamma(\alpha)$  є частотною характеристикою коефіцієнта поширення лінії, а  $r_1(\alpha)$  і  $r_2(\alpha)$  — комплексними коефіцієнтами відбиття на відповідній частоті  $\alpha$ .

Для подальшого аналізу запишемо відомий вираз коефіцієнта поширення через його складові: кілометричне загасання  $\alpha(\alpha)$  та кілометричний коефіцієнт фази  $\beta(\alpha)$ . У загальному вигляді коефіцієнт поширення можна подати так:

$$\gamma(\alpha) = \alpha(\alpha) + j\beta(\alpha),$$

де  $\alpha(\alpha)$  характеризує втрати енергії сигналу на одиницю довжини, а  $\beta(\alpha)$  описує зміну фази хвилі на кілометр довжини лінії.

Фазова швидкість хвилі струму на частоті  $\alpha$  визначається як

$$v_\phi(\alpha) = \alpha / \beta(\alpha) \quad (2.17)$$

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j \frac{\alpha}{v_\phi(\omega)} \quad (2.18)$$

Із врахуванням виразу (2.18) експоненціальна функція вигляду  $e^{-\gamma(\alpha)(kl-x)}$ , буде перетворена до вигляду:

$$e^{-[\alpha(\omega) + j \frac{\alpha}{v_\phi(\omega)}] \cdot (kl-x)} = e^{-\gamma(\omega)(kl-x)} \cdot e^{-j\omega \left[ k \frac{l}{v_\phi(\omega)} - \frac{x}{v_\phi(\omega)} \right]} \quad (2.19)$$

Позначимо  $\tau_0(\alpha)$  як час пробігу хвилею всієї лінії в один бік. Він визначається довжиною лінії  $l$  та фазовою швидкістю  $v_\phi(\alpha)$ :

$$\tau_0(\alpha) = l / v_\phi(\alpha)$$

Додатково введемо позначення  $\tau(\alpha)$  для часу, коли точка постійної фази хвилі досягає координати  $x$ . Цей час обчислюється аналогічно, враховуючи відстань  $x$  від початку лінії:

$$\tau(\alpha) = x / v_{\varphi}(\alpha)$$

З урахуванням позначень  $\tau_0(\alpha)$  – часу пробігу хвилею всієї лінії, та  $\tau(\alpha)$  – часу досягнення координати  $x$  точкою постійної фази хвилі, формулу (2.19) можна переписати у вигляді  $e^{-\alpha(\alpha)(kl-x)} \cdot e^{-j\alpha[k\tau_0(\alpha)-\tau(\alpha)]}$ . Спираючись на це, спектральна щільність струму (формула 2.16) набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \underline{I}(x, \omega) = & \frac{E_r(\alpha)}{Z_r(\omega) + Z_B(\omega)} \cdot \left\{ e^{-\alpha(\omega)x} \cdot e^{-j\omega\tau(\omega)} - r^2(\omega) \cdot \right. \\ & e^{-\alpha(\omega)(2l-x)} e^{-j[2\tau_0(\omega)-\tau(\omega)]} + r_1(\omega)r_2(\omega) \cdot e^{-\alpha(\omega)} e^{-j\alpha[2\tau_0(\alpha)-\tau(\omega)]} - \\ & r_1(\omega)r_2^2(\omega) \cdot e^{-\alpha(\omega)(4l-x)} e^{-j\omega[4\tau_0(\omega)-\tau(\omega)]} + r_1^2(\omega)r_2^2(\omega) \cdot \\ & \left. e^{-\alpha(\omega)(4l+x)} e^{-j\omega[4\tau_0(\omega)+\tau(\omega)]} - \dots \right\} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Як можна зауважити, перший член рівняння (2.20) характеризує спектральну складову струмової хвилі, яка поширюється від джерела енергії до навантаження, поступово зменшуючи свою амплітуду внаслідок енергетичних втрат під час поширення. Другий член описує спектральний компонент струму, який після одноразового відбиття від навантаження повертається у напрямку генератора, також зазнаючи затухання. Третій доданок відповідає спектральній складовій струмової хвилі, яка після первинного відбиття від навантаження відбивається вдруге від генератора і спрямовується назад до навантаження, одночасно знижуючи свою інтенсивність (ця складова зазвичай ідентифікується як «вторинна падаюча хвиля»). Аналогічне трактування стосується і наступних членів рівняння, з урахуванням кратності відбиттів.

Враховуючи тісний взаємозв'язок між спектральною густиною струму в лінії та математичними методами, які базуються на розв'язанні хвильового рівняння з подальшим поданням струму у формі суперпозиції падаючих і відбитих хвиль, можна забезпечити високу точність моделювання процесів у системі. Однак слід зазначити, що така висока точність потребує значного обсягу складних і ресурсоємних обчислень для врахування всіх хвильових компонентів, амплітуди яких є суттєвими у загальному енергетичному балансі.

Інакше кажучи, обидва підходи, розглянуті у цій роботі, дозволяють сформулювати точний опис струму у конкретному перерізі лінії для довільної форми електрорушійної сили генератора та в будь-який заданий момент часу після підключення генератора до системи. Проте складність побудови таких моделей залишається значною через необхідність врахування багатофакторного характеру хвильових процесів.

Для оцінки тривалості перехідних процесів у рейкових лініях (РЛ), зумовлених проходженням одиничного інформаційного імпульсу систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), припустимо, що довжина лінії дорівнює  $l=1$  км. За робочої частоти рейкового кола  $f_{роб}=25$  Гц, фазовий коефіцієнт на одиницю довжини  $\beta$  становить приблизно  $0,1$  рад/км. Відповідно до формули (12.5), фазова швидкість визначається як  $v_{\phi}=\pi f_{роб}/\beta=2\pi*25/0,1=1565$  км/с. Таким чином, час проходження хвилі в одному напрямку дорівнює  $\tau_0=l/v_{\phi}=0,64*10^{-3}$  с.

Припустимо, що відбиття від кінця лінії спричинене шунтуванням передньою віссю локомотива з опором  $R_{ш}=0,1$  Ом. Еквівалентний опір навантаження  $Z_B$  для частоти  $f_{роб}=25$  Гц має переважно активний характер і становить близько  $0,5$  Ом. Відповідно, коефіцієнт відбиття на кінці лінії розраховується за формулою  $r=(R-Z)/(R+Z)=-0,67$ . Якщо генератор характеризується низьким рівнем погодження з лінією, коефіцієнт відбиття від генератора набуває значення  $r_1=0,5$ . При робочій частоті  $f_{роб}=25$  Гц значення кілометричного затухання становить приблизно  $\alpha=0,3$  Нп/км. У цих умовах відносна амплітуда хвиль, що зазнають відбиття спочатку від шунта, потім від генератора і досягають локомотива, визначається третім доданком формули (2.20) у точці  $x=l$  і розраховується як  $0,67/0,5*e^{-0,3*3} \approx 0,136$ . Амплітуда хвилі, яка зазнала подвійного відбиття (п'ятий доданок формули (2.20)), визначається як  $0,67^2*0,5^2*e^{-0,3*5} \approx 2,5*10^{-2}$ . Це свідчить, що після часу  $\Delta t$ , необхідного для п'ятикратного проходження хвилі вздовж лінії, перехідний процес завершиться. Для цих умов  $\Delta t=5\tau_0=3,2*10^{-3}$  с., що приблизно у шістдесят разів

менше одного періоду робочої частоти. Таким чином, перехідні процеси, зумовлені відбиттям хвиль у лінії, завершуються набагато швидше, ніж триває одиничний інформаційний імпульс АЛСН.

Однак при оцінюванні ефективності передачі інформації через канал АЛСН із підвищеною кількістю імпульсів тривалість перехідних процесів, згідно з математичними моделями, прямо пропорційна тривалості сигналу. Тому збільшення кількості імпульсів у коді не сприятиме покращенню якості передачі, якщо як канал використовується рейкова лінія.

## **2.5 Висновки до другого розділу**

У цьому розділі дослідження проведено ґрунтовний аналіз відмов у роботі пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), у ході якого виявлено, що суттєва частка несправностей зумовлена порушеннями функціонування системи в межах станцій. Детально розглянуто особливості алгоритмів кодування маршрутів приймання та відправлення на станціях. На основі розробленої математичної моделі інформаційного каналу передачі через рейкову лінію встановлено, що збільшення кількості імпульсів у кодових посланнях, яке теоретично могло б покращити якість прийому за рахунок підвищення стійкості до завад, не дає очікуваного ефекту в умовах незмінності каналу передачі у вигляді рейкової лінії.

## **3 ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ КОДІВ АЛС НА ЛОКОМОТИВІ**

### **3.1 Причини збоїв кодових сигналів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) на локомотиві**

Для забезпечення основної функції системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН), що полягає в декодуванні кодового сигналу та відображенні відповідної інформації на локомотивному світлосигнальному обладнанні, локомотивні декодери оснащуються комплексом реле-рахівників імпульсів і інтервалів, індикаторними реле, а також реле конгруентності [8].

Реле-рахівники 1, 2, 3 здійснюють підрахунок кількості імпульсів у кодових послідовностях, тоді як реле 1А і 2А виконують аналіз тривалості інтервалів між імпульсами у чисельних кодах. У випадку отримання коду 3 активуються всі реле (1, 1А, 2, 2А, 3), для коду Ж – реле 1, 1А, 2, 2А, а для коду КЖ – лише 1 та 1А. Разом із реле присутності кодів (ПК), ці компоненти перевіряють, чи кількість імпульсів у послідовності не перевищує трьох, а також визначають, чи присутній тривалий інтервал, що розмежовує сигнали. Результати аналізу кількості активованих реле дозволяють ідентифікувати прийнятий сигнал у визначеному часовому проміжку.

Індикаторні реле (3, Ж, КЖ) фіксують прийнятий код і забезпечують коректну індикацію на локомотивному світлосигнальному пристрої. Їхні контакти інтегровані до схем управління примусовим гальмуванням, контролем уважності машиніста та обмеженням швидкості. У співпраці з реле конгруентності (С) вони забезпечують перевірку відповідності між прийнятим кодом і поточним станом світлосигнального пристрою. У разі невідповідності індикації та отриманих кодів реле типу СР–1, після затримки 5–6 секунд, деактивує індикаторні реле, відновлюючи їхній стан відповідно до поточного коду.

Конструктивні особливості індикаторних реле передбачають автоматичний перехід на більш обмежувальний сигнал у разі виходу з ладу

одного або кількох елементів. Затримка активації реле С у межах 5–6 секунд (що дорівнює трьом періодам коду) дозволяє зберегти попередню індикацію на час стабілізації сигналу. Після завершення цього інтервалу активуються нові індикатори відповідно до дешифрування наступної контрольної комбінації.

На рис. 3. 3 наведено приклади можливих збоїв локомотивної сигналізації:

Ситуація (а): збій на "білий" сигнал обумовлений викривленням четвертого контрольного періоду при зміні кодів у рейковій лінії з З на Ж.

Ситуація (б): причиною є перехід колійного семафора з жовтого на зелений сигнал, що супроводжується викривленням контрольної комбінації на ізоляційному стику.

Ситуація (в): збій для коду КЖ виникає внаслідок спотворення четвертого періоду контрольного сигналу після проходження колійного світлофора.

Таким чином, коректна робота релейних дешифраторів типу ДКСВ у системі АЛСН залежить від точності передавання кодівих комбінацій через рейкове обладнання. Навіть незначні викривлення сигналів здатні спричинити короткочасну втрату індикації або формування некоректних світлових сигналів на локомотивному пристрої.

Четвертий контрольний кодовий період може зазнавати викривлень під впливом зовнішніх перешкод, зумовлених магнітними характеристиками компонентів верхньої будови колії, проходженням через ізолююче стикове з'єднання, впливом високовольтних ліній електропередачі (ЛЕП) або інших факторів, які є добре відомими в даній галузі досліджень. У таких умовах спостерігається короткочасне відхилення на білий або червоно-жовтий індикатор, що залежить від природи спотворень контрольної кодової послідовності.

Випадки подвійної трансформації кодів, за яких після початкової модифікації через 5-6 секунд відбувається повторна зміна, зазвичай також викликають порушення четвертого контрольного кодового періоду, що, у

свою чергу, призводить до функціональних збоїв у роботі систем локомотивної сигналізації.

На залізничних вузлах спотворення контрольного кодового періоду найчастіше виникають через зміну коду на межі рейкових ділянок під час перетину вихідних або маршрутних сигнальних пристроїв, а згодом (через 5-6 секунд) унаслідок проходження ізолюючого з'єднання, яке розмежує рейковий ланцюг сигнального пристрою від наступної секції, орієнтованої у напрямку руху локомотива.

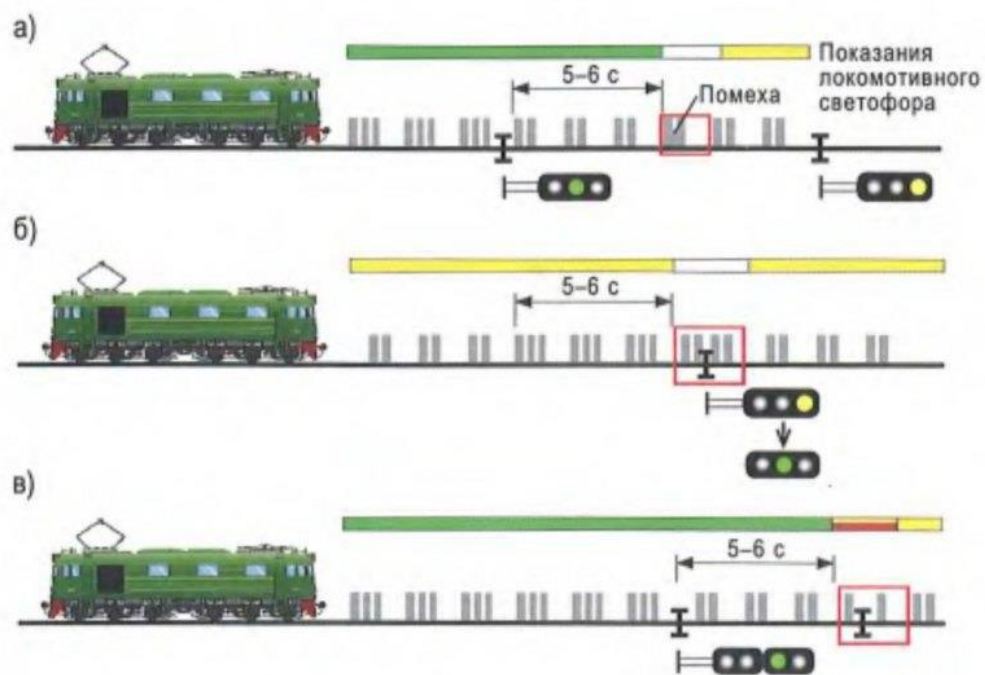


Рисунок 3.1 – Збій кодів при проході ізолюючого стика

Аналогічна ситуація може спостерігатися під час зміни індикації станційного або перегінного семафора за 5–6 секунд до моменту його проходження передньою частиною поїзда.

Такі ускладнення у функціонуванні автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) на локомотивах, обладнаних системою декодування кодівих сигналів у рейкових ланцюгах (ДКСВ), є доволі поширеним явищем під час відправлення поїздів відповідно до заздалегідь розробленого графіка руху. Результати проведеного аналізу свідчать, що збої у передачі кодівих

сигналів АЛС, обумовлені конструктивними обмеженнями дешифраційного механізму системи ДКСВ під час трансформації кодів у рейковій системі, можуть становити понад 50% від загальної кількості зафіксованих порушень [9].

### 3.2 Джерела завад у сигналах автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС)

Основними чинниками гармонійних перешкод є тягові мережі постійного струму та струми рейкових ланцюгів, частота яких відрізняється від сигнальної.

У сучасних системах широко застосовуються шестипульсові випрямлячі, однак перспективними вважаються дванадцяти- і двадцятичотирьохпульсові модифікації. У таблиці 3.1 подано амплітудні значення гармонійних складових випрямленої напруги в режимі холостого ходу для зазначених типів випрямлячів при симетричній синусоїдальній первинній напрузі [13].

Таблиця 3.1 – Амплітудні характеристики гармонійних складових випрямленої напруги

Номер гармоніки	6	12	18	24	30	36	42	48
Частота гармоніки, Гц	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
Відносні амплітуди, %	5,7	1,4	0,6	0,35	0,2	0,15	0,11	0,09
<b>Амплітуда гармоніки, В</b>								
6-пульсовий	47,02	1,55	4,95	2,8875	1,815	1,237	0,9075	0,7425
12-пульсовий	-	11,55	-	2,8875	-	1,237	-	0,7425
24-пульсовий	-	-	-	2,8875	-	-	-	0,7425

При несиметричній або несинусоїдальній первинній напрузі, окрім канонічних гармонік (кратних 300 Гц для шестипульсових, 600 Гц для дванадцятипульсових та 1200 Гц для двадцятичотирьохпульсових випрямлячів), у випрямленій напрузі виникають неканонічні гармоніки, кратні 50 Гц (50, 100, 150 Гц тощо). Їх амплітуди визначаються кутами комутації та запізнювання, спричиненими асиметрією керованих випрямлячів. Наприклад,

при куті запізнювання  $60^\circ$  та кутах комутації в межах  $0-10^\circ$  величини гармонік можуть досягати:

- шоста гармоніка – 25% випрямленої напруги,
- дванадцята – 11,5%,
- вісімнадцята і двадцять четверта – 6%,
- чотирнадцята, шістнадцята, двадцята і двадцять друга – 1,5%.

Зі збільшенням кутів комутації амплітуди гармонік знижуються.

Тяговий струм проходить через обидві рейкові лінії. ЕРС, індуковані у приймальних котушках, мають протилежний напрямок і компенсують одна одну. Проте перешкоди від тягових струмів та їх гармонік впливають на системи АЛС, коли струми в рейках не симетричні або ЕРС у приймальних котушках нерівні.

Імпульсні перешкоди виникають внаслідок раптових змін тягового струму в рейках, на локомотиві або через зміну намагнічуваності рейок. Тривалість імпульсів визначається відстанню між магнітними полюсами у зоні намагнічення та швидкістю потяга. Наприклад, при швидкості 120 км/год тривалість імпульсів відповідає періоду коливань сигнальної частоти 25 Гц для електрифікованих залізниць змінного струму. Проте під час експериментів у метрополітені гармоніки з частотою 25 Гц не спостерігалося.

#### **Джерела імпульсних завад:**

- комутаційні процеси під час струмознімання,
- колекторні вузли електричних машин,
- перетворювальні пристрої та інші компоненти електричних схем локомотива.

Перешкоди від колекторних генераторів постійного струму виникають через дискретну будову магнітної системи та якоря. Частота основної гармоніки, викликаної комутацією (замиканням секцій якоря щіткою), визначається конструктивними параметрами генератора.

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

де  $p$  – число пар полюсів електричної машини;

$n$  – частота обертання якоря, хв<sup>-1</sup>.

Частота основної гармоніки змінної складової становить 30 Гц. У цьому діапазоні найбільш значущими є гармоніки у межах від 0 до 350 Гц.

Пазові та зубцеві перешкоди виникають через поперечні й поздовжні пульсації магнітного потоку, що зумовлені частотою обертання якоря ( $n$ ) та кількістю пазів ( $z$ ). Частоти таких перешкод визначаються залежно від співвідношення кількості пазів і кількості пар полюсів ( $p$ ):

- Частота зубцевих перешкод ( $f_{zn}$ ) визначається гармоніками у діапазонах 0–350 Гц і 850–1000 Гц.
- Частота пазових перешкод ( $f_{cn}$ ) охоплює гармоніки в діапазонах 0–150 Гц, 400–500 Гц та 600–900 Гц.

Для зубцевих перешкод частота визначається за формулою:

$$f_{zn} = z \cdot n$$

Для пазових гармонік формула залежить від співвідношення кількості пазів ( $z$ ) до пар полюсів ( $p$ ) і має вигляд:

$$f_{zn} = \frac{z \cdot n}{60}$$

Для непарного співвідношення  $z/p$ :

$$f_{zn} = \frac{z \cdot n}{30}$$

Окрім систематичних гармонік, спостерігаються також випадкові імпульсні перешкоди, що виникають унаслідок процесів комутації в електричних апаратах. Тривалість таких імпульсів зазвичай не перевищує 10 мкс.

Ці перешкоди можуть значно впливати на точність роботи електронних систем та сигналізації, особливо в умовах високої інтенсивності електромагнітних завад.

### 3.3 Перетворення кодів АЛС у дискретну форму для аналізу

Сигнали, незалежно від їх фізичної природи, містять інформацію, яка може бути закодована в амплітуді, частоті, спектральному складі, фазі або часових співвідношеннях між сигналами [7]. Основна мета обробки сигналів полягає у виділенні цієї інформації для подальшого аналізу.

Обробка сигналів зазвичай включає два ключові етапи:

Первинна обробка – підготовка сигналу до аналізу, зокрема фільтрація шумів, підсилення та аналого-цифрове перетворення.

Вторинна обробка – інтерпретація результатів. Наприклад, для електрокардіограм первинна обробка охоплює фільтрацію та підсилення сигналу, тоді як вторинна включає аналіз інтервалів RR і побудову інтервалограм.

Фільтрація є невід'ємною складовою первинної обробки сигналів. Її мета – усунення небажаних шумів або виділення окремих компонентів сигналу. Важливим інструментом є спектральний аналіз, що дозволяє виявляти внутрішню структуру сигналу.

До середини ХХ століття фільтрація здійснювалася переважно аналоговими методами. Однак поява цифрової обробки сигналів (ЦОС) у другій половині століття, зокрема розробка алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), зробила революцію у методах аналізу. Завдяки високій точності цифрові методи почали широко застосовуватися в науці та техніці.

Цифрова обробка сигналів включає три основних етапи:

Перетворення аналогового сигналу  $x(t)$  у дискретну послідовність  $x(n)$ : це передбачає представлення кожного відліку у вигляді цифрового коду.

Обробка дискретної послідовності  $x(n)$ : використання алгоритмів для отримання нових даних  $y(n)$ .

Перетворення послідовності  $y(n)$  назад в аналоговий сигнал  $y(t)$ : процес реконструкції сигналу.

Перетворення аналогового сигналу в цифрову форму включає два етапи:

Дискретизація і утримання (sample-and-hold, S/H): сигнал утримується постійним протягом певного періоду, що дозволяє його перетворення. На цьому етапі незалежна змінна, наприклад час, переходить з безперервної форми у дискретну.

Аналого-цифрове перетворення (ADC): кожному відліку присвоюється цифровий код. Таким чином, залежна змінна теж стає дискретною.

Перетворення сигналу в цифрову форму може спричиняти два основних типи спотворень:

Спотворення через дискретизацію: зміни сигналу між відліками ігноруються, що може впливати на точність відображення.

Спотворення через квантування: кожен відлік сигналу може містити похибку до половини молодшого значущого розряду (LSB). Це еквівалентно додаванню шуму до сигналу.

Величина шуму квантування визначається розрядністю аналого-цифрового перетворювача: збільшення кількості розрядів зменшує похибку та підвищує точність.

Цифрова обробка сигналів має низку переваг перед аналоговими методами:

- висока точність і стабільність обчислень;
- можливість реалізації складних алгоритмів, таких як шпф;
- зниження впливу шумів і завад.

Ці переваги сприяли широкому застосуванню цифрових методів у системах автоматичної локомотивної сигналізації, що забезпечує їхню високу надійність і точність у складних експлуатаційних умовах.

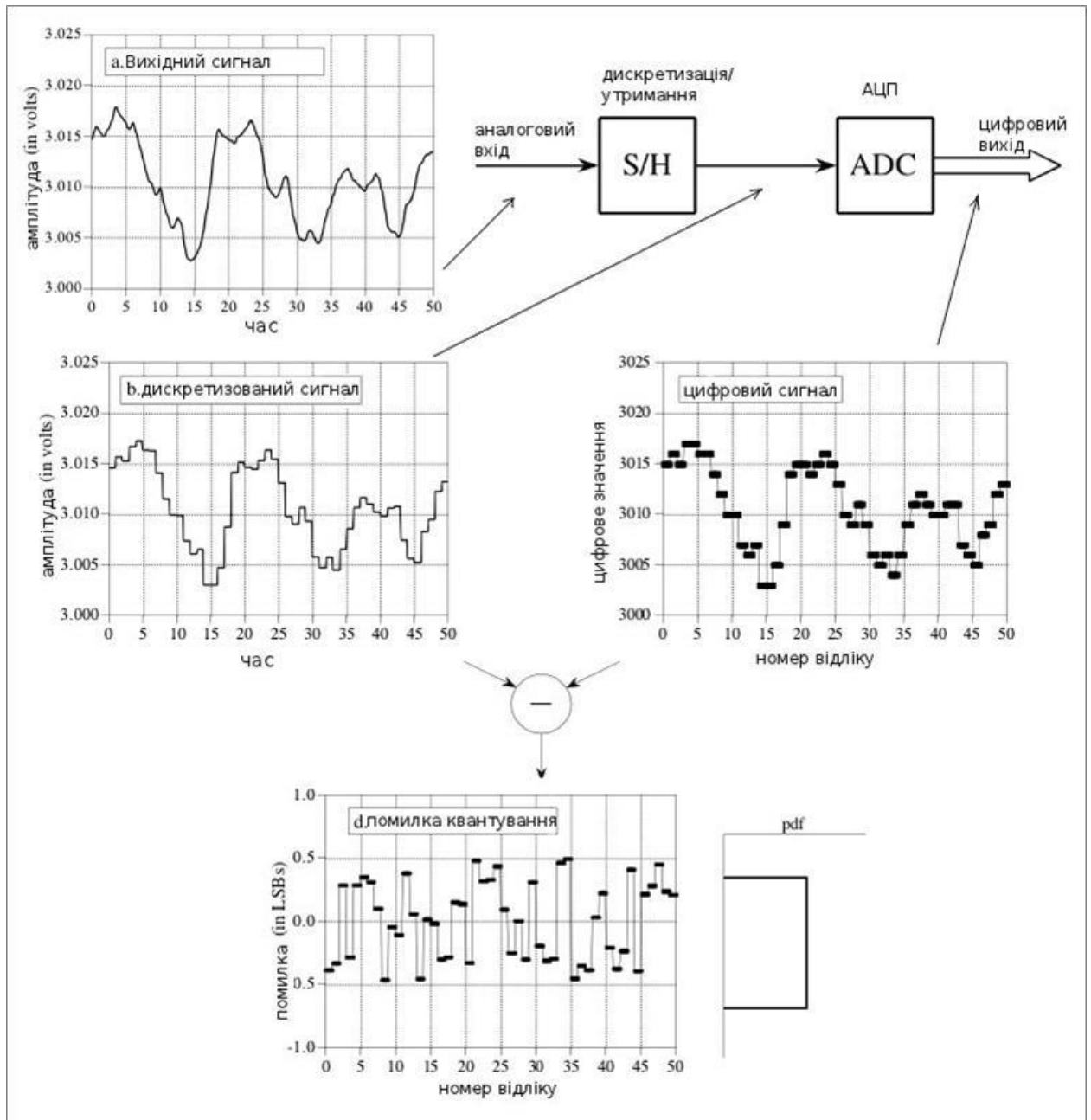


Рисунок 3.2 – Оцифрування сигналу

Для забезпечення коректного перетворення аналогового сигналу у цифровий без втрати інформації використовується теорема дискретизації, також відома як теорема Котельникова або критерій Найквіста. Згідно з цією теоремою, частота дискретизації повинна бути щонайменше вдвічі більшою за найвищу частоту у спектрі сигналу.

Недотримання цієї вимоги призводить до виникнення ефекту елайсингу (*aliasing*), що характеризується наступними спотвореннями:

- Частотне спотворення: високочастотні складові спектру відображаються як низькочастотні, створюючи хибну інформацію.
- Фазове спотворення: сигнал може отримувати фазовий зсув у  $180^\circ$ , що призводить до втрати початкових фазових співвідношень.

### **3.4 Схема пристрою для цифрової обробки сигналів складається**

Схема пристрою для цифрової обробки сигналів складається з кількох основних елементів:

#### **1. Антиелайсинговий фільтр:**

- Аналоговий низькочастотний фільтр (ФНЧ), що розташовується перед аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП).
- Здійснює видалення частот, що перевищують половину частоти дискретизації (частоту Найквіста), запобігаючи накладанню спектрів.

#### **2. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП):**

- Конвертує аналоговий сигнал у цифрову форму, забезпечуючи дискретизацію та квантування.

#### **3. Цифровий сигнал:**

- Після АЦП сигнал обробляється за допомогою алгоритмів, таких як фільтрація, спектральний аналіз або інші математичні операції.

#### **4. Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП):**

- Виконує зворотне перетворення цифрового сигналу в аналоговий.

#### **5. Відновлюючий фільтр:**

- Аналоговий ФНЧ, розташований після ЦАП.
- Усуває високочастотні компоненти, що виникають через **ефект утримання нульового порядку** під час цифрово-аналогового перетворення.

Правильний вибір частоти дискретизації залежить від наступних факторів:

- **Ширина спектру сигналу:** визначає мінімальну допустиму частоту дискретизації, яка має бути не менше ніж удвічі більшою за найвищу частоту спектра.
- **Тип сигналу:** широкосмугові сигнали потребують вищих частот дискретизації, тоді як вузькосмугові – нижчих.
- **Обмеження апаратури:** максимальна частота дискретизації визначається характеристиками АЦП і пов'язаного обладнання.

У системах цифрової обробки сигналів часто використовуються три основних типи аналогових фільтрів:

#### 1. Фільтри Чебишева:

- Забезпечують високу крутизну зрізу частот за межами смуги пропускання.
- Допускають невеликі коливання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) у межах смуги пропускання.

#### 2. Фільтри Баттерворта:

- Забезпечують максимально гладку АЧХ у смузі пропускання.
- Використовуються, коли важлива рівномірність передачі частот.

#### 3. Фільтри Бесселя:

- Орієнтовані на збереження фазових характеристик сигналу.
- Використовуються у системах, де критичною є мінімізація фазових спотворень, наприклад, у високоточних вимірювальних пристроях.

Найпоширенішою топологією для проектування аналогових низькочастотних фільтрів є модифікована архітектура Саллівана-Кея. Цей низькочастотний фільтр належить до другого порядку (має два полюси). Для підвищення порядку фільтра застосовується послідовне каскадне поєднання. Конструкція Саллівана-Кея забезпечує реалізацію одного з трьох типів фільтрів: Чебишева, Баттерворта або Бесселя (що визначається параметрами пасивних елементів). Для трансформації низькочастотного фільтра у

високочастотний у цій архітектурі достатньо замінити місцями резистивні та ємнісні елементи.

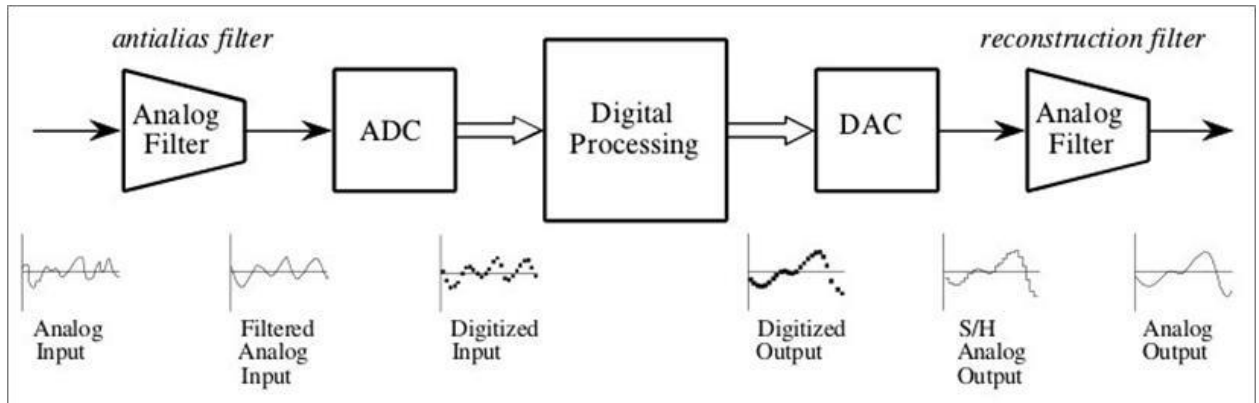


Рисунок 3.3 – Блок-схема дискретизації сигналу для подальшого аналізу

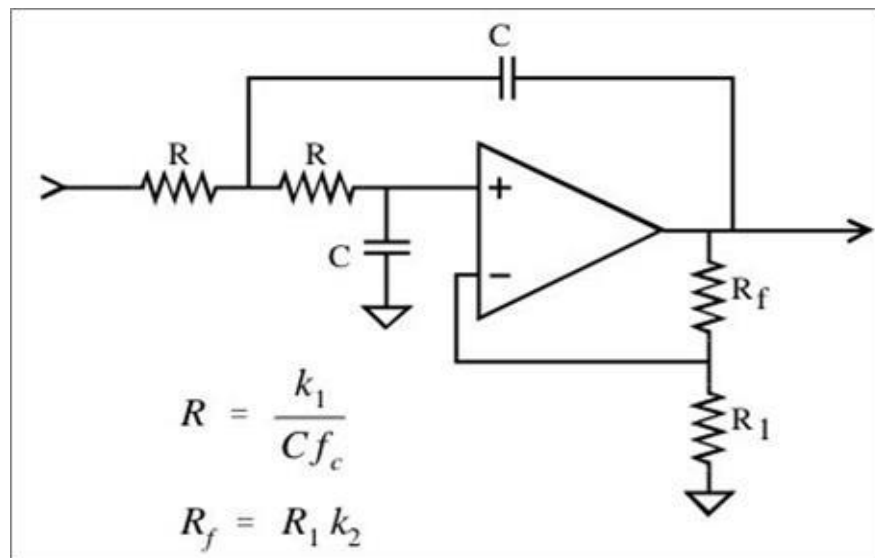


Рисунок 3.4 – Принципова схема пропонованого фільтра для локомотивного обладнання

Розглянемо ключові параметри зазначених трьох класичних типів фільтрів. Першим параметром є крутизна спаду амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) на частоті зрізу. Принцип дії низькочастотного фільтра полягає в пропусканні частот, що не перевищують частоту зрізу (у смузі пропускання, **bandpass**), і пригніченні частот, що перевищують цей поріг (у смузі придушення, **stopband**). Найбільш виражена ця характеристика у фільтрі Чебишева, дещо слабше – у фільтрі Баттерворта, і найменше – у фільтрі Бесселя.

Наступним вагомим показником є сталість коефіцієнта підсилення в межах смуги пропускання. У випадку фільтрів Бесселя та Баттерворта коефіцієнт підсилення залишається сталим, тоді як у фільтрі Чебишева спостерігаються пульсації (**passband ripple**).

Останнім параметром, що аналізується, є перехідна характеристика (**step response**), яка демонструє реакцію фільтра на різке змінення вхідного сигналу. Фільтри Чебишева та Баттерворта можуть демонструвати перерегулювання (**overshoot**) та коливання (**ringing**). Натомість фільтр Бесселя позбавлений цих недоліків [9].

На основі наведеного аналізу можна дійти наступного висновку: фільтр Чебишева оптимізований для забезпечення крутизни спаду АЧХ, фільтр Баттерворта – для досягнення максимальної лінійності у межах смуги пропускання, а фільтр Бесселя – для забезпечення стабільних перехідних характеристик.

Під час вибору антиелайсингового фільтра слід чітко розуміти, який тип інформації міститься в аналоговому сигналі. Інформація може бути представлена у двох основних формах – у часовій або частотній областях.

Характерним прикладом сигналу, що несе інформацію у частотній області, є аудіосигнал. Для таких сигналів важливим є збереження усіх частот, присутніх у спектрі. Геометрична форма цих сигналів не є визначальним фактором. У такій ситуації доцільно застосовувати антиелайсингові фільтри Чебишева або Баттерворта.

У випадку сигналів, які містять інформацію у часовій області, критично важливим є збереження форми сигналу. У таких випадках оптимальним вибором є фільтр Бесселя.

### **3.5 Розробка методу розпізнавання кодів АЛС на основі кореляційних функцій**

Очевидно, що принципи функціонування та підходи до побудови систем автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) були створені ще в середині

XX століття. Ці системи, спочатку реалізовані на елементній базі того часу, залишаються базовою складовою сучасних інформаційно-релейних та диспетчерських пристроїв (ПРДД) [3].

З огляду на необхідність удосконалення методів синтезу систем автоматичного регулювання руху поїздів із застосуванням сучасних мікропроцесорних технологій, пропонується впровадження кореляційного методу прийому та дешифрування кодів АЛС на основі спектрального аналізу.

Формула електрорушійної сили  $u_{\text{АЛС}}(t)$ , яка індукується в приймальних котушках локомотивних пристроїв АЛС, може бути подана як неперервна функція часу. Для цього на інтервалі часу  $[t_0, t_r]$  виконується умова:

$$\int_{t_0}^{t_r} |u_{\text{АЛС}}(t)|^2 dt < \infty. \quad (3.1)$$

У цьому випадку  $u_{\text{АЛС}}(t)$  можна представити у вигляді ряду:

$$u_{\text{АЛС}}(t) = c_0 k_0(t) + c_1 k_1(t) + \dots + c_n k_n(t) + \dots, \quad (3.2)$$

де  $c_0 k_0(t), c_1 k_1(t), \dots, c_n k_n(t)$  – спектральні компоненти ряду Фур'є, які визначаються за формулою:

$$c_n = \frac{\int_{t_0}^{t_r} \eta(t) k_n(t) dt}{\int_{t_0}^{t_r} k_n^2(t) dt} = \frac{1}{\|k_n\|^2} \int_{t_0}^{t_r} \eta(t) \phi_n(t) dt. \quad (3.3)$$

У роботі також наводиться формула для обчислення коефіцієнтів у комплексній формі:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \eta(t) e^{-in\Omega t} dt. \quad (3.4)$$

Формула (3.4) є спектром сигналу у дискретному представленні, оскільки містить сукупність комплексних коефіцієнтів  $c_n$ , що відповідають частотам  $0, \Omega, 2\Omega, 3\Omega$  тощо. Таким чином, функція  $u_{\text{АЛС}}(t)$  може бути розкладена в ряд Фур'є з коефіцієнтами, розрахованими за формулами (3.1)–(3.4).

Наприклад, дійсна частина спектра нормованого еталонного сигналу  $u_{\text{АЛС}}(t)$ , отриманого при прийомі коду КЖ з несучою частотою 50 Гц, обчислюється функцією швидкого перетворення Фур'є (FFT). Її графічне представлення наведено на рисунку 3.5.

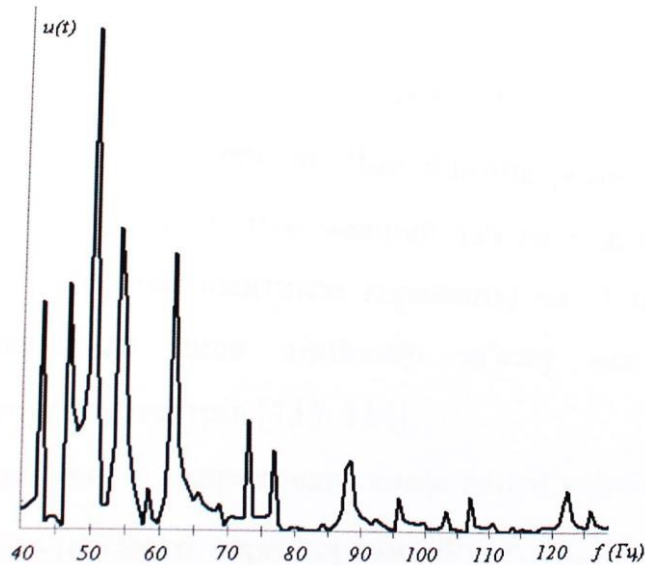


Рисунок 3.5 – Дійсна частина спектру  $u_{\text{АЛС}}(t)$  коду КЖ (КПТШ – 7)

Очевидно, що головна складова спектра сигналу  $u_{\text{АЛС}}(t)$  представлена частотою несучої, яка дорівнює 50 Гц. Інформаційна компонента, необхідна для ідентифікації та декодування коду АЛС, розташовується у бічних пелюстках спектра, які знаходяться на відстані кількох герц від основної гармонійної складової.

Принципова схема приймача, що реалізує зазначений алгоритм, представлена на відповідних слайдах. Сигнал  $u(t)$ , індукований у приймальних котушках, подається на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), після чого обробляється у модулі швидкого перетворення Фур'є (FFT). Дані, отримані в результаті спектрального перетворення, використовуються для обчислення коефіцієнтів кореляції Пірсона між функцією аналізованого сигналу та еталонними спектрами кодів  $u_{\text{КЖ}}^{\text{Д}}(f)$ ,  $u_{\text{Ж}}^{\text{Д}}(f)$ ,  $u_3^{\text{Д}}(f)$ ,  $u_{\text{КЖ}}^{\text{М}}(f)$ ,  $u_{\text{Ж}}^{\text{М}}(f)$ ,  $u_3^{\text{М}}(f)$ .

Формула для обчислення коефіцієнта кореляції має вигляд:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3.5)$$

де  $x_i$  та  $y_i$  – поточні значення коефіцієнтів рядів Фур'є  $s_i$  для аналізованих спектрів, а  $\bar{x}$  і  $\bar{y}$  – середні значення відповідних вибірок.

Розраховані коефіцієнти кореляції для дійсної та уявної частин спектра подаються у вигляді значень  $r_{кж}, r_{jкж}, r_{ж}, r_{jж}, r_3, r_{j3}$  у дискретні моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Частота тактового сигналу обчислювального пристрою визначає часові інтервали  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Враховуючи високі обчислювальні потужності сучасних сигнальних процесорів, приймається, що  $\Delta t \rightarrow 0$ . Таким чином, вихідні значення формують часові кореляційні функції. Робота приймальних і дешифруючих пристроїв АЛС описується наступним рівнянням:

$$F(u_{\text{АЛС}}(t)) = \{r_{кж}(t), r_{jкж}(t), r_{ж}(t), r_{jж}(t), r_3(t), r_{j3}(t)\}, \quad (3.7)$$

де функціонал  $F$  включає етапи спектрального перетворення та обчислення кореляційних коефіцієнтів, результатом яких є набір кореляційних функцій.

### Особливості математичної моделі

Аналіз роботи моделі свідчить про наступне:

- За відсутності вхідного сигналу ( $u_{\text{АЛС}}(t) = 0$ ) усі кореляційні функції приймають нульові значення.
- У разі подачі сигналу з частотою 50 Гц без кодування значення кореляційних функцій залишаються майже сталими та не змінюються з часом.

Таким чином, запропонована методика гарантує високу точність декодування кодів АЛС навіть за умов спотворення сигналу. Це забезпечується за рахунок використання спектрально-кореляційного аналізу, що дозволяє одночасно враховувати дійсну та уявну компоненти сигналу.

На основі проведених розрахунків для ідеалізованого сигналу з частотою 50 Гц (без присутності кодів) значення кореляційних функцій  $r_{кж}(t), r_{jкж}(t), r_{ж}(t), r_{jж}(t), r_3(t), r_{j3}(t)$  мають наступні величини:

$$r_{кж}(t) = 0,534479, \quad r_{jкж}(t) = 0,560459, \quad r_{ж}(t) = 0,608677, \\ r_{jж}(t) = 0,76421, \quad r_3(t) = 0,642244, \quad r_{j3}(t) = 0,757254.$$

Всі значення менші за 0.8, що свідчить про відсутність чіткої кореляції між спектральною функцією сигналу та еталонними спектрами кодів.

При подачі сигналів, що відповідають кодам АЛС, значення кореляційних функцій змінюються відповідно до залежності (3.8):

**Для сигналу  $u_{КЖ}(t)$ :**

$$F(u_{КЖ}(t)) = \begin{cases} r_{КЖ}(t) = 1, \\ rj_{КЖ}(t) = 1, \\ r_{Ж}(t) = 0,467519, \\ rj_{Ж}(t) = 0,613814, \\ r_3(t) = 0,709458, \\ rj_3(t) = 0,795028. \end{cases}$$

**Для сигналу  $u_{Ж}(t)$ :**

$$F(u_{Ж}(t)) = \begin{cases} r_{КЖ}(t) = 0,467519, \\ rj_{КЖ}(t) = 0,613814, \\ r_{Ж}(t) = 1, \\ rj_{Ж}(t) = 1, \\ r_3(t) = 0,757074, \\ rj_3(t) = 0,828838. \end{cases}$$

### Інтерпретація результатів

#### 1. Сигнал $u_{КЖ}(t)$ :

Кореляційні функції  $r_{КЖ}(t)$  і  $rj_{КЖ}(t)$  мають максимальні значення, що дорівнюють 1, що свідчить про повну відповідність між сигналом та еталонним спектром коду КЖ. Інші кореляційні значення є значно меншими, підтверджуючи відсутність взаємозв'язку сигналу з кодами Ж та З.

#### 2. Сигнал $u_{Ж}(t)$ :

У цьому випадку максимальні значення мають коефіцієнти  $r_{Ж}(t)$  та  $rj_{Ж}(t)$ , що також дорівнюють 1. Це вказує на високу ідентифікацію сигналу  $u_{Ж}(t)$  як коду Ж. Кореляційні функції для інших кодів залишаються суттєво нижчими, підтверджуючи їх некорельованість із сигналом.

Тобто здійснюється стабільне розшифрування отриманого еталонного коду відповідно до заданих критеріїв.

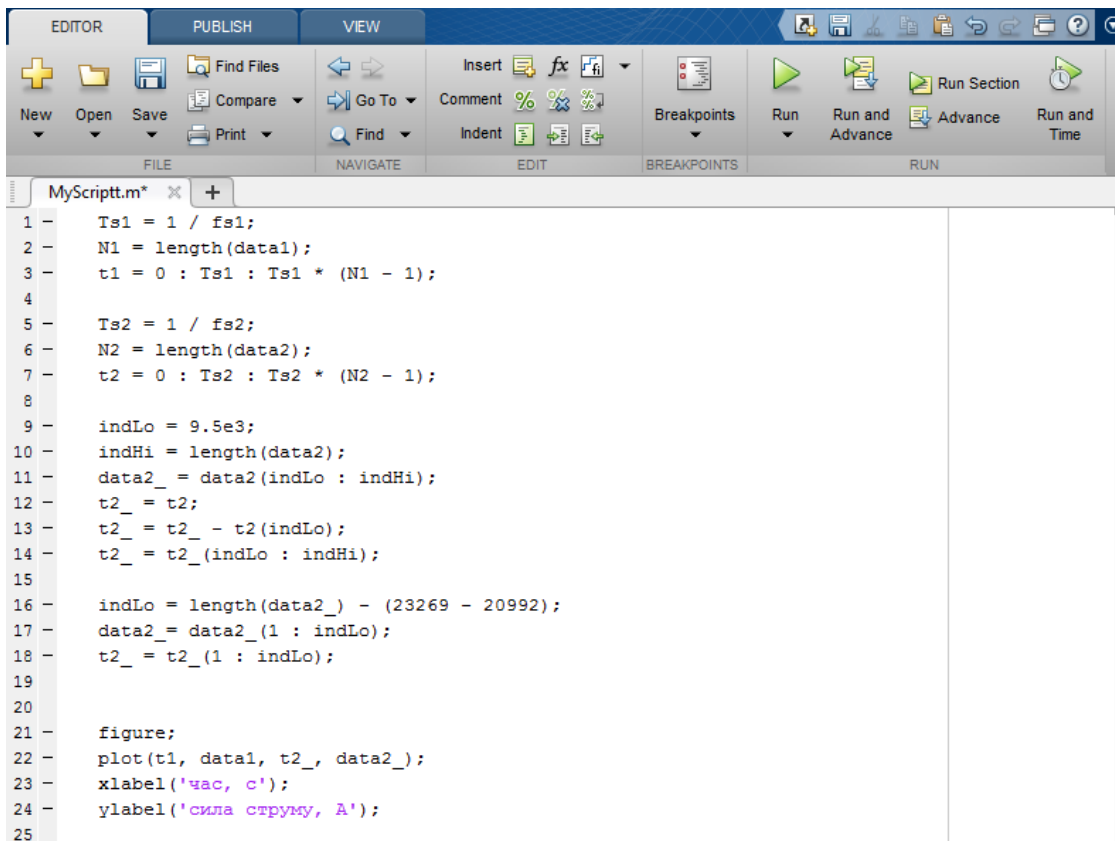
$$k_{KЖ} = (1 - |r_{KЖ}(t)|) + (1 - |r_{j_{KЖ}}(t)|) \rightarrow \min,$$

$$k_{Ж} = (1 - |r_{Ж}(t)|) + (1 - |r_{j_{Ж}}(t)|) \rightarrow \min,$$

$$k_3 = (1 - |r_3(t)|) + (1 - |r_{j_3}(t)|) \rightarrow \min.$$

Як різновид кореляційного аналізу здійснено програмне моделювання взаємкореляційної функції не за спектральним складом, а за часовою залежністю, тобто через порівняння отриманого сигналу з еталонним і визначення для них коефіцієнтів взаємозв'язку.

Під час обчислень застосовувався математичний інструмент програми MATLAB, код якої наведено на рисунку.



```

1 - Ts1 = 1 / fs1;
2 - N1 = length(data1);
3 - t1 = 0 : Ts1 : Ts1 * (N1 - 1);
4
5 - Ts2 = 1 / fs2;
6 - N2 = length(data2);
7 - t2 = 0 : Ts2 : Ts2 * (N2 - 1);
8
9 - indLo = 9.5e3;
10 - indHi = length(data2);
11 - data2_ = data2(indLo : indHi);
12 - t2_ = t2;
13 - t2_ = t2_ - t2(indLo);
14 - t2_ = t2_(indLo : indHi);
15
16 - indLo = length(data2_) - (23269 - 20992);
17 - data2_ = data2_(1 : indLo);
18 - t2_ = t2_(1 : indLo);
19
20
21 - figure;
22 - plot(t1, data1, t2_, data2_);
23 - xlabel('час, с');
24 - ylabel('сила струму, А');
25

```

Рисунок 3.6 – Код програми для розрахунку коефіцієнтів взаємкореляції

Окрім цього, необхідно забезпечити усунення шуму з лінії передачі. З цією метою в програму внесено певні зміни.

```

thresholdForRejection = 0.1;
indLessThenTreshold1 = find(data1_ < thresholdForRejection);
data1_(indLessThenTreshold1) = 0;
indLessThenTreshold2 = find(data2_ < thresholdForRejection);
data2_(indLessThenTreshold2) = 0;

```

Для підвищення швидкості обробки даних ми програмно збільшуємо інтервал дискретизації, однак для цього застосовуємо фільтр 30-го порядку.

```

data1Decimated = decimate(data1_, 100, 'fir');
data2Decimated = decimate(data2_, 100, 'fir');

```

Результати, отримані внаслідок обробки значного обсягу статистичних даних, дозволяють визначити граничні коефіцієнти взаємкореляції, що забезпечують можливість автоматизованого встановлення приналежності прийнятого сигналу до конкретної групи кодів АЛС.

### 3.6 Структурна схема та функціонування системи відеоспостереження

Система відеоспостереження складається з наступних ключових модулів:

Блоки на залізничному переїзді. На чотирьох опорах, розташованих симетрично з обох боків залізничної колії, встановлено високоточні відеокамери, які забезпечують відеозйомку в режимі реального часу. Ці камери підключені до обладнання, інтегрованого в релейну шафу, розташовану безпосередньо на переїзді. До складу цього обладнання входять:

- джерела живлення;
- цифровий відеореєстратор;
- модем для передачі даних;
- функціональний модуль ПК2202.

Обладнання центрального пункту (ЦП). На центральному пункті, призначеному для моніторингу та управління, розташовано такі елементи:

- модем для прийому даних;
- джерела живлення;
- комутатор для маршрутизації сигналів;

– персональний комп'ютер для аналізу й обробки інформації.

Відеодані, що генеруються камерами, спрямовуються на цифровий відеореєстратор, де вони записуються й передаються на модем. Модем, використовуючи канал зв'язку, відправляє ці дані в модуль ПК2202 у режимі реального часу. Далі інформація передається на центральний пункт управління, де вона відображається на екрані персонального комп'ютера, забезпечуючи оперативний доступ до стану переїзду.

Інтеграція цієї системи забезпечує низку значущих переваг:

Оперативність і точність. Миттєве відображення ситуації на моніторі чергового по станції дозволяє своєчасно реагувати на потенційні загрози чи порушення.

Ресурсна оптимізація. Комбіноване використання однієї лінії зв'язку для реалізації відеомоніторингу та виконання діагностичних процедур значно зменшує потребу в додаткових комунікаційних ресурсах.

Підвищення ефективності. Поєднання функцій спостереження й діагностики сприяє зменшенню витрат та підвищує загальну продуктивність системи.

Таким чином, впровадження подібної системи не лише підвищує безпеку залізничного транспорту, але й сприяє ефективному управлінню ресурсами.

### **3.7 Ідентифікація кодів АЛС методом допустимих коридорів**

Для виконання завдання фіксації відмов відповідно до визначених критеріїв оцінки необхідно ідентифікувати ділянки кривої споживання струму, де її значення перевищує встановлений допустимий рівень. Для цього застосовується метод допустимих коридорів, параметри яких задаються програмно. У процесі аналізу формуються межі припустимих значень як над кривою, так і під нею. Наведемо приклад реалізації цього методу для коду 3.

Метод допустимих коридорів передбачає побудову верхньої та нижньої меж, які разом утворюють коридор для умовно еталонної кривої. У разі, якщо досліджувана крива виходить за межі цього коридору, реєструється наявність

несправності (без уточнення її типу). Перевищення верхньої межі може вказувати на ранню стадію розвитку відмови, тобто пристрої кодування ще працюють коректно, але початкові ознаки відхилень вже спостерігаються.

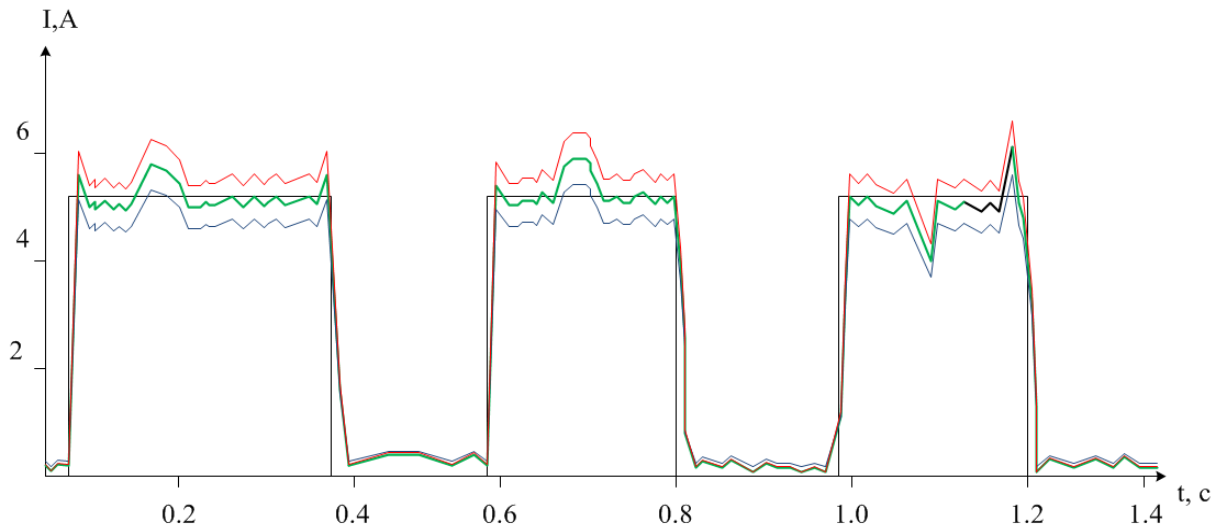


Рисунок 3.7 – Графік кодів із коридорами 10 %

Розширення кількості коридорів у програмній моделі дозволяє підвищити точність моніторингу динаміки несправностей. Це сприяє виявленню проблем на ранніх етапах, забезпечуючи можливість їх усунення до виникнення повної відмови.

Для оцінки форми кривої на окремих ділянках застосовується метод інтегралів. Під цим методом розуміється обчислення площі під кривою в тих зонах, де вона виходить за межі коридору припустимих значень. Алгоритм передбачає визначення різниці між значеннями інтегралів, межі яких задаються точками перетину досліджуваної кривої з коридором допустимих значень. Розрахунок обмежується функціями, що описують коридор, та досліджуваною кривою.

$$S = \int_a^b f_{\text{реал.}}(x) dx - \int_a^b f_{\text{нор.}}(x) dx$$

$a$  та  $b$  – це початкові та кінцеві межі визначених інтегралів. Вони можуть набувати таких значень:

- точка перетину аналізованої кривої з межами коридору (верхньою чи нижньою);
- межі сегментів кускових функцій (які обчислюються на основі отриманих точок даних);
- межі ділянок, на які умовно поділено еталонну криву.

$\Phi_{\text{реал}}$  – значення кускової функції реальної (тобто аналізованої) кривої, що відповідає межам, визначеним у поточний момент часу  $a$  та  $b$ .

$\Phi_{\text{кор}}$  – значення кускової функції для коридору (спершу розраховується для верхньої межі коридору, а потім для нижньої), яке також відповідає межам, визначеним на даний момент часу  $a$  та  $b$ .

Якщо обчислена площа потрапляє у суб'єктивно визначений допустимий діапазон, то приймається рішення про належність (або неналежність) аналізованої кривої до певного типу несправності.

### **3.8 Принцип функціонування розробленої системи ідентифікації кодів**

У даній роботі запропоновано створення інноваційної підсистеми контролю та вимірювання, яка здійснює автоматизовану перевірку параметрів кодів автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) у реальному часі. Ця підсистема дозволяє ідентифікувати та попереджувати несправності шляхом порівняння еталонного сигналу із сигналом, що надходить через рейкове коло до локомотива. Зазначена підсистема може інтегруватися як автономний модуль у складі системи моніторингу та діагностики пристроїв автоматики на станціях і перегонах. Основні функції цієї системи включають [11]:

- аналіз параметрів кодової комбінації, що подається в рейкову мережу;
- автоматизовану реєстрацію технічних несправностей;
- передачу інформації про можливі збої черговому оператору станції або змінному інженеру дистанції;
- оперативне інформування машиніста про потенційні проблеми в роботі системи АЛСН.

Особливий акцент зроблено на виборі методу автоматичного порівняння еталонних сигналів АЛСН із фактичними, які отримує локомотив.

### **Використання взаємкореляційної функції**

При застосуванні взаємкореляційної функції (ВКФ) для порівняння еталонного та реального сигналів виникають певні технічні виклики. Основними з них є коректне визначення порогового значення, моменту спрацьовування та адекватної форми сигналу для аналізу.

На основі проведених досліджень ухвалено рішення виконувати порівняння сигналів за допомогою їх форми, використовуючи огинаючу криву. Такий підхід зберігає оригінальну структуру сигналу, мінімізуючи вплив перешкод.

### **Практична реалізація у MATLAB**

Для реалізації запропонованих методів використано програмну платформу MATLAB, яка є інтегрованим середовищем із широкими можливостями обчислень. MATLAB забезпечує зручний інструментарій для дослідження різноманітних підходів і отримання результатів швидше, ніж при використанні електронних таблиць або класичних мов програмування (C/C++, Java). Основні сфери застосування MATLAB включають:

- моделювання динамічних систем і проектування систем управління;
- розробку телекомунікаційних систем;
- обробку сигналів і зображень;
- тестування сигналів і вимірювання;
- фінансове моделювання та обчислювальну біологію.

MATLAB має потужні вбудовані функції, зокрема бібліотеки лінійної алгебри (LAPACK, BLAS), алгоритми швидкого перетворення Фур'є (FFTW), розв'язання диференціальних рівнянь, що забезпечує високу точність і ефективність.

### **Формування еталонних кодів**

За допомогою MATLAB були створені ідеальні кодові посилки, що стали еталонними сигналами (рис. 3.8). Наприклад, для формування коду Ж у рамках

кодувального пристрою типу КПТШ-715 задавались такі початкові параметри: тривалість сигналу, частотні характеристики, мінімальна амплітуда, часові межі імпульсів та пауз.

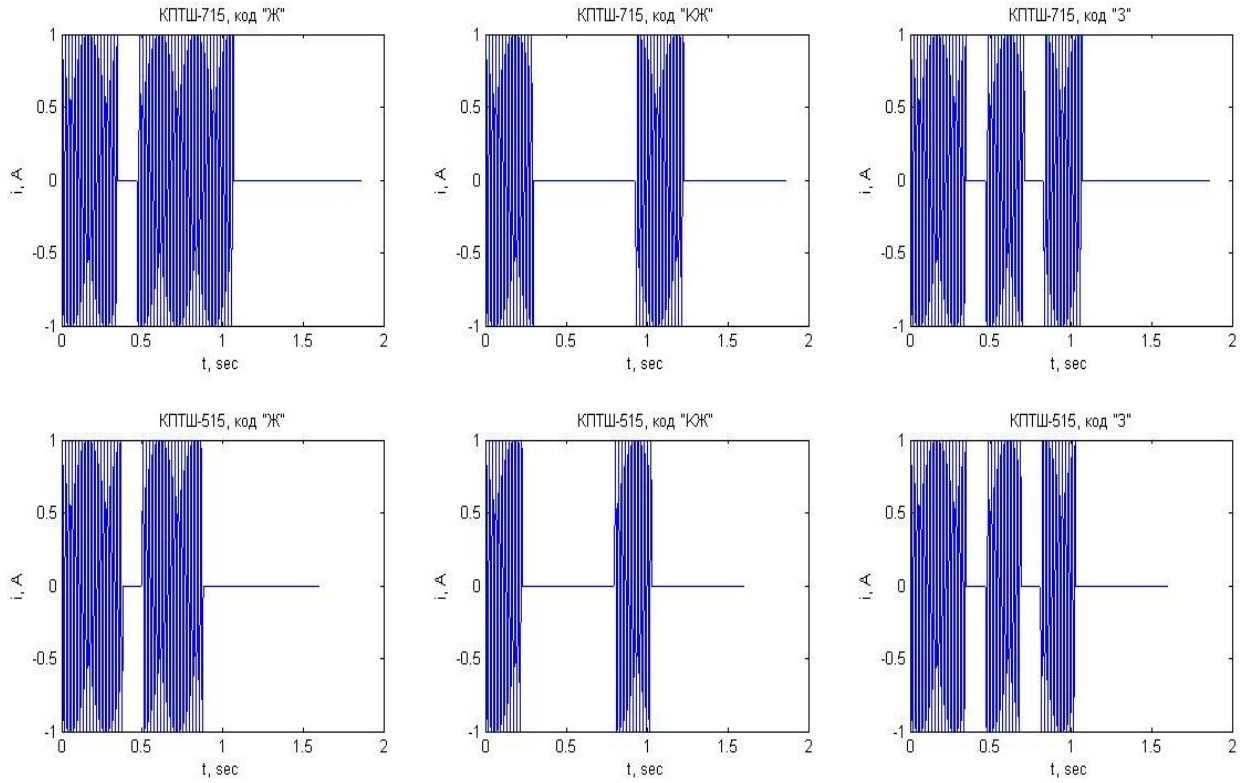


Рисунок 3.8 – Еталонні коди для різних типів КПТШ

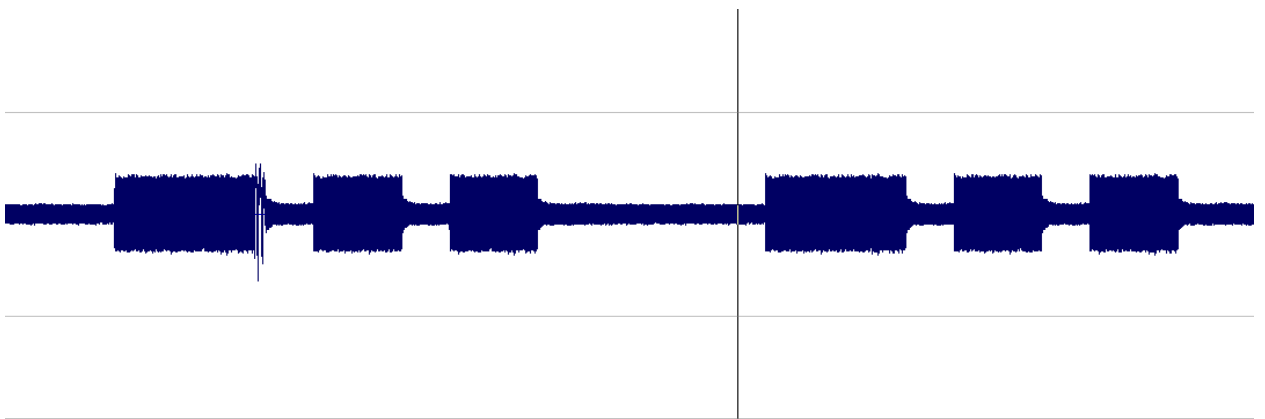


Рисунок 3.9 – Фрагмент реального коду З

```

3 -   tLo = 0;
4 -   tHi_515 = 1.6;
5 -   tHi_715 = 1.86;
6
7 -   Fs = 100e3;
8 -   Ts = 1 / Fs;
9
10 -  t_515 = tLo : Ts : tHi_515;
11 -  t_715 = tLo : Ts : tHi_715;
12
13   %%построение синусоиды
14 -  I0 = 2;
15 -  f0 = 50;
16 -  phi0 = 0;
17 -  i0_515 = I0 * sin( 2 * pi * f0 * t_515 + phi0 );
18 -  i0_715 = I0 * sin( 2 * pi * f0 * t_715 + phi0 );
19
20   %%временные интервалы_715G
21 -  t1_715G = 0.35;
22 -  t2_715G = t1_715G + 0.12;
23 -  t3_715G = t2_715G + 0.6;

```

Рисунок 3.10 – Програма створення еталонних кодів АЛС

Сигнали АЛС передаються в умовах, характерних для даної системи. Ключові особливості передачі включають:

1. **Джерело сигналу:** кожен рейковий ланцюг отримує сигнал лише від власного передавача, а рівень сигналу зростає зі збільшенням відстані до локомотива.
2. **Перехід між ланцюгами:** під час зміни рейкового ланцюга локомотивом виникають короточасні перебої в прийомі сигналів, що супроводжуються зниженням струму в рейках.
3. **Сумісність із іншими системами:** рейкові ланцюги використовуються не лише для передачі сигналів АЛС, але й для автоблокування та пропускання тягового струму на електрифікованих залізницях.

Через ці особливості існує ризик впливу зовнішніх перешкод, що можуть ускладнювати прийом сигналів.

Запропоновані підходи дозволяють ефективно ідентифікувати несправності, підвищуючи надійність роботи системи АЛСН і загальний рівень безпеки залізничного транспорту.

### **3.9 Розроблена система вимірювання та аналізу кодів АЛСН**

Для мінімізації ризику збоїв у локомотивній частині системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) насамперед необхідно забезпечити покращення якості сигналу, що передається на локомотив.

У рамках даного дослідження розроблено підсистему моніторингу та вимірювання, яка здійснює автоматизований контроль параметрів кодів АЛСН у реальному часі. Основне завдання цієї підсистеми полягає у своєчасному виявленні несправностей і запобіганні їх негативним наслідкам шляхом порівняння еталонного сигналу з фактичним, що передається через рейкове коло на локомотив. Інтеграція цієї підсистеми до загальної системи контролю та діагностики автоматичних пристроїв на станціях і перегонах сприятиме підвищенню надійності та безпеки роботи залізничного транспорту.

Основні функції запропонованої системи включають:

- вимірювання параметрів кодових комбінацій, що передаються до рейкової мережі;
- автоматичне виявлення і реєстрацію несправностей;
- передачу інформації про потенційні відмови черговому оператору станції або інженеру дистанції;
- інформування машиніста про можливі збої у функціонуванні системи АЛСН.

Для автоматизованого порівняння еталонних кодів із фактичними сигналами розглянуто кілька методів: метод допустимих значень, метод інтегралів (площ), а також метод кореляційного аналізу.

Вимірювання тривалості кодових комбінацій здійснюється за допомогою таймерів. Під час реєстрації сигналу автоматично визначаються тривалість імпульсу та інтервал між ними. У разі відповідності цих параметрів

встановленим нормативам сигнал передається через гальванічну розв'язку до мультиплексора.

Мультиплексор, що має кілька входів і один вихід, спрямовує вибраний сигнал на подальшу обробку. Введення аналого-цифрового перетворювача (АЦП) дозволяє вимірювати як часові, так і амплітудні характеристики сигналу.

АЦП виявляє перевищення струму над встановленими межами, передаючи результати на мікроконтролер. Мікроконтролер виконує попередню обробку даних і передає їх на центральний комп'ютер. Результати обробки відображаються на панелі індикації та за потреби можуть бути роздруковані.

Отримані дані передаються через зв'язкові канали до диспетчера або інженера дистанції, зберігаючись для подальшого аналізу. Така архітектура суттєво знижує час на виявлення несправностей і забезпечує оперативність у контролі роботи систем.

Локомотивна частина системи, хоч і базується на існуючій конструкції, отримала низку вдосконалень. Сигнал, що надходить із приймальних індукційних котушок, проходить через фільтр і підсилювач для формування сигналу, наближеного до еталонного за формою.

Для цифровізації сигналу використовується АЦП, який перетворює аналоговий сигнал у цифровий формат і передає його у пам'ять контролера. Дані цифрових сигналів фіксуються з певною частотою дискретизації, утворюючи цифрові осцилограми.

Тривалість кожної сесії вимірювання встановлюється автоматично або вручну залежно від налаштувань програми. Масиви цифрових кодів аналізуються для визначення амплітудних, часових і частотних характеристик сигналу.

Для аналізу застосовуються стандартні алгоритми цифрової фільтрації, а також адаптовані методики, які враховують специфіку сигналів АЛСН. Гнучкість цифрової обробки дозволяє впроваджувати нові алгоритми без необхідності модифікації апаратної частини.

Запропоноване паралельне використання методу інтегралів і взаємкореляційного аналізу забезпечує підвищену точність ідентифікації кодів, дозволяючи мінімізувати вплив зовнішніх перешкод. Це значно покращує стабільність роботи всієї системи АЛСН і сприяє підвищенню безпеки руху поїздів.

Запропоновані підходи та архітектурні рішення є основою для подальшої модернізації систем автоматичної сигналізації та управління на залізничному транспорті.

### **3.9 Висновки до третього розділу**

У даному розділі було розроблено три методи порівняння кодів АЛСН із еталонними:

1. Кореляційний аналіз за спектральною складовою сигналу, що дозволяє оцінювати відповідність частотних характеристик аналізованого сигналу еталонному.
2. Визначення взаємкореляційних коефіцієнтів за часовою залежністю, яке забезпечує виявлення відмінностей у часовій структурі сигналу.
3. Метод інтегралів або площин, який дозволяє виявляти відхилення аналізованої кривої від еталонної шляхом обчислення площі між ними.

Запропоновано використання фільтра Бесселя для забезпечення стабільної фільтрації сигналів із мінімальними фазовими спотвореннями.

У середовищі MATLAB було розроблено програмне забезпечення для генерації еталонних кодів, яке дозволяє створювати зразкові криві для подальшого порівняння.

Розроблено структурну схему для реалізації зазначених методів порівняння на локомотиві, а також структурну й принципову схему для порівняння кодів на етапі їх формування на станції. Це дозволяє ефективно виконувати контроль і кодування станційних блок-ділянок та перегонів, обладнаних тональними рейковими колами.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаної дослідницької кваліфікаційної роботи реалізовані наступні задачі:

1. Виконано аналіз функціонування систем автоматичної локомотивної сигналізації з метою виявлення шляхів покращення якості прийому кодів на локомотиві. В результаті аналізу прийняте рішення про необхідність розробки системи покращення якості ідентифікації кодів під час прийому на локомотиві, так як інші варіанти потребують дуже великих фінансових затрат на їх реалізацію.

2. Розроблено методи ідентифікації кодів АЛС на локомотиві для підвищення якості роботи системи. Реалізовано метод ідентифікації по спектру сигналу за рахунок взаємо кореляційних функцій, розроблено програмне забезпечення для реалізації методу ідентифікації по часових залежностях з використанням коефіцієнтів кореляції та реалізовано метод інтегралів для аналізу по формі сигналу.

3. Розроблено структурну схему та алгоритм роботи системи ідентифікації кодів на локомотиві. Також створено функціональну та принципову схему для визначення якості кодування для встановлення на станції. З її допомогою є можливість визначати часові та амплітудні параметри кодів які використовуються в станційних системах та на перегонах з тональними рейковими колами.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. СТП 13-005:2020. Пристрої сигналізації централізації та блокування. Порядок технічного обслуговування. Стандарт акціонерного товариства «Укрзалізниця». Прийнято та надано чинності рішенням правління АТ «Укрзалізниця» від 18.06.2020 (протокол № Ц-45/52 Ком.т.).
2. Інструкція по технічному обслуговуванню і експлуатації системи безпеки КЛУБ-У. Є. Даниленко, Л. Шебеліст, С. Ярошенко. Полтавське проектно-конструкторсько-технологічне бюро по ремонту локомотивів (ПКТБрл). Затверджена наказом від 29.11.2012р № 424-Ц.
3. Європейське залізничне законодавство. Том 1., . Том 2., К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006.
4. Інструкція про порядок користування автоматичною локомотивною сиг-налізацією магістральних локомотивів типу АЛС-МУ. В.Голубничий, Л. Шебеліст, В. Моїсеєв, О.Катюха. Полтавське проектно-конструкторсько-технологічне бюро по ремонту локомотивів (ПКТБрл). Затверджена нака-зом від 13.11.2007р. № 535-Ц.
5. Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996р. №411 зі змінами та доповненнями, Київ, 2003р., 133 с.
6. Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) на залізницях України ЦШЕОТ-0018, затверджена наказом Міністра транспорту України № 492 від 12 жовтня 1999 р.
7. Бабаєв М. М., Ананьева О. М., Давиденко М. Г., Сотник В. О. Математична модель каналу передачі сигналів числових кодів АЛСН Зб. наук. праць. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 134. 187-199 с.
8. Бойник А. Б, Кошевой С. В., Панченко С. В, Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах: Учебное пособие Харьков: УкрГАЖТ, 2005. 256с.

9. Кулик П.Д., Ивакин В.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П.Д. Кулик, В.С. Ивакин, А.А. Удовиков // Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. 288с.

10. Норми технологічного проектування пристроїв автоматики і телемеханіки на залізничному транспорті України. – К.: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2003.

11. ЦД-0058 Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України, затверджена наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.08.2005 № 507