

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна
Кафедра “Автоматика та телекомунікації”

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

Гаврилюк В.І.

(підпис)

(ПІБ)

ДИПЛОМНА РОБОТА

для здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань 27 «Транспорт»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Спеціалізація «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема «Підвищення функціональної безпеки автоматичної локомотивної сигналізації при впровадженні Європейської системи управління рухом поїздів першого рівня»

Theme «Improving the functional safety of automatic locomotive signaling with the implementation of the European train control system of the first level»

Керівник дипломної Професор
роботи

Гаврилюк В.І.

Студент групи

Юртаєв Д.В.

Student

Yurtaiev D.V.

Дніпро

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Автоматика и телекомунікації»
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»
Спеціалізація «Інтероперабельність и безпека на залізничному транспорті»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

_____ Гаврилюк В.І.

(підпис) (ФІБ)

«_____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОС «Марістр» студента групи ІН1926

Юртаєва Дмитра Валерійовича

1.Тема роботи: Підвищення функціональної безпеки автоматичної локомотивної сигналізації при впровадженні Європейської системи керування рухом поїздів першого рівня
Improving the functional safety of automatic locomotive signaling with the implementation of the European train control system of the first level

Затверджена наказом по університету №138 від «04»березня 2020 року

2.Термін подання студентом закінченої роботи «13» грудня 2020 року

3. Вихідні дані по роботі Директиви і ТСІ Євросоюзу щодо систем управління рухом поїздів і системи ERTMS, нормативні документи і галузеві інструкції щодо проектування і обслуговування систем СЦБ

**4. Зміст розрахунково-
пояснювальної записки:**

1. Призначення і класифікація пристроїв АЛС
2. Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв при безперервному проходженні поїзда через станцію
3. Нормативні положення по вимірювання кодового струму АЛС
4. Підвищення функціональної надійності АЛСН
5. Вдосконалення методу контролю кодів АЛСН вагоном-лабораторією шляхом використання спектрального аналізу
6. Розробка структури і алгоритмів роботи мікропроцесорного локомотивного приймача багатозначної АЛС

Календарний план

№ п/п	Назва розділу магістерської роботи	Термін виконання розділу	Проценти, %
1	Призначення і класифікація пристроїв АЛС	12 ноября	15
2	Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв при безперервному проходженні поїзда через станцію	16 ноября	15
3	Нормативні положення по вимірювання кодового струму АЛС	09 декабря	15
4	Підвищення функціональної надійності АЛСН	13 декабря	15
5	Вдосконалення методу контролю кодів АЛСН вагоном-лабораторією шляхом використання спектрального аналізу	07 декабря	20
6	Розробка структури і алгоритмів роботи мікропроцесорного локомотивного приймача	11 декабря	20

Научный руководитель

Гаврилюк В.И.

подпись

Задание принял к выполнению

Юртаев Д.В.

подпись

АНОТАЦІЯ:

Магістерська дисертація виконана на 134 сторінках, містить 10 таблиць, 68 рисунків,
42 джерела літератури.

У дисертації досліджено функціональну безпеку автоматичної локомотивної сигналізації при впровадженні Європейської системи керування рухом поїздів першого рівня та проведена розробка засобів, що дозволяють підвищити функціональну безпеку шляхом розробки многозначної локомотивної сигналізації. Метою роботи є підвищення функціональної безпеки автоматичної локомотивної сигналізації при впровадженні Європейської системи керування рухом поїздів першого рівня. Об'єкт дослідження – електротехнічні процеси що впливають на функціональну безпеку автоматичної локомотивної сигналізації. Предмет дослідження – методи та засоби підвищення функціональної безпеки автоматичної локомотивної сигналізації шляхом розробки многозначної системи та моніторингу сигнального струму тональних рейкових кіл. Для вирішення поставлених задач було проведено аналіз електротехнічних процесів в рейкових колах тональної частоти, проведено їх моделювання, наведені можливі шляхи вирішення задачі автоматичного моніторингу сигнального струму тональних рейкових кіл, розроблені методи та засоби моніторингу. Методи дослідження – теорія електричних кіл, математичні пакети комп'ютерного моделювання, , методи проектування структурних і принципових схем.

Ключові слова: Європейська система керування рухом поїздів, ERTMS, функціональна безпека, многозначна локомотивна сигналізація, моніторинг сигнального струму.

ABSTRACT:

The master's dissertation is made on 134 pages, contains 10 tables, 68 figures, 42 sources of literature.

In the dissertation the functional safety of the automatic locomotive signaling at introduction of the European control system of movement of trains of the first level is investigated and development of the means allowing to increase functional safety by development of the multivalued locomotive signaling is carried out. The purpose of the work is to increase the functional safety of automatic locomotive signaling during the implementation of the European train control system of the first level. The object of research - electrical processes that affect the functional safety of automatic locomotive signaling. The subject of research is methods and means of increasing the functional safety of automatic locomotive signaling by developing a multi-valued system and monitoring the signal current of tonal rail circuits. To solve the set tasks the analysis of electrotechnical processes in rail circuits of tone frequency was carried out, their modeling is carried out, possible ways of the decision of a problem of automatic monitoring of a signal current of tone rail circuits are resulted, methods and means of monitoring are developed. Research methods - the theory of electric circuits, mathematical packages of computer modeling, methods of designing structural and schematic diagrams.

Keywords: European train traffic control system, ERTMS, functional safety, multi-valued locomotive signaling, signal current monitoring.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Классификация и назначение устройств автоматической локомотивной сигнализации.....	7
1.1 Классификация систем АЛС и принципы передачи информации на локомотив.....	7
1.2 Системы АЛСН непрерывного действия.....	14
1.3 Автоматическая локомотивная сигнализация числового кода АЛСН.....	20
1.4 Многозначная автоматическая локомотивная сигнализация.....	23
1.5 Локомотивные системы сигнализации, используемые в Европе.....	27
2 Исследование условий работы локомотивных устройств АЛС при непрерывном прохождении поезда через станцию.....	43
2.1 Анализ отказов в работе АЛС на железных дорогах Украины за 12 месяцев 2019 года.....	43
2.2 Эксплуатационно-технические требования к кодам АЛС.....	44
2.3 Анализ причин сбоев в работе систем АЛС.....	46
2.4 Особенности работы локомотивных приемных устройств.....	50
2.5 Организационно-технические мероприятия по улучшению работы систем АЛС.....	52
2.6 Источники возникновения помех в индуктивном канале АЛС при проходе поездом горловины станции.....	55
2.7 Импульсные помехи в канале АЛС в зоне изолирующих стыков.....	57
2.8 Импульсные помехи в канале АЛС в зоне стрелочных переводов.....	63
2.9 Источники других импульсных помех в канале АЛС.....	65
3 Нормативные положения по исследованию кодового тока АЛС.....	71
3.1 Измерительные приборы, инструмент, материалы.....	71
3.2 Общие требования.....	71
3.3 Измерения и регулирования тока АЛС.....	71

3.4	Измерение и регулирование временных параметров и тока АЛС.....	73
4	Повышение функциональной надежности.....	75
4.1	Общие положения по повышению функционально безопасности АЛС..	75
4.2	Техническое обслуживание путевых устройств АЛСН.....	76
4.3	Требования к параметрам кодовых сигналов автоматической локомотивной сигнализации.....	78
4.4	Современные подходы к обеспечению надежности и помехоустойчивости устройств АЛС.....	80
4.5	Контроль параметров сигнального тока АЛС вагоном-лабораторией...	81
5	Усовершенствование метода контроля кодов АЛС вагоном-лабораторией путем использования спектрального анализа.....	87
5.1	Фурье анализ сигналов.....	87
5.2	Устройство для регистрации сигнального тока АЛС.....	88
5.3	Результаты измерений.....	90
6	Разработка структуры и алгоритмов работы микропроцессорного локомотивного приемника многозначной АЛС.....	97
6.1	Структура локомотивного приемника.....	97
6.2	Выбор методов резервирования аппаратуры.....	98
6.3	Структура и принцип работы декодера многозначной АЛС.....	103
6.4	Структура и принцип работы устройства управления и индикации.....	106
	Выводы.....	113
	Литература.....	114

Список сокращений

ЖАТ – железнодорожная автоматика

САР – сигнальной авторегулировки

АЛС – автоматическая локомотивная сигнализация.

АЛСН – автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного действия.

АЛСТ – автоматическая локомотивная сигнализация точечного действия.

РЛ – рельсовых линия

ЛЭП – линиями электропередач

БС – сигнальный блок

ПК – приемные катушки

МПК – приемные катушки многозначной АЛС

НКС – непрерывный канал связи

ФС – формирователь сигналов

УЗС – устройство защиты и согласования

УМ – усилитель мощности

ТКУ – трансформатор кодовый универсальный

ФМС – фазоманипулированный сигнал

ЦС – цикловая синхронизация

FZB – центральный пост

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы сократились объемы грузовых перевозок. Существенно поменялись маршруты и направления потоков грузов. Реальность ставит перед железнодорожным транспортом задачи по новому посмотреть на проблемы и разногласия как между системами колеи 1435 мм и 1520/1524 мм, так и внутри каждой системы.

Появляется необходимость предложения клиентам беспроблемного, скоростного передвижения грузов и пассажиров на едином евразийском транспортном пространстве, т.е. решения вопросов интероперабельности [1].

Принятие европейских директив 96/48/EG и 2001/16/EG, а также открытие государственных границ в Европе создали новые возможности для развития международных железнодорожных перевозок. В странах, входящих в Шенгенскую зону, нет необходимости останавливать поезда на государственных границах. Ранее во время пограничного и таможенного контроля происходила смена локомотивов и локомотивных бригад, теперь же ставится задача для экономии времени следовать через границы с тем же локомотивом и той же локомотивной бригадой. Для этого необходимо унифицировать технические системы и правила эксплуатации. Унификация является необходимым условием для обеспечения открытого доступа к инфраструктуре операторам перевозок согласно директивам Европейского союза и реализуется в настоящее время в рамках проекта ERTMS/ETCS [2].

Планирование внедрения на железных дорогах Украины скоростного движения вызывает необходимость предыдущего определения возможности, применения существующих систем железнодорожной автоматики (ЖАТ) для пропуска специализированного скоростного пассажирского подвижного состава (скорость до 200 км/ч) на линиях со смешанным движением пассажирских и грузовых поездов при выполнении соответствующих работ по подготовке инфраструктуры этих линий – пути, подвижного состава, энергоснабжение, технических средств ЖАТ и связи и др.

Очевидно, что среди технических средств ЖАТ наиболее уязвимыми в условиях скоростного движения поездов будут локомотивные системы сигнальной авторегулировки (САР). При передаче сигнальной информации от путевых устройств на локомотив в наиболее распространенной на железных дорогах Украины системе автоматической локомотивной сигнализации числового кода (АЛСН) используется индуктивный канал связи, на работу которого отрицательно влияет численное количество помех. Их анализ показывает, что на перегоне на работу АЛСН влияет ряд аддитивных помех (импульсных, непрерывных гармоничных), в основном связанных с тяговым током, поперечной и продольной асимметрией рельсовых линий (РЛ), высоковольтными линиями электропередач (ЛЭП).

