

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **БОРТОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-КЕРОВАНА СИСТЕМА  
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ахмед Ельсаїд

(прізвище та ініціали)

Керівник Косенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Освітній рівень Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри  
автоматики, електроніки та  
телекомунікацій

\_\_\_\_\_ д.т.н., доцент О.В. Шефер  
“ 01 ” вересня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ахмед Ельсаїд

1. Тема проекту (роботи) **«БОРТОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-КЕРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА»**

керівник проекту (роботи) КОСЕНКО Віктор Васильович, д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від “25” серпня 2021 року № 688-фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Сила тяги тривалого режиму – 400 кН. Максимальна швидкість руху електровоза 60 км/год. Максимальна сумарна потужність – 6000 кВт. Максимальний час зміни сумарної динамічної і статичної сил – 0,01 с. Точність визначення координат – 2,5. Мобільний навігаційний термінал (GSM-GPS) GGMT-120

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз основних технічних характеристик складових частин комплексу бортової інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза. Аналіз способів отримання інформації про параметри руху електровоза і вибір типу вимірювача параметрів руху. Вибір критерію оцінки точності вимірювання руху електровоза з урахуванням необхідності вимірювання прискорення. Спосіб корекції місцеположення електровоза, заснований на розпізнаванні місць асиметрії. Синтез пристрою визначення напрямку руху з блокуванням «помилкового руху». Інженерні розрахунки з техніки безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):  
Принципова схема інтелектуального керування з поєднанням операцій вимірювання і обчислення. Принципова схема інтелектуального керування з функцією блокування «помилкового руху». Схема включення ЖК тригера в структуру інтелектуально-керованої системи керування електровоза. Епюри роботи ЖК тригера при русі електровоза. Схема отримання локальної асиметрії струму. Схема блокування помилкового руху при зупинці електровоза.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економіка	Григор'єва О.В., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 01.09.21 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз основних технічних характеристик складових частин комплексу бортової інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза.	01.09.21	5%
2.	Аналіз способів отримання інформації про параметри руху електровоза і вибір типу вимірювача параметрів руху.	15.09.21	10%
4.	Вибір критерію оцінки точності вимірювання руху електровоза з урахуванням необхідності вимірювання прискорення.	27.10.21	30%
5.	Спосіб корекції місцеположення електровоза, заснований на розпізнаванні місць асиметрії.	05.11.21	40%
6.	Синтез пристрою визначення напрямку руху з блокуванням «помилкового руху».	17.11.21	50%
7.	Обґрунтування вимог до пристрою визначення напрямку руху.	24.11.21	60%
8.	Інженерні розрахунки з техніки безпеки.	01.12.21	80%
9.	Розрахунок техніко-економічної ефективності розробки.	08.12.21	90%
10.	Підготовка графічних матеріалів. Оформлення магістерської роботи.	15.12.21	100%

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Ахмед Ельсаїд \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)Косенко В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
<b>1. АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БОРТОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА.....</b>	<b>7</b>
1.1 Вимоги до бортової інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза.....	7
1.2 Запровадження інтелектуально-керованої системи автоматичного керування.....	7
1.3 Основні технічні характеристики складових частин комплексу .....	8
1.4 Основні технічні характеристики GSM-GPS мобільного навігаційного терміналу GGMT-120 .....	11
1.5 Складові частини комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування, що розробляється .....	12
1.6 Особливості побудови терміналу машиніста.....	14
1.7 Розташування та особливості монтажу обладнання.....	15
<b>2 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕЛЕКТРОВОЗА.....</b>	<b>17</b>
2.1 Постановка завдання дослідження.....	17
2.2 Аналіз способів отримання інформації про параметри руху електровоза і вибір типу вимірювача параметрів руху.....	18
2.3 Моделювання параметрів контакту коліс та рейок на основі двомасової системи .....	22
2.4 Основні характеристики вимірювача параметрів руху.....	24
2.5 Експлуатаційно-технічні вимоги до осьового датчика.....	28
2.6 Вибір критерію оцінки точності вимірювача параметрів руху з урахуванням необхідності вимірювання прискорення руху рухомого складу.....	29
2.7 Визначення похибки вимірювання параметрів руху електровоза.....	31
<b>3 СПОСОБИ КОРЕКЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА.....</b>	<b>33</b>

3.1 Спосіб контролю місцеположення рейкового електротранспорту.....	33
3.2 Спосіб корекції місцезнаходження електровоза, заснований на розпізнаванні місць (уявної) асиметрії.....	39
3.3 Спосіб корекції місцезнаходження електровоза за стиками рейкових сіток.....	40
3.4 Синтез індуктивно-провідного датчика з безперервною синхронізацією за сигналами лічильника імпульсів і суміщеною організацією робочого циклу.....	49
3.5 Аналіз похибок вимірювання швидкості індуктивно-провідним датчиком з синхронізацією і поєднанням операцій вимірювання і обчислення в області малих швидкостей руху і контроль несанкціонованого руху.....	55
3.6 Обґрунтування вимог до пристрою визначення напрямку руху.....	56
3.7 Синтез пристрою визначення напрямку руху з блокуванням «помилкового руху».....	59
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ БОРТОВОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОВОЗА.....</b>	<b>73</b>
4.1 Економічне обґрунтування системи інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза .....	73
4.2 Визначення витрат на модернізацію електровоза бортовим інтелектуальним комплексом електровоза.....	74
4.3 Експлуатаційні витрати на обслуговування бортового інтелектуального комплексу електровоза.....	77
4.4 Економічний ефект застосування інтелектуально-керованої системи автоматичного керування.....	80
4.5. Висновки.....	82
<b>ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....</b>	<b>83</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>85</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>86</b>

## Вступ

Сучасний стан тягового рухомого складу залізниць України потребує вирішення комплексу наукових та практичних задач його відновлення, утримання та ремонту.

Програма стратегічного розвитку залізниці передбачає впровадження інновацій, націлених на підвищення ефективності перевезень, зростання рентабельності й досягнення лідируючих позицій на транспортному ринку.

Для досягнення даного цільового стану потрібно істотно підвищити ефективність перевізного процесу й забезпечення безпеки руху електровозів за рахунок реінжинірингу й синтезу нового покоління систем керування, у яких був би реалізований перехід від автоматизації окремих рутинних функцій до автоматизації функцій інтелектуальних: аналізу ситуації, вибору оптимального рішення, розрахункам з використанням динамічних моделей складних систем.

Цей підхід вимагає і якісно нового удосконалювання інформаційного забезпечення процесів керування й забезпечення безпеки на залізницях, використання найсучасніших технологій контролю місця розташування й параметрів руху рухомого складу на мережі залізниць.

На сьогоднішній день визначення дислокації й стани рухомих об'єктів залізничного транспорту здійснюється за допомогою існуючих систем диспетчерського контролю й збору інформації ручними способами. Фактично стан реального об'єкта, у тому числі й ефективність його роботи, не контролюється автоматичними засобами й має низьку ймовірність. У ймовірності одержуваної інформації є великий вплив і «людського фактора».

Одним зі способів, що заслуговують на увагу, рішення поставленого завдання є розвиток і впровадження сучасних супутникових навігаційних технологій (визначення дислокації й керування рухом рухомого складу з використанням координатно-часової інформації), заснованих на використанні систем рухомого цифрового зв'язку, геоінформаційних технологій і глобальних навігаційних супутникових систем GPS і систем цифрового зв'язку [1, 2].

Розроблений бортовий інтелектуальний комплекс електровоза ґрунтується на використанні супутникових бортових навігаційно-зв'язаних термінальних комплексах GPS, що встановлюються на електровозах і інтегрованих у мережу передачі даних за допомогою системи рухомого цифрового зв'язку. Одержувана інформація про місце розташування й параметри руху об'єктів потім обробляється програмними засобами й пов'язується до графа просторового опису залізниць.

Як система зв'язку використовується найбільш доступна відкрита система стандарту GSM/GPRS, оператори якої на виділених ділянках залізниць гарантують можливість підключення й доставки повідомлень.

У структурі дорожніх диспетчерських центрів і центрів керування перевезеннями формуються спеціальні апаратно-програмні комплекси збору й обробки супутникових даних, телеметричні сервера яких забезпечують приймання, обробку, зберігання й надання на системи зв'язку користувачів координатно-часової й телеметричної інформації, що надходить із електровозів.

Запропоновані до установки на електровозах бортові інтелектуальні навігаційно-зв'язкові термінальні комплекси GPS мають високий рівень захищеності від механічних і кліматичних впливів, у тому числі від падіння контактного дроту, грозових розрядів і т.д., адаптовані до вимог установки на рухомому складі залізниці й задовольняють відповідним нормам безпеки [1-3].

# **1. АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БОРТОВОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО-КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА**

## **1.1 Вимоги до бортової інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза**

Бортова інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза, що проектується, повинна задовольняти таким технічним та технологічним вимогам [1-4]:

- визначення дислокації електровоза за інформацією глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS);
- автоматичного формування та передачі повідомлень про проходження електровозом контрольних точок, діагностичних та технологічних параметрів в автоматичній системі управління перевезень;
- інформаційної підтримки електровозної бригади для вирішення задач ведення електровоза за схемою енергооптимального режиму, підвищення безпеки руху;
- підвищення оперативності дії бригади при нештатних ситуаціях;
- автоматизованого отримання й обробки трекової та об'єктової інформації для формування електронних схем залізничних колій.

## **1.2 Запровадження інтелектуально-керованої системи автоматичного керування**

Запровадження інтелектуально-керованої системи автоматичного керування забезпечує:

- скорочення витрат ручної праці оператора за рахунок автоматизації процесів введення даних для передачі повідомлень в автоматичній системі управління;

- отримання в електронному вигляді поточної обстановки та даних про стан електровоза для різноманітних користувачів;
- комплексне вирішення задач автоматизації процесу ведення електровоза методом вибору енергооптимальних режимів керування, підвищення безпеки руху;
- надання електровозній бригаді інформації про стан технічних параметрів обладнання електровоза.

### 1.3 Основні технічні характеристики складових частин комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування

Основні технічні характеристики обчислювача електровозів [1, 5] MBL-1 наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики обчислювача електровозів MBL-1

Параметр	Значення
<b>Характеристики платформи</b>	
Процесор	Intel Pentium Mobile, 1,6 ГГц
ОЗГ	SDRAM 1 ГБ
Жорсткий диск	Compact –Flash 8 ГБ
<b>Електричні інтерфейси</b>	
USB × 4	USB 2,0, повношвидкісний
UART (COM)×1	RS-232, максимальна швидкість 115200 Бод
ЛВС (Ethernet)	10/100 Base-T
Відео	LVDS, роздільна здатність 800 × 600 точок

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Значення
<b>Електроживлення</b>	
Напруга живлення постійного струму, В	Від 10 до 36
Споживаний струм разом з терміналом ТМ-1 при напрузі живлення 24 В, А, не більше	2
<b>Вхідні рознімачі</b>	
Захист від неправильного приєднання кабелів	є
Тип рознімачів	DIN M12
<b>Стійкість до вібрації</b>	
Стійкість до вібрації при частоті від 5 до 200 Гц, $g^2/Гц$	0,01
Стійкість до одиничних ударів при переміщенні 3мм × 3мм × 3мм за 30 мс, g	5
<b>Умови експлуатації й зберігання</b>	
Температура, °С: - при відносній вологості повітря до 30 % - при відносній вологості повітря 93 %	Від мінус 40 до плюс 65 Від плюс 25 до плюс 55
Температура зберігання при відносній вологості повітря до 30 %, °С	Від мінус 40 до плюс 70
<b>Завадостійкість виробу</b>	
Для розрядів статичної електрики - крізь повітря - контактний	До 8 До 6
Для наносекундних імпульсних завад по і мікросекундних імпульсних завад, кВ	2

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Значення
Для напруження електромагнітних полів високої частоти в діапазоні від 80 до 2000 МГц, В/м.	20
Для завод за колом живлення, наведених радіочастотними полями в діапазоні від 15 до 80000 кГц, В	15
Рівень індустриальних радіозавод, утворених виробом при роботі згідно з ГОСТ 29216-91	критерій А
<b>Конструктивне виконання</b>	
Габаритні розміри Lмм × Вмм × Нмм, не більше	268 × 196 × 56
Маса, кг, не більше	2
Захист корпусу, не гірше	IP67
Встановлення	Кріплення на панель
<b>Вимоги до надійності</b>	
Напрацювання на відмову при пробігу, км:	
- першого роду	$2,1 \times 10^6$
- другого роду	$0,1 \times 10^6$
Середній строк служби виробу, років, не менше	20
Середній час заміни несправного виробу, год.	0,2
Вірогідність виникнення пожежі при експлуатаванні, 1/рік, не більше	$10^{-6}$

#### 1.4 Основні технічні характеристики GSM-GPS мобільного навігаційного термінала GGMT-120

Основні технічні характеристики GSM-GPS мобільного навігаційного термінала GGMT-120 наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Основні технічні характеристики GSM-GPS мобільного навігаційного термінала GGMT-120 [2, 6]

Параметр	Значення
Канал передачі даних	GSM 900/1800
Тип зв'язку в мережі GSM	CSD, SMS, GPRS, голосовий зв'язок за запитом диспетчерського центру, за внутрішнім алгоритмом модуля, при надходженні керуючих сигналів від зовнішніх пристроїв
Точність визначення координат при застосуванні WAVECOM Q2501, м : – CEP – SEP	2,5 ( з DGPS, SBAS 2,0 м) 5,0 ( з DGPS, SBAS 3,0 м)
Точність визначення швидкості, м/с	0,1
Час визначення координат після ввімкнення живлення, с, не більше	41
Кількість дискретних входів, шт.	8
Кількість дискретних виходів, шт.	8
Кількість аналогових входів, шт.	2
Кількість аналогових виходів, шт.	1
Службові кнопки, шт.:	
ТРИВОГА	1
ДИСПЕТЧЕР	1
ІНФО	1

Продовження таблиці 1.3

Параметр	Значення
Обсяг енергонезалежної пам'яті, Мб	4 (270336 записів)
Тип мікрофона, що підключається	Електретний
Габаритні розміри Лмм × Вмм × Нмм	135 × 92 × 29
Час безперервної роботи модуля від внутрішньої батареї, годин, не менше	15
Виконання корпусу	Пило-бризкозахисний корпус з ударостійкої пластмаси, клас захисту IP54
Допустима синусоїдальна вібрація частотою до 70 Гц, g	Амплітуда віброприскорення 3,8
Відносна вологість повітря, %	80±15
Атмосферний тиск, кПа	Від 84 до 106

### **1.5 Складові частини комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування, що розробляється**

1.3.1.1 До складу бортового інтелектуального комплексу електровоза, що встановлюється на електровозах, входять такі конструктивно закінчені пристрої:

- А1 — панель живлення із блоками живлення А2, А3;
- А4 – електронний навігаційний модуль GGMT-120 ТП1.0602-GGMT-120;
- А5 – багатофункціональний обчислювач електровоза MBL-1;
- А6 – термінал машиніста ТМ-1;
- А7 – клавіатура IKEYS-16UR;
- А8– антена Telesat-3 GSM/GPS;
- FV1, FV2 – грозозахист CSA;

– комплект кабелів (кабель 1 – кабель 12).

Панель живлення (A1) E3.452.01.02.000 призначена для забезпечення подавання напруги живлення на блоки комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування – на багатофункціональний обчислювач електровоза MBL-1 та на електронний навігаційний модуль GGMT-120, а також для захисту електричних кіл від струмових перевантажень.

Блоки живлення A2, A3 перетворюють напругу кіл керування електровоза 50 В у напругу, необхідну для живлення блоків комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування.

На лицьовій частині панелі живлення установлені тримачі плавких вставок запобіжників FU1 – FU4 та перемикачі SA1 GGMT-120 (для вмикання GGMT-120), SA2 GSM (для вимикання GSM), SA3 MBL-1 (для вмикання MBL-1), SA4 +50 В (для вмикання напруги живлення бортової мережі +50 В).

Електронний навігаційний модуль GSM-GPS (A4) GGMT-120 призначений для роботи у зоні покриття глобальної супутникової навігаційної системи (GNSS) та мережі стільникового мобільного зв'язку стандарту GSM 900/1800 як кінцевого абонентського терміналу, встановленого на борту електровоза у складі комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування.

Електронний навігаційний модуль у режимі реального часу за допомогою вбудованого GPS – приймача визначає час, координати місця, швидкість і напрямок руху електровоза. При подальшій модернізації комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування можливо здійснювати збір інформації з бортових датчиків (аналогових та дискретних) та виконувати керівні дії виконавчими механізмами з пульта диспетчера, або згідно з закладеним алгоритмом. Для забезпечення збереження отриманих даних уся інформація реєструється і записується у внутрішній журнал, реалізований на основі енергонезалежної пам'яті, та передається каналами GSM на телеметричний сервер НІКЛ-GNSS АС «Навігація і керування». Крім того мобільний термінал забезпечує обмін даними між багатофункціональним обчислювачем MBL-1 та

телеметричним сервером НІКЛ-GNSS АС «Навігація і керування». Навігаційний модуль може застосовуватись для здійснення сеансів голосового зв'язку між машиністом і диспетчером.

Багатофункціональний обчислювач (А5) МВL-1 (далі – обчислювач) є центральною ланкою бортового інтелектуального комплексу електровоза, що входить до складу комплексу технічних засобів нижнього рівня системи автоматичного керування, і є бортовим блоком РС – сумісної електронно-обчислювальної машини в спеціальному конструктивному виконанні для застосування в системах інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровозів постійного і змінного струму.

З основних технічних характеристик (стійкості до дії кліматичних факторів, механічних навантажень) обчислювач відповідає вимогам СОУ 45.020-0034045-002:2006 «Вироби залізничної автоматики, телемеханіки і зв'язку».

З електромагнітної сумісності обчислювач відповідає вимогам з рівня індустриальних радіозавод, що створюються виробом.

Показники пожежної безпеки речовин і матеріалів, використаних при виготовленні виробу відповідають вимогам [3].

## **1.6 Особливості побудови терміналу машиніста**

Термінал машиніста (А6) ТМ-1 є пристроєм, що відображає інформацію бортового інтелектуального комплексу електровоза інтелектуально-керованої системи автоматичного керування, що входить до складу комплексу технічних засобів нижнього рівня автоматизованої системи, і є бортовим рідкокристалічним дисплеєм, виконаним за технологією TFT в спеціальному конструктивному виконанні [10] для застосування в системах інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровозів постійного і змінного струму. З основних технічних характеристик (стійкості до дії кліматичних факторів, механічних навантажень) термінал відповідає вимогам «Вироби залізничної автоматики, телемеханіки і зв'язку» [3].

Клавіатура (А7) ІKEYS-16UR призначена для вводу машиністами електровозної бригади оперативної інформації в МВЛ-1 (А5), та керування режимами його роботи.

Комбінована антенна (А8) Telesat-3 GSM/GPS призначена для забезпечення роботи електронного навігаційного модуля GGMT- 120 у зоні покриття глобальної супутникової навігаційної системи (GNSS) та мережі стільникового мобільного зв'язку стандарту GSM 900/1800.

Комплект кабелів (кабель 1 – кабель 12) призначений для забезпечення електричного зв'язку блоків згідно з електричною принциповою схемою комплексу інтелектуально-керованої системи автоматичного керування.

### **1.7 Розташування та особливості монтажу обладнання**

Згідно з вимогами необхідно:

- установити кронштейн для кріплення терміналу машиніста ТМ-1, багатофункціонального обчислювача електровоза МВЛ-1, клавіатури ІKEYS-16UR в кабіні машиніста на металевому коробі над лобовими вікнами та закріпити його болтами;

- установити електронний навігаційний модуль GMT-120 на металевому коробі над лобовими вікнами кабіни машиніста зліва від поздовжньої осі електровоза, закріпивши його гвинтами;

- установити блоки грозозахисту вгорі в металевому коробі над лобовими вікнами кабіни машиніста, закріпивши їх гвинтами;

- вирізати прямокутний отвір розміром 205×120 (мм) в нахиленій частині панелі пульта помічника машиніста;

- закріпити панель живлення гвинтами на панелі пульта помічника машиніста;

- установити антену Telesat-3 GSM/GPS на даху електровоза з боку машиніста.

Прокладання кабелів від антени виконати в трубі, закріпленій скобою до кронштейну антени та зварним швом до ребер, приварених до даху електровоза.

Прокладання кабелів від антени до блоків грозозахисту виконати в ніші стелі кабіни і далі від блока грозозахисту до електронного навігаційного модуля GGMT-120 – в металевому коробі над лобовими вікнами кабіни.

Прокладання кабелів від багатофункціонального обчислювача електровоза МВЛ-1 до панелі живлення виконати в коробі над лобовими вікнами кабіни. Далі за обшивкою кабіни (зліва від лобового вікна) в нішу пульта помічника машиніста [6-7].

Прокладання кабелів від багатофункціонального обчислювача електровоза МВЛ-1 до міжсекційного з'єднання вести в кабельному каналі сумісно з низьковольтними проводами.

Заземлити панель живлення проводом з перерізом  $2,5 \text{ мм}^2$  на клему заземлення в пульті помічника машиніста.

Установити на бічній стінці ніші пульта помічника машиніста блок затискачів контактних кресл. 5ТН.574.681-02 (сх. № ХТ2).

З'єднати клему 1 клемної рейки ХТ1 панелі живлення (А1) із клемою 3 тумблера SA4 (+50 В) проводом Н1.

З'єднати клему 5 тумблера SA4 (+50 В) із клемою 2 клемної рейки ХТ2 проводом Н1.

З'єднати клему 4 клемної рейки ХТ1 панелі живлення (А1) із клемою 1 затискача контактного ХТ2 проводом Н2.

З'єднати клему 1 затискача ХТ2 з проводом 999 схеми електричної принципової електровоза (або з корпусом);

З'єднати клему 2 (+50 В) затискача ХТ2 з проводом 616 схеми електричної принципової електровоза.

## **2 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ЕЛЕКТРОВОЗА**

### **2.1 Постановка завдання дослідження**

Координатні системи інтервального регулювання (KSIR) пред'являють істотно більше вимог до апаратури, чим традиційні системи інтервального регулювання. Для функціонування KSIR потрібно мати в своєму розпорядженні інформацію про місцезнаходження голови і хвоста кожного електровоза, а також, про швидкість і напрям його руху. Вимірювання поточного прискорення руху електровоза дозволяє прогнозувати характер його подальшого руху в подальший момент часу, тому KSIR разом з інформацією про місцезнаходження електровозів і їх швидкості повинні використовувати також інформацію про прискорення.

У існуючих системах інтервального регулювання для вимірювання швидкості використовуються бортові вимірники - швидкостеміри. Контроль місцеположення електровозів на перегоні в даний час здійснюється з використанням рейкових ланцюгів. Підвищення провізної здатності ділянок залізниць можливо тільки за рахунок підвищення точності визначення місцеположення електровоза на перегоні, чого, при використанні підлогової апаратури, можна досягти тільки шляхом зменшення довжин рейкових ланцюгів і, відповідно, збільшення їх кількості, що веде до ще більшого підвищення приведених витрат [3, 8].