Значительное количество помех, причины появления и параметры которых зависят от скорости движения поездов, от которых очень сложно защитить приемочные устройства АЛСН от сбоев вследствие физического принципа действия индуктивного канала связи, перепадает на станции. Источник возникновения таких помех устранить сложно, а то и практически невозможно. [3].

Поэтому существует перспектива применять новые системы контроля состояния РЦ и передачи информации на локомотив, которые позволят организовать высокоскоростное движение на железных дорогах Украины.

1 КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

1.1 Классификация систем АЛС и принципы передачи информации на локомотив

Передачу информации между стационарным путевым устройством и передвижным устройством на локомотиве в принципе можно осуществить двумя способами. В первом случае информация передается в определенные моменты (точно) лишь в избранных местах, так называемых информационных точках, во втором случае – постоянно (непрерывно) без учета положения поезда на путях. Оба способа, точечный и непрерывный, могут быть объединены в системы смешанные, у которых часть информации передается непрерывно, а остальная – точно.

Рассмотрим системы АЛС, которые либо находятся в эксплуатации, либо представляют определенный интерес ввиду своей перспективности. Классификация систем АЛС приведена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Классификация систем АЛС

Точечные системы (АЛСТ)

Первой в истории точечной системой (опыты голландского инженера Ван Браама проводились уже в 1906 г.) было механическое устройство, принцип действия которого показан на рис. 1.2.

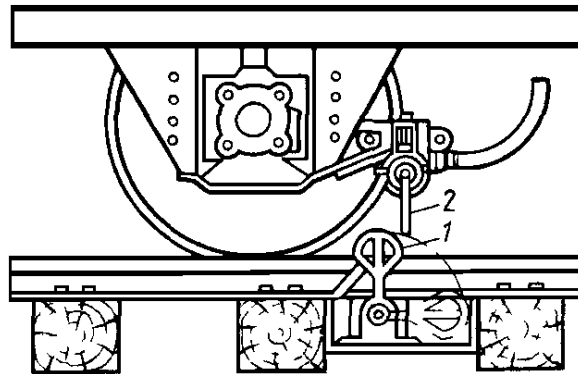


Рисунок 1.2 – Механический датчик системы АЛСТ

На путях у сигнала установлен поворачивающийся рычаг 1, который при запрещающем показании сигнала повернут до вертикального положения. При проезде локомотивом этого сигнала поворачивается рычаг вентили 2 в тормозной системе состава, что приводит к вынужденной остановке поезда за счет выпуска сжатого воздуха. Это устройство использовалась на метрополитене, а в зарубежной практике также на трамвайных линиях.

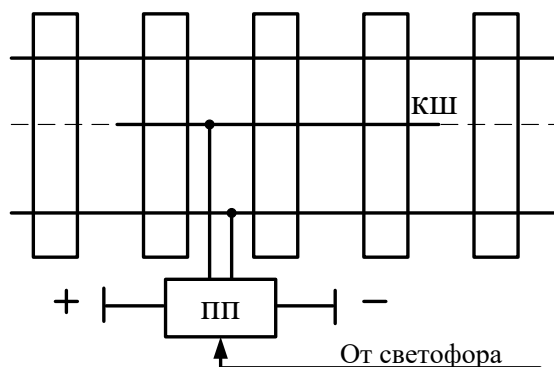


Рисунок 1.3 – Электроконтактное устройство системы АЛСТ

На рис. 1.3 показано электроконтактное устройство, его путевая часть. Положение переключателя зависит от показания светофора. Приемное реле реагирует на полярность тока. Наиболее запрещающее состояние соответствует

бестоковому состоянию. В этом случае происходит лишь механическое воздействие на щетку (её приподнятое), вследствие чего обрывается цепь питания обмотки приемного реле.

Наименее надежной частью этой системы являются щетки. Надежность передачи активного сигнала зависит от чистоты контактной шины. Несмотря на эти недостатки, устройство используется с успехом до настоящего времени на французских железных дорогах даже при скоростях 160 км/ч.

В тридцатых годах двадцатого столетия на чехословацких государственных дорогах была испытана система оптической передачи сигнальных знаков предупредительного светофора (изобретение инженера Безелера). Источник света (рефлектор) и приемник (фотоэлемент) были размещены на локомотиве. Отражение светового луча создавала стеклянная призма, поворачивающаяся от привода механического семафора. Отражение сигнала к приемнику происходило при проезде локомотивом предупредительного семафора с запрещающим сигнальным показанием. Однако в тяжелых условиях эксплуатации устройство не могло работать устойчиво (загрязнение действующих частей, зазор в механизме привода и т. д.).

Подающим надежды казалось использование радиоизотопов, помещенных в оловянных футлярах у светофоров. Присутствие γ -частиц должны обнаруживать детекторы на локомотиве. При использовании таких систем возникли те же затруднения, что и у подобных устройств для автоматической индикации хвоста поезда, — образовывался фон помех, созданный радиоактивным облучением. Повышение интенсивности передающего потока γ -частиц могло бы привести к опасному для человека облучению.

АЛСТ с источником постоянного магнитного поля

Типичным передатчиком является постоянный магнит, вмонтированный в металлический корпус и размещенный параллельно рельсам (рис. 1.5, а). На локомотиве установлено магнитное реле МР (рис. 1.5, б) с поляризованным якорем Я, отрегулированным без преобладания. При проследовании локомотива над

путевым магнитом якорь изменит свое положение. На рис. 1.5, в показано положение якоря магнитного реле при проследовании локомотивом точки установки постоянного магнита.

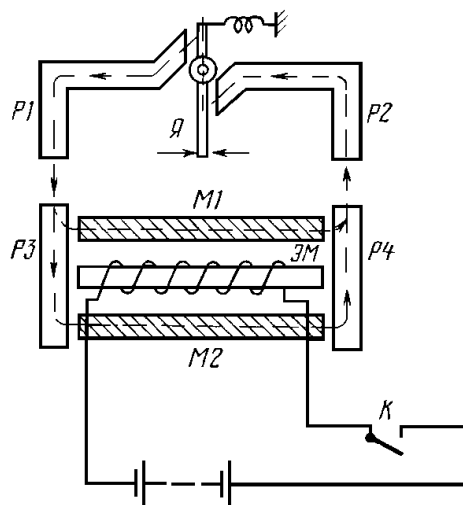


Рисунок 1.4 – АЛСТ с источником постоянного магнитного поля

В описанной системе осуществляется передача неизменной информации. Если возникает необходимость передачи переменной информации, путевой передатчик следует выполнить в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.5.

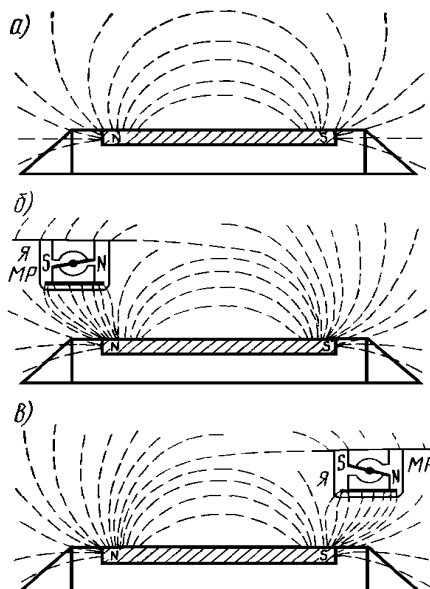


Рисунок 1.5 – АЛСТ с электромагнитом на пути

Направление движения поезда предполагается вертикальным к оси, так что полюсные наконечники Р1 и Р2 приемника пройдут одновременно над полюсами РЗ и Р4 передатчика. Возбуждение главного магнитного потока обеспечивают два постоянных магнита М1 и М2. При проезде приемника и разомкнутом контакте К якорь Я неполяризованного магнитного реле перебросится. При замыкании контакта К возбудится электромагнит ЭМ, компенсирующий магнитодвижущую силу постоянных магнитов в полюсах РЗ и Р4, перебрасывания якоря магнитного реле при этом не происходит.

АЛСТ с постоянным магнитом на пути

Другая группа систем АЛС с постоянным магнитным полем на пути (рис.1.6.) имеет в качестве приемника катушку индуктивности, в которой индуцируется напряжение при быстром изменении магнитного потока в ее сердечнике.

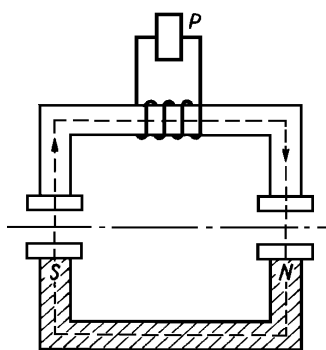


Рисунок 1.6 – АЛСТ с постоянным магнитом на пути

АЛСТ с источником переменного магнитного поля на пути

При соответствующем преобразовании магнитной цепи (сердечник и полюсники выполнены из трансформаторной листовой стали или изготовлены из ферритов) передающие электромагниты на пути можно питать переменным током, например, от транзисторных генераторов. Приемная часть на локомотиве состоит при этом из катушки индуктивности, настроенной с помощью параллельно присоединенного конденсатора на частоту передаваемого сигнала, или же из нескольких таких цепей. При проезде над информационной точкой э.д.с.,

возникшая в соответствующей резонансной цепи, усилится, в результате чего возбудится фиксирующее реле.

АЛСТ с источником постоянного тока на локомотиве

Принцип действия такого устройства показан на рис 1.7

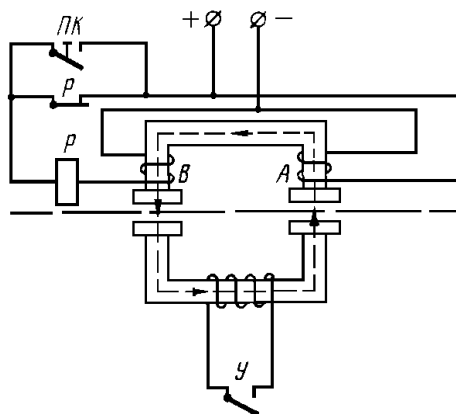


Рисунок 1.7 – АЛСТ с источником постоянного тока на локомотиве

В нормальном положении реле притягнуто. Вследствие этого в сердечнике электромагнита создается поток, величина которого определена большим магнитным сопротивлением.

При проезде локомотива над путевым передатчиком (сердечник из листовой трансформаторной стали) общая магнитная проводимость цепи увеличивается скачком, индуктированная э. д. с. в обмотке В действует против постоянно протекающего тока, и реле Р обесточивается. Повторное возбуждение реле возможно только после нажатия пусковой кнопки ПК. Устройство работоспособно лишь при скорости поезда не ниже заданной.

АЛСТ с источником переменного магнитного поля на локомотиве

Наиболее широко используемой системой этой категории является АЛСТ, построенная по резонансному принципу (рис. 1.8). При проследовании локомотивного индуктора над аналогичным путевым индуктором ПИ, образованным катушкой индуктивности L_2 и конденсатором C_2 происходит расстройка локомотивного контура и резкое снижение напряжения на контуре, вследствие чего обесточивается фиксирующее реле Р.

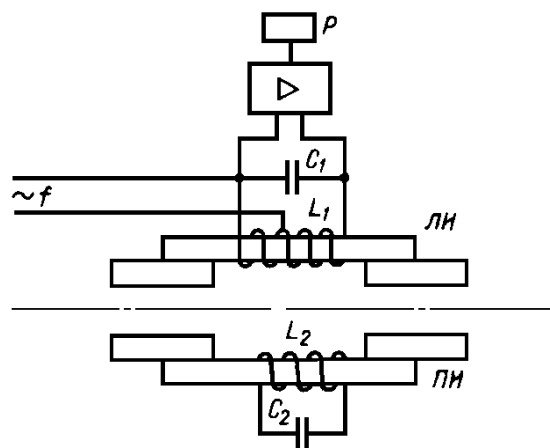


Рисунок 1.8 – АЛСТ построенная на резонансном принципе.

Четкая работа описанного устройства возможна при использовании повышенной рабочей частоты f . При реальном воздушном зазоре между индукторами 150 – 200 мм и использовании рабочих частот свыше 2 кГц описанное устройство работоспособно при скорости от 0 до 250 км/ч. Данное устройство находит широкое применение в настоящее время на зарубежных железных дорогах.

1.2 Системы АЛСН непрерывного действия

У низкочастотных систем АЛСН в качестве линии связи используются чаще всего рельсовые нити, по которым проходит сигнальный ток низкой частоты (25 – 2000 Гц), образующий около рельсов магнитное поле. Перед первой колесной парой П1 на локомотиве установлены приемные катушки ПК (рис. 1.9).

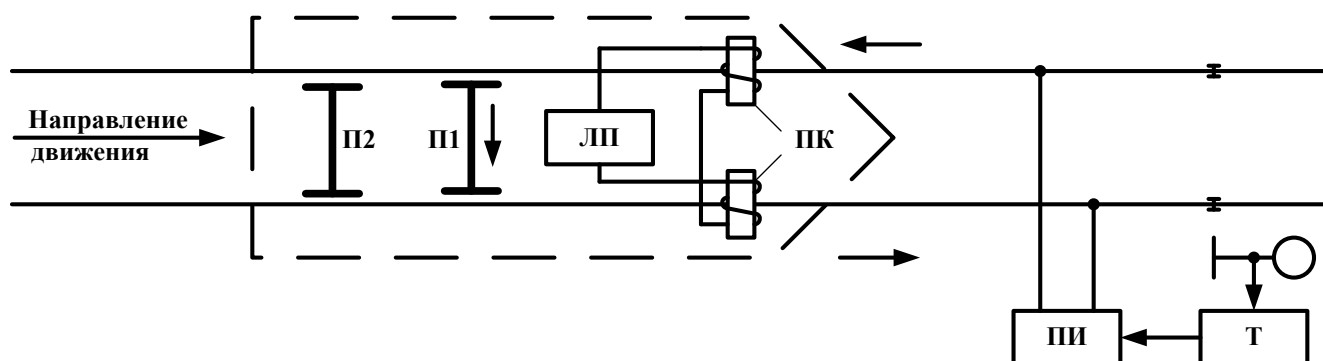


Рисунок 1.9 – Структурная схема низкочастотной системы АЛСН

Кодовый транзиттер Т в зависимости от показания путевого светофора модулирует питающий источник ПИ (передатчик – модулятор). Последний подсоединен к рельсовой линии так, чтобы сигнальный ток протекал навстречу приближающемуся поезду.

Напряжение, индуктированное на приемных катушках, пропорционально силе тока, протекающего по рельсам. К последовательно подключенным приемным катушкам присоединен локомотивный приемник ЛИ, который таким образом непрерывно связан с передатчиком ПИ зашифрованных информации, независимо от положения поезда на рельсовой цепи. Возможное изменение показания светофора сразу будет передано на локомотив. Информация на локомотив может передаваться в том случае, если часть рельсовой цепи между передатчиком ПИ и локомотивом свободна от подвижного состава.

На рис. 1.10 изображено устройство обычной разветвленной двухниточной рельсовой цепи с тремя параллельными ответвлениями. Источник тока частотой f_1 и путевое реле П присоединены к рельсовой линии с помощью дроссель-трансформаторов. Для непрерывной передачи сигнала на локомотив рядом с рельсами (чаще всего прямо на подошве рельса) прокладывают одножильный кабель без металлической оболочки (изображен на рис. 1.10 синей линией).

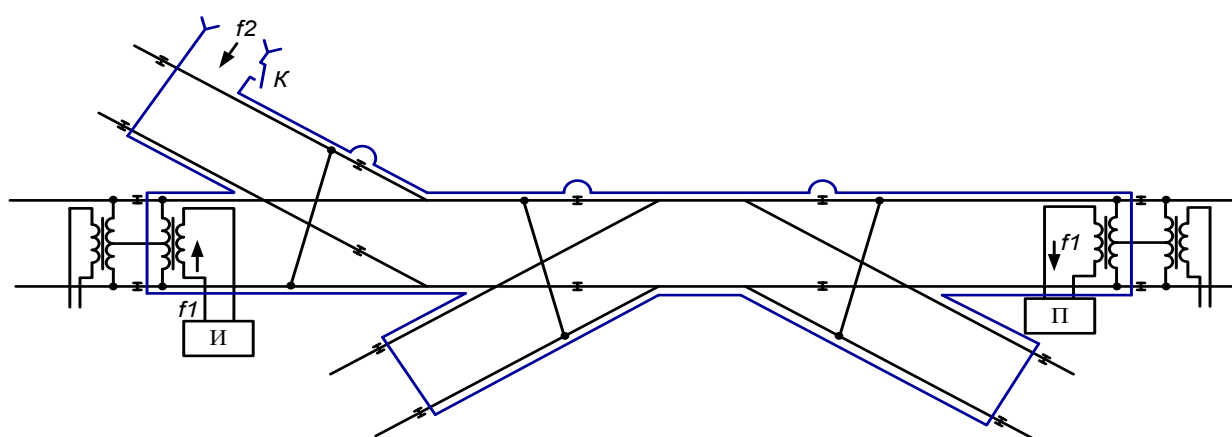


Рис. 1.10 – Прокладка шлейфа в разветвленной рельсовой цепи

Кабельный шлейф при любом расположении поезда обеспечивает передачу хотя бы на одну приемную катушку сигнального тока частотой. Контакт К трансмиттерного реле обеспечивает кодирование шлейфа.

Занятость любой части рельсовой цепи регистрируется обесточиванием путевого реле П. При этом напряжение тока частотой f_1 наводимое в катушках АЛСН, не проходит через входной фильтр локомотивного приемника. Кодовые импульсы частотой f_2 входной фильтр локомотивного приемника пропускает. На чехословацких дорогах, например, используются для работы станционных рельсовых цепей с АЛСН частоты $f_1 = 275$ Гц и $f_2 = 50$ Гц или $f_2 = 75$ Гц.

На рис. 1.11 изображена схема использования параллельного прохождения сигнальных токов I_2', I_2'' по рельсам в комбинации с сигнальным током I_1 той же частоты. Ток I_1 подается от трансформатора Тр1 и используется для питания двухэлементного путевого реле Я. При занятости рельсовой цепи поездом этот ток замыкается через колесные пары и с помощью приемных катушек ПК1 индуктированное напряжение подается на первый вход локомотивного приемника ЛИ. Ток I_2 подается от того же источника питания трансформатором Тр2, в первичную обмотку которого включен фазовый манипулятор ФМ, который осуществляет манипуляцию фазы в зависимости от состояния сигнала С. Ток I_2 поступает в рельсы с помощью разделительных катушек L и путевого провода ПП, проложенного так, чтобы он не влиял на приемные катушки АЛСН. При прохождении составляющих тока I_2', I_2'' под катушками ПК2 в них наводятся э.д.с., которые складываются и поступают на второй вход локомотивного приемника ЛП. На выходе катушек ПК1 э.д.с. от токов I_2', I_2'' вычитаются.

Приемник ЛП содержит усилители обоих входных напряжений и двухэлементное трехпозиционное индуктивное реле. В случае присутствия обоих входных сигналов одинаковой частоты вращающий момент сектора реле определяется фазовым соотношением токов I_2', I_2'' . С изменением фазы тока I_2 на 180° изменяется и направление поворота сектора реле. При прекращении приема сигнала I_1 (локомотив идет по занятому участку), как и при неисправности в цепи

тока I_2 , сектор реле принимает среднее положение. Выполненная по такому принципу АЛСН осуществляет передачу на локомотив двух активных сигналов светофора и пассивную информацию о занятости участка.

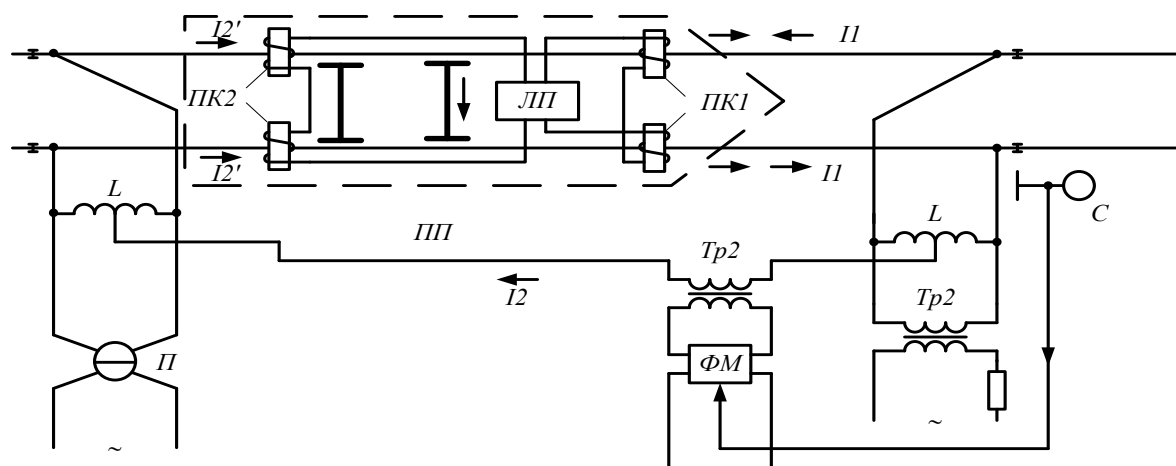


Рис 1.11 – Возможная схема питания рельсовых нитей

Приемник ЛП содержит усилители обоих входных напряжений и двухэлементное трехпозиционное индуктивное реле. В случае присутствия обоих входных сигналов одинаковой частоты вращающий момент сектора реле определяется фазовым соотношением токов I_2' , I_2'' . С изменением фазы тока I_2 на 180° изменяется и направление поворота сектора реле. При прекращении приема сигнала I_1 (локомотив идет по занятому участку), как и при неисправности в цепи тока I_2 , сектор реле принимает среднее положение. Выполненная по такому принципу АЛСН осуществляет передачу на локомотив двух активных сигналов светофора и пассивную информацию о занятости участка.

Для реализации непрерывной передачи информации необходим переменный сигнальный ток. Кодирование информации может осуществляться несколькими способами: а) непрерывный ток постоянной частоты; б) циклически прерываемый ток определенной несущей частоты; в) чередование передачи токов двух различных частот; г) комбинированные способы.

К пункту «а» относятся устройства с фазовым кодом (сообщения отличаются фазовым углом по отношению к опорному сигналу) и частотным кодом (каждой информации присвоена определенная сигнальная частота).

Пока наиболее распространенными являются АЛСН по пункту «б», у которых ток одной несущей частоты ритмически прерывается под действием шифратора. Импульсы сгруппированы по виду используемого кода числового или частотно-импульсного. Исходя из требования минимально допустимого количества периодов несущей частоты f в одном импульсе определяется длина самого короткого импульса, а следовательно, и наивысшая возможная частота повторения $f_{\text{п}}$ у частотно-импульсного кода. Например, при $f=50$ Гц частота повторения $f_{\text{п}} \leq 6$ Гц.

Импульс и интервал могут быть в бинарном коде по пункту «в» заменены двумя следующими друг за другом импульсами с разной несущей частотой. Отсутствие импульсов (бестоковое состояние) в таком случае означает неисправность.

Способы кодирования, приведенные в пунктах «а», «б» и «в», можно комбинировать различным образом. Например, возможна циклическая манипуляция нескольких несущих частот, что дает возможность расширить количество передаваемой информации: или же ввести определенный код (например, одновременный прием двух модулированных несущих частот из пяти и т. д.).

Низкочастотная линейная передача по рельсам решается методами, присущими технике рельсовых цепей. Принимая во внимание затухание передачи, быстро растущее с увеличением частоты, верхняя граница используемых несущих частот составляет примерно 1000 Гц или во всяком случае не более 2000 Гц при использовании емкостной компенсации в рельсовой цепи.

Система АЛСН непрерывного действия высокочастотная

Диапазон частот, в меньшей степени подверженный влиянию электрической тяги, расположен выше 30 кГц и поэтому системы локомотивной сигнализации, работающие в этой полосе частот, называются высокочастотными АЛСН.

Для передачи сигналов в этом диапазоне частот не представляется возможным использование двухпроводной рельсовой линии, поэтому рядом с ней протягивают особый изолированный провод в виде кабельного шлейфа. Магнитное поле, образующееся вокруг этого путевого провода при прохождении сигнального тока, пронизывает приемные катушки с ферритовыми сердечниками, помещенные на локомотиве.

На рис. 1.12, а – ж изображены способы прокладки путевого провода, который или образует шлейф, или же обратное прохождение сигнального тока осуществляется с помощью рельса.

Питание подается с помощью передатчика сигналов П, а на другом конце линия замыкается на характеристическое сопротивление Z_0 для исключения отраженных волн. На рис. 1.12, а один провод проложен по оси пути, в качестве обратного используется рельс. На рис. 1.12, б провод вокруг оси пути укладывается прямоугольными зигзагами с одинаковым или меняющимся шагом длиной примерно 10 м (отклонение от оси составляет примерно 200 мм), обратным служит рельс. На рис. 1.12, в прямой и обратный провода шлейфа проложены вплотную к рельсам; приблизительно через каждые 100 м провода перекрещиваются (в пределах ширины одной шпалы). На рис. 1.12, г провода уложены аналогично рис. 1.12, в, но они удалены друг от друга на расстояние (≈ 300) мм и являются симметричными к оси пути. На рис. 1.12, д шлейф складывается из прямого и пилообразно проложенного проводов, длина зубцов меняется. На рис. 1.12, е устройство шлейфа схоже с рис. 1.12, д, но прямые части провода и пилообразные чередуются. На рис. 1.12, ж в одной половине ширины пути устроен шлейф с малым расстоянием между проводами ($d \approx 300$ мм), которые на определенном расстоянии перекрещиваются. В соответствующих местах на пути шлейф образует информационные точки, состоящие из нескольких витков положительного или отрицательного направления. Образованные над ними поля отличаются фазой на 180° , поэтому в группе витков можно зашифровать в бинарном коде нужную информацию в данной точке, которая снимается особой антенной на локомотиве.

Показанные на рис. 1.12 способы прокладки путевого шлейфа можно сравнивать с различных точек зрения, самыми важными из которых являются: затухание передачи, взаимное влияние на двухпутных и многопутных участках, помехозащищенность при воздействиях электрической тяги, возможность использования для измерения пройденного пути, сопротивляемость механическим повреждениям, капиталовложения при строительстве.

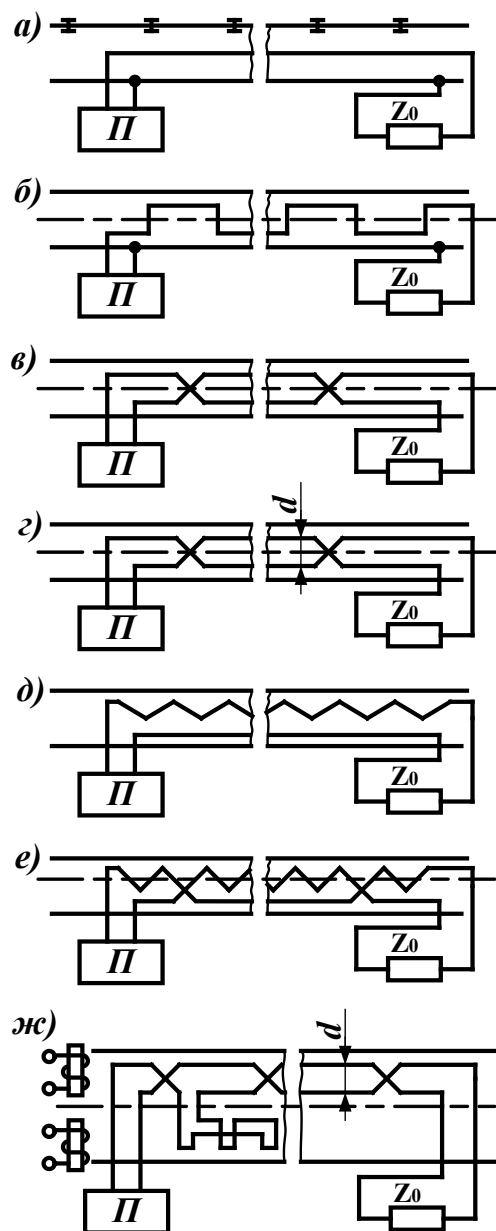


Рис.1.12 – Способы прокладки путевого шлейфа для высокочастотной АЛСН

Затухание передачи складывается из затухания в шлейфе путевого провода и затухания канала связи между проводом и антенной на локомотиве. Первое

затухание зависит от сигнальной частоты, от конструкции провода (главным образом от толщины и типа изоляции), от способа его прокладки и крепления, от вида шпал и климатических условий (сухо, мокро, снег). Канал связи задан конструкцией приемных катушек и их положением по отношению к путевому проводу.

В общем можно констатировать, что тесная магнитная связь между путевым проводом и рельсами является невыгодной с точки зрения затухания передачи, поэтому прокладка провода вблизи оси пути является более перспективной. Это связано еще и с тем, что уровень передаваемого сигнала в значительной мере зависит от близости короткозамкнутых электрических цепей.

Увеличение толщины изоляции провода шлейфа из качественного диэлектрика значительно уменьшает затухание; снег, покрывающий провод, увеличивает затухание до такой степени, что выравнивается разница между разными способами прокладки путевого провода вне зависимости от толщины его изоляции. Исходя из количественных результатов обширных измерений, которые провели многие железные дороги, можно констатировать, что передача может быть надежной при длине шлейфа до 6 км (при расположении передатчика посередине участка до 2 – 6 км), имея в виду мощность передатчика около 10 Вт.

Передаваемая по шлейфу информация кодируется обычно бинарным кодом и передается телеграммой: «единице» соответствует определенная частота, «нулю» – другая частота, близкая к первой. Каждая телеграмма должна содержать такое количество двоичных позиций, чтобы кроме собственного содержания информации и адреса, были также включены контрольные позиции, повышающие помехозащищенность системы. Переменный шаг прямоугольно проложенного провода на рис. 1.12, б или зубца на рис. 1.12, д служит для дополнительной модуляции несущей частоты, вызванной движением поезда. Модулируемая частота пропорциональна скорости движения поезда, что можно использовать для автоматического контроля скорости.

Кроме передачи в направлении «Путь – локомотив» можно осуществлять и передачу в обратном направлении, а кроме того, возможно выделить некоторое количество каналов для телефонной двусторонней связи. Для этой цели выгодно такое размещение кабельного шлейфа, при котором уровень принимаемого сигнала не падает до нуля в местах изменения положения (скрещивания).

Высокочастотные системы АЛСН обладают по сравнению с низкочастотными рядом недостатков. К ним относятся прежде всего легкая повреждаемость кабельного шлейфа при ремонте железнодорожного полотна (например, при смене шпал или рельсов, сварке рельсов и др.). Высокочастотная энергия излучается и может воздействовать на устройства и линии связи [4].

1.3 Автоматическая локомотивная сигнализация числового кода АЛСН

Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного действия числового кода представляет собой совокупность путевых и локомотивных устройств, обеспечивающих непрерывную передачу сигналов путевых светофоров в кабину локомотива, периодическую проверку бдительности машиниста при желтом, желтом с красным, красном и белом огнях локомотивного светофора и однократную проверку бдительности при любой смене сигналов, контроль скорости при желтом с красным и красном огнях с принудительной остановкой поезда соответствующими устройствами в случае потери бдительности машинистом или превышении скорости.

Формирование числового кода у каждого проходного светофора осуществляется кодирующей аппаратурой, состоящей из кодового путевого транзиттера *КПТ* (рис.1.13) и транзиттерного реле Г, управляемого сигнальными реле автоблокировки *З*, *Ж* и *О*. Транзиттерное реле Г коммутирует цепь обмотки кодирующего трансформатора *КТ*. При этом в рельсовую линию поступают импульсы переменного тока, соответствующие передаваемой кодовой комбинации.

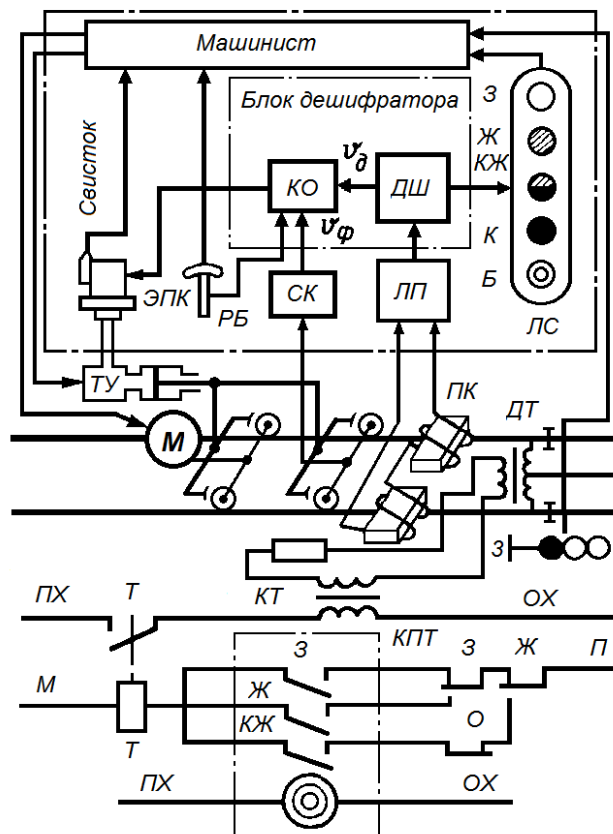


Рис.1.13 – Структурная схема АЛСН числового кода

Переменный ток, проходя по рельсовым нитям, создает вокруг них переменное магнитное поле, которое замыкается через сердечник приемных катушек *ПК* локомотива и наводит в последних ЭДС. Локомотивный приемник *ЛП* усиливает ЭДС и преобразует ее в импульсы постоянного тока, от которых срабатывает импульсное реле, включенное на выходе приемника. Импульсное реле управляет работой блока дешифратора, состоящего из собственно дешифратора *ДШ* и контрольного органа *КО*. В зависимости от принятой кодовой комбинации дешифратор обеспечивает зажигание соответствующего огня локомотивного светофора, а также подачу на контрольный орган *КО* информации о допустимой скорости движения v_d . Фактическая скорость поезда v_f измеряется скоростемером *СК*. Машинист подтверждает свою бдительность в необходимых ситуациях нажатием рукоятки бдительности *РБ*. Моменты, в которые возникает необходимость подтверждения бдительности, определяются машинистом по свистку электропневматического клапана *ЭПК*.

Машинист управляет локомотивом, воздействуя на двигатель М и тормозные устройства ТУ.

Локомотивный приемник предназначен для приема числовых кодовых сигналов на частоте сигнального тока 50 Гц при электрической тяге постоянного тока и автономной тяге, а на частоте 25 или 75 Гц – при электрической тяге переменного тока.

Сигнальный ток, протекая по рельсам, создает магнитное поле, в котором перемещаются локомотивные катушки. Стальной сердечник способствует концентрации магнитных силовых линий в зоне расположения катушек. Центры катушек смещены в сторону оси пути, благодаря чему стабилизируется суммарная ЭДС на двух катушках при их горизонтальных колебаниях во время движения локомотива. При таком колебании одна из катушек приближается к рельсу, и сигнал на ней возрастает, другая катушка удаляется, и сигнал на ней убывает. Вследствие встречного включения катушек ЭДС, наводимая тяговым током, компенсируется; помехи создаются асимметрией тягового тока в рельсах. Катушки имеют индуктивность $(7,1 \pm 0,3)$ Гн на электровозах и $(6 \pm 0,25)$ Гн на тепловозах.

Катушки подвешены над каждым рельсом впереди первой колесной пары на высоте 150 мм над головкой рельса. Ток в рельсах 10 А и частотой 50 Гц наводит в каждой из них ЭДС не менее 0,75 В на электровозе и 0,65 В на тепловозе. Индуцированные в приемных катушках кодовые сигналы усиливаются локомотивным приемником и преобразуются в импульсы постоянного тока, которые подаются в дешифратор для восприятия передаваемого сообщения.

Локомотивные приемники характеризуются чувствительностью, помехозащищенностью и временными параметрами, отражающими искажение длительности импульсов кодовых комбинаций на выходе приемника по сравнению с входом.

Чувствительность локомотивного приемника измеряется минимальным кодовым током в рельсах под приемными катушками, при котором срабатывает исполнительный орган, например электромеханическое или электронное реле.

Отношение максимального тока в рельсах, при котором исполнительный орган не срабатывает, к току чувствительности называется коэффициентом возврата локомотивного приемника.

При электрической тяге переменного тока чувствительность локомотивного приемника для частот сигнального тока 25 и 75 Гц составляет $(1,05 \pm 0,1)$ А. Для частоты 50 Гц при электрической тяге постоянного тока чувствительность $(1,45 \pm 0,15)$ А, а при автономной тяге $(0,75 \pm 0,15)$ А. Надежная работа приемника обеспечивается при минимальном токе в рельсах на входном конце блок-участка 1,2 А при автономной тяге 1,4 А при электрической тяге переменного тока и 2 А при электрической тяге постоянного тока [5].

1.4 Многозначная автоматическая локомотивная сигнализация

Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа (АЛСН) числового кода с четырехзначной сигнализацией обеспечивает регулирование движения поездов при максимальной скорости не более 160 км/ч. При повышении скоростей движения поездов и увеличении в связи с этим тормозных путей требуется расширение значности локомотивной сигнализации.

Для осуществления многозначной сигнализации об ограничении скорости движения высокоскоростных поездов устройства АЛСНМ дополняются точечной системой передачи такой информации. Так как локомотивы высокоскоростных поездов могут обращаться и на участках с устройствами АЛСН числового кода, то система АЛСНМ позволяет обеспечить работу устройств совместно с системой АЛСН числового кода.

Информация о показании светофора в системе АЛСНМ передается на локомотив частотным кодом одной или двумя частотами, что позволяет при меньшем числе выбранных частот передавать большее число сигнальных показаний. Для частотного кодирования выбран частотный диапазон – 100 – 400 Гц.

Система АЛСНМ работает совместно с устройствами АЛС непрерывного типа и с устройствами АЛС точечного типа.

Путевые устройства АЛСНМ состоят из генераторов, фильтров и приемников частотных кодовых сигналов. Локомотивные устройства обеспечивают прием кодовых частотных и числовых сигналов и точечных приказов об ограничении скорости.

Кодовые сигналы числового кода воспринимаются приемными катушками, проходят через усилитель и поступают на дешифратор, где они декодируются, и подаются в сигнальный блок (БС) для управления огнями локомотивного светофора ЛС.

Частотные кодовые сигналы с пути принимаются приемными катушками (МПК) и поступают в блоки приема БЛПМ. Срабатывает исполнительное реле и включает цепь сигнального блока БС. В этом блоке в соответствии с принятым кодовым сигналом возбуждается сигнальное реле, которое включает на локомотивном светофоре огонь, повторяющий показание проходного светофора, к которому приближается поезд [6].

Микроэлектронная система АЛС-ЕН

Система автоматической локомотивной сигнализации АЛС-ЕН предназначена для передачи следующей информации с пути на локомотив:

- число свободных блок-участков (до шести) впереди поезда;
- скорость проследования очередного светофора (16 градаций от 0 до 200 км/ч);
- длина впереди лежащего блок-участка (два значения – больше или меньше тормозного пути нормативного поезда);
- путь, по которому движется поезд по перегону (главный путь станции или отклонение на боковой);
- приближение поезда к закрытому светофору (красно-желтый огонь КЖ);
- движение поезда по пригласительному сигналу (белый мигающий огонь БМ);
- номер пути (четный или нечетный) при двухпутной организации движения (защита от подпиток с соседних путей);

- четный или нечетный блок-участок данного пути (защита от подпиток от смежных блок-участков и из-под колес впереди идущего поезда).

Для уменьшения времени передачи информации и обеспечения высокой помехозащищенности в системе АЛС-ЕН используется двукратная фазоразностная модуляция, позволяющая организовать два независимых фазовых подканала. В каждом из подканалов используются восьмиразрядные комбинации самосинхронизирующегося модифицированного кода Бауэра с кодовым расстоянием $d = 4$ (четыре информационных разряда и четыре контрольных). Это позволяет в каждом фазовом подканале иметь $2^4 = 16$ кодовых комбинаций, что обеспечивает общую значность системы $16 \times 16 = 256$.

Система АЛС-ЕН относится к классу непрерывных систем и содержит в своем составе путевые и локомотивные устройства (рис. 1.14).

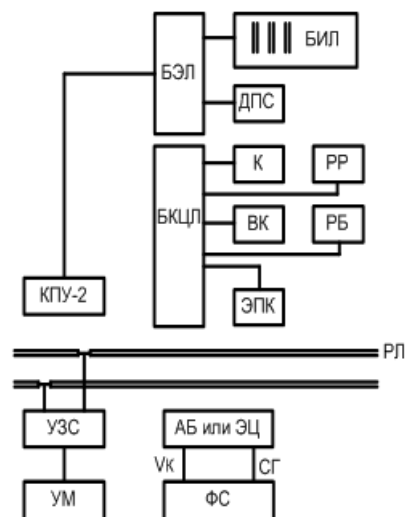


Рисунок 1.14 – Структурная схема системы АЛС-ЕН

В НКС входят следующие устройства: формирователь сигналов (ФС), блок усиления мощности (БУМ - 175) и устройство защиты и согласования (УЗС). Подробная структурная схема непрерывного канала связи представлена на рис. 1.15.

ФС представляет собой несколько устройств:

- модулятор (М);
- задающий генератор (ЗГ);

- датчики кодовых комбинаций (ДКК1 и ДКК2);
- усилитель мощности (УМ);
- трансформатор кодовый универсальный (ТКУ).

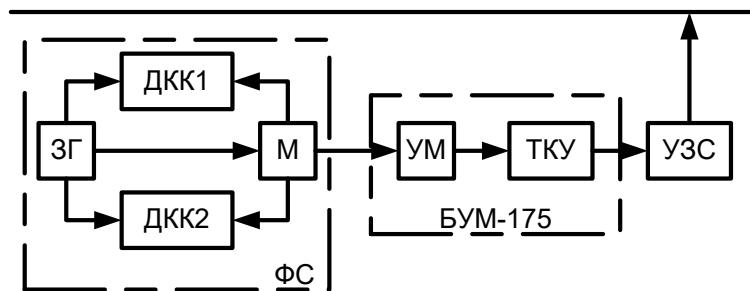


Рисунок 1.15 – Структурная схема путевого аппарата НКЗ системы АЛС-ЕН

Использование модифицированного кода Бауэра при двукратной ФРМ разрешило организовать надежный канал передачи информации из пути на локомотив в системе АЛС-ЕН. При этом обеспечивается передача 256 сообщений в полосе частот порядка 15 Гц на присвоенной несущей частоте 175 Гц. Время изменения показаний на локомотивном индикаторе не превышает 3 с. [5].

1.5 Локомотивные системы сигнализации, используемые в Европе

1.5.1 АЛСН LZB 80E

Бортовое устройство LZB 80E разрабатывалось как безопасная система с высокой эксплуатационной готовностью, построенная на основе компонентов, соответствующих современным промышленным стандартам. Его структура показана на рис.1.16.

Основу устройства составляет безопасная вычислительная система, построенная по принципу «2 из 3». В ней использованы три системные платы с процессорами Intel Pentium и операционная система TAS-Plattform для ответственных приложений, обеспечивающая мажоритарное сравнение результатов обработки в трех каналах и реализующая стандартные интерфейсы. Взаимодействие между вычислительными каналами осуществляется по локальной сети Ethernet. На

системных платах находится также интерфейс с шиной MVB, используемой для сопряжения бортового устройства с системой управления локомотивом.

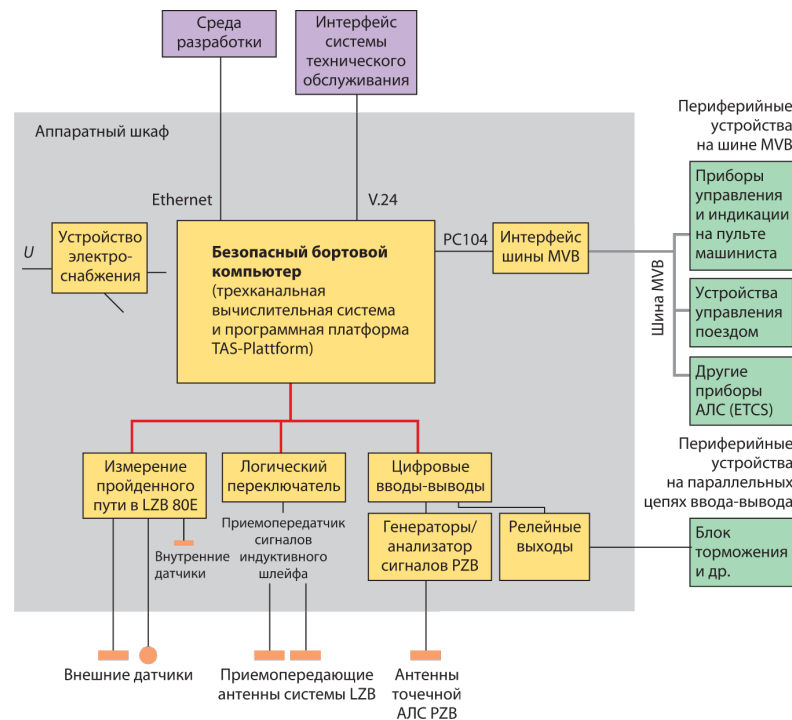


Рисунок 1.16 – Структура бортового устройства ALCH LZB 80E

В состав устройства входят также периферийные блоки для передачи данных по индуктивному шлейфу, реализации функций точечной АЛС PZB, цифровые входы/выходы, средства измерения пройденного пути и скорости. Каждый вычислительный канал соединен с периферийными блоками шиной CAN. Благодаря такой структуре трехканальное построение системы реализуется от вычислительных каналов вплоть до периферийных блоков. Для выдачи ответственных команд (например, включения тормозов) в блоках вывода предусмотрены реле, осуществляющие мажоритарное сравнение сигналов от трех вычислительных каналов.

Поскольку перед разработчиками была поставлена задача обеспечить совместимость с хорошо опробованным устройством LZB 80/16, прибор LZB 80E обслуживает в основном те же самые интерфейсы. Существующая версия прибора ограничивается шиной MVB на современном подвижном составе в качестве интерфейса с бортовыми устройствами управления. При этом используются те же

сигналы, что и в LZB 80/16, но дополненные данными диагностики и некоторой другой информацией, необходимой для индикации.

Интерфейс с индуктивным шлейфом реализован в трех блоках – передатчике, приемнике с антенным переключателем и блоке передачи в трехканальную вычислительную систему. Они пришли на смену платам, заполнявшим целый ряд в 19-дюймовом компоновочном каркасе устройства LZB 80/16.

В устройстве используются те же, что и ранее, импульсные колесные датчики. Возможно также применение бесконтактных датчиков. На современном подвижном составе, оборудованном непрерывным регулированием проскальзывания при тяге, наличие в LZB 80E дополнительного датчика способствует повышению точности измерений пройденного пути.

Интерфейс с тормозным оборудованием реализован так же, как в LZB 80/16 – воздействие на главную тормозную магистраль осуществляется через собственный или совместимый блок управления тормозами [7].

Функциональная структура и функции LZB 80E

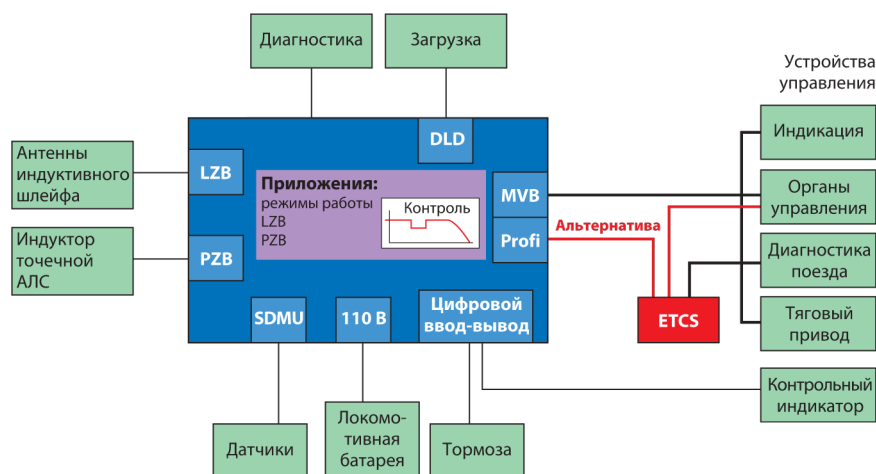


Рисунок 1.17 – Функциональные уровни устройства LZB 80E

DLD – блок загрузки программного обеспечения и информации;

ETCS – европейская система управления движением поездов;

LZB – АЛСН на базе индуктивного шлейфа;

MVB – многофункциональная вагонная шина;

Profi – шина Profibus;

PZB – точечная АЛС;

SDMU – модуль измерения пройденного пути и скорости

Устройство LZB 80E выполняет функции точечной АЛС PZB, контрольные функции непрерывной АЛС LZB и функции обеспечения безопасности, реализуемые в рамках проекта CIR-ELKE 1 (проект направлен на повышение пропускной способности основных линий DBAG за счет использования компьютерной техники). При разработке устройства ставилась цель добиться его максимальной модульности. При этом контрольные функции PZB и LZB реализованы в значительной мере независимо друг от друга. Они выполняются под управлением вышестоящего модуля администрирования режимов работы устройства, который при наличии других бортовых устройств АЛС реализует также взаимодействие с ними.

Для измерения пройденного пути и скорости предусмотрен отдельный модуль SDMU, выполненный в значительной мере так же, как и в европейской системе управления движением поездов ETCS. В модуле реализован сложный алгоритм, проверяющий показания нескольких измерительных систем (импульсные колесные датчики, радар, акселерометр) на правдоподобие, контролирующий работоспособность датчиков и вычисляющий значение пройденного пути и скорости. В алгоритме предусмотрено распознавание искусственного проскальзывания колес для их очистки, используемое в современных системах регулирования тягового привода, благодаря чему эти процедуры не влияют на точность измерений.

Для того чтобы не сократить резервы по времени реакции системы вследствие задержек, обусловленных прохождением информации по шинам передачи, конфигурация с модулем SDMU используется при реализации LZB 80E не только в качестве автономного устройства, но и в качестве специализированного модуля передачи LZB-STM в системе ETCS.

В поездном устройстве LZB 80E поддерживается индикация на пульте машиниста посредством традиционных световых сигнализаторов, как в LZB 80/16, а также трехрядная индикация на дисплее пульта с подключением по многофункциональной вагонной шине согласно новому техническому заданию DBAG [7].

Эксплуатационно-технические требования

Основные эксплуатационные, проектные и технические мероприятия по повышению пропускной способности линии были согласованы DBAG с промышленностью и нашли отражение в техническом задании.

Для достижения размеров движения около 30 пар поездов/ч необходимо создание технической возможности для продвижения поездов в зонах пассажирских платформ на остановочных пунктах общей линии или перед этими зонами. Это значит, что у машиниста должна быть возможность надвигать поезд вплоть до начала платформы, хотя впередиидущий поезд еще стоит у той же платформы. Отрезок между входным сигналом перед началом платформы и выходным сигналом за платформой или в ее конце разделяют при этом на несколько коротких блок-участков, обозначаемых сигнальными знаками АЛСН и совпадающих с участками контроля свободности пути.

При такой технологии необходимо отключение ламп входного сигнала и соответствующего предупредительного сигнала, а также контроль за подходом поезда к платформе при помощи системы АЛСН. Порядок следования поездов при использовании традиционной системы сигнализации и АЛСН показан на рис. 1.18 и 1.19.

При обращении на линии поездов, оборудованных АЛСН, достигаются значительно более высокие размеры движения. Если при традиционной системе сигнализации (см. рис.1.18) поезд может проследовать к платформе только после отправления впередиидущего поезда и освобождения им охранного отрезка за выходным сигналом, в режиме АЛСН он может подойти к платформе значительно раньше.

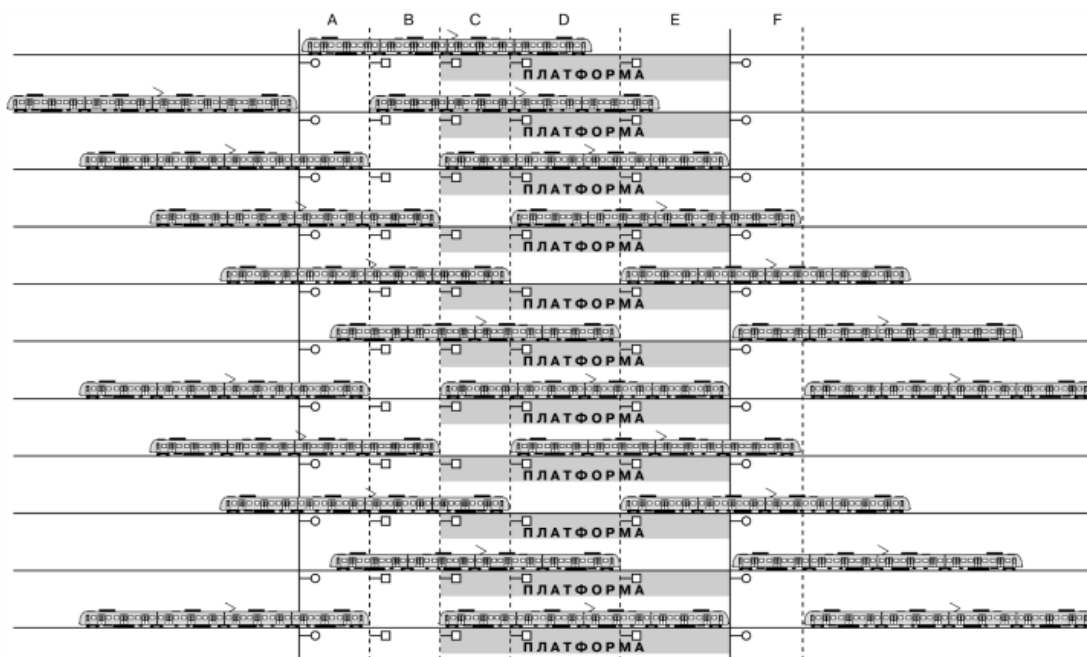


Рисунок 1.18 – Порядок следования поездов, не оборудованных системой АЛСН LZB

Когда впередиидущий поезд занимает участки C, D и E (см. рис. 1.19), для поезда, идущего следом и оборудованного АЛСН, лампы входного светофора выключаются, причем делается это своевременно, чтобы предотвратить торможение поезда.

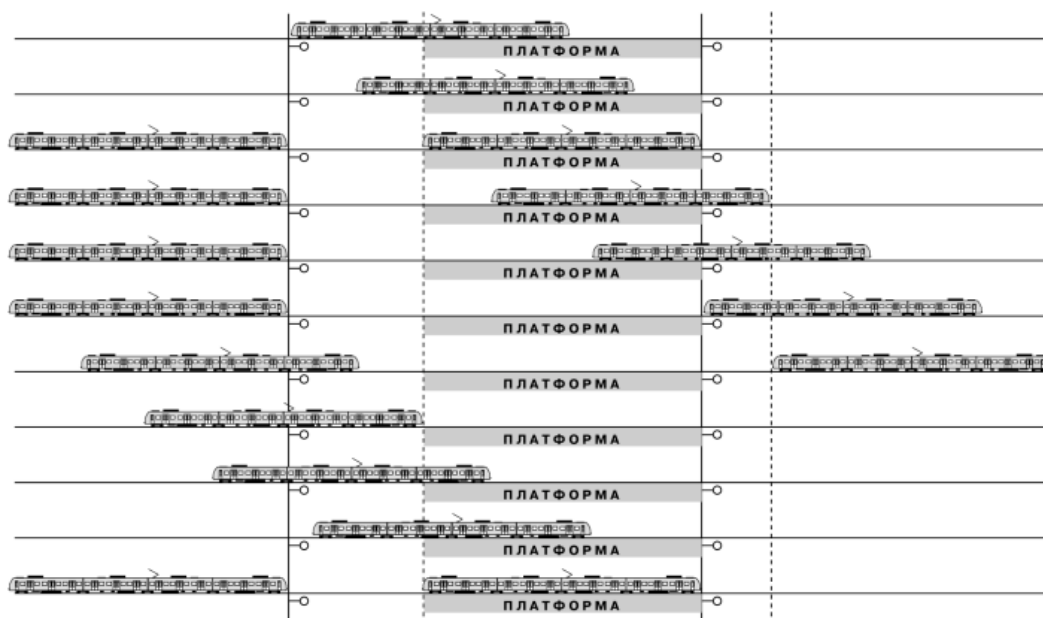


Рисунок 1.19 – Порядок следования поездов, оборудованных системой АЛСН LZB

После выключения ламп светофора допускается занятие поездом блок-участка А. Условием для выключения ламп является свобода охранного отрезка за сигнальным знаком АЛСН, расположенным между входным сигналом и началом платформы. Этот сигнальный знак является местом препятствия для следующего поезда.

В ходе отправления впередиидущий поезд последовательно освобождает охранные отрезки за соответствующими сигнальными знаками АЛСН. Система АЛСН смещает конечную точку кривой контроля скорости при торможении от одного сигнального знака к следующему, и поезд может последовательно продвигаться по блок-участкам С и D. Как только впередиидущий поезд освобождает охранный отрезок F, место препятствия смещается в системе АЛСН непосредственно к выходному сигналу, и поезд может занять участок E.

Если устройство АЛСН на впередиидущем поезде вышло из строя, входной сигнал перед платформой не выключается и остается закрытым. Только после освобождения этим поездом участка F за выходным сигналом входной сигнал открывается, и следующий поезд может проследовать к платформе.

Своевременная выдача команды на выключение ламп входного светофора имеет особое значение и выполняется во взаимодействии АЛСН с системами централизации и управления установкой маршрутов.

Условиями для выключения ламп входного светофора и проследования мимо него поезда являются:

- инициализация отключения ламп светофора – поезд, руководствующийся показаниями АЛСН, проследует точку инициализации установки маршрута. Местоположение этой точки определяется системой АЛСН в зависимости от скорости и тормозных свойств поезда. Команда инициализации выключения ламп светофора передается в систему централизации своевременно перед проследованием следующим поездом предупредительного сигнала таким образом, что предупредительный сигнал для входного сигнала, а при необходимости и его повторитель выключаются;

- отключение ламп входного светофора – условием для этого является наличие команды инициализации отключения, свобода участка А с соответствующим охранным отрезком и выполнение прочих условий в системе централизации для установки маршрута продвижения поезда к платформе;

- продвижение поезда к платформе – как только лампы входного светофора выключаются и система централизации передает в стационарный центр АЛСН сведения о показании этого сигнала, выполняются условия для продвижения поезда к первому сигнальному знаку АЛСН, расположенному за входным сигналом. Освобождение участка В с соответствующим охранным отрезком делает возможной выдачу команды на движение к сигнальному знаку у начала пассажирской платформы.

Остановка двух поездов в ходе их продвижения у платформы исключена. С учетом местных условий технически возможна такая ситуация, что из-за нарушения или экстренного торможения отправляющийся поезд останавливается и его последний вагон оказывается у платформы. Более полное использование пропускной способности линии обеспечивают также следующие мероприятия:

- ограничение охранных отрезков за сигналами до 50 м за счет применения АЛСН LZB L 72 CE;

- возможность повышения максимально допустимой скорости с 60 до 80 км/ч в тоннелях;

- совершенствование технологических операций, оптимизация обработки поездов, а также модернизация устройств управления движением;

- применение на линии поездов серии 423 с улучшенными тяговыми характеристиками, обеспечивающими более высокое ускорение [8].

1.5.2 Система АЛС типа EBICAB-900

В связи с повышением скоростей до 220 км/ч на финских государственных железных дорогах было принято решение об увеличении числа показаний (до 21), передаваемых с пути на поезд. Всего на поезд передаются четыре типа сигналов, два из которых (показания основных и предупредительных светофоров) жестко

привязаны к координате пути. Третий тип сигналов – показания об удаленности цели (остановочного пункта) позволяет машинисту формировать стратегию ведения поезда, зная о предполагаемой остановке уже на расстоянии до 6000 м, то есть пяти стандартных (по 1200 м) межсветофорных интервалов от соответствующего остановочного пункта. Четвертый тип сигналов – указания о снижении скорости сообщает машинисту информацию об ожидаемом кратковременном снижении скорости при прохождении поездом стрелочного перевода.

Первичная информация для системы АЛС поступает от электронных постов ЭЦ. Система представляет собой АЛС точечного типа EBICAB-900 разработки шведской фирмы АВВ.

В состав EBICAB-900 входят (рис. 1.20) центральный компьютер EBILoop (LC), связанный с аппаратурой ЭЦ, а также путевые блоки, состоящие из концентраторов (КС), объектных контроллеров (ОС) и блоков обмена информацией с бализами (BIS).

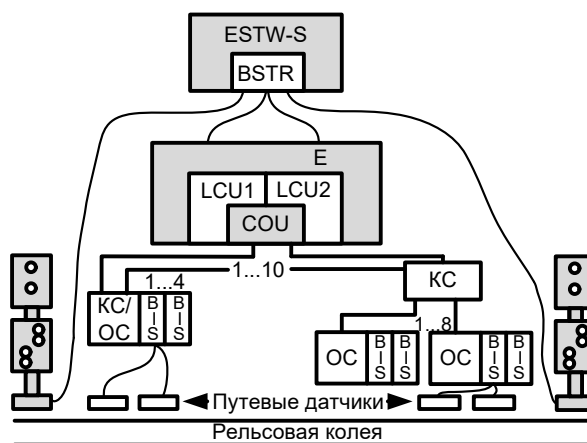


Рисунок 1.20 – Система АЛС типа EBICAB-900

Когда центральный компьютер LC получает известительную информацию от постов ЭЦ, он организует сеанс связи с устройствами сопряжения. Связь осуществляется по протоколу HDLC, скорость передачи информации – 19,2 кбит/с. Сначала LC посылает циклическую телеграмму для проверки линии связи. После получения информации о целостности линии LC посылает телеграмму опроса состояния на КС. После получения от КС ответов, подтверждающих их состояние, LC

посылает им соответствующие установочные телеграммы, содержащие информацию, которую нужно передать на поезд.

Для повышения безопасности в системе предусмотрена передача двух видов телеграмм (А и В). Телеграммы А и В одна за другой поступают в выбранный объектный контроллер (ОС), где они обрабатываются соответственно программами А и В. Только после подтверждения идентичности информации, содержащейся в обеих телеграммах, соответствующий сигнал будет передан в путевые датчики. Данная система АЛС функционирует на финских государственных железных дорогах и на железных дорогах Норвегии.

1.5.3 Система АЛС на базе FZB

В настоящее время германские железные дороги внедряют новую систему АЛС с расширенными функциональными возможностями с использованием для обмена информацией канала радиосвязи (системы FZB). Система FZB включает (рис. 1.21): центральный пост FZB, бортовые устройства FZB, базовую систему радиосвязи и бализы.

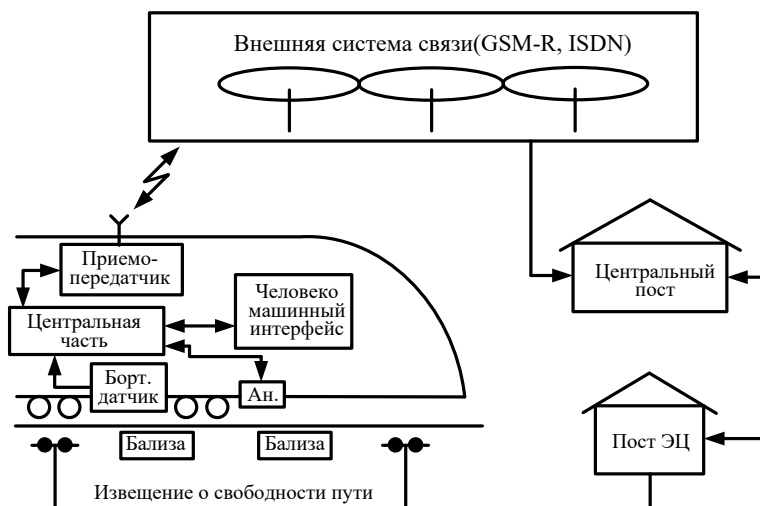


Рисунок 1.21 – Структура системы АЛС на базе радиосвязи, система FZB

На центральном посту FZB непрерывно поддерживается динамическая модель текущей поездной ситуации на контролируемом участке. Постоянная составляющая информации берется из путевого атласа участка. Переменная

составляющая информации поступает с постов ЭЦ (данные о положении стрелок и сигналов) и от поездов (данные об их местонахождении). На основе оценки текущей поездной ситуации центральный пост FZB формирует для каждого конкретного поезда команду, разрешающую дальнейшее движение. Команда передается на поезда по каналам радиосвязи через базовую систему радиосвязи (GSM-R, ISDN). Эта команда не только разрешает движение, но и предоставляет машинисту информацию о координатах ближайшей цели (например, станции) и времени ее проследования.

Бортовое устройство сопоставляет эти данные с информацией от бортовых устройств измерения пути и скорости, а также с информацией, получаемой от путевых бализ. Последние позволяют уточнить координату пути и получить значение допустимой скорости. В результате бортовой компьютер строит программную кривую скорости, в соответствии с которой поезд прибудет в намеченный пункт в назначенное время.

Непрерывное измерение пути, времени и фактической скорости позволяет машинисту контролировать движение поезда и своевременно компенсировать его отклонение от программной кривой. Если при этом фактическая скорость поезда начинает превышать допустимую, то формируются предупредительные световой и звуковой сигналы. Если машинист не снижает скорость поезда после формирования этих предупреждений, то бортовое устройство FZB выдает команду автоматического принудительного торможения, воздействующую на исполнительные цепи поезда.

При приближении поезда к цели на заданное расстояние программно вырабатывается извещение о «приближении», которое по каналам радиосвязи передается на центральный пост FZB. Получив это извещение, центральный пост FZB формирует необходимый запрос посту ЭЦ, например, на установку маршрута приема поезда на станцию. Каждая из частей системы FZB выполняет, кроме управляющих, также диагностические функции, что позволяет своевременно обнаружить ошибки и локализовать места их появления.

В телеграммах, которыми обмениваются центральный пост и бортовые устройства системы FZB, наряду с основной (перечисленной выше) информацией может передаваться большой объем вспомогательной информации. Так, в телеграмме, передаваемой с центрального поста на поезд, среди прочих данных может содержаться информация о допустимой скорости, длине, особенностях плана и профиля впередилежащего участка, а также указания о режимах движения поезда, вплоть до команд подъема или опускания пантографов. В обратной телеграмме, передаваемой с локомотива на центральный пост FZB, наряду с данными о координатах поезда указываются длина поезда, его тормозные характеристики и др [9].

1.5.4 Единая система управления движения поездов ERTMS

Для снижения затрат на различные системы локомотивной сигнализации и повышения скорости движения поездов в международном сообщении было выдвинуто предложение о создании единого стандарта на развитие систем АЛСН в Европе. Проект создания европейской системы управления перевозочным процессом на железных дорогах (ERTMS) инициирован в 1995 г. Европейской комиссией. Основой проекта является система управления и обеспечения безопасности движения поездов ERTMS/ETCS (ERTMS - European Rail Traffic Management System - Европейская система управления движением поездов; ETCS - European Train Control System - Европейская система контроля за следованием поездов).

В 2000 г. Европейским союзом была утверждена единая система управления движением поездов, обеспечения безопасности и сигнализации на трансъвропейской высокоскоростной железнодорожной сети.

При создании системы ERTMS/ETCS преследовались следующие цели:

- обеспечение эксплуатационной совместимости на национальных железнодорожных сетях в Европе, где сегодня эксплуатируется большое число различных систем сигнализации, несовместимых между собой;

- увеличение пропускной и провозной способности за счет повышения скорости движения и сокращения интервала попутного следования поездов;
- уменьшение капитальных вложений в инфраструктуру благодаря отказу от напольных сигналов и устройств контроля свободности пути;
- улучшение условий конкуренции на европейском транспортном рынке за счет применения общих европейских норм.

Система ERTMS/ETCS основана на непрерывной и точечной передаче данных между напольными устройствами и поездом, модульной архитектуре бортового компьютера и интеллектуальных датчиках, которые позволяют поезду определять свое местоположение на линии с высокой точностью. ETCS является частью ERTMS, в которую входят также компоненты управления поездной работой, пассажирских информационных систем, формирования составов, энергетически оптимального ведения поезда и др. Целью разработки ETCS является унификация систем обмена информацией между поездом и путевыми устройствами. Эта система состоит из приемоответчика Eurobalise, шлейфа Euroloop, средств радиосвязи Euroradio, локомотивного оборудования Eurocab.

Приемоответчик EUROBALISE

Конструктивно приемоответчик выполнен в плоском корпусе желтого цвета и размещают его на шпале между рельсами. Он работает без источников питания и предназначен для передачи данных с пути на поезд. При проезде над приемоответчиком поезд регистрирует настроенный на частоту 27,1 МГц пассивный LC-контур и передает ему от локомотивной антенны энергию в виде электромагнитного излучения. Эту энергию приемоответчик использует для кодирования информации и посылке ее на частоте 4,2 МГц на поезд. С помощью антенны сигналы принимаются и передаются для расшифровки на локомотив. В зависимости от вариантов кодирования и направлений передачи информации разработаны четыре вида приемоответчиков.

Зона действия приемоответчик - примерно 50 см, и за время прохождения поезда на высокой скорости возможна передача не более десятка коротких (341 бит

с 210 битами полезной информации) или пары длинных (1023 бита с 829 битами полезной информации) сообщений. Исходя из этих расчетов длинные сообщения допускается передавать лишь на скоростях до 300км/ч, короткие - при более высоких скоростях движения поездов (до 500км/ч).

Шлейф EUROLOOP

Укладываемый на путь электрический шлейф имеет длину до 1000 м. С помощью него информация непрерывно передается от путевых устройств на подвижной состав. Этот шлейф предназначен для участков, оборудованных автоматической локомотивной сигнализацией точечного типа, без задержек передает на поезд информацию об изменениях сигнальных показаний. Так, при открытии светофора уже после прохода поездом места установки напольного устройства АЛСТ, удаленного от сигнала на расстояние тормозного пути, локомотивное устройство получает актуальную информацию от шлейфа и отменяет принятую ранее команду остановки.

Применяемый в качестве шлейфа одножильный кабель с размещенным под изолированной внешней оболочкой обратным проводом укладывают на подошву одного из рельсов. Хотя шлейф находится на некотором удалении от оси пути, принимающая информацию от приёмоответчиков локомотивная антенна в состоянии регистрировать его сигналы. Информация от путевых устройств на шлейф и приёмоответчики передаётся от устройства LEU. По этой причине приёмоответчики имеют одинаковую частоту передачи сигнала 4,2 МГц. Регистрация шлейфа и передача на него энергии от локомотивной антенны осуществляются также на частоте приёмопередатчика 27,1 МГц.

Локомотивное оборудование EUROCAV

Это оборудование представляет собой гибкую построенную на модульном принципе систему обработки поступающих с внешних устройств (антенны приёмоответчика, измерителя пройденного пути, датчика скорости и локомотивной антенны GSM-R) данных. Её важнейшим компонентом является безопасный

локомотивный компьютер EVC (European Vital Computer) и удобный для пользователя интерфейс MMI (Man Machine Interface).

При проезде над приёмопередатчиком локомотив получает информацию о своем местоположении, с помощью компьютера EVC кодирует и передает ее по каналу GSM-R на центральный пост. В получаемом с центрального поста ответе содержится информация о максимально допустимой скорости движения поезда, которая декодируется и сопоставляется с текущей скоростью. При ее превышении компьютер EVC выдает управляющее воздействие на систему тяги и торможения.

Для удобства машиниста информация о скорости, предстоящем ее ограничении и расстоянии до него через интерфейс локомотивного компьютера ВМІ поступает на дисплей.

Первая ступень оснащения ETCS (LEVEL 1)

В системе ERTMS/ETCS предусмотрены три уровня, позволяющие реализовать различные эксплуатационные программы в зависимости от степени оснащённости линии напольным оборудованием.



Рисунок 1.22 – Первая ступень оснащения ETCS (LEVEL 1)

Система уровня 1 обеспечивает регулирование скорости поезда в зависимости от передаваемых с пути на поезд данных, сформированных на основе показаний напольных сигналов (рис. 1.22).

Первая ступень ETCS актуальна для участков, не имеющих современных устройств автоматической локомотивной сигнализации. В ней к традиционным

средствам контроля местоположения поезда (рельсовым цепям или счетчикам осей) добавляются два управляемых сигналом приёмоответчика Eurobalise третьего типа: один - непосредственно у светофора, а второй - на расстоянии тормозного пути до него. Они управляются установленным у сигнала специальным устройством LEU. Для повышения безопасности системы, а также снижения энергозатрат на ведение поезда приёмоответчики дополняют подключенным к LEU шлейфом Euroloop.

Оснащать таким оборудованием необязательно участки, имеющие аналогичные или более совершенные системы безопасности.

Вторая ступень оснащения ETCS (LEVEL 2)

Система уровня 2 представляет собой законченную систему управления и обеспечения безопасности движения поездов без использования напольных сигналов, но с сохранением жесткого разделения линии на блокучастки. Напольные устройства определяют местоположение поездов и контролируют их полносоставность.

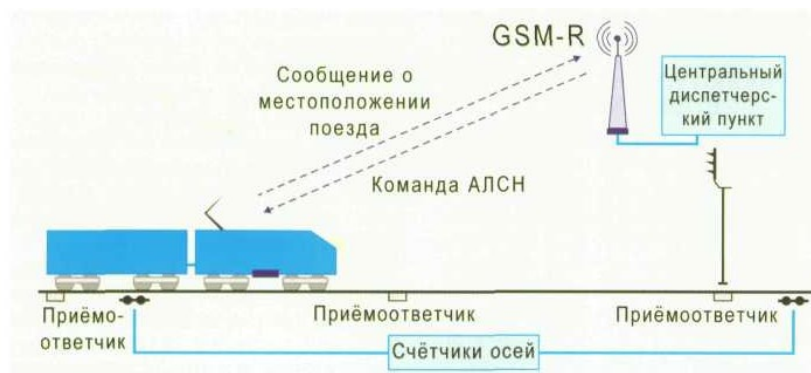


Рисунок 1.23 – Вторая ступень оснащения ETCS (LEVEL 2)

На этой ступени сведения о поездной ситуации передаются на локомотив непрерывно по радиосистеме GSM-R. Приемоответчики третьего типа, шлейфы точечной АЛС и блоки LEU могут быть демонтированы. Поезда фиксируют свое местоположение с помощью приемоответчиков первого типа, установленных на пути через определенное расстояние (рис.1.23). В промежутках между ними поезд определяет свою позицию по показаниям датчика пути. Информация о местоположении поезда после проезда приемоответчика передается по радиоканалу

на центральный пост. На второй ступени ETCS сохраняются традиционные устройства контроля местоположения поезда (рельсовые цепи и системы счета осей), а передача на пост ординаты локомотива используется пока только в качестве дополнительного источника информации. В то же время поступающие по радиоканалу команды АЛСН сообщают на поезд основную информацию о разрешенной скорости движения. Сохраняемые на этом этапе напольные светофоры предусмотрены в качестве резерва. Управление движением поездов на этой ступени, как и прежде, осуществляется с помощью фиксированных блок-участков.

Третья ступень оснащения ETCS (LEVEL 3)

Система уровня 3 - это законченная система управления и обеспечения безопасности движения поездов без использования напольных сигналов и с подвижными блок-участками. Определение местоположения поезда и контроль его полносоставности осуществляются бортовыми средствами.

Интервальное регулирование движения поездов на третьей ступени осуществляется исключительно по радиоканалу. Традиционные устройства контроля местоположения подвижного состава больше не применяются, локомотив устанавливает свою позицию с помощью измерителя пути, корректируемого приемо-ответчиками. Для контроля целостности и длины состава предусмотрен внутрипоездной радиоканал. Попутное следование поездов на последней ступени ETCS будет осуществляться с интервалом, соответствующим длине тормозного пути, что значительно повысит пропускную способность участка. Напольные сигналы использовать не будут из-за отсутствия фиксированных блок-участков (рис.1.24).

Эти три уровня совместимы друг с другом как в функциональном, так и в техническом отношении, т. е. поезд, оборудованный системой верхнего уровня, может обращаться на линии, оборудованной системой более низкого уровня. Система уровня 1 или 2 может быть доведена до уровня 3 путем добавления модулей расширения [10].



Рисунок 1.24 – Третья ступень оснащения ETCS (LEVEL 3)



Рисунок 1.25 – Функциональные поля пользовательского интерфейса машиниста DMI