На сьогоднішній день переважно розробляють бортові системи вимірювання параметрів руху електровоза, що дозволяє безперервно відстежувати:

1. Місцезнаходження голови і хвоста електровоза на перегонах і станційних ділянках шляху;
2. Напрямок руху електровоза;
3. Поточну швидкість руху електровоза;
4. Прискорення руху електровоза.

Необхідність визначення прискорення підвищує вимоги до точності визначення інших параметрів руху. Висока інерція електровоза як об'єкту управління приводить до того, що навіть при гальмуванні електровозів уповільнення складає в середньому: для вантажних складів - від 0,1 до 0,4 м/с, пасажирських, - від 0,3 до 0,6 м/с<sup>2</sup>, електровозів - від 0,5 до 0,8 м/с<sup>2</sup>, високошвидкісного рухомого складу - від 0,8 до 1,5 м/с<sup>2</sup>. Прискорення ж руху в режимах розгону і вибігання, як правило, ще менше. При вимірюванні таких малих прискорень істотним стає вплив різних перешкод, тому вимірювання прискорення руху рухомого складу бортовими засобами є важливою і складною проблемою.

## **2.2 Аналіз способів отримання інформації про параметри руху електровоза і вибір типу вимірювача параметрів руху**

Відомі по застосуванню на залізничному транспорті різні бортові вимірювачі параметрів руху за принципом дії можна розділити на дві основні групи [1,2]:

Контактні, визначаючі параметри руху на основі вимірювання параметрів обертання колісної пари (КП) при її русі уздовж шляху: механічні, електромеханічні, електронні;

Безконтактні, визначаючі параметри руху іншими способами: доплерівські, фідерні і ті, що отримують інформацію за допомогою штучних супутників Землі (ШСЗ) і так далі

З перерахованих типів вимірювачі параметрів руху за основу дослідження і розробки був прийнятий вимірник першої групи, по наступних причинах:

В даний час вони широко поширені на залізничному транспорті, як бортових вимірювачів параметрів руху, а, отже, вже випускаються промисловістю [4]. Тому, впровадження системи вимірювання параметрів руху вимагає менше засобів.

Вимірювачі цієї групи в меншій мірі залежать від погоди, стану іоносфери Землі, шляху і баласту.

Конструкція даних вимірників істотно простіша, а значить і надійніше за конструкцію вимірників безконтактного типу.

Використання як первинний перетворювач сигналу руху КП, яка бере участь в реалізації тягових (гальмівних) зусиль електровоза, дозволяє здійснити додатково контроль зчеплення.

З урахуванням вищевикладеного, при розробці вимірювачів параметрів руху з використанням датчика осьового типу (ОД) на перший план винесені наступні завдання:

1. Забезпечити вимірювання швидкості руху електровоза з дискретністю, достатньою для обчислення прискорення з необхідною точністю при мінімальному часі циклу.

2. Забезпечити вимірювання шляху, з використанням мінімального числа реперів, для коректування результатів вимірювання.

3. Забезпечити надійний контроль зчеплення вимірювальних КП. Класифікувати вимірювачі параметрів руху з ОД можна по різних критеріях. Запропонований варіант класифікації, яка дозволяє провести первинний вибір вимірювачів параметрів руху для заданої системи управління. Що стосується елементної бази вимірювачів параметрів руху і принципу обробки вимірювальної інформації, то при їх виборі слід керуватися рядом основних критеріїв, а саме:

1. Елементна база вимірювачів параметрів руху повинна відповідати елементній базі електровозної системи управління.

2. Принцип обробки вимірювальної інформації, вимірювачів параметрів руху, що реалізовується, має бути сумісним з принципом обробки інформації електровозної системи контролю.

3. Вимірювач параметрів руху повинен забезпечувати можливість розширення вимірювальної інформації, налаштування під різні види датчиків (універсальність), коректування параметрів процесу вимірювання (гнучкість), а також контролю зчеплення вимірювальної колісної пари з рейковим шляхом.

Недотримання перших двох вимог при виборі елементної бази вимірювачів параметрів руху призведе до необхідності установки додаткових перетворювачів сигналу, що викличе ускладнення і дорожчання вимірювачів параметрів руху в цілому. Недотримання останньої вимоги може понизити якість вимірювань і ускладнить інтеграцію вимірника в наявні системи контролю.

Питання надійності елементної бази серед критеріїв не розглядається, оскільки необхідний рівень надійності може бути забезпечений на будь-якій елементній базі, наприклад, шляхом резервування. Аналіз класифікатора з урахуванням приведених критеріїв показав, що в даний час для KSIR слід використовувати тільки інтелектуальних цифрових вимірювачів (ICV).

Якщо вимірювання шляху може здійснюватися в цифрових вимірювачів параметрів руху однаково, то вимірювання швидкості може реалізовуватися різними способами.

Відомі наступні основні способи вимірювання поточної швидкості:

1. Підрахунок числа імпульсів осьового датчика за фіксований час  $T = \text{const}$ .
2. Вимірювання періоду проходження імпульсу  $T_i(t)$ .
3. Вимірювання часу повного обороту  $T_{об}(t)$ , коли число імпульсів досягне певного значення  $N = N_{об}$ .
4. Вимірювання частоти імпульсів  $V_s(t)$ .
5. Вимірювання тривалості  $T_i(t)$  приходу заданого числа  $K$  імпульсів, причому  $K = f(V_{i-1})$  і задається за правилом половинного ділення.
6. Вимірювання тривалості імпульсу (паузи).

Остання група способів не знайшла широкого розповсюдження, оскільки шпаруватість імпульсу непостійна і погрішність вимірювання швидкості вища, ніж при інших способах вимірювання швидкості [1, 8-10].

Проведений аналіз способів вимірювання швидкості показав, що:

1. Спосіб 4 для побудови вимірювачів параметрів руху вимагає великих апаратурних витрат, складний в налаштуванні, характеризується малою перешкодозахисною.

2. Способи 2 і 3 є окремими випадками способу 5, тому досить обмежитися аналізом останнього і порівнянням його із способом 1.

Як міра часу в ICV використовується деяке число опорних імпульсів  $K_{оп}$ , що виробляються тактовим генератором ( $v = \text{const}$ ), за час

$i$ -го вимірювального циклу  $T$

$$T_i = T_{оп} \cdot K_{оп,i} = \frac{K_{дел}}{\nu} \cdot K_{оп,i},$$

де  $T_{оп}$  - період опорного імпульсу вимірника (визначає дискретність вимірювання часу  $dT$ );

$K_{дел}$  - коефіцієнт ділення частоти  $\nu$  задаючого генератора, потрібний для отримання опорного сигналу.

Модифікована формула, відповідна способу 5, може бути представлена в наступному вигляді

$$V_i = 3.6 \cdot \frac{\pi \cdot D_K \cdot \nu}{N_{об} \cdot K_{дел}} \cdot \frac{K_i}{K_{оп,i}} = 3.6 \cdot \frac{dS \cdot \nu \cdot K_i}{K_{дел} \cdot K_{оп,i}},$$

де  $D_K$  - діаметр коліс вимірювальної колісної пари (КП), м;

$N_{об}$  - число імпульсів ЛОІД за один оборот колеса;

$dS$  - крок дискретизації шляху, м;

$K_i$  - число імпульсів ЛОІД в  $i$ -у циклі вимірювання швидкості;

Даний вираз прийнятий початковим для подальшого дослідження.

Недолік відомих цифрових вимірювачів параметрів руху, що реалізують вищеперелічені способи визначення швидкості, полягає в тому, що вони дозволяють визначати прискорення руху лише при тривалому часі циклу вимірювання (до 8-10 сек.).

### 2.3 Моделювання параметрів контакту коліс та рейок на основі двомасової системи

Еквівалентна жорсткість двомасової системи:

$$C_{12E} = \frac{C_{12} \cdot C_{23}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.1)$$

$$C_{12E} = \frac{17102,5 \cdot 150230,5}{17102,5 + 150230,5} = 23234,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^2;;$$

$$J_{12} = J_{20} \cdot \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.2)$$

$$J_{12} = 9,193 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{171029,5}{171029,5 + 7974,6} = 8,784 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{12E} = J_{ДВ} + J_{12}; \quad (2.3)$$

$$J_{12E} = 0,25 + 8,784 \cdot 10^{-2} = 0,41 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{23} = J_{20} \cdot \frac{C_{23}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.4)$$

$$J_{23} = 9,193 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{150230,5}{17102,5 + 150230,5} = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{23E} = J_{20} + J_{23}; \quad (2.5)$$

$$J_{23E} = 9,193 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-2} = 0,425 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Приймаємо:

$$C'_{12} = C_{12E} = 23234,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^2;$$

$$J'_{10} = J_{12E} = 0,41 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J'_{20} = J_{123E} = 0,425 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Співвідношення мас:

$$\gamma = \frac{J'_{10} + J'_{20}}{J'_{10}}; \quad (2.6)$$



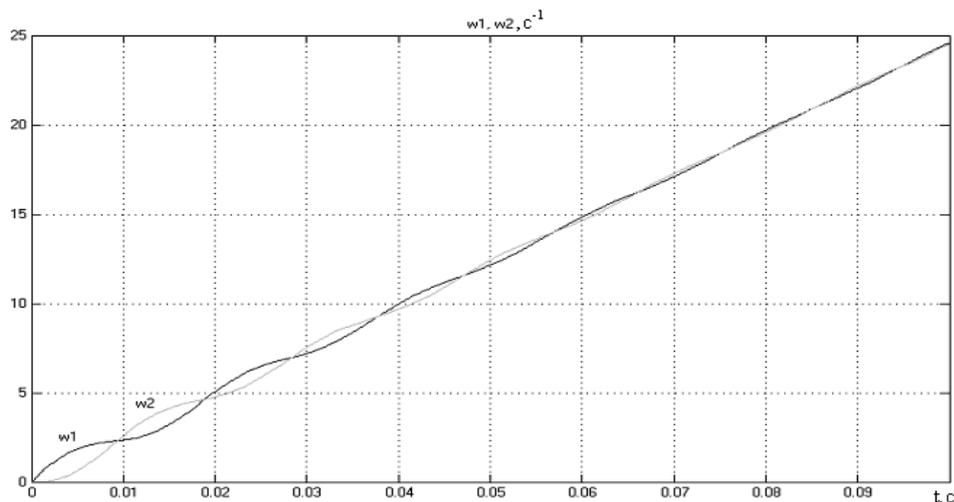


Рисунок 2.2. Результати моделювання контакту коліс та рейок на основі двомасової системи

На рис. 2.1 представлена структурна схема двомасової системи. Характер отриманих залежностей (рис. 2.2) свідчить про те, що при  $M = \text{const}$  через вплив дисипативних сил типу в'язкого внутрішнього тертя, коливання швидкості поступово загасають ( $\lambda_{1,2} = 0,2$ ), однак миттєві швидкості  $\omega_1, \omega_2$  при цьому не збігаються, тому що містять коливальні складові, причому коливання  $\omega_1, \omega_2$  відбуваються в протифазі.

#### 2.4 Основні характеристики вимірювача параметрів руху

З метою систематизації вони розділені на наступні основні типи:

- Межі вимірювання;
- Дискретність вимірювання;
- Реконфігурація процесу вимірювання при зміні умов вимірювання.

До найважливіших параметрів вимірювачів параметрів руху слід віднести тривалість циклу вимірювання, протягом якого здійснюється усереднювання швидкості. Відомі до теперішнього часу швидкостеміри переважно працюють з постійним часом циклу, як правило, рівним  $T = 1\text{ c}$  і відповідно вимірюють за

даний проміжок часу середню швидкість. Розглянемо формулу гальмівного шляху електровоза

$$S_{\text{торм}} = \int_0^{t_p} V(t)dt + \int_{t_p}^{t_p+t_{cp}} V(t)dt + \int_{t_p+t_{cp}}^{t_p+t_{cp}+t_d} V(t)dt,$$

де  $t_d$  - час сталого процесу гальмування.

З формули виходить, що за інших рівних умов загальний гальмівний шлях системи SMOPM буде тим більшим, чим більше час реакції вимірювачів параметрів руху і чим вище швидкість, з якою починається гальмування. Тому, для забезпечення постійності величини шляху  $S_{\text{гальм}}$  час циклу вимірювання вимірювача параметрів руху потрібно задавати в зворотній пропорції до швидкості, тобто  $t_p \sim \frac{1}{V}$ . У разі неможливості виконання вказаної вимоги необхідно забезпечити малий час вимірювання у всьому діапазоні робочих швидкостей. Проте тривалість циклу вимірювання не може бути менше часу приходу одного імпульсу і сильно залежить від способу вимірювання. З формули виходить, що при  $K_t = \text{const}$ , мінімальний час вимірювання обернено пропорційно до швидкості руху електровоза. У разі руху електровоза з постійною швидкістю  $V = \text{const}$  зменшення часу вимірювання спричиняє за собою зменшення числа імпульсів  $K_i$  у вибірці одного імпульсу, яке може продовжуватися до тих пір, поки вибірка  $K_i$ , що задається  $> 1$ .

Для зниження впливу запізнювань при передачі і обробці результатів вимірювання при функціонуванні KSIR кожен вимір параметрів руху повинен характеризуватися точним значенням моменту часу в єдиній для всіх підсистем KSIR шкалі часу.

Іншим важливим параметром вимірювача параметрів руху, використовуваним в KSIR, є мінімальна апаратна реєстрована швидкість  $V_{\text{min}}$ . З погляду безпеки вимірювання якомога меншого значення мінімальної швидкості дозволяє оперативно виявляти несанкціонований рух електровоза на самих початкових стадіях. Проте, мінімальне значення вимірюваної швидкості обмежене максимальним часом приходу одного імпульсу ( $T_{\text{max}}$ ) [1-4]. В той же час

вимірювачі параметрів руху в KSIR повинен забезпечувати вимірювання мінімальної швидкості  $V_{T_{in}} = 0,5$  км/год, при тому, що рух з меншими швидкостями також повинен виявлятися.

З урахуванням мінімального порогу вимірюваної швидкості (для KSIR  $F_{min} = 0.5$  км/год при  $K_i = 1$ ) максимальний час циклу вимірювання можна визначити з необхідного числа опорних імпульсів при мінімальній вимірюваній швидкості

$$\langle K_{on} \rangle = 3.6 \cdot \frac{\pi \cdot D_K \cdot v}{N_{об} \cdot K_{дел} \cdot V_{min}}$$

Максимальний час вимірювання по переповнюванню лічильника-таймера рівний

$$\langle T_{max} \rangle = 2 \lceil \langle K_{on} \rangle \rceil \cdot \frac{K_{дел}}{v},$$

де  $\lceil a \rceil$  - позначення найближчого до  $a$  цілого числа  $A > a$ .

До виміряних за допомогою вимірювачів параметрів руху параметрів відноситься прискорення руху електровоза. Тому важливо хоч би зверху оцінити діапазон його зміни від максимально можливих прискорень, що розвиваються одиночним електровозом при тязі, до максимальних уповільнень, що розвиваються одиночним електровозом при гальмуванні.

Для електровоза, рухомого по спуску справедливо наступне спрощене співвідношення визначення граничного прискорення ( $a_{max}$ )

$$\langle a_{max} \rangle = \frac{\zeta}{12960 \cdot (1 + \gamma)} \cdot (10^3 \cdot \psi + \langle i \rangle - \omega_0), \text{ м/с}^2$$

де  $\langle i \rangle$  - максимальне можливе значення ухилу ( $\langle i \rangle = 15\%$  для магістральних залізниць 1 і 2 категорії);

$C$  - прискорення електровоза під дією питомої прискорюючої (уповільнюючої) сили рівній одиниці, кН-км/Н·год<sup>2</sup>.

$\omega_0$  - основний питомий опір руху електровоза при тязі, Н/кН;

$\gamma$  - коефіцієнт, що враховує інерцію мас, що обертаються (для вагонів  $\gamma$  складає 0,03-0,05, для електровозів – 0,14-0,2);

12960-коэффициент перевода км/год<sup>2</sup> в м/с<sup>2</sup>;

$\Psi$  - коефіцієнт зчеплення.

Для електровоза, гальмуючого на підйомі, граничне уповільнення може бути визначене як

$$\langle a_{\min} \rangle = -\frac{\zeta}{12960 \cdot (1 + \gamma)} \cdot (10^3 \cdot \psi + \langle i \rangle + \omega_{0x}), \text{ м/с}^2$$

де  $\omega_{0x}$  - основний питомий опір руху на вибіганні і гальмуванні.

Максимальна вимірювана і реєстрована швидкість електровоза визначається граничним значенням швидкості, яку може розвинути пересувний склад (ПС), обчислюється за формулою

$$V_{\max} = V_{\text{констр}} \cdot \xi,$$

де  $V_{\text{констр}}$  - максимальна конструкційна швидкість ПС

$\xi$  - коефіцієнт запасу,  $\xi = 1.15$ .

В даний час максимальна конструкційна швидкість електроелектровоза ЕР-200 випущеного в колишньому радянському союзі складає 200 км/год. На іноземних лініях електровоза також можуть розвивати швидкості 250 км/год і вище. З урахуванням цього прийmemo  $V_{\text{констр}} = 250$  км/год.

Результат округлятимемо до найближчого більшого значення з ряду переважних чисел. При використанні ряду R10 ГОСТ8032-84 (із знаменником прогресії 1,25)

$$V_{\max} = 290 \text{ км/год (80,6 м/с)}.$$

До теперішнього часу свідчення електровозного швидкостеміра обмежено застосовувалися в системах інтервального регулювання руху електровозів. Насамперед швидкостемір служив для дискретного контролю декількох діапазонів швидкості в системі автостопа, реєстрації на паперовому або іншому носіїві, а також інформування машиніста про поточну швидкість. Необхідність обчислення прискорення руху електровоза  $a(t)$  накладає жорсткіші вимоги до точності вимірювання швидкості, чим при використанні її значень тільки для відображення на пульті машиніста, або як програмна крива гальмування в зоні зближення з перешкодою.

## 2.5 Експлуатаційно-технічні вимоги до осьового датчика

Осьовий датчик (ОД) з технічної точки зору повинен задовольняти, як мінімум, двом вимогам:

ОД повинен формувати достовірний сигнал про рух;

Сигнал про рух, повинен містити інформацію про напрям руху.

У генераторних датчиках безперервний сигнал про рух може виражатися у вигляді амплітуди, або частоти  $A = A_Q$ . Сигнал про напрям руху зазвичай отримують порівнянням фази струму (напруга) у фазових обмотках. При цьому приймають:

а) рух умовний вперед:  $\varphi_1 = \varphi_2 + \alpha$ ;

б) рух умовний назад:  $\varphi_1 = \varphi_2 - \alpha$ ,

де  $\varphi_1$  - фаза сигналу в 1-ій обмотці;

$\varphi_2$  - фаза сигналу в 2-ій обмотці;

$\pm\alpha$  - зрушення фази в 1-ій обмотці по відношенню до 2-ої.

У імпульсних датчиках дискретна інформація про рух формується шляхом фіксації проходження зубців крильчатки (зубчатого колеса) через контрольну крапку (точковий нерухомий чутливий елемент). Оскільки наявність однієї контрольної крапки не дозволяє отримати інформацію

напрямі руху, то ОД виготовляється, як мінімум, двоканальним. Чутливий елемент другого каналу встановлюється по відношенню до крильчатки так, щоб формований ним сигнал був зрушений по фазі щодо контрольної точки першого

каналу на  $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ . В цьому випадку інформація про напрям руху формується аналогічно формуванню інформації генераторними датчиками.

Що стосується експлуатаційного діапазону швидкостей розглянутих датчиків, то генераторний і індукційний імпульсний ОД дозволяють отримувати інформацію про рух тільки в області швидкостей  $5 < V < V_{\max}$ ), тоді як в діапазоні

вимірюваних швидкостей нижче 5 км/ч вони стають неефективними із-за істотного зниження крутизни характеристик вимірюваного сигналу про рух.

Крутизна характеристики оптичних датчиків (наприклад, L-178) залишається практично постійною у всьому діапазоні вимірюваних швидкостей  $K < V < V_{\max}$ .

Проте, у разі застосування оптичних імпульсних датчиків, при зупинці електровоза є вірогідність того, що крильчатка датчика може зупинитися в проміжному положенні, при якому зуб крильчатки перекриває тільки частину світлового потоку. Тоді при малих коливаннях крильчатки може початися помилкове формування імпульсів (сигнал помилкового руху).

Оскільки системи інтервального регулювання руху електровозів з радіоканалом може не використовувати для контролю місцеположення електровоза рейкові ланцюги, то при виборі типу ОД керівною характеристикою є можливість контролю мінімальної швидкості руху, з метою виключення неконтрольованого руху електровоза з малою швидкістю.

З огляду основних типів вживаних датчиків і з урахуванням викладеної вимоги витікає, що в системи інтервального регулювання руху електровозів з радіоканалом як датчик-перетворювач допустимо використовувати тільки оптичний [1-4]. При цьому потрібно передбачити способи виявлення випадків помилкового формування інформації про рух при фактичній стоянці. У разі використання декілька вимірювальних КП, можлива комбінація датчиків що реалізують різні принципи вимірювання, але, як мінімум, один з них при цьому має бути оптичним.

## **2.6 Вибір критерію оцінки точності вимірювача параметрів руху з урахуванням необхідності вимірювання прискорення руху рухомого складу**

Параметри електровозних швидкостемірів визначаються технічними вимогами [1], згідно яким допустима відносна погрішність вимірювання швидкості не повинна перевищувати  $SV = 1.5\%$  від верхньої межі вимірювань

$V_{\max}$ . При цьому максимальна абсолютна погрішність швидкості для високошвидкісного транспорту по [1-4] складає

$$\Delta V = \frac{\delta V \cdot V_{\max}}{100\%} = \frac{1.5 \cdot 290}{100} = 4.3,$$

Як впливає з формули, при різних межах вимірювання, які можуть мати місце при установці вимірника на різні типи рухомого складу, ширина поля абсолютної похибки буде різною.

Прискорення руху електровоза може бути визначене по відомій формулі

$$a = \frac{dV_{\partial s}}{dt} \approx \frac{\Delta V_{\partial s}}{\Delta t},$$

де  $\Delta V_{\partial s}$  - абсолютний приріст швидкості руху за деякий проміжок часу  $\Delta t$ , м/с;

Обчислюване за формулою значення прискорення не залежить від абсолютної величини швидкості, тоді як формула містить абсолютне значення швидкості. Отже, для пристроїв вимірювача параметрів руху, що визначають прискорення шляхом диференціювання швидкості, випадкова погрішність вимірювання швидкості спочатку повинна нормуватися в абсолютних одиницях  $\Delta V$ , оскільки тільки в цьому випадку при зміні швидкості у всьому робочому інтервалі має сенс обчислювати прискорення з однаковою дискретністю. Систематичну погрішність швидкості, що не впливає на дискретність вимірювання прискорення, можна нормувати у відносних одиницях.

Точних чисельних значень параметрів вимірювачів параметрів руху можуть бути набуті тільки в результаті дослідження технічно досяжної точності вимірювачі параметрів руху, тому, насамперед досліджуємо похибки, що виникають при обчисленні швидкості і пройденого шляху за формулою

$$S(t) = \frac{N(t)}{N_{об}} \cdot \pi \cdot D_K,$$

де  $N(t)$  - сумарне число імпульсів ОД від початкового положення електровоза.

Для спрощення дослідження погрішностей вимірювання параметрів руху класифікуємо їх.

## **2.7 Визначення похибки вимірювання параметрів руху електровоза**

Класифікацію погрішностей можна проводити по безлічі критеріїв. Один з варіантів класифікації, відповідно до якого похибки вимірювання параметрів руху розділені на два класи: методичні і інструментальні. Згідно приведеної класифікації методичні похибки класифіковані додатково на похибки прямих (ППІ) і непрямих вимірювань (ПКІ), інструментальні, - на: похибки, обумовлені технологією виготовлення елементів вимірника або об'єкту вимірювань (ПТО); похибки, обумовлені конструктивними особливостями конкретного вимірника і об'єкту вимірювань (ПК); похибки, обумовлені технологією вимірювань (ПТІ); і похибки обумовлені впливом зовнішніх чинників (ПЗФ). Незалежно від класу погрішностей вони класифіковані на систематичних і випадкових.

Випадкові похибки впливають на дискретність вимірювання швидкості і прискорення, на дискретність вимірювання пройденого шляху вплив випадкових погрішностей виявляється тільки в тому випадку, якщо вони нецентровані. Систематичні похибки виявляються в постійному заниженні (завищенні) значень вимірюваних параметрів і на дискретність вимірювання параметрів руху електровоза впливу практично не надають. Отже, вказані класи погрішностей повинні досліджуватися незалежно.

Враховуючи те, що вузли вимірювачів параметрів руху включені в послідовний ланцюг, що не містить зворотних зв'язків, і здійснюють ряд послідовних незалежних перетворень, повна погрішність вимірювання параметрів руху є суперпозицією погрішностей кожного з перетворень. Тому представляє інтерес провести подальшу розширену класифікацію погрішностей за джерелом виникнення.

Відмітною особливістю ряду перерахованих погрішностей є те, що вони не можуть бути повністю усунені, оскільки зв'язані з точністю виготовлення (форма і геометричні розміри) окремих елементів вимірювачів параметрів руху і шляху.

Разом з тим, важливо провести дослідження причин виникнення вказаних вище погрішностей і ступеня їх впливу на кінцеві результати вимірювання параметрів руху.

## **3 СПОСОБИ КОРЕКЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗА**

### **3.1 Спосіб контролю місцеположення рейкового електротранспорту**

Спосіб контролю місцеположення рейкового транспортного засобу на перегоні і його корекції за допомогою штучних супутників Землі, що знаходяться на геостаціонарних орбітах (GPS), дозволяє здійснювати контроль руху об'єктів по поверхні Землі на ділянках великої протяжності, притому, що окрім визначення координат об'єкту вони дозволяють вимірювати і швидкість їх руху з точністю до 0,1м/с [1-4]. До основних недоліків цього способу можна віднести наступні:

- Точність визначення місцеположення статичних об'єктів на поверхні Землі не перевищує 30 м, що з урахуванням близькості розташування зустрічного шляху на двоколійних ділянках не дозволяє ідентифікувати несанкціонований рух по неправильному шляху. Є відомості, що точність позиціонування статичних об'єктів на поверхні Землі не перевищує 75-150 м (95% викликів) при середньому квадратичному відхиленні 25-50м, при цьому вона залежить від перешкод, що утворюються будівлями, лісом і додатковими шляхами, а також від геометрії супутників над точкою місцевості.

- Складно контролювати місцеположення об'єктів в тунелях.

- Зв'язок з супутниками недостатньо стійка, в окремих випадках вона може повністю пропадати.

- Є вірогідність несанкціонованого блокування супутникової навігаційної системи з наземних станцій, оскільки вона контролюється військовими.

- Потрібно узгодження роботи з іншими службами, що використовують обслуговують супутникові системи.

- Використання супутникової корекції місцеположення не виключає необхідності резервування іншими системами корекції.

- Для визначення координати електровоза навіть з точністю порядку 30 м потрібний пеленг одночасно не менше, чим з трьох супутників, інакше точність буде ще нижчою.

- Час отримання відліку супутниковою системою GPS може досягати секунд, що веде до істотного запізнювання результатів вимірювання.

- Абсолютні координати потрібно додатково переводити у відстані по траєкторії, утворюваною прокладкою шляху.

- Точні карти місцевості є предметом військового секрету. Не дивлячись на перераховані недоліки застосування систем супутникової навігації слід визнати перспективним як доповнення до інших систем контролю місцеположення, тим паче, що співвідношення дозволяють визначати координату електровоза об'єднанням інформації від джерел різної точності, у тому числі і від різних систем корекції. Слід зазначити також, що в даний час існує тенденція устаткування електровозів і вагонів мітками для контролю їх місцеположення з використанням супутників. Це дозволяє здійснювати корекцію з урахуванням кількості обладнаних вагонів при цьому результуюче відхилення результату можна визначити по модифікованій формулі

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{корр}}}{\sqrt{n_{\text{об}}}}$$

Тоді при середньому квадратичному відхиленні  $\sigma_{\text{корр}} = 30\text{м}$ , місцеположення складу з  $n=100$  вагонів, обладнаних датчиками GPS, може бути визначене з відхиленням в 3 м.

При уточненні місцеположення електровоза шляхом розпізнавання магнітних міток на шляху є можливість нанесення коди практично на будь-якій ділянці шляху. До недоліків даного способу відносяться:

Розмагнічування влучний при зміні температури рейок, що вимагає їх частого оновлення.

Мітки можуть розмножуватися по рейках КП рухомого складу, тому потрібно наносити мітки у вигляді код, що ускладнює технічну реалізацію і при цьому не унеможливорює помилок.

Намагніченість рейок має розподілений характер, що приводить до істотних погрешностей корекції.

За допомогою інтегрованої оболонки пакету MathLab побудовано імітаційну модель інтелектуальної системи керування для визначення похибок корекції місцезнаходження електровоза

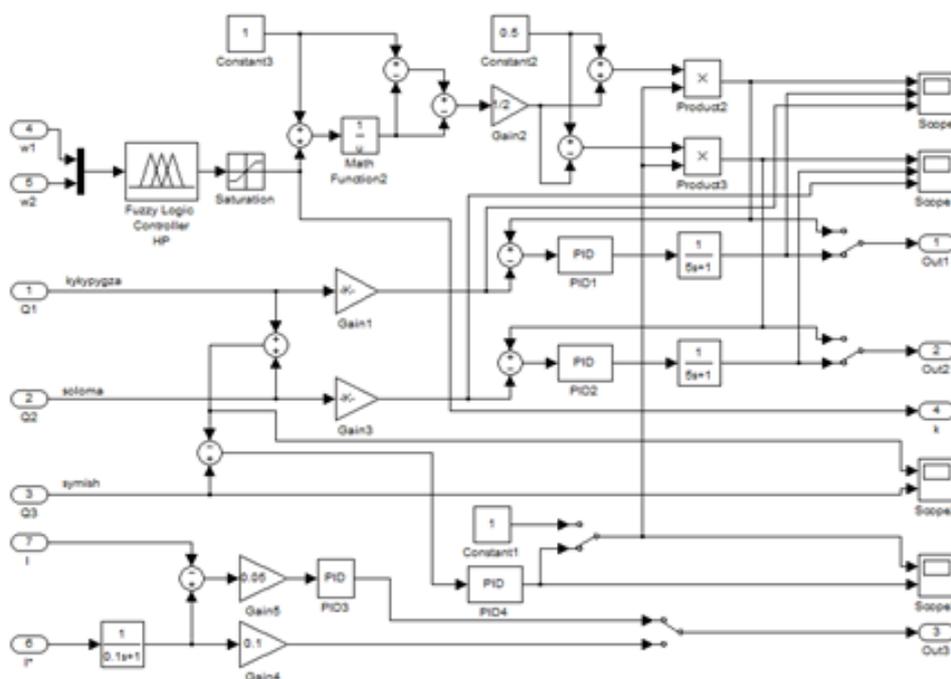


Рисунок 3.1 Імітаційна модель інтелектуальної системи керування для корекції місцезнаходження електровоза

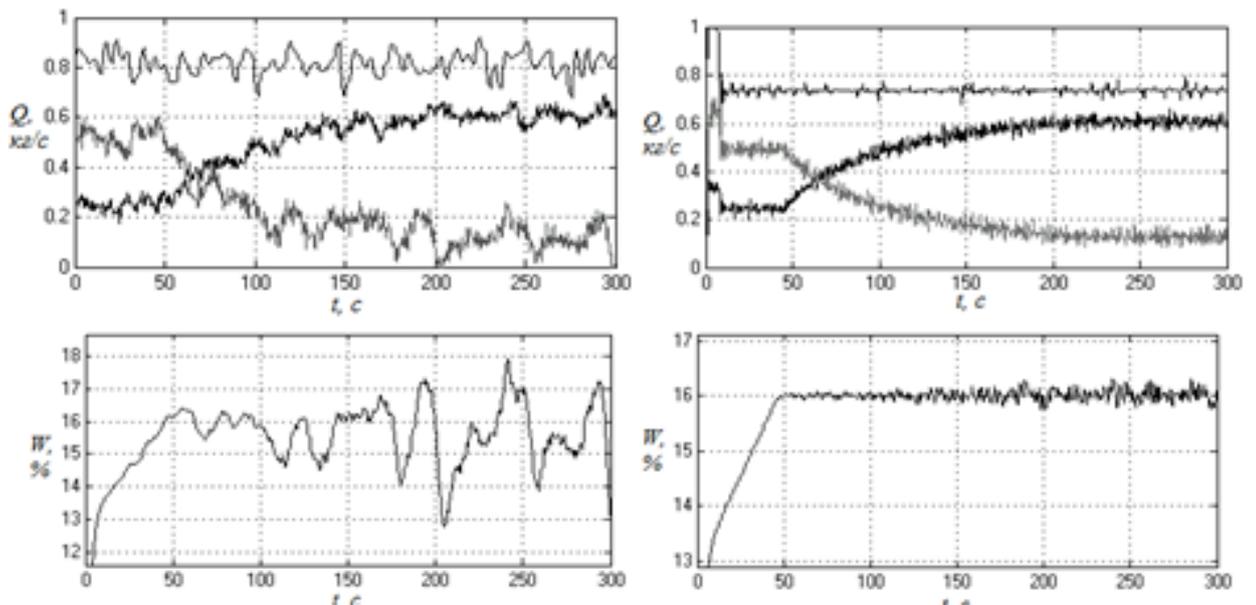


Рисунок 3.2 Дисперсії сигналів та визначення їх порогового значення для корекції місцезнаходження електровоза

Способи корекції, засновані на використанні різних путніх датчиків типу активних (пасивних) індукторів, шлейфів, ЗВЧ випромінювачів, оптичних точкових датчиків дозволяють здійснювати корекцію практично з будь-якою періодичністю і високою точністю. В той же час їх реалізація полягає в необхідності установки також і путньої апаратури. У свою чергу, наявність апаратури на шляху вимагає її обслуговування, утрудняє обслуговування самого шляху, часто вимагає електроживлення. Як відмічено в роботі, до недоліків індукторів, що встановлюються на шляху, відноситься і те, що при збільшенні швидкостей руху електровозів потрібне збільшення їх габаритів; для пасивних індукторів додатково існує проблема виявлення їх несправності. Недоліками шлейфів є їх невисока механічна міцність і незручності, пов'язані з кріпленням шлейфів до залізобетонних шпал. В даний час активно розвивається ЗВЧ технологія RFID суть якої полягає в установці на пересувний склад активних, або пасивних кодових міток (транспондерів) і поблизу шляху - фидерів. При фіксації сигналу фидера мітка формує у відповідь сигнал, що є послідовним кодом завдовжки 48 біт. Оскільки для передачі послідовної коди потрібний якийсь час, а об'єкт рухається з високою швидкістю, то зона дії використовуваних фидерів для

забезпечення успішного зчитування складає 15 м, що визначає і точність корекції вказаним способом. Застосування даного способу для корекції в даний час обмежується тим, що використовувані для зчитування код транспондерів з транспорту, рухомого з високими швидкостями (до 200 км/год) ридери мають високу вартість.

Поблизу крупних міст, де організовується рух приміських електровозів, у зупинних платформ вже є датчики, що коректують (індуктори). Ці датчики можуть використовуватися як коригуючі. В цьому випадку число додатково встановлюваних датчиків корекції місцеположення істотно скорочується.

Решта способів для контролю місцеположення електровоза на перегоні раніше не застосовувалися. Питання про їх застосовність для систем ІР повинне вирішуватися після проведення експериментальних досліджень.

Спосіб корекції, заснований на розпізнаванні ділянок місцевості або шляху відеоспостереження, може забезпечити високу точність корекції. Спосіб відеоспостереження в ІК діапазоні перспективний також унаслідок того, що дозволяє виявляти об'єкти, температура яких відмінна від температури навколишнього середовища. При реалізації верхніх рівнів автоматизації управління електровозом ця властивість дозволить фіксувати апаратурою знаходження поблизу шляхів людей і тварин. При вказаних достоїнствах способу є і ряд недоліків:

Спосіб вимагає установки на борту електровоза апаратури відеоспостереження, застосування складних методик розпізнавання образів (окремі ділянки місцевості можуть істотно змінюватися не тільки протягом сезону, але і протягом однієї електровозки електровоза) і складання карт.

Відеоспостереження (особливо у видимому діапазоні) неефективне в темний час доби і в умовах недостатньої видимості.

Спосіб виявлення кодованих ділянок шляху (при вході на станцію) внаслідок того, що відстань між станціями в більшості випадків істотно перевищує відстань корекції, не може забезпечити необхідну періодичність

корекції. Даний спосіб може застосовуватися незалежно від решти способів контролю, як резервний.

Спосіб корекції, заснований на пеленгу з опорних станцій, раніше застосовувався в авіації.

Останнім часом даний спосіб визначення місцеположення пропонують деякі оператори стільникового зв'язку для визначення місцеположення будь-яких об'єктів, що знаходяться на поверхні Землі в зоні дії апаратури опорних станцій (GSM навігація). Місцеположення в стільникових мережах визначається, або з точністю до зони обхвату передавача соти, радіус якої залежно від місцевості може коливатися в межах від сотень метрів до 20 км. і більш (Cell ID), а при установці додаткової апаратури (LMU), шляхом вимірювання зрушення фреймів від телефону, що приходять на базову станцію по висхідних каналах (TOA - метод часу отримання), або шляхом вимірювання різниці часу затримки сигналу телефону при передачі на декілька опорних станцій в зоні яких знаходиться телефон (EOTD-метод різниці часів). Останній спосіб забезпечує найбільшу точність і дозволяє визначати місцеположення об'єктів з точністю, зіставною з GPS. Основними недоліками способу є наступні:

Для визначення місцеположення об'єкту з точністю 30-100 м потрібно одночасний його пеленг не менше, чим трьома опорними станціями.

Точність визначення місцеположення істотно знижується в умовах щільної міської забудови або складного рельєфу.

Велика частина перегонів знаходиться поза зоною дії існуючих мереж стільникового зв'язку.

Отже, в даний час спосіб може використовуватися на додаток до інших як резервний.

Спосіб визначення місцеположення A-GPS не розглядається, оскільки контроль місцеположення об'єкту при його реалізації здійснюється з супутників і лише передача інформації по мережах GSM.

Розглянемо спосіб корекції місцеположення електровоза на перегоні, заснований на розпізнаванні місць локальної (уявної) асиметрії тягового струму.

### 3.2 Спосіб корекції місцезнаходження електровоза, заснований на розпізнаванні місць (уявної) асиметрії

Тяговий струм, протікаючи по рейкових нитках, створює магнітне поле, яке індукуює в приймальних котушках ЕРС. При справному шляху, коли первинні і вторинні параметри правої і лівої рейкової нитки мало відмінні один від одного, значення тягового струму в правій і лівій нитках близькі. Тому між середніми значеннями ЕРС, індукованою в правій і лівій котушці встановлюється відповідність

$$K = \frac{\int_{t_1}^{t_2} e_l(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} e_r(t) dt}.$$

Внаслідок того, що відстані між правою і лівою котушками і рейками зазвичай не постійні і декілька змінюються при коливаннях кузова електровоза, рівність миттєвих значень ЕРС в загальному випадку відсутній. Фактичне середнє значення  $K$  слід визначати на ділянці відсутності асиметрії струму.

Порушення цілісності однієї з рейок (злам рейки, обрив стикового з'єднувача) приводить до порушення співвідношення - асиметрії. При цьому, якщо:

1.  $K' > K$  - несправна права рейкова лінія;

2.  $K' < K$  - несправна ліва рейкова лінія. «Локальну» асиметрію тягового струму (уявну) можна отримати шляхом установки на одній з рейок ізостіку з обхідною петлею струму.

Корекція місцеположення електровоза на перегоні може здійснюватися на основі інформації про місцеположення ізостіку після його розпізнавання.

Як критерії розпізнавання можна використовувати наступні:

$K' \notin [K - \Delta K, K + \Delta K]$ , де  $\Delta K$  - допустимі відхилення значення  $K$  при подовжній і поперечній асиметрії;

К змiряне мiсцеположення електровоза вiдрiзняється вiд мiсцеположення iзостикy на значення, менше деякої величини  $\Delta S_{ci}$ , змiряна довжина iзостикy вiдрiзняється вiд дiйсної  $l_{ct}$  не бiльш, нiж на  $\Delta$ ;

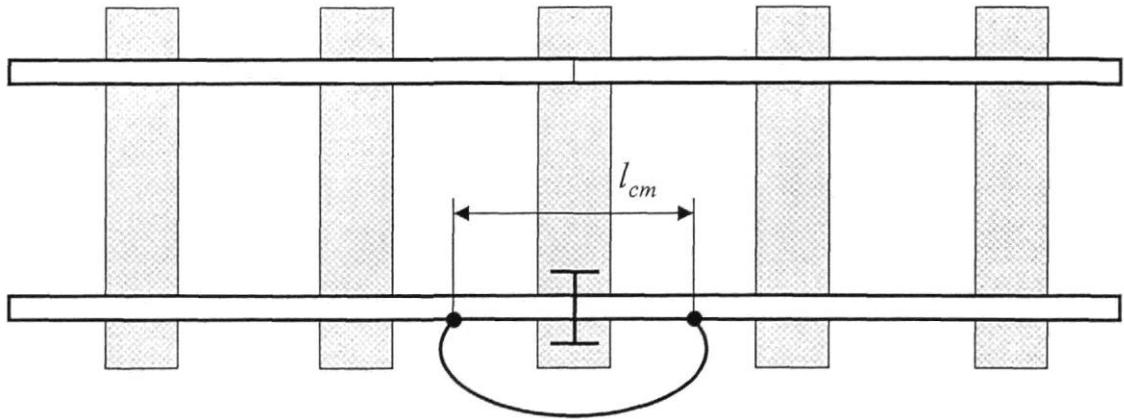


Рисунок 3.3 Спосiб отримання локальної асиметрії струму

Унiкальнiсть iзостикy може задаватися варiюванням довжини  $l_{ct}$  i розташування на нитках (чергування не обов'язкове). Застосування вказаного способу корекцiї дозволяє окрiм основної мети також контролювати цiлiснiсть рейкових ниток на перегонi з борту електровоза без використання рейкових ланцюгiв, за винятком дiлянок пiдключення фiдерiв, що вiдсiкають.

### 3.3 Спосiб корекцiї мiсцезнаходження електровоза за стиками рейкових сiток

Розглянемо спосiб корекцiї мiсцеположення електровоза по стиках рейкових сiток.

Спосiб корекцiї пройденого шляху заснований на порiвняннi вiдстанi, вимiряного iндуктивно-провiдним датчиком (ПД), з вiдомою вiдстанню мiж стиками сумiжних рейкових батогiв i базовою вiдстанню мiж КП електровоза. При цьому завдання контролю вiдстанi вказаним способом зводиться до завдання розпiзнавання стикiв.

При проходженні КП стику (інших локальних нерівностей) виникає удар, наслідком якого є затухаючі коливання КП. Сила удару колеса об стик досягає 0,5-0,7 МН, істотно залежить від значення зазору в стику і перевищує сили, що виникають при русі КП між стиками.

На рисунку 3.2 даний графік зміни в часі сумарною динамічної і статичної сил взаємодії колеса і рейки в зоні стику при русі КП з швидкістю до 72 км/год.

Графік характеризує «мертву» зону  $e_0 = 40$  мм між точками дотику колеса і рейки в стиковій зоні. При цьому максимальна сила зіткнення склала 400 кН.

Максимальні значення сили зіткнення  $Q_a(t)$  при іншій ширині «мертвої» зони приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметр	Величина «мертвої» зони, мм				
	30	40	60	80	100
$Q_a$ , кН	280	400	640	820	980

Удар колеса об стик відбувся в одному і тому ж місці для обох коліс (координата стику двічі підтвердилася);

Погрішність розташування стику щодо розрахункового не перевищує 3% за відсутності контролю 1% за наявності контролю;

Шлях, пройдений другим КП за відсутності зриву зчеплення до стику, після його проходження першої  $L_{\text{зазизм}}$ , відрізняється від базової відстані між контрольними КП  $L_{\text{брозр}}$  не більше ніж на 3% при роздільному управлінні тяговими двигунами, 1% при роздільному управлінні і наявності контролю крипа, а також при одночасному управлінні тяговими двигунами без контролю крипа.

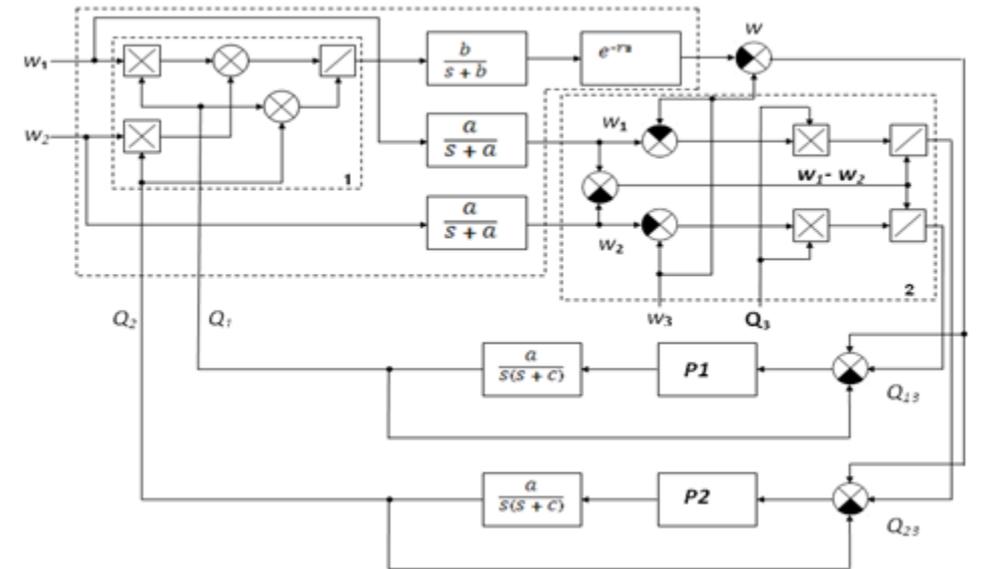


Рисунок 3.4 Структурна схема для аналізу способу корекції місцезнаходження електровоза за стиками рейкових сіток

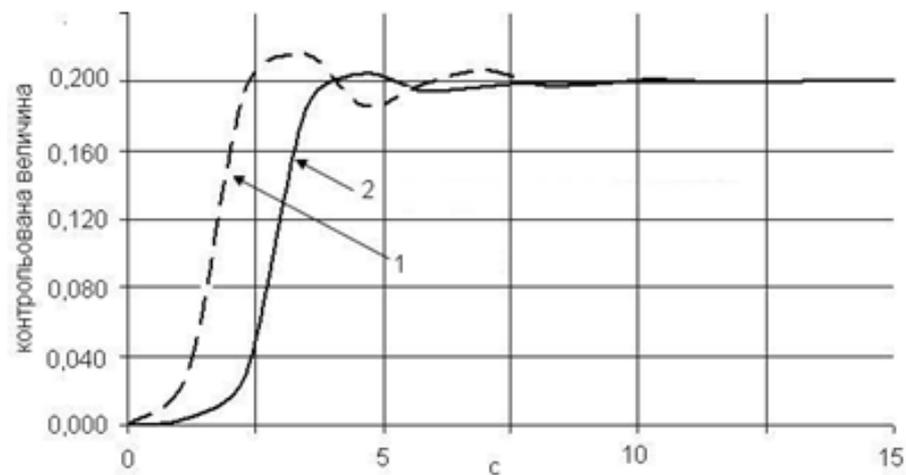


Рисунок 3.5 Графік зміни в часі сумарної динамічної і статичної сил взаємодії колеса і рейки в зоні стику при русі колісної пари:  
1- вимірне значення, згідно з [8]; 2 – теоретично визначене значення

Як видно з рисунку 3.5 сила удару колеса об рейку при швидкості 72 км/год перевищує статичне осьове навантаження, більш ніж в 2 рази. Амплітуда другого коливання не перевищує 0,4 амплітуд першого. Співвідношення статичною і динамічною складових не постійно при різних значеннях швидкості руху КП по рейках.

Виявлення стиків, як впливає з рисунку 3.5, можна здійснювати амплітудним детектуванням коливань КП у вертикальній плоскості з вибором сигналу найбільшої амплітуди на відстані, рівному довжині рейкового батога. Перешкоди, обумовлені дефектами поверхні бандажа, істотні, проте, завдяки тому, що мають чіткий період, вони можуть бути враховані при калібруванні КП («знятті розподілу») з одночасним вимірюванням прискорень осі КП. Умови ідентифікації стику наступні:

З урахуванням того, що діаметри КП електровоза відрізняються трохи, при малих змінах швидкості і рівному завантаженню КП у момент проходження стику амплітуда ударів різних КП відрізняється не суттєво.

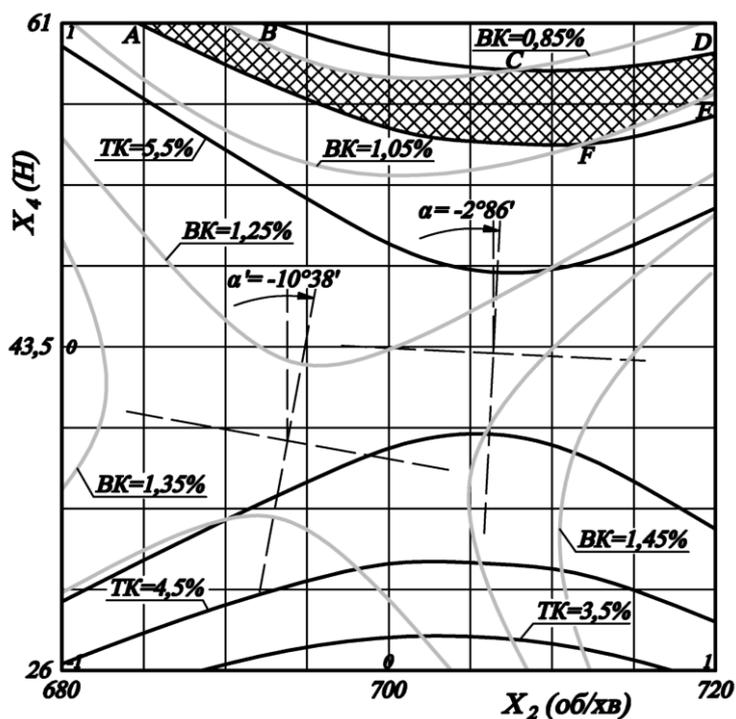


Рисунок 3.6 Двовірний перетин поверхонь відгуку при поєднанні лівого ( $X_2$ ) колісного стику рейок і правого ( $X_4$ ) колісного стику рейок під час руху електровоза вперед

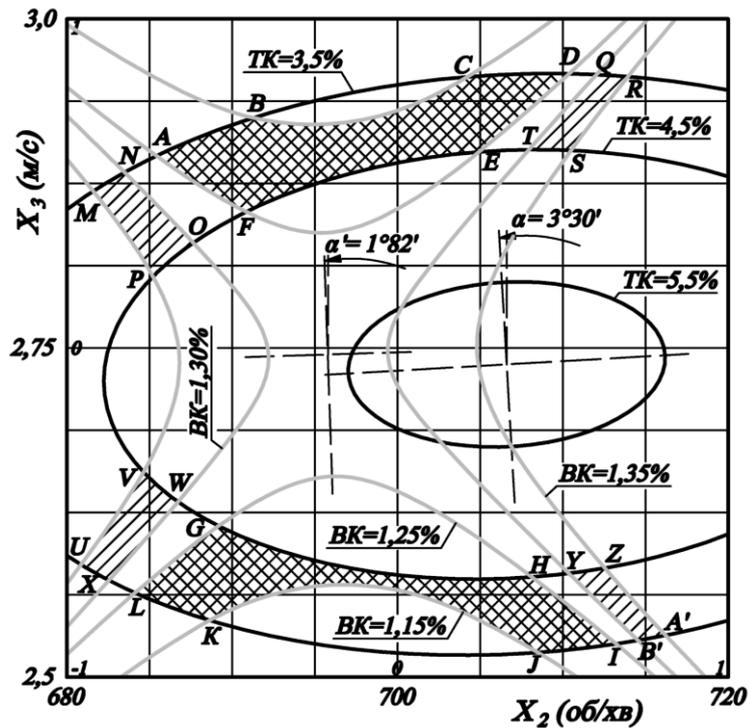


Рисунок 3.7 Двомірний перетин поверхонь відгуку при поєднанні лівого (X2) колісного стика рейок і правого (X3) колісного стика рейок під час руху електровоза назад

Сітка довжини відмінною від решти на перегоні (зрівняльна) ідентифікована вірно;

Розгін стиків правої і лівої ниток відрізняється від  $A_{\text{смі}}$  не більше ніж на  $A_{\text{ст}}$  (ідентифікація за значенням розгону стиків).

Ідентифіковані не менше  $N$  попередніх стиків, де  $N$  визначається по спрощеній формулі

$$N = \log_{p_{\text{ид}}} P_{\text{треб}},$$

де  $P_{\text{треб}}$  - необхідна надійність розпізнавання.

$$P_{\text{ид}} = \left( \frac{L_{\text{зони}}}{L_{\text{рел}}} \right)^2 \cdot P',$$

$L_{\text{зони}}$  - ширина зони можливого прийому перешкоди, м;

$L_{\text{рел}}$  - довжина рейкової сітки, м;

$P1$  - вірогідність збігу ширини зони розгону стиків

$$P' = \frac{\Delta_{cm}}{\Delta_{cm.max}},$$

$A_{стmax}$  - максимальне допустиме значення розгону стиків.

- Погрішність визначення місцеположення стику лівим колесом КП по відношенню до правого не перевищує  $A_a = 0.016m$ .

У випадку, якщо хоч би одна з вказаних умов не виконується стик слід вважати за нерозпізнаний.

Додатково вказаний спосіб контролю стиків дозволяє контролювати повзуни і дефекти на поверхні КП і відстежувати їх положення шляхом складання карти дефектів по поверхні КП (період повторення ударів збігається з періодом обертання КП  $T_{полз} = T_{кп}$ ; при

$V = const$  глибина повзуна пропорційна середній силі ударів  $h \sim F_{уд}$ , а також оцінювати поточне значення крипа

$$\delta S_{кр} = 100\% \cdot \frac{L_{унд} - L_{нл}}{L_{нл}}, \text{ либо } \delta S_{кр} = 100\% \cdot \frac{L_{унд} - L_{баз}}{L_{баз}}.$$

Підвищення точності вимірювання прослизання КП можна досягти збільшенням базової відстані на електровозі, тому п'єзодатчики слід встановлювати на крайні КП.

Найбільш надійне визначення місцеположення спосіб забезпечує на безстиковому шляху, де ділянки з відсутністю стиків і ділянки з їх наявністю істотно відрізняються завдовжки.

Технічна реалізація способу.

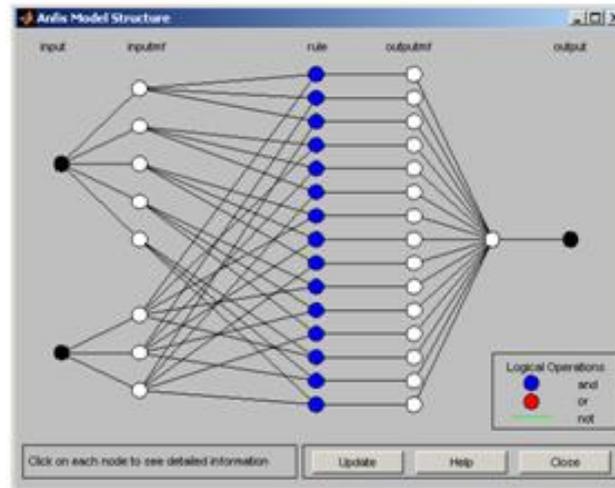


Рисунок 3.8 Структура неймережевої моделі для визначення місцезнаходження електровозу на безстиківому рейковому шляху

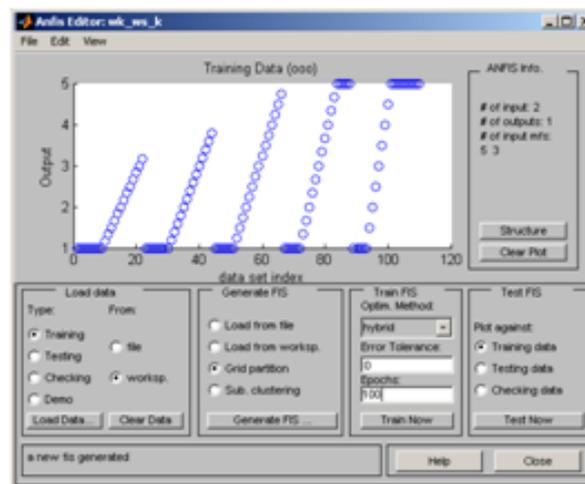


Рисунок 3.9 Розподіл даних для визначення місцезнаходження електровозу на безстиківому рейковому шляху

Фактично, зусилля, що виникають при ударах КП об рейки, виражаються у відповідних значеннях прискорень руху безпружинних частин екіпажа, а їх маса постійна, тоді завдання вимірювання зусиль зводиться до завдання вимірювання миттєвих прискорень. Датчиком вимірювання прискорень може бути п'єзодатчик.

Напруга на виході п'єзодатчика при використанні подовжнього п'єзоефекту може бути визначене по формулі

$$U_{\text{облх}} = \frac{Q}{C} = \frac{d_{II} \cdot P_x}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{F}{t}} = 10^{-3} \cdot \frac{d_{II} \cdot \frac{dV_z}{dt} \cdot m_{zp}}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{F}{t}}, \text{ В}$$

де  $d_{II}$  - пьезомодуль;

$\frac{dV_z}{dt}$  - вертикальне прискорення руху букси при проходженні стику, м/с;

$m_{zp}$  - маса вантаження п'єзодатчика, гр;

$\varepsilon = 4,5$  - діелектрична постійна кварцу;

$\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12}$  - електрична постійна, Ф/м;

$F, t$  - площа і товщина п'єзоелемента, м

Визначення стиків можна здійснювати шляхом пошуку максимумів напруги п'єзодатчика на ділянці довжиною  $L_m$ :

$$l \in \left[ x - \frac{L_{nl.i}}{2}, x + \frac{L_{nl.i}}{2} \right]$$

і подальшого порівняння цього максимуму з допустимим значенням для даного стику і значенням напруги шуму від бандажа.

Пристрій для реалізації способу корекції шляху по стиках рейкових сіток містить:

П'єзодатчики ПД1 і ПД2, встановлені на дві різних КП електровоза (можна на більше число) і орієнтовані у вертикальній площині.

Осьові імпульсні датчики ЛОІД1 і ЛОІД2, встановлені на ці ж КП.

Вимірювач параметрів руху ІПД.

Пристрій пам'яті УП, що зберігає інформацію про маршрут (довжини сіток, порядок розташування сіток, розгін стиків сіток).

В процесі руху електровоза по перегону ІПД вимірює параметри руху, додатково фіксує моменти проходження стиків  $T_{ст}$ . Використовуючи зміряні параметри руху електровоза і значення часу фіксації сигналів п'єзодатчиків, ІПД

визначає відстані, пройдені електровозом між суміжними сигналами, і розпізнає стики за умовами, приведеними вище.

Використання приведеного пристрою корекції місцеположення спільно з пристроєм вимірювання довжини електровоза і калібрування бандажа дозволяє спростити підлогову апаратуру.

Спосіб, заснований на корекції місцеположення по стиках рейкових батогів, дозволяє здійснювати корекцію на стиковому шляху з періодичністю до  $S_m = 25$  м, а на безстиковому на зрівняльних ділянках кожні  $SM = 800$ м.

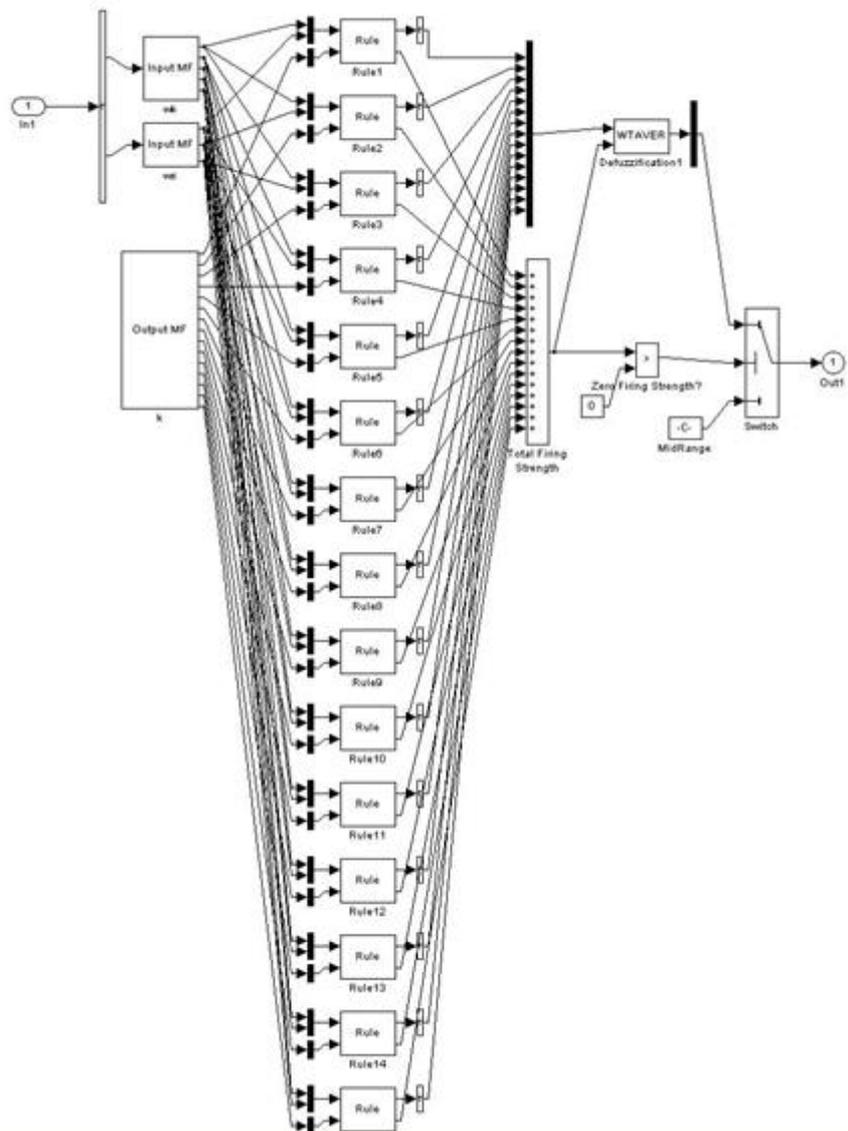


Рисунок 3.10 Fuzzy система керування для реалізації способу корекції шляху за стиками рейкових сіток



Рисунок 3.11 Результати налаштування правил для Fuzzy- регулятора

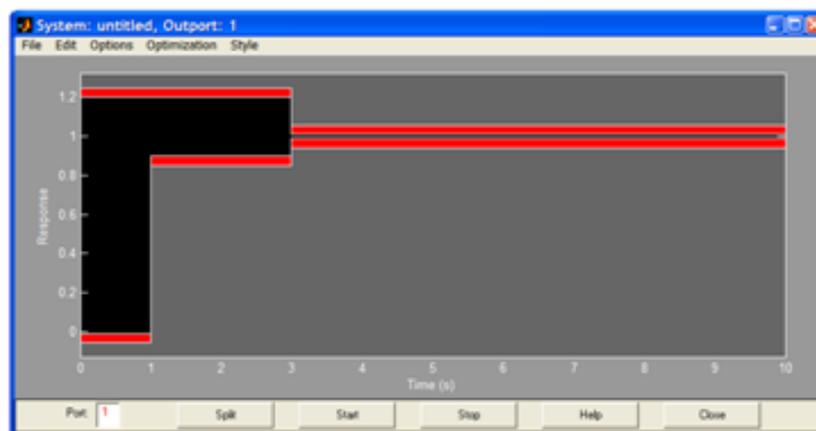


Рисунок 3.12 Графічне вікно блоку регулювання та корекції

### 3.4 Синтез індуктивно-провідного датчика з безпервною синхронізацією за сигналами лічильника імпульсів і сумщеною організацією робочого циклу

Схема містить наступні елементи

- Лічильник імпульсів осьового імпульсного датчика (ЛІОД), призначений для контролю вибірок;

- Лічильник опорних імпульсів (ЛОІ), службовець для контролю вибірок опорних імпульсів і що виконує функцію таймера;
- Регістр 1, службовець для завдання «віртуального» набору «зупинки» поточного циклу вимірювання швидкості;
- Регістр 2, службовець для фіксації коди часу «зупинки» поточного циклу вимірювання швидкості;
- Регістр 3, службовець для обмеження часу циклу вимірювання (очікування);
- Пристрої порівняння ПП1 і ПП2, що служать для стеження за поточними номерами наборів ЛД і ЛОІ і перевірки їх на збіг з номерами «зупинки», що зберігаються в регістрі 1 і регістрі 3;
- Формувачі затримок Ф31 і Ф32, службовці для виключення «помилкового» спрацьовування елементів УКП протягом перехідних процесів в лічильниках ЛД і ЛОІ відповідно;
- Формувач імпульсів Ф1, призначений для отримання імпульсів «дозвіл прочитування»;
- Пам'ять міток переривань ПФ1, ПФ2, ПФ3 служить для фіксації міток подій «запуск» і «зупинка» циклу вимірювання і «переривання за часом циклу вимірювання» відповідно;
- Логічні елементи імплікації і підсумовування.

Після подачі живлення, відбувається первинна ініціалізація схеми, при цьому всі лічильники обнуляються.

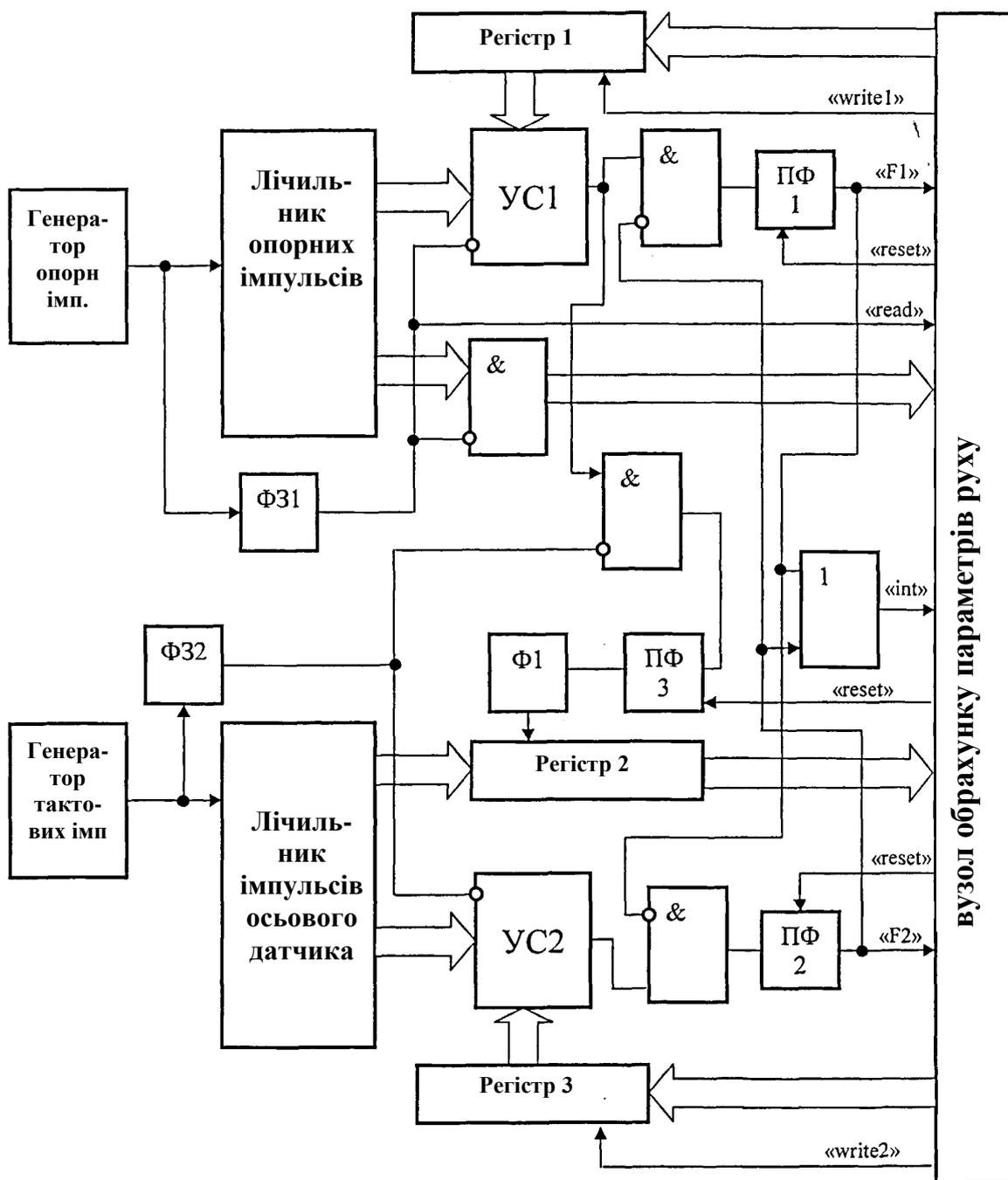


Рисунок 3.13 Принципова схема вузла обчислення параметрів руху з поєднанням операцій вимірювання і обчислення

Відразу після цього на рахунковий вхід лічильника СОІ починає поступати послідовність імпульсів  $K_{оп}$  (час) і на його виході починають безперервно формуватися кодові комбінації, пропорційні їх числу. Лічильник ЛІД після первинної установки також переходить в режим рахунку імпульсів, формованих

ЛОІД К. Таким образом, відбувається запуск фази вимірювання параметрів імпульсів.

Відразу після первинного скидання вимірювач параметрів руху, у разі реалізації його функцій на мікроконтроллері, починає послідовне виконання алгоритму. Спочатку він прочитує вміст прапорів F1 і F2, після чого формує сигнал «reset». Сигнал «reset» поступає на входи скидання тригерів прапорів ПФ1 (мітка «стоп по вибірці ЛОІД»), ПФ2 (мітка «Переривання») і тригера запису ПФ3. На прямих виходах тригерів встановлюються сигнали низького рівня. Вимірювач параметрів руху проводить прочитування цих сигналів.

Після цього вимірювач параметрів руху прочитує код з регістра P2, що містить інформацію про момент завершення циклу вимірювання (при запуску нуль). Далі в вимірювачі параметрів руху проводиться алгоритмічна обробка результатів вимірювання і обчислення граничних параметрів поточної фази вимірювань. Процес обробки може уриватися зверненням вимірювача параметрів руху до лічильника СОІ для прочитування його поточної вихідної комбінації (прочитування дозволяється за наявності сигналу «read»)

У момент завершення обробки вимірювач параметрів руху формує сигнали «writel», «write2» і фіксує розраховані коди в регістрі P1 контролю ЛД і регістрі P3 контролю СОІ.

Коди, записувані в зовнішні регістри, з ОЗП вимірювач параметрів руху не віддаляються. Сигнали «writel» і «write2» знімаються, потім знімаються сигнали «reset» і УІКП переходить в режим стеження за заданими кодами.

Протягом часу закінчення поточного циклу вимірювання вимірювач параметрів руху може виконувати додаткові завдання, при їх відсутності - він знаходиться в режимі очікування.

Стан стеження зберігається до тих пір, поки не наступить одна з двох подій:

На виходах лічильника ЛД з'являється код вибірки К, записаний в регістр PL

На виходах лічильника СОІ з'являється код часу Т, записаний в регістр P3.

У першому випадку сигнали ЛІД і Р1 поступаючи на входи пристрою порозрядного порівняння УС1 у момент збігу викликають появу на його виході сигналу високого рівня тривалість якого дорівнює часу збігу код. Вихідний сигнал УС1 потрапляє на вхід тригера пам'яті ПФ1, викликаючи появу прапора «стоп по вибірці ЛОІД» F1 на одному з входів вимірювач параметрів руху. Крім того, проходячи через елемент синхронізації з сигналами ГТІ, він викликає появу прапора «запис» на виході елементу ПФ3. Перепад сигналу на виході ПФ3 формує на виході елементу Ф2 сигнал запису стану СОІ, що приводить до запису в регістр Р3 поточній вихідній комбінації СОІ. Вихідний сигнал ПФ1 поступає на вхід елементу підсумовування і з'являється на виході останнього у вигляді прапора «int» запиту обробки зовнішнього переривання для вимірювача параметрів руху. Крім того, сигналом ПФ1 проводиться блокування елементу ПФ2 (унеможлиблюється появи прапора «Переривання» протягом часу очікування обробки). Поточний цикл вимірювання закінчується, при цьому рахункова частина схеми УІКП продовжує фіксацію імпульсів по каналах ЛОІД і ГТІ, не виходячи з синхронізації.

У другому випадку раніше відбувається збіг сигналів СОІ і Р3, що викликає появу сигналу високого рівня на виході УС2. Вихідний сигнал УС2 поступає на вхід тригера ПФ2, викликаючи появу прапора «Переривання» F2 на іншому з входів вимірювача параметрів руху. Вихідний сигнал ПФ2, проходячи через елемент підсумовування, з'являється на виході елементу у вигляді прапора «int» запиту обробки зовнішнього переривання для вимірювач параметрів руху, а також здійснює блокування елементу ПФ1. Поточний цикл вимірювання закінчується, при цьому рахункова частина схеми УІКП продовжує фіксацію імпульсів по каналах ЛОІД і ГТІ, не виходячи з синхронізації.

Обробка результатів циклу вимірювання в вимірювачі параметрів руху починається зі зчитування вмісту тригерів міток, після цього на входи ПФ1-ПФ3 подається сигнал «reset». Далі, на основі аналізу міток вимірювача параметрів руху визначає вид переривання.

У разі зупинки циклу вимірювання по сигналу F1, вимірювач параметрів руху прочитує вміст регістра P2 з кодом часу закінчення циклу вимірювання. Після чого, з ОЗП прочитуються коди:

По ЛІД:

- код початку циклу вимірювання (кінець попереднього циклу), що завершився
- код, по якому повинне було відбутися переривання «стоп по вибірці ЛОІД»
- число імпульсів у вибірці ЛОІД.

По СОІ:

- код початку циклу вимірювання, що завершився (кінця попереднього циклу);
- задане число опорних імпульсів у вибірці.

На основі заданої коди СОІ почала вибірки і зафіксованого в P2 коди закінчення циклу обчислюється час циклу. З використанням заданого числа імпульсів вибірки ЛОІД і обчисленого числа імпульсів СОІ вимірювач параметрів руху визначає параметри руху і визначає значення код для завершення поточних вимірювань. Після чого формує сигнали запису регістрів «write 1» і «write2» і здійснює запис код в регістри P1 і P3 і знімає сигнали «reset». Починається очікування закінчення поточних вимірювань.

У разі зупинки циклу вимірювання по сигналу F2, вимірювач параметрів руху прочитує вміст ЛІД (читання здійснюється за наявності сигналу «read»). Оскільки «переривання» циклу вимірювання приводить до похибки вимірювання параметрів руху, те обчислення параметрів руху не відбувається. На основі коди, ліченої з ЛІД в P1, записується код  $P = P_{тек} + 1$  і знімається сигнал «reset». Починається очікування сигналу ПФ1, який в даному випадку виступає як прапор «запуск вимірювань», але якому вміст ЛІД буде приведене у відповідність з вмістом СОІЛ Далі цикл роботи ІПД повторюється.

### 3.5 Аналіз похибок вимірювання швидкості індуктивно-провідним датчиком з синхронізацією і поєднанням операцій вимірювання і обчислення в області малих швидкостей руху і контроль несанкціонованого руху

Робота ПД при русі електровоза з малою швидкістю.

При роботі синтезованого ПД в області малих швидкостей зміряне значення швидкості дорівнює нулю, оскільки при появі сигналу «переривання» вимірювання параметрів руху не проводиться (здійснюється тільки формування сигналів «запуск» тоді як завершення циклу вимірювання не відбувається). З огляду на те, що цикл вимірювання, на відміну від раніше розглянутих схем ПД, здійснюється шляхом стеження за кодами ЛД, а останні, унаслідок виключення асинхронності точно відповідають пройденому при малій швидкості шляху, то підрахунок «зайвих» імпульсів не відбувається.

Погрішність вимірювання швидкості дорівнює значенню дійсної швидкості руху, а погрішність шляху повністю описується співвідношеннями, приведеними для штатних швидкостей. При  $T_{\text{имп}} < (T_{\text{ПД}})$  починається стійкий контроль швидкості.

Робота ПД при зупинці електровоза.

При зупинці електровоза з різним положенням крильчатки можливе формування інформації про помилковий рух. «Помилкові» імпульси про рух можуть формуватися при амплітуді коливань крильчатки, не меншої значення, що дозволяє перекрити світловий потік. Тоді при використанні одного вимірювального каналу ЛОІД і з допущенням про рівномірність розсіяння точок положення лопаті крильчатки по відношенню до чутливого елемента ЛОІД, вірогідність помилкового формування інформації про рух може бути обчислена за формулою

$$P_{\text{лож}} \approx \frac{2 \cdot A_{\text{max}}}{dS_{\text{расч}}},$$

де  $A_{\max}$  - максимальна амплітуда коливань крильчатки ЛОІД при роботі різних агрегатів.

Вірогідність виникнення сигналу «помилкового» руху як небезпечної відмови істотна, оскільки перевищує вірогідність небезпечної відмови прийнятого за нормований рівень надійності для мікропроцесорних систем  $10^{-11}$ , тому ПІД вимагає додаткового контролю (програмного або апаратного).

Контроль несанкціонованого руху.

Оскільки цикли вимірювання в ПІД запускаються безперервно навіть на нерухомому електровозі, то контроль несанкціонованого руху здійснюється по приходу імпульсу ЛОІД в черговому циклі вимірювання, тобто рух виявляється при зрушенні електровоза в будь-якому напрямі на величину  $dS$  незалежно від швидкості руху.

З варіантів апаратного контролю найбільш переважними є варіанти установки на дві КП електровоза двох різних осьових датчиків, наприклад, ЛОІД і індукційного. В цьому випадку ЛОІД здійснює точний контроль несанкціонованого зрушення електровоза, а індукційний дозволяє виявити формування ЛОІД інформації про «помилковий рух». Одночасно можливе застосування способу контролю, заснованого на використанні для вимірювання швидкості двох каналів ЛОІД.

### **3.6 Обґрунтування вимог до пристрою визначення напрямку руху**

Як визначення напрямку руху, так і контроль «помилкового руху» на апаратному рівні можливий у випадку, якщо первинний перетворювач, формує інформацію, в об'ємі, достатньому для виконання обох завдань.

У зв'язку з цим в роботі згадувалося, що одна послідовність імпульсів ЛОІД не несе інформації про напрям обертання крильчатки, а, отже, напрям руху електровоза при використанні одноканального ЛОІД визначити неможливо.

При зупинці електровоза крильчатка ЛОІД може зупинитися в проміжному положенні, при якому зуб крильчатки перекриває частина світлового потоку. Малі

коливання крильчатки можуть приводити до помилкового формування імпульсів в каналі, що приводить до появи помилкової інформації про рух.

Отже, схема з використанням одного вимірювального каналу ЛОІД, не може бути застосована в координатній СІРДП з контролем місцеположення і напрямку руху тільки бортовою апаратурою.

В даний час ЛОІД містять два незалежні вимірювальні підканали. Вихідним сигналом ЛОІД при цьому є дві послідовності електричних імпульсів  $F_1$  і  $F_2$ , частоти проходження яких рівні між собою ( $F = F_2 = F$ ), і прямо пропорційні швидкості руху

$$F_f = j \cdot V_f, \text{ Гц}$$

де  $j$  - коефіцієнт пропорційності,  $V$ , - миттєва швидкість руху.

Зрушення фази між послідовностями імпульсів ? визначається напрямом руху електровоза. Більшість тих, що існують в даний час ЛОІД використовують наступні кути: рух умовний вперед -  $\varphi = +90$ , рух умовний назад -  $\varphi = -90$ . Практично заданий зсув фази в підканалах, досягається установкою двох оптопар, одна з яких, по відношенню до іншої, зміщена на 0,5 зуба.

При зупинці крильчатки в проміжному положенні і наявності двох підканалів зрушених по відношенню один до одного на 0,5 зуба, імпульси можуть формуватися тільки в одному з підканалів, тоді як рух приводить до почергової появи сигналів в підканалах. Означає датчик, що має два підканали, дозволяє вирішити окрім завдання визначення напрямку руху і завдання контролю несанкціонованого руху незалежно від вібрації крильчатки, тому в ПД доцільно використовувати тільки двоканальні ЛОІД.

Оскільки в СІРДП з радіоканалом місцеположення і параметри руху електровоза підлогова апаратура безперервно не контролює, то в плані контролю руху слід встановити наступну вимогу - напрям руху електровоза обов'язково повинен визначатися при русі електровоза з місця, а потім, при  $V \rightarrow V_{\max}$  (зважаючи на неможливість різкої зміни напрямку руху електровоза) повинна

обов'язково проводиться перевірка відповідності напрямку руху в кожному циклі вимірювання.

Контроль напрямку руху слід здійснювати апаратним способом, оскільки надійність програмних засобів має сенс тільки при апаратній надійності. Програмний спосіб може виступати тільки як доповнення до апаратного.

У роботі була зроблена спроба синтезу пристрою апаратного контролю напрямку руху. Принцип контролю полягав в підключенні до осьового двоканального датчика двохстабільного елемента. Залежно від напрямку руху електровоза, велику частину часу двохстабільний елемент повинен знаходитися в одному з двох положень. Напрямок руху пропонувалося визначати контролем часу знаходження двохстабільного елемента в кожному з двох станів. Пристрій, що реалізовує спосіб контролю напрямку руху за часом знаходження двохстабільного елемента в двох можливих станах, не дозволяв визначати напрям руху при малих швидкостях руху (менше 4 км/год) і не був призначений для контролю несанкціонованого руху електровоза. Останні недоліки виявлялися насамперед унаслідок специфіки способу визначення напрямку руху - контролі тимчасових параметрів вихідного сигналу двохстабільного елемента. Отже, пристрій контролю напрямку руху повинен реалізовувати інший спосіб його визначення.

Враховуючи те, що ПД реалізує спосіб вимірювання швидкості і прискорення, з синхронізацією циклу вимірювання по сигналах ЛОІД, до апаратури контролю напрямку руху, пред'явимо додаткову вимогу, що полягає в тому, що контроль напрямку руху в кожному циклі вимірювання не повинен приводити до втрати синхронізації з ЛОІД.

Остаточні вимоги, що пред'являються до вузла визначення напрямку руху наступні:

- Контроль напрямку руху повинен здійснюватися в кожному циклі апаратного вимірювання параметрів руху електровоза;
- Контроль напрямку руху повинен здійснюватися апаратними засобами;
- Визначення напрямку руху не має бути пов'язане з вимірюванням тимчасових параметрів сигналу ЛОІД;

- Контроль «помилкового руху» повинен здійснюватися апаратними і програмними засобами;

Контроль напрямку руху і «помилкового руху» не повинен приводити до втрати синхронізації між ЛОІД і УІКП;

### **3.7 Синтез пристрою визначення напрямку руху з блокуванням «помилкового руху»**

З урахуванням поставлених вимог як апаратний пристрій контролю напрямку руху КП пропонується використовувати асинхронний тригер JK типу, у якого входи J і K підключені до виходів каналів ЛОІД.

Застосування як двохстабільний елемент JK тригера доцільно по наступних міркуваннях:

- Парафазний, тому дозволяє апаратний виключати помилкове формування імпульсів про рух при коливаннях крильчатки датчика;
- Не має заборонених станів;

Полягання тригера в кожній фазі визначається послідовністю приходу вхідних сигналів;

Дозволяє безперервно здійснювати контроль напрямку руху на апаратному рівні без відвернення центрального оброблювального модуля;

- Принципово дозволяє здійснювати контроль напрямку руху електровоза без розриву синхронізації з ЛОІД.

Таблиця істинності JK тригера має вигляд:

Таблиця 3.2

J	K	Q	Q
0	0	пам'ять	
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Інверсія (стани)	

Оскільки ЖК тригер винен апаратний виключати пропускання на вхід УІКП імпульсів «помилкового руху», то в загальній структурі ПД має бути включений між виходами ЛОІД і входом УІКП. Враховуючи те, що УІКП напрям руху не визначає, його вхід може бути підключений до будь-якого з виходів тригера. Шпаруватість вхідного сигналу що поступає на вхід УІКП при такій схемі включення буде різною для різного напрямку руху електровоза, проте, враховуючи нечутливість ПД із запуском і зупинкою циклу вимірювання по ЛОІД до шпаруватості сигналу ЛОІД, впливу на погрішність вимірювання швидкості така зміна схеми включення УІКП не робить.

ЖК тригер зможе забезпечити апаратну нечутливість ПД до формування імпульсів в одному з каналів, у випадку, якщо під час вступу на один з входів будь-якої пачки імпульсів і збереженні стану іншого входу, стан його виходу залишатиметься незмінним. Такого роду нечутливість можлива тільки при роботі тригера на перших трьох наборах змінних. Під час вступу на його входи четвертого набору, на вихід Q починає пропускатися послідовність імпульсів. В той же час, якщо підключити входи ЖК тригера безпосередньо до виходів першого і другого каналів ЛОІД, то на його входи поступатимуть всі можливі комбінації. Тоді у разі зупинки електровоза при такому положенні крильчатки ЛОІД, коли на одному з входів тригера присутній «лог.1», а на іншому вході формуються імпульси, на виході формуватиметься сигнал «помилкового руху». Для виключення четвертого набору змінних з робочих наборів ЖК тригера, слідує сигнали з каналів ЛОІД подавати на його входи через формувачі імпульсів малої тривалості (наприклад, диференціюючі ланцюжки). Тоді схема включення тригера в ПД остаточно має вигляд, представлений на рисунку 3.4.

Робота представленої схеми блокування «помилкового руху» при зупинці електровоза з різним положенням крильчатки ЛОІД проілюстрована на рисунку 3.4. З нього видно, що при зупинці електровоза з будь-яким положенням крильчатки на вихід ЖК тригера завжди пропускається не більш за один імпульс з пачки, при будь-якій її величині. Відповідно погрішність вимірювання шляху від «помилкового руху» при використанні даного способу блокування не перевищує

$\pm dS$  для кожної зупинки електровоза. Максимальна погрішність вимірювання шляху при  $l$  зупинок є

$$\Delta S_{\text{лож}} = \pm dS \cdot l, \text{ м}$$

Окрім апаратної нечутливості до формування імпульсів в одному каналі, дана схема дозволяє виключити пропускання пачок імпульсів на вхід УІКП при збої в роботі одного з каналів ЛОІД («брязкіт в каналі»)

Для визначення напрямку руху електровоза, заснованого на контролі двохстабільного елемента, окрім раніше розглянутого способу з контролем часу знаходження двохстабільного елемента в різних станах, можна використовувати також способи контролю шпаруватості вихідного сигналу елемента і спосіб визначення стану елемента в заздалегідь задані моменти часу при настанні деякої події.

Спосіб контролю напрямку руху по шпаруватості сигналу двохстабільного елемента володіє недоліками, що полягають в необхідності вимірювання тривалості імпульсу і періоду сигналу ЛОІД, а це, як правило, вимагає установки таймерів, що ускладнює схему ПД. При русі з різними швидкостями перераховані характеристики сигналу ЛОІД змінюються, тому точне значення шпаруватості можна визначити, переважно, програмним шляхом. Такий спосіб окрім витрат апаратури приводить до необхідності ускладнення алгоритму роботи ПД в цілому і відволікає його обчислювальну частину.

Спосіб контролю напрямку руху електровоза, заснований на визначенні стану двохстабільного елемента в заздалегідь задані моменти часу, зручніший, оскільки позбавлений недоліків способу контролю по шпаруватості сигналу ЛОІД. При його реалізації досить ускладнити схему ПД буферними елементами пам'яті, службовцем для зберігання стану двохстабільного елемента після закінчення циклу визначення напрямку руху електровоза, і елементом формування сигналу запису стану двохстабільного елемента. Тоді головним завданням при контролі напрямку руху електровоза є правильний вибір моменту часу запису стану двохстабільного елемента (С тригера).

Як впливає з аналізу епюри вихідного сигналу Q JK тригера запис стану тригера можна здійснювати в інтервалах часу, коли одночасно перекритий, або відкритий світловий потік обох чутливих елементів. У цих інтервалах часу (виділені кольором) стан JK тригера однозначно визначає напрям руху електровоза. Чинник часу знаходження тригера в тому, або іншому стані можна не враховувати, а запис коди напрямку руху завжди здійснюватиметься по одному набору ознак, незалежно від напрямку руху електровоза. При такому підході до контролю напрямку руху, ПД не вимагатиме перенастроювання при русі електровоза з будь-якою швидкістю, а пристрій формування сигналу запису стану тригера, може бути, в простому випадку, логічний елемент «І» або елемент рівнозначності.

Враховуючи, що цикли апаратного вимірювання параметрів руху електровоза здійснюються часто, то за один цикл вимірювання швидкості досить одноразово перевірити стан JK тригера в будь-який дозволений момент, причому цикл визначення напрямку повинен починатися одночасно з початком циклу вимірювання швидкості, а закінчуватися - по можливості, раніше закінчення циклу вимірювання швидкості, щоб вимірювач параметрів руху міг в одному циклі обміну отримати інформацію про швидкість і напрям руху.

Аналіз епюр показує, що при переміщенні електровоза в різних напрямках з тими, що замовляються в ПД вибірками  $K=1$ , момент визначення напрямку руху може бути раніше моменту фіксації імпульсу ЛД, або пізніше. Це відбувається унаслідок того, що ЛД незалежно від напрямку руху завжди фіксує фронт (спад) імпульсу з виходу JK тригера (на рисунку 3.4 зображений спосіб фіксації періодів імпульсів ЛОД по фронтах). Виключити невизначеність можна різними способами, з яких можна виділити наступні:

- повністю виключити контроль напрямку руху при замовних вибірках, менших  $K=2$ ;
- перемикаєти ЛД на фіксацію спадів (фронтів) при зміні напрямку руху;
- завжди здійснювати опит вузла контролю напрямку руху (УКНД), після закінчення максимального значення часу між моментом фіксації періоду ЛОД в

СИД і закінченням циклу визначення напрямку руху:

$$t = t_{max}, \quad t_{max} \in \{[t_{умп}], [t_{инт}]\}, \quad [t_{умп}] = f(V_{min}), [t_{инт}] = f(V_{min});$$

- здійснювати апаратне стеження за моментом закінчення циклу визначення напрямку руху.

Перший спосіб полягає в програмному відключенні контролю напрямку руху при русі з малими швидкостями. Проте, враховуючи необхідність контролю напрямку руху вже на початкових стадіях руху, даний спосіб слід визнати неприйнятним.

Спосіб перемикання СИД на фіксацію з фронтів на спади зв'язаний з наступними труднощами. Для того, щоб здійснити перемикання СИД з фронту на спад слідує в ланцюг між УКНД і УКП включити керований інвертор. Управління інвертором можна здійснювати тільки після визначення напрямку руху, тобто на початку руху це здійснити

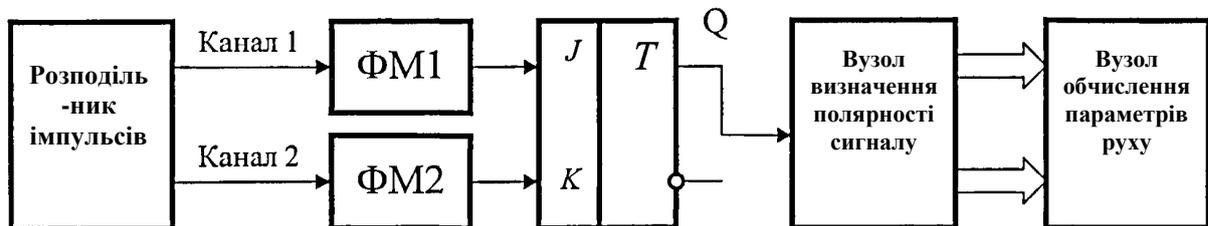


Рисунок 3.14 Схема включення JK тригера в структуру ПД, що забезпечує апаратну нечутливість ПД до «помилкового руху».

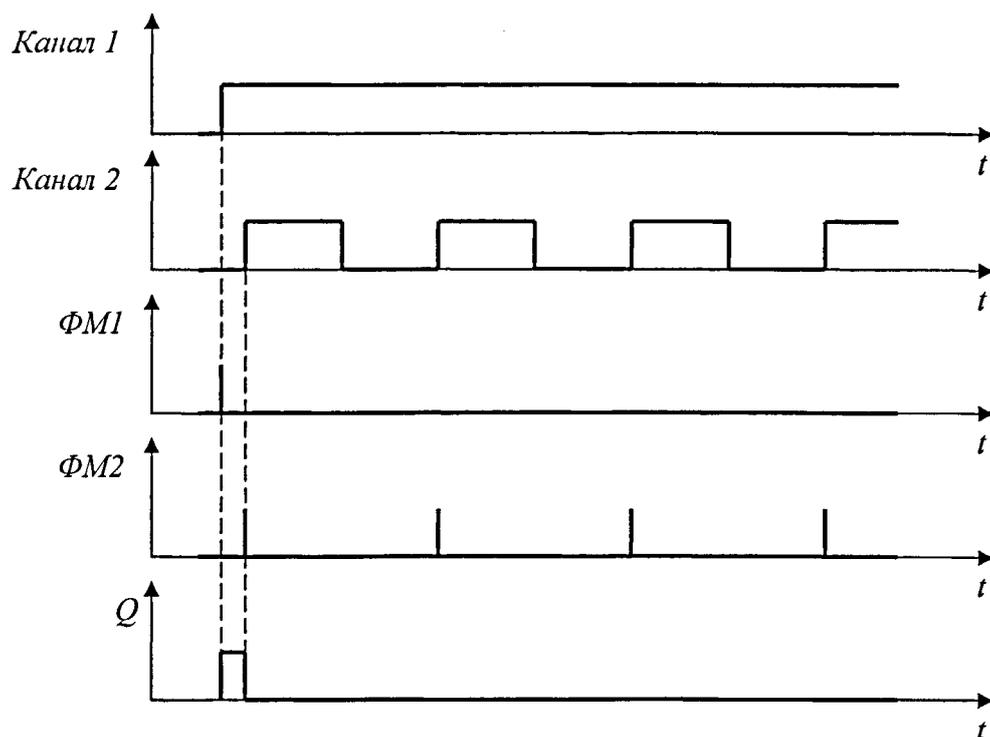


Рисунок 3.15 Зупинка електровоза, коли перший канал знаходиться у відкритому положенні, а в другому каналі формуються імпульси

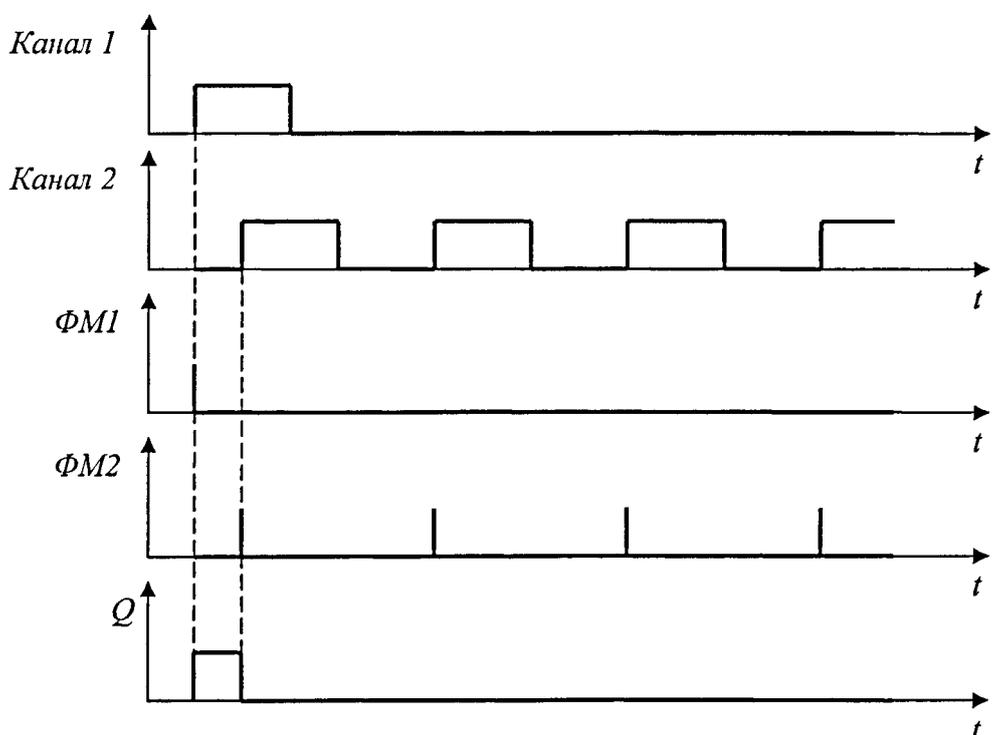


Рисунок 3.16 Зупинка електровоза, коли перший канал знаходиться в закритому положенні, а в другому каналі формуються імпульси

Окрім цього, включення керованого інвертора в ланцюг перетворення приведе до появи додаткової похибки вимірювання шляху, за рахунок комутації його з режиму інвертора в режим повторювача (комутація відбуватиметься незабаром після початку руху після закінчення першого циклу контролю напрямку руху). Установка додаткового елемента в ланцюг перетворення викликає зниження надійності всього вимірювального тракту в цілому. Помилка в підключенні інвертора може приводити до ситуацій, коли цикл визначення напрямку завжди закінчуватиметься пізніше за надходження чергового імпульсу на вхід ЛД. З указаних причин спосіб перемикання також неприйнятний.

Спосіб опиту УКНД після закінчення фіксованого часу дозволяє без застосування додаткових апаратних засобів здійснювати контроль напрямку руху в будь-якому діапазоні швидкостей. В той же час в більшій частині діапазону вимірюваних значень швидкостей цикл визначення напрямку руху при контролі по першому періоду ЛОД завершуватиметься раніше закінчення циклу вимірювання швидкості, незалежно від напрямку руху електровоза. Останнє приводить до постійних втрат часу на обмін даними між УКНД і вимірювачі параметрів руху, хоча в більшій частині діапазону вимірюваних швидкостей ПД це і не вимагатиметься.

Найбільш зручним є спосіб апаратного стеження за моментом закінчення циклу контролю напрямку руху. В цьому випадку при опиті УКНД сам підтверджує факт закінчення циклу визначення напрямку, подаючи сигнал для обслуговування. Пріоритет цього сигналу має бути нижче за пріоритет сигналу УІКП, тоді контроль напрямку руху здійснюватиметься завжди або у момент закінчення циклу УІКП (при русі електровоза з штатною швидкістю), або після його закінчення (при русі електровоза з малими швидкостями).

З урахуванням зроблених зауважень, остаточно принципова схема УКНД з функцією блокування «помилкового руху» представлена на рисунку 3.19.

Опис УКНД.

УКНД містить:

1. Формувачі коротких імпульсів (DD1-DD2);

2. Формувач затримки (DD5);
3. JK тригер (DD3);
4. D тригери (DD6, DD11);
5. Комбінаційні елементи (DD4, DD7-DD10, DD12).

Виходи формувачів ЛОІД підключаються до входів «канал 1» і «канал 2» УКНД. Вхід лічильника імпульсів ЛОІД підключається до прямого виходу елемента DD3. Вихідними сигналами блоків M1 і M2 є «прапор 1» і «прапор 2» відповідно. Вихідним сигналом елемента DD12 є прапор «1NT1» зупинка циклу визначення напрямку руху. Управління УКНД здійснюється сигналами:

«1NT» - закінчення циклу вимірювання швидкості УІКП.

«Контроль» - перевірка роботи модулів M1 і M2.

«Запуск циклу» - запуск циклу визначення напрямку руху.

Модулі M1 і M2 мають однакову структуру.

Напрямок руху визначається по сигналах «мітка1» і «мітка 2».

При значенні міток 2: 1 та 0 відповідно - рух електровоза відбувається умовно вперед; 0 і 1 відповідно - рух електровоза відбувається умовно назад; 0 і 0, або / і 1 в кінці циклу визначення напрямку руху - помилка в роботі схеми визначення напрямку руху;

0 і 0 при запуску циклу вимірювання - готовність модулів M1 і M2 на початок циклу визначення напрямку.

Запис стану JK тригера відбувається в моменти перекриття крильчаткою ЛОІД світлового потоку до чутливих елементів обох каналів. Сигнал запису формує ланцюжок з елементів DD4 - DD6. Із-за наявності в ланцюзі запису елемента DD6 запис напрямку руху здійснюється одноразово за цикл апаратного вимірювання швидкості.

Блоки M1 і M2 служать для запису і зберігання" стану прямого і інверсного виходів тригера DD3 відповідно. При формуванні у сигналу «контроль» вихідні сигнали модулів M1 і M2 інвертується, що дозволяє здійснити перевірку їх роботи. З огляду на те, що сигнал «запис» на виході елемента DD3 при різному напрямі

руху електровоза може формуватися одночасно з черговим імпульсом, що поступає на вхід ЛД, або відставати від імпульсу на вході ЛД, для забезпечення синхронного зчитування інформації з блоків М1 і М2 служить елемент DD12, який формує сигнал завершення циклу роботи УКНД.

Оскільки відмова формувачів коротких імпульсів DD1, DD2 типу «залипання лог.1» є небезпечним, то зниження його вірогідності можна досягти використанням пасивних формувачів.

Вірогідність безвідмовної роботи пасивного формувача, без урахування паянь, може бути визначена по формулі

$$P_{\text{бонт}}(\tau) = (P_C(\tau))^n \cdot P_R(\tau) \cdot P_{VD}(\tau),$$

де  $n$  - число конденсаторів в ланцюжку;

$$P_C(\tau), P_R(\tau), P_{VD}(\tau)$$

вірогідність безвідмовної роботи конденсатора резистора і діода відповідно.

Вірогідність небезпечної відмови для вказаного ланцюжка розрахуємо по формулі

$$Q = (1 - P_C(\tau))^n.$$

Еквівалентна ємкість ланцюжка конденсаторів

$$C_{\text{э}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}},$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - ємкості конденсаторів ланцюжка.

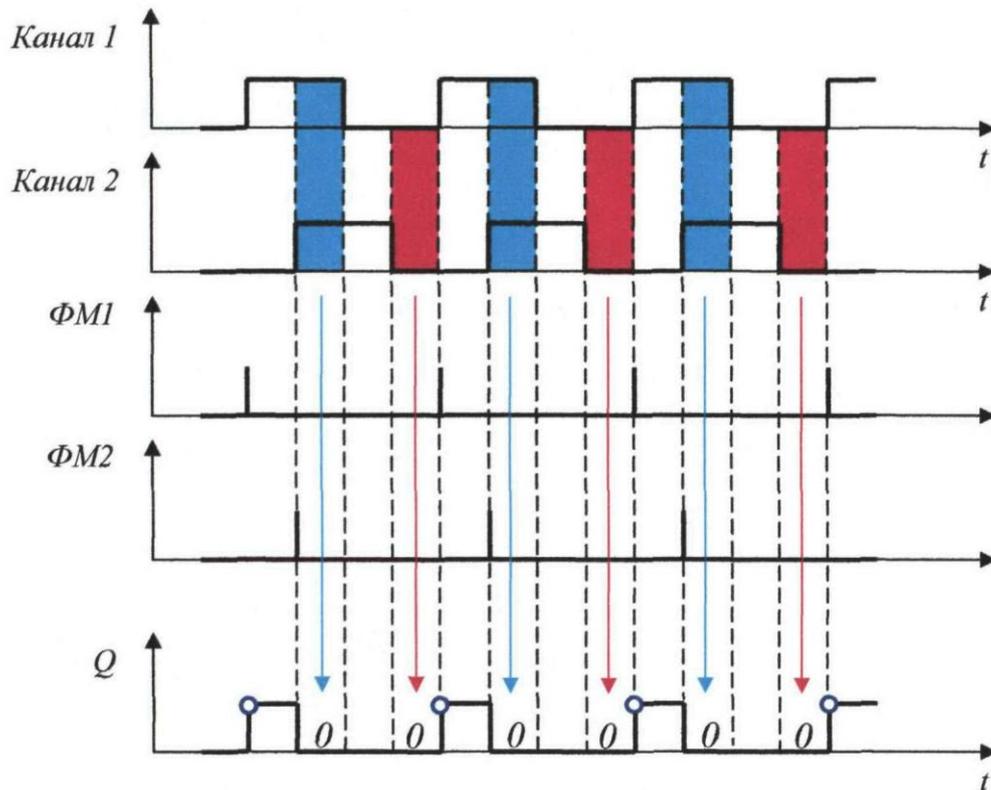
При використанні конденсаторів однакової ємкості формула спрощується

$$C_{\text{э}} = \frac{C}{n}.$$

Постійна часу формувача

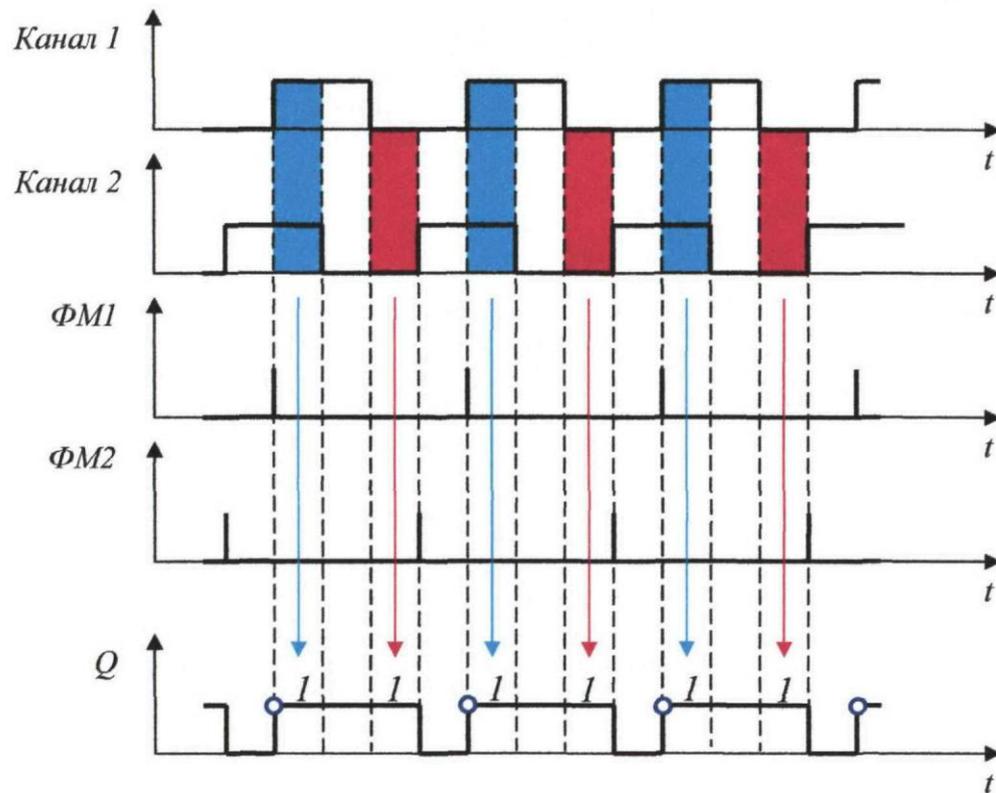
$$T = R \cdot C_{\text{э}}.$$

Розрахунок імовірнісних показників слід проводити, користуючись експоненціальним законом надійності.



- - стан виходу тригера при відкритому світловому потоці в обох каналах ЛОІД.
- - стан виходу тригера при перекритому світловому потоці в обох каналах ЛОІД
- o - моменти фіксації періодів в УІКП

Рисунок 3.17 Епюри роботи JK тригера при русі електровоза умовно вперед



■ - стан виходу тригера при відкритому світловому ^ потоці в обох каналах ЛОІД.

■ - стан виходу тригера при перекритому світловому потоці в обох каналах ЛОІД

о - моменти фіксації періодів в УІКП

Рисунок 3.18 Епюри роботи JK тригера при русі електровоза умовно назад

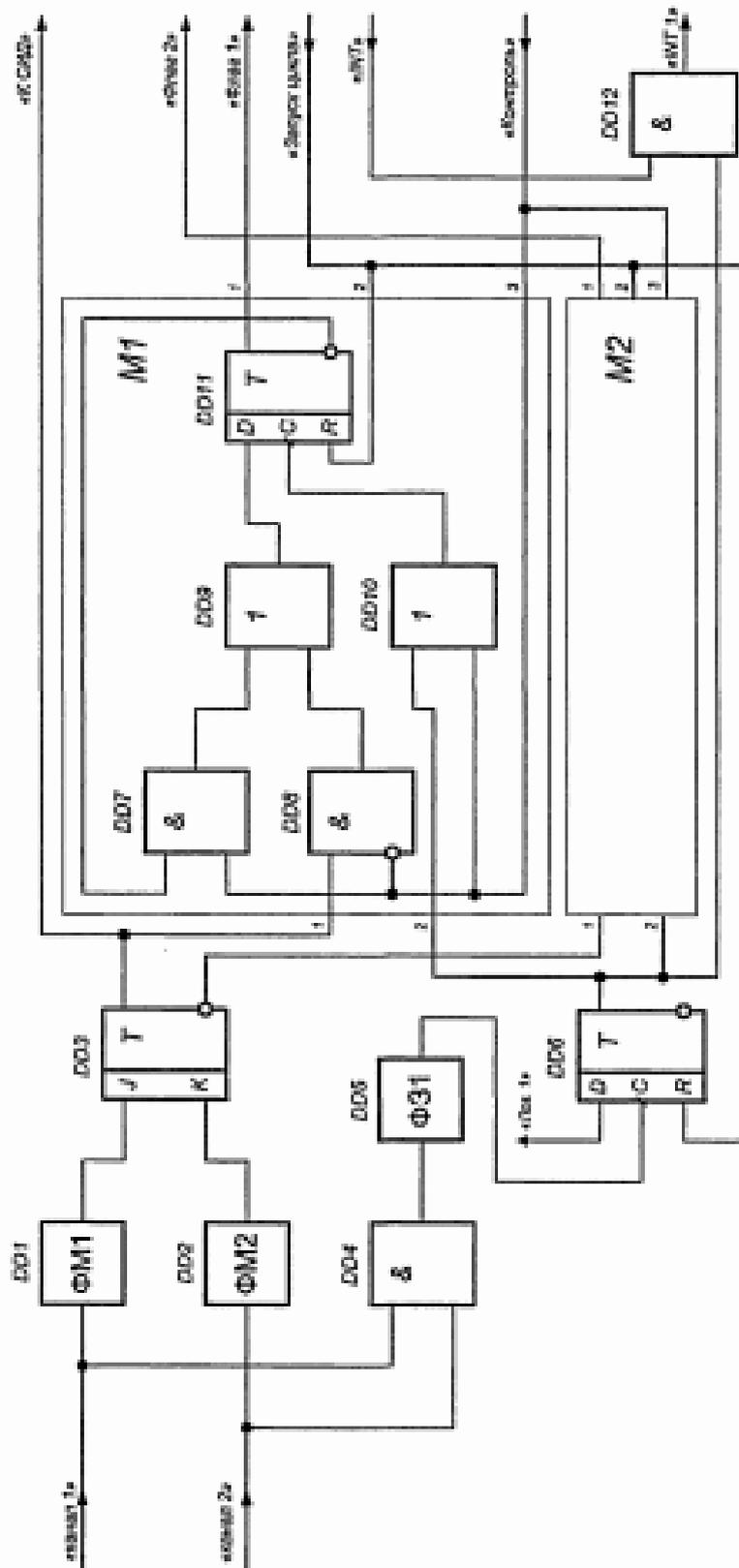


Рисунок 3.19 Схема логіки з функцією блокування «помилкового руху»

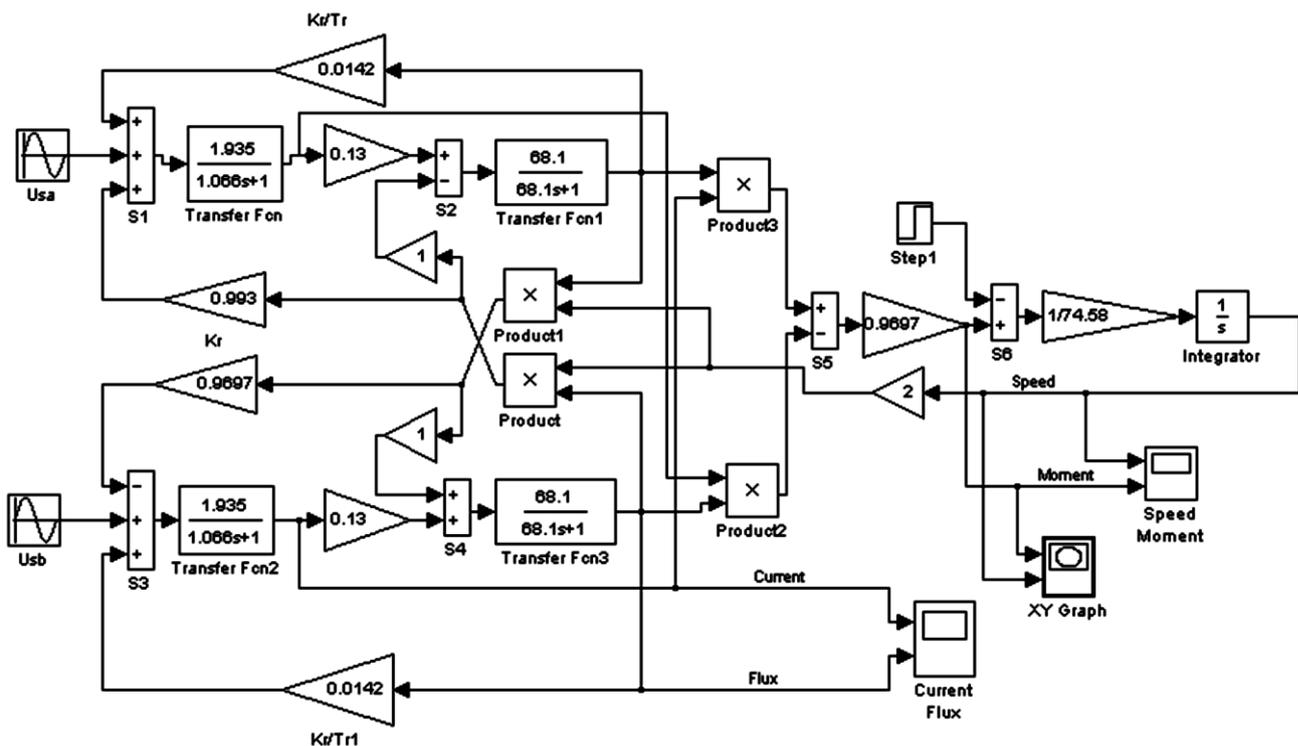


Рисунок 3.20 Модель вузла формування швидкості з функцією блокування «помилкового руху»

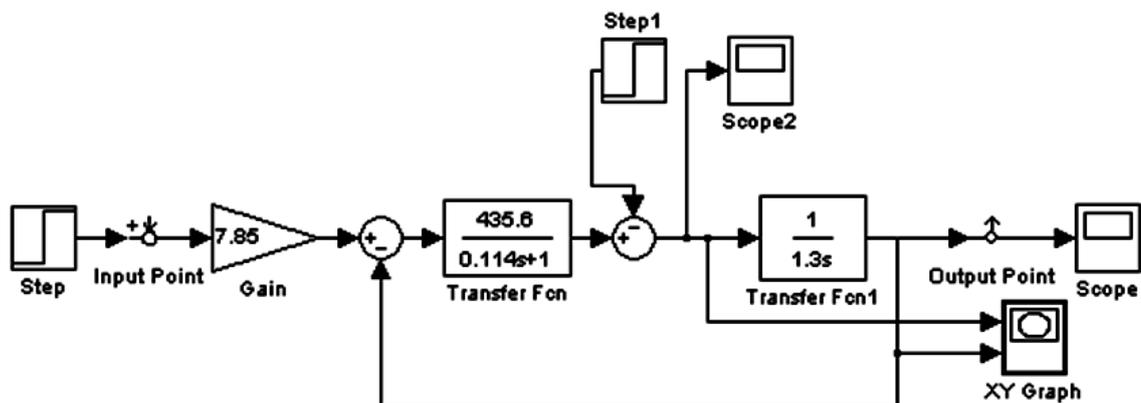


Рисунок 3.21 Модель пасивного формувача імпульсів малої тривалості

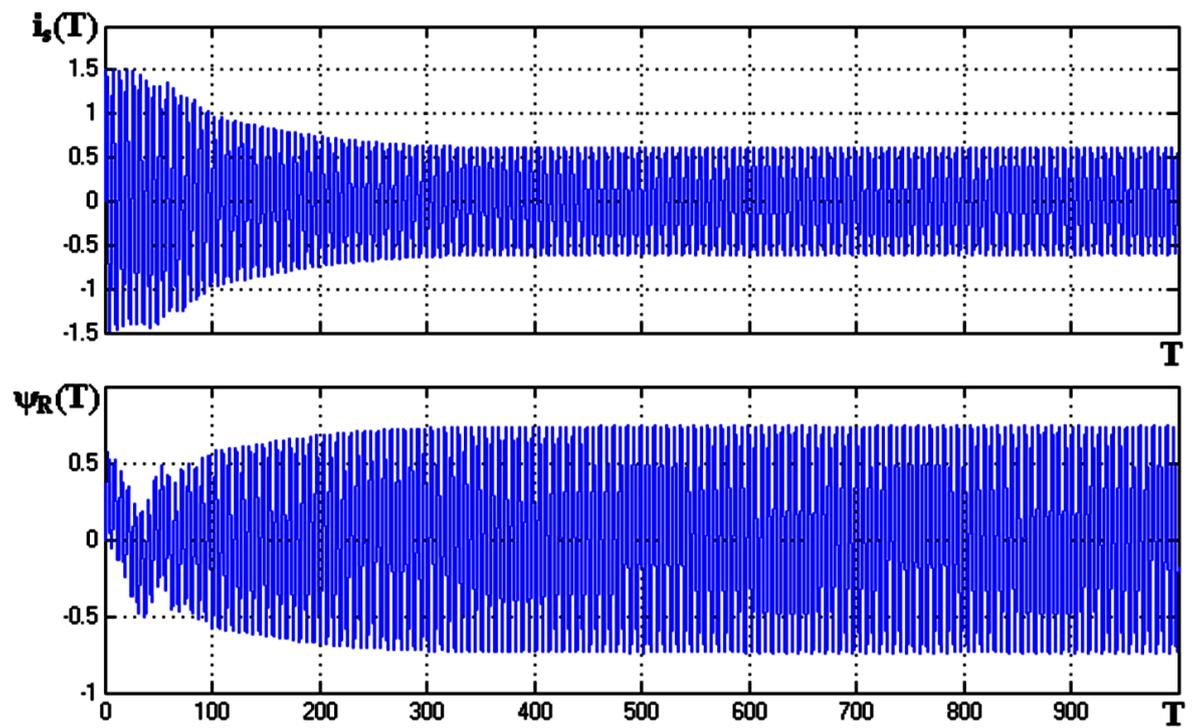


Рисунок 3.22 Результати моделювання пасивного формувача імпульсів  
малої тривалості

## **4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ БОРТОВОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОВОЗА**

### **4.1 Економічне обґрунтування системи інтелектуально-керованої системи автоматичного керування електровоза**

Інтелектуально-керована системи автоматичного керування забезпечує виконання наступних основних функцій:

- прийом і обробка супутникової навігаційної інформації;
- відображення місцезнаходження електровоза, об'єктовою і навігаційною інформації на електронній схемі тягових плечей обслуговування;
- відображення фактичної швидкості і встановленої швидкості руху по режимній карті;
- формування повідомлень про прохід електровозом (електровозом) заданих опорних точок;
- формування пакетів інформації і передача їх на телеметричний сервер;
- організація інформаційної підтримки електровозної бригади для вирішення завдань ведення електровоза по схемі енергооптимального режиму, підвищення безпеки руху;
- оптимізація дій машиніста при отриманні аварійних і попереджувальних повідомлень, підвищення оперативності дій при нештатних ситуаціях;
- автоматизоване отримання і обробка трекової і об'єктової інформації для формування електронних схем залізничних колій ділянок обслуговування;
- запис електронних схем руху електровозом (електровозом) і об'єктової інформації;
- прийом і обробка інформації від телеметричного сервера;
- централізований контроль параметрів стану електровоза.

Всі режими роботи інтелектуально-керованої системи автоматичного керування носять консультативний характер і дозволяють вести електровоз по енергооптимальних траєкторіях незалежно від досвіду машиніста і кліматичних

умов. Це знижує вплив людського фактору в процесі управління рухомим складом. У результаті підвищується безпека, поліпшуються техніко-економічні показники роботи електровозної бригади і залізниці вцілому.

#### **4.2 Визначення витрат на модернізацію електровоза бортовим інтелектуальним комплексом електровоза**

Для проведення модернізації електровоза бортовим інтелектуальним комплексом закуплені комплектуючі, перелік яких наведений у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Перелік покупних комплектуючих

Найменування	Кількість	Ціна за одиницю грн	Ціна, грн.
Антенa Telesat-3 GSM/GPS	1	1238,00	1238,00
Електронний навігаційний модуль GGMT-120 ТП1.0602-GGMT-120, шт	1	4350,00	4350,00
Багатофункціональний обчислювач електровоза МВЛ-1, шт	1	2600,00	2600,00
Блоки живлення	2	492,50	985,00
Панель живлення, шт	2	90,00	180,00
Термінал машиніста ТМ-1	1	1730,00	1730,00
Клавіатура IKEYS-16UR	1	60,00	60,00
Грозозахист CSA	2	155,00	330,00
Комплект кабелів	2	182,00	262,00
Кронштейн	2	131,00	262,00
Усього			12178,80

Таким чином затрати на придбання комплектуючих для системи автоматичного керування приводом стенда дорівнюють:

$$Z_k = 12178,80 \text{ (грн.)}$$

Для встановлення бортового інтелектуального комплексу електровоза необхідно виконати роботи по його встановленню, монтажу, наладці та пуску системи. Дані роботи будуть проводити чотири працівники КВПіА четвертого розряду і два слюсарі – п'ятого на протязі п'яти днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуванням визначимо за формулою:

$$S_{зпм} = K_{H3} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ii} (1 + H) , \quad (4.1)$$

де  $K_{H3}$  – коефіцієнт, який враховує витрати на заробітну плату,  $K_{H3} = 1,43$  ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$  ;

$t$  – час виконання робіт, год;

$C_{ii}$  – часова тарифна ставка працівника і-го розряду,

$C_{ii}$  для четвертого розряду рівна 9,2 грн;

$C_{ii}$  для п'ятого розряду рівна 10,62 грн;

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,382$ ;

в тому числі:

33,2% – відрахування у пенсійний фонд;

1,4% – відрахування у фонд соціального страхування по тимчасовій втраті працездатності;

1,6% – відрахування у фонд страхування безробіття;

2,03% – приймаємо усереднено відрахування у фонд страхування від нещасних випадків на виробництві;

$m$  – кількість робочих в ланцюзі, чол.

$$S_{\text{ЗПМ}} = 1,43 \cdot 1,25 \cdot 40 \cdot (4 \cdot 9,2 \cdot (1 + 0,382) + 2 \cdot 10,62 \cdot (1 + 0,382)) = 5614,25 \text{ грн.}$$

Витрати на модернізацію електровоза серії ЧС-7 бортовим інтелектуальним комплексом визначено, як сума витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітників, які проводять модернізацію:

$$Z_M = Z_K + Z_{\text{ЗПМ}}, \quad (4.2)$$

$$Z_M = 12178,80 + 5614,25 = 17793,05 \text{ грн}$$

де  $Z_K$  – затрати на комплектуючі;

$Z_{\text{ЗПМ}}$  – затрати на заробітну плату.

Розрахунок річного фонду часу роботи бортового інтелектуального комплексу

Розрахунок річного фонду часу роботи інтелектуально-керованої системи автоматичного керування проведемо за формулою:

$$T_p = \frac{T_\phi}{\frac{1}{t_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}} + D_p} \quad (4.3)$$

Річний фонд часу роботи бортового інтелектуального комплексу електровоза дорівнює:

$$T_p = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 1} + 0,004} = 1521.21 \quad (\text{год})$$

де  $T_\phi$  – річний фонд робочого часу,  $T_\phi = 251$  (днів);

$t_{\text{см}}$  – тривалість зміни в машиногодинах,  $t_{\text{см}} = 8$ ;

$K_{см}$  – коефіцієнт змінності роботи устаткування,  $\hat{E}_{\bar{n}} = 1$ ;

$D_p$  – простой в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машиноgodину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_{pi}}{T_{\text{ц}}} \quad (4.4)$$

$$D_p = \frac{1 \cdot 8 \cdot 5}{8760} = 0,004 \left[ \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}} \right]$$

де  $n$  – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період,  $n = 1$ ;

$d_{pi}$  – тривалість перебування в  $i$ -му ремонті або технічних обслуговувань, 8 (год);

$T_{\text{ц}}$  – час міжремонтного циклу,  $T_{\text{ц}} = 8760$  (год) ;

$a_{pi}$  – кількість ремонтів або технічних обслуговувань за міжремонтний період – 5.

### 4.3 Експлуатаційні витрати на обслуговування бортового інтелектуального комплексу електровоза

Визначення витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт бортового інтелектуального комплексу електровоза

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт бортового інтелектуального комплексу електровоза визначимо за формулою:

$$S_{\text{ТО}} = S_{\text{ТОЗ}} + S_{\text{ТОМ}} \quad (4.5)$$

де  $S_{\text{ТОЗ}}$  – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$  – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначається за формулою:

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_p}{T_{ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_p \cdot \sum_{i=1}^m a_i \cdot \chi_i \cdot (1 + H) \quad (4.6)$$

де  $C_p$  – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують систему, грн/год;

$a_i$  – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

$\chi_i$  – трудоемність і-го технічного обслуговування та поточного ремонту,

$\chi_i = 1,6$ ;

$T_{ц}$  – час міжремонтного циклу;

$T_p$  – річний фонд роботи;

$K_{НЗ}$  – коефіцієнт, який враховує витрати на заробітну плату;

$H$  – норма нарахування на заробітну плату.

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{Т.О.М} = K_{i.n} \cdot \frac{S_{Т.О.З} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР} \quad (4.7)$$

де  $K_{i.n}$  – норма розходів по всім видам витрат, крім заробітної плати,  $K_{i.n} = 1,1$ ;

$K_{ЗР}$  – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини,  $K_{ЗР} = 1,25$ ;

$S_{ТОЗ}$  – витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями.

Після проведення модернізації технічне обслуговування повинні проводити два висококваліфіковані робітники слюсарі КВПіА шостого розряду.

Таким чином, витрати на заробітну плату ремонтних робітників дорівнюють:

$$S_{ТОЗ} = \frac{1521,21}{8760} \cdot 1,4 \cdot 1,25 \cdot 10,62 \cdot 1 \cdot 5 \cdot (1 + 0,382) = 22,30 \quad (\text{грн})$$

Відповідно витрати на матеріали та запасні частини:

$$S_{ТОМ} = 1,1 \cdot \frac{22,30 \cdot (1 - 0,382)}{1,4} \cdot 1,25 = 13,53 \quad (\text{грн.})$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт складають:

$$S_{ТО} = 22,30 + 13,53 = 35,83 \quad (\text{грн})$$

Визначення витрат на електроенергію

Величину витрат на електроенергію, яка витрачається на живлення інтелектуально-керованої системи автоматичного керування, визначимо за формулою:

$$S_{ел} = K_{in} \cdot W_{ел} \cdot C_{ел} \cdot T_p \quad (4.8)$$

де  $C_{ел}$  – ціна 1(кВт/год) електроенергії коштує 0,52 грн;

$W_{ел}$  – витрата за годину енергії, кВт/год.

В систему входить обладнання загальною потужністю 0,9 кВт.

Відповідно, витрати на електроенергію становлять:

$$S_{а\ddot{e}} = 1,1 \cdot 0,9 \cdot 0,52 \cdot 1521,21 = 783,11 \quad (\text{грн})$$

### Розрахунок загальної суми річних затрат

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію стенда зводимо до таблиці 4.2

Таблиця 4.2 Сума річних витрат на експлуатацію

Найменування статті витрат	Величина витрат
Заробітна плата з нарахуванням	33847,22
Технічне обслуговування та поточний ремонт	35,83
Електроенергія	783,11
Всього	34766,57

Розрахунок вартості машино–години роботи бортового інтелектуального комплексу електровоза

Розрахунок вартості машино–години бортового інтелектуального комплексу електровоза вираховуємо за формулою:

$$S_{MЧ} = \frac{S}{T_p} \quad (4.9)$$

$$S_{MЧ} = \frac{34766,57}{1521,21} = 22,85 \quad (\text{грн})$$

#### **4.4 Економічний ефект застосування інтелектуально-керованої системи автоматичного керування**

Визначимо економічну доцільність проведення модернізації системою інтелектуально-керованої системи автоматичного керування, порівнявши витрати на його виготовлення з аналогічними приладами іноземного виробництва.

При використанні бортового інтелектуального комплексу з'являється можливість ведення електровоза машиністом другого класу замість машиніста першого класу.

Заробітна плата машиніста, що приймає участь в експлуатації електровоза і, відповідно, інтелектуально-керованої системи автоматичного керування визначена по формулі (5.1).

Витрати на заробітну плату склали:

Для електровоза з установленим інтелектуально-керованої системи автоматичного керування:

$$S_{ЗПМ} = 1,43 \cdot 1,25 \cdot 1521,21 \cdot 9,2 \cdot 1 \cdot (1 + 0,382) = 33847,22 \text{ грн}$$

Для електровоза без інтелектуально-керованої системи автоматичного керування:

$$S_{ЗПМ} = 1,43 \cdot 1,25 \cdot 1521,21 \cdot 10,62 \cdot 1 \cdot (1 + 0,382) = 39908,72 \text{ грн}$$

Дані зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 Економічні показники впровадження інтелектуально-керованої системи автоматичного керування за передбачуваний період експлуатації

Показник		Витрати на виготовлення (установку) системи	Витрати на закупку системи іноземного виробництва	Додаткові капітальні вкладення ( $\Delta K$ )	Експлуатаційні витрати системи	Експлуатаційні витрати систем іноземного
Рік	2010	17793,05	42500	24706,95	34766,57	34766,57

#### 4.5 Висновки

Проведений розрахунок економічної ефективності проведення модернізації електровоза серії ЧС-7 бортовим інтелектуальним комплексом.

Виходячи з проведених розрахунків можемо зробити наступні висновки:

1. Вартість виготовлення 17793,52 (грн.);
2. Заробітна плата при виготовленні 5614,25 (грн);
- 3 Заробітна плата при експлуатації 33847,22 (грн/рік);
4. Витрати на запчастини 13,53 (грн.);
- 5 Витрати на ремонт 35,83 (грн/рік.);
- 6 Витрати на електроенергію 783,11 (грн/рік.);
- 7 Вартість машино-години 22,85 (грн);
- 8 Загальні річні витрати 34766,57 (грн/рік).

Організація сучасного виробництва охоплює широке коло проблемних питань техніко-організаційного та економічного характеру, які вимагають свого нагального вирішення. Надзвичайно актуальною на часі є розробка приладів та обладнання, як важливих складових переходу на інноваційну модель господарювання.

У порівнянні з аналогічними системами іноземного виробництва, можна зробити висновок, за строк експлуатації який складає 10 років, економічний ефект буде 24706,95 грн за рахунок додаткових капітальних вкладень, які необхідно було б витратити на систему іноземного виробництва.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Розглянута в магістерській роботі оснащення електровозу бортовим інтелектуальним комплексом дозволяє істотно підвищити ефективність перевізного процесу й забезпечення безпеки руху електровозів за рахунок реінжинірингу й синтезу нового покоління систем керування, у яких реалізований перехід від автоматизації окремих рутинних функцій до автоматизації функцій інтелектуальних: аналізу ситуації, вибору оптимального рішення, розрахункам з використанням динамічних моделей складних систем.

Програмно-математичне забезпечення інтелектуально-керованої системи автоматичного керування на основі інформації, що надається інтерфейсом, дозволяє реалізувати директорний режим ведення електровоза. При цьому машиніст управляє рухом електровоза відповідно до формованого сигналу директорного управління, підтримуючи задану швидкість руху на маршруті відповідно до режимної карти ведення електровоза і фактичної швидкості руху на основі отриманої супутникової інформації.

Сигнал директорного управління реалізується на основі введення даних про стан електровоза (навантаження) і зовнішніх умов у поєднанні з інформацією в базі даних по веденню електровозів досвідченими машиністами.

Вся інформація носить консультативний характер і дозволяє вести електровоз по траєкторіях, близьких оптимальних, що знижує залежність від досвіду машиніста (впливи людського чинника), кліматичних і тимчасових умов. В результаті підвищується безпека, поліпшуються техніко-економічні показники роботи електровозної бригади і залізниці в цілому.

Основні параметри контролю технічного стану устаткування електровоза архівуються в базі даних бортового комплексу для використання в складі автоматизованої системи керування відповідного депо. Параметри технічного стану, необхідні для оперативного контролю, відображаються на моніторі і автоматично передаються в інформаційні системи.

Спеціальна система відеоспостереження дозволяє оперативно контролювати стан устаткування у високовольтному і силовому відсіках електровозів.

Вже зараз можна сказати, що виконана робота відкриває величезні перспективи по використанню супутникових технологій і направлена на забезпечення істотного зростання провізної і пропускної здатності мережі залізниць.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Stewart C. , Luebkehan C., Morrell M., Goulding L. Future of Rail 2050 . London: Arup, 2015. 58 p.
- 2) Хворост Н. В., Панасенко Н. В. Электрические железные дороги: этапы и перспективы развития // Электротехніка і електромеханіка , No 4, 2003.– с . 104-114.
- 3) Gomisel G. Rail International, 2002, No 7/8. –p.36–43.
- 4) Wicheihaus A. Telematics in cargo transportation. Railway Technical Review. 2005. No 3 P. 35 - 40.
- 5) Ndembe E. Hard Red Spring Wheat Marketing: Effects of Increased Shuttle Train Movements on Railroad Pricing in the Northern Plains Journal of the Transportation Research Forum. 2015. Vol. 54, No 2. P. 101 - 115. 43.
- 6) Huayi Chen, Tiejun Ma, Technology adoption with limited foresight and uncertain technological learning, European Journal of Operational Research. Vol 239, Issue 1, 2014. P. 266 – 275
- 7) Tang L. Reliability assessments of railway signaling systems: A comparison and evaluation of approaches . Trondheim : Norwegian University of Science and Technology, 2015. 69 p.
- 8) Schut D . Wisniewski J . A global vision of railway development . Paris : International Union of Railways ( UIC), 2015. 44 p.
- 9) Richard W. Hamming The Art of Doing Science and Engineering. Learning to Learn. New York: Gordon Breach Science Publishers, 2005. 227 p.

## ДОДАТКИ

## 2 USE OF METHODS OF AUTOMATION OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF MOVEMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE

### 2.1 Statement of the research task

Coordinate interval control systems (CSIR) have significantly more equipment requirements than traditional interval control systems. For the operation of KSIR you need to have information about the location of the head and tail of each electric locomotive, as well as the speed and direction of its movement. Measuring the current acceleration of the electric locomotive allows you to predict the nature of its further movement at a later point in time, so KSIR together with information about the location of electric locomotives and their speed should also use information about the acceleration.

Existing interval control systems use on-board speedometers to measure speed. Control of the location of electric locomotives in the race is currently carried out using rail chains. Improving the carrying capacity of railway sections is possible only by increasing the accuracy of the location of the electric locomotive on the race, which, when using floor equipment, can be achieved only by reducing the length of rail chains and, consequently, increasing their number, leading to even greater costs [3, 8].

To date, mainly develop on-board systems for measuring the parameters of the electric locomotive, which allows you to continuously monitor:

1. Location of the head and tail of the electric locomotive on the races and station sections of the road;
2. The direction of movement of the electric locomotive;
3. Current speed of the electric locomotive;
4. Acceleration of electric locomotive movement. The need to determine the acceleration increases the requirements for the accuracy of other motion parameters. The high inertia of the electric locomotive as an object of control leads to the fact that even when braking electric locomotives deceleration is on average: for freight warehouses - from 0.1 to 0.4 m / s, passenger - from 0.3 to 0.6 m / s<sup>2</sup>, electric locomotives - from 0.5 to 0.8 m / s<sup>2</sup>, high-speed rolling stock - from 0.8 to 1.5 m / s<sup>2</sup>.

Acceleration of movement in the modes of acceleration and running out, as a rule, is even less. When measuring such small accelerations, the effect of various obstacles becomes significant, so measuring the acceleration of rolling stock by on-board vehicles is an important and complex problem.

### **2.2 Analysis of ways to obtain information about the parameters of the electric locomotive and the choice of the type of measuring parameters of movement**

Known for use in railway transport, various on-board meters of movement parameters on the principle of operation can be divided into two main groups [1,2]:

Contact, determining the parameters of movement based on the measurement of the parameters of rotation of the wheel pair (KP) during its movement along the path:

mechanical, electromechanical, electronic;

Non-contact, determining the parameters of motion in other ways: Doppler, feeder and those that receive information using artificial satellites of the Earth (SSS) and so on From the listed types of measuring instruments of parameters of movement as the basis of research and development the measuring instrument of the first group was accepted, for the following reasons:

Currently, they are widely used in rail transport as on-board meters of traffic parameters, and, consequently, are already produced by industry [4]. Therefore, the introduction of a system for measuring motion parameters requires less resources. The meters of this group depend to a lesser extent on the weather, the state of the Earth's ionosphere, path and ballast.

The design of these meters is much simpler, and therefore more reliable than the design of contactless meters. Use as the primary converter of a signal of movement of KP which participates in realization of traction (brake) efforts of the electric locomotive, allows to carry out in addition control of coupling. Taking into account the above, when developing meters of motion parameters using the sensor of axial type (OD) to the forefront are the following tasks: 1. Provide measurement of the speed of the electric locomotive with a discreteness sufficient to calculate the acceleration with the required accuracy at the minimum cycle time. 2. Provide measurement of the path, using the minimum number of benchmarks, to adjust the measurement results. 3. To provide reliable control of coupling of measuring KP. It is possible to classify meters of parameters of movement with OD on various criteria. A variant of classification is proposed, which allows to make the primary choice of motion parameters meters for a given control system. As for the elemental base of measuring parameters of motion parameters and the principle of processing of measuring information, when choosing them should be guided by a number of basic criteria, namely:

1. The element base of motion parameters meters must correspond to the element base of the electric locomotive control system.

2. The principle of processing of the measuring information, measuring instruments of parameters of movement which is realized, has to be compatible with the principle of information processing of the electric locomotive control system.

3. The meter of movement parameters must provide the ability to expand the measurement information, adjust to different types of sensors (versatility), adjust the parameters of the measurement process (flexibility), as well as control the traction of the measuring wheel pair with rail.

Failure to comply with the first two requirements when choosing the element base of traffic parameters will lead to the need to install additional signal converters, which will complicate and increase the cost of traffic meters in general.

Failure to comply with the latter requirement may reduce the quality of measurements and complicate the integration of the meter into existing control systems. The question of the reliability of the element base is not considered among the criteria, as the required level of reliability can be provided on any element base, for example, by redundancy. The analysis of the classifier taking into account the above criteria showed that currently only intelligent digital meters (ICV) should be used for KSIR. If the

measurement of the path can be carried out in digital meters of motion parameters in the same way, the measurement of speed can be implemented in different ways. The following main methods of measuring the current speed are known:

1. Counting the number of pulses of the axial sensor for a fixed time  $T = \text{const}$ .
2. Measurement of the period of pulse transmission  $T_i(t)$ .
3. Measurement of the time of complete rotation  $T_{ob}(t)$ , when the number of pulses reaches a certain value  $N = N_{ob}$ .
4. Measurement of pulse frequency  $V_s(t)$ .
5. Measurement of the duration  $T_i(t)$  of the arrival of a given number of  $K$  pulses, and is set by the rule of half division.
6. Measurement of pulse duration (pause). The latter group of methods is not widespread, because the duty cycle of the pulse is not constant and the error of speed measurement is higher than with other methods of speed measurement [1, 8-10].

The analysis of methods for measuring speed showed that:

$$T_i = T_{on} \cdot K_{on,i} = \frac{K_{\partial en}}{\nu} \cdot K_{on,i},$$

1. Method 4 for the construction of meters of motion parameters requires high hardware costs, difficult to configure, characterized by low noise immunity.

2. Methods 2 and 3 are special cases of method 5, so it is sufficient to limit the analysis of the latter and compare it with method 1.

As a measure of time in the ICV uses a number of reference pulses  $K_{OP1}$  produced by the clock generator ( $\nu = \text{const}$ ), during  $i$ -th measuring cycle  $T$  where  $T_{op}$  is the period of the reference pulse of the meter (determines the discreteness of the time measurement  $dT$ );  $K_{\partial en}$  is the frequency division factor  $\nu$  of the master generator required to obtain the reference signal.

The modified formula corresponding to method 5 can be represented as follows where

$$V_i = 3.6 \cdot \frac{\pi \cdot D_K \cdot \nu}{N_{ob} \cdot K_{\partial en}} \cdot \frac{K_i}{K_{on,i}} = 3.6 \cdot \frac{dS \cdot \nu \cdot K_i}{K_{\partial en} \cdot K_{on,i}},$$

$D_K$  is the diameter of the wheels of the measuring wheel pair (KP), m;

$N_{ob}$  - the number of LOID pulses per wheel revolution;

$dS$  - path sampling step, m;

$K_i$  is the number of LOID pulses in the  $i$ -u cycle of speed measurement;

This expression is accepted as initial for further research.

The disadvantage of the known digital meters of motion parameters, which implement the above methods of determining the speed, is that they allow to determine the acceleration of movement only for a long time of the measurement cycle (up to 8-10 sec.).

### 2.3 Modeling of contact parameters of wheels and rails based on a two-mass system

Equivalent rigidity of a two-mass system:

$$C_{12E} = \frac{C_{12} \cdot C_{23}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.1)$$

$$C_{12E} = \frac{17102,5 \cdot 150230,5}{17102,5 + 150230,5} = 23234,3 \text{ N}\cdot\text{m}^2;$$

$$J_{12} = J_{20} \cdot \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.2)$$

$$J_{12} = 9,193 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{171029,5}{171029,5 + 7974,6} = 8,784 \cdot 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2;$$

$$J_{12E} = J_{DB} + J_{12}; \quad (2.3)$$

$$J_{12E} = 0,25 + 8,784 \cdot 10^{-2} = 0,41 \text{ kg}\cdot\text{m}^2;$$

$$J_{23} = J_{20} \cdot \frac{C_{23}}{C_{12} + C_{23}}; \quad (2.4)$$

$$J_{23} = 9,193 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{150230,5}{17102,5 + 150230,5} = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ kg}\cdot\text{m}^2;$$

$$J_{23E} = J_{20} + J_{23}; \quad (2.5)$$

$$J_{23E} = 9,193 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-2} = 0,425 \text{ kg}\cdot\text{m}^2;$$

We accept:

$$C'_{12} = C_{12E} = 23234,3 \text{ N}\cdot\text{m}^2;$$

$$J'_{10} = J_{12E} = 0,41 \text{ kg}\cdot\text{m}^2;$$

$$J'_{20} = J_{123E} = 0,425 \text{ kg}\cdot\text{m}^2.$$

Mass ratio:

$$\gamma = \frac{J'_{10} + J'_{20}}{J'_{10}}; \quad (2.6)$$

$$\gamma = \frac{0,41 + 0,425}{0,41} = 2,037;$$

Resonant frequency systems:

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C'_{12} \cdot (J'_{10} + J'_{20})}{J'_{10} \cdot J'_{20}}}; \quad (2.7)$$

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{23234,3 \cdot (0,41 + 0,425)}{0,41 \cdot 0,425}} = 907,14 \text{ 1/c};$$

Resonant frequency of the second mass at rigid closing of the first:

$$\Omega_{02} = \sqrt{\frac{C'_{12}}{J'_{20}}} = \frac{\Omega_{12}}{\gamma}; \quad (2.8)$$

$$\Omega_{02} = \frac{907,14}{2,037} = 503,25 \text{ 1/c};$$

$$\text{Coefficient of friction: } \beta'_{12} = \frac{\lambda_{12} \cdot C'_{12}}{\pi \cdot \Omega_{12}}; \quad (2.9)$$

$$\beta'_{12} = \frac{0,2 \cdot 23234,3}{3,14 \cdot 907,14} = 31,535.$$

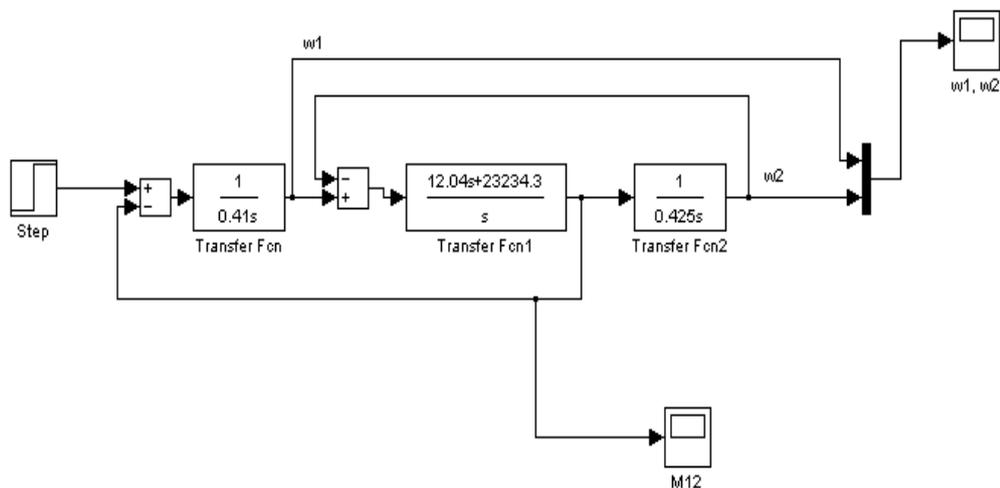


Figure 2.1. Block diagram of a two-mass system

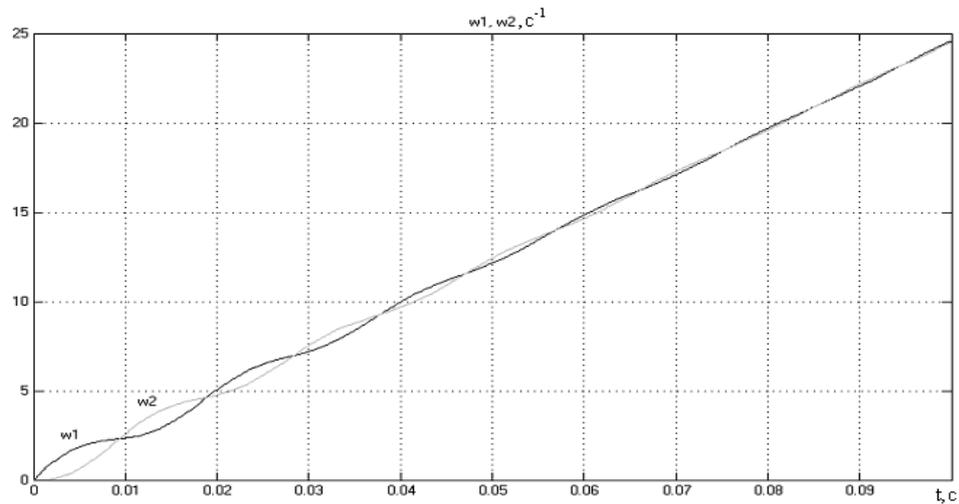


Figure 2.2. The results of modeling the contact of wheels and rails based on a two-mass system

In fig. 2.1 presents a block diagram of a two-mass system. The nature of the obtained dependences (Fig. 2.2) indicates that at  $M=\text{const}$  due to the influence of dissipative forces such as viscous internal friction, velocity fluctuations gradually fade (), but the instantaneous velocities do not match because they contain oscillating components, and oscillations occur in antiphase.

## 2.4 The main characteristics of the meter of motion parameters

In order to systematize, they are divided into the following main types:

- Measurement limits;
- Discreteness of measurement;
- Reconfiguration of the measurement process when changing the measurement conditions.

The most important parameters of the motion parameters should be the duration of the measurement cycle, during which the averaging of the speed. Known to date speedometers preferably operate with a constant cycle time, usually equal to  $T = 1\text{ s}$  and accordingly measure the average speed for a given period of time.

Consider the formula for the braking distance of an electric locomotive where  $t_d$  is the time of the constant braking process. It follows from the formula that, other things being equal, the total braking distance of the SMOPM system will be greater the longer the response time of the motion parameters and the higher the speed at which braking begins.

Therefore, to ensure the constancy of the value of the path  $S_{shm}$ , the time of the cycle of measuring the motion parameters must be set in inverse proportion to the speed, ie. If this requirement cannot be met, a short measurement time must be ensured over the entire operating speed range.

However, the duration of the measurement cycle cannot be less than the time of arrival of one pulse and strongly depends on the method of measurement.

$$S_{mopm} = \int_0^{t_p} V(t) dt + \int_{t_p}^{t_p+t_{cp}} V(t) dt + \int_{t_p+t_{cp}}^{t_p+t_{cp}+t_d} V(t) dt,$$

It follows from the formula that at  $Kt = \text{const}$ , the minimum measurement time is inversely proportional to the speed of the electric locomotive. In the case of moving an electric locomotive with a constant speed  $V = \text{const}$ , a decrease in the measurement time causes a decrease in the number of Ki pulses in the sample of one pulse, which can continue as long as the Ki sample is set to  $> 1$ . To reduce the impact of delays in the transmission and processing of measurement results during the operation of KSIR, each measurement of motion parameters must be characterized by the exact value of the time in the same for all subsystems KSIR time scale.

Another important parameter of the motion meter used in KSIR is the minimum recorded hardware speed  $V_{min}$ . From the point of view of safety, measuring the lowest possible value of the minimum speed allows you to quickly detect unauthorized movement of the locomotive in the very early stages.

However, the minimum value of the measured speed is limited by the maximum time of arrival of one pulse ( $T_{max}$ ) [1-4]. At the same time, the motion parameters meters in the KSIR must measure the minimum speed  $V_{Tin} = 0.5 \text{ km / h}$ , although traffic at lower speeds must also be detected. Taking into account the minimum

threshold of the measured speed (for KSIR  $F_{min} = 0.5$  km / h at  $K_i = 1$ ) the maximum time of the measurement cycle can be determined from the required number of reference pulses at the minimum measured speed

$$\langle K_{on} \rangle = 3.6 \cdot \frac{\pi \cdot D_K \cdot v}{N_{об} \cdot K_{дел} \cdot V_{min}}$$

The maximum measurement time for overflow of the timer counter is equal

$$\langle T_{max} \rangle = 2^{[K_{on}]} \cdot \frac{K_{дел}}{v},$$

where  $[a]$  is the nearest integer to a  $A > a$ .

The acceleration of the electric locomotive movement is one of the parameters of movement of parameters measured by means of meters. Therefore, it is important to assess at least the range of its change from the maximum possible accelerations developed by a single electric locomotive during traction to the maximum decelerations developed by a single electric locomotive during braking. For an electric locomotive moving downhill, the following simplified relation for determining the limiting acceleration is valid ( $a_{max}$ )

$$\langle a_{max} \rangle = \frac{\zeta}{12960 \cdot (1 + \gamma)} \cdot (10^3 \cdot \psi + \langle i \rangle - \omega_0), \text{ M/c}^2$$

where  $(i)$  - the maximum possible value of the slope ( $i$ ) = 15% for main railways 1 and 2 categories);

$C$  is the acceleration of the electric locomotive under the action of the specific accelerating (decelerating) force of an equal unit, kN-km / N • h2.

- the main resistivity of the electric locomotive under traction, N / kN;

- coefficient taking into account the inertia of rotating masses (for cars is 0.03-0.05, for electric locomotives - 0.14-0.2);

12960-conversion factor km / year2 in m / s2;

- coefficient of adhesion. For an electric locomotive braking on a lift, the deceleration limit can be defined as

$$\langle a_{min} \rangle = -\frac{\zeta}{12960 \cdot (1 + \gamma)} \cdot (10^3 \cdot \psi + \langle i \rangle + \omega_{0x}), \text{ M/c}^2$$

where  $v_{0x}$  - the main resistivity of motion on running and braking. The maximum measured and recorded speed of the electric locomotive is determined by the limit value of the speed that can develop the rolling stock (PS), calculated by the formula

$$V_{max} = V_{конст} \cdot \xi,$$

where  $V_{конст}$  - maximum design speed of the aircraft - stock ratio, = 1.15.

Currently, the maximum design speed of the electric locomotive ER-200 produced in the former Soviet Union is 200 km / h. On foreign lines, electric locomotives can also develop speeds of 250 km / h and above.

With this in mind, we take  $V_{konstr} = 250$  km / h. We will round the result to the nearest larger value from a number of predominant numbers.

When using a number of R10 GOST8032-84 (with a denominator of progression of 1.25)  $V_{max} = 290$  km / year (80.6 m / s).

To date, the readings of the electric locomotive speedometer have been used to a limited extent in the systems of interval control of the movement of electric locomotives.

First of all, the speedometer was used for discrete control of several speed ranges in the hitchhiking system, registration on paper or other media, as well as informing the driver about the current speed. The need to calculate the acceleration of the locomotive  $a(t)$  imposes stricter requirements on the accuracy of speed measurement than when using its values only for display on the driver's console, or as a program curve of braking in the area of approach to the obstacle.

## 2.5 Operational and technical requirements for the axial sensor

The axial sensor (OD) from a technical point of view must meet at least two requirements: OD must generate a reliable signal of movement; The traffic signal must contain information about the direction of traffic. In generator sensors, the continuous motion signal can be expressed as an amplitude or frequency  $A = A_Q$ . The direction

signal is usually obtained by comparing the phase of the current (voltage) in the phase windings. At the same time accept: a) conditional forward movement:; b) conditional backward movement:, where is the phase of the signal in the 1st winding; - signal phase in the 2nd winding;  $\pm a$  - phase shift in the 1st winding relative to the 2nd.

In pulse sensors, discrete motion information is generated by recording the passage of the impeller teeth (gear wheel) through the control point (point fixed sensing element). Because the presence of one control point does not allow to obtain information direction of movement, the OD is made at least two-channel.

The sensitive element of the second channel is set relative to the impeller so that the signal generated by it was shifted in phase relative to the control point of the first channel on. In this case, the information about the direction of movement is formed similarly to the formation of information by generator sensors.

As for the operating speed range of the considered sensors, the generator and induction pulse OD allow to obtain information about the movement only in the speed range  $5 < V < V_{max}$  i, while in the measured speed range below 5 km / h they become inefficient due to significant reduction the steepness of the characteristics of the measured motion signal.

The steepness of the characteristics of optical sensors (for example, L-178) remains almost constant over the entire range of measured speeds  $K < V < V_{max}$ .

However, in the case of optical pulse sensors, when the locomotive is stopped, it is likely that the sensor impeller may stop in an intermediate position in which the impeller tooth covers only part of the light flux. Then at small fluctuations of an impeller erroneous formation of impulses (signal of erroneous movement) can begin. Since the system of interval control of electric locomotives with a radio channel may not use rail chains to control the location of the electric locomotive, when choosing the type of OD guideline is the ability to control the minimum speed to avoid uncontrolled low-speed electric locomotive.

Given the main types of sensors used and taking into account the above requirements, it follows that in the system of interval control of electric locomotives with a radio channel as a sensor-converter is allowed to use only optical [1-4]. It is

necessary to provide ways to detect cases of erroneous formation of traffic information at the actual parking lot. In the case of using several measuring instruments, a combination of sensors that implement different measurement principles is possible, but at least one of them must be optical.

## **2.6 Selection of the criterion for assessing the accuracy of the meter of traffic parameters, taking into account the need to measure the acceleration of rolling stock**

The parameters of electric locomotive speedometers are determined by technical requirements [1], according to which the permissible relative error of speed measurement should not exceed  $SV = 1.5\%$  of the upper limit of measurement  $V_{max}$ . In this case, the maximum absolute speed error for high-speed transport according to [1-4] is

$$\Delta V = \frac{\delta V \cdot V_{max}}{100\%} = \frac{1.5 \cdot 290}{100} = 4.3,$$

As follows from the formula, with different measurement limits that may occur when installing the meter on different types of rolling stock, the width of the absolute error field will be different. The acceleration of the electric locomotive can be determined by a known formula

$$a = \frac{dV_{\delta\epsilon}}{dt} \approx \frac{\Delta V_{\delta\epsilon}}{\Delta t},$$

where  $\Delta V_{\delta\epsilon}$  - absolute increase in speed over a period of time, m / s;

The value of acceleration calculated by the formula does not depend on the absolute value of the speed, while the formula contains the absolute value of the speed. Therefore, for speedometer measuring devices that determine acceleration by speed differentiation, the random error of speed measurement must first be normalized in absolute units, because only in this case when changing the speed in the entire working interval it makes sense to calculate acceleration with the same discreteness. Systematic velocity error, which does not affect the discreteness of the acceleration measurement,

can be normalized in relative units. The exact numerical values of the parameters of the parameters of the motion parameters can be obtained only as a result of the study of technically achievable accuracy of the parameters of the motion parameters, therefore, first of all investigate the errors that occur when calculating speed and distance

$$S(t) = \frac{N(t)}{N_{o\delta}} \cdot \pi \cdot D_K,$$

where  $N(t)$  - the total number of pulses OD from the initial position of the locomotive.

To simplify the study of errors in measuring the parameters of motion, we classify them.

## **2.7 Determining the error of measuring the parameters of the electric locomotive**

Classification of errors can be carried out according to many criteria. One of the classification options, according to which the errors of measurement of motion parameters are divided into two classes: methodical and instrumental.

According to the given classification methodical errors are classified in addition into errors of direct (PPI) and indirect measurements (PKI), instrumental, - on: the errors caused by technology of manufacturing of elements of the measuring instrument or object of measurements (PTO); errors due to the design features of a particular meter and object of measurement (PC); errors due to measurement technology (PTI); and errors are due to the influence of external factors (PZF).

Regardless of the class of errors, they are classified into systematic and random. Random errors affect the discreteness of the measurement of velocity and acceleration, the discreteness of the measurement of the distance traveled, the influence of random errors is detected only if they are not centered. Systematic errors are manifested in the constant underestimation (overestimation) of the values of the measured parameters and the discreteness of the measurement of the parameters of the electric locomotive has

almost no effect. Therefore, these classes of errors should be investigated independently.

Given that the nodes of the motion parameters are included in a series circuit that does not contain feedback, and perform a series of consecutive independent transformations, the total error of the measurement of the motion parameters is a superposition of the errors of each of the transformations.

Therefore, it is of interest to conduct a further extended classification of errors by source. A distinctive feature of some of these errors is that they can not be completely eliminated, as they are related to the accuracy of manufacture (shape and geometric dimensions) of individual elements of the parameters of the parameters of movement and path.

However, it is important to study the causes of the above errors and the degree of their impact on the final results of measuring the parameters of movement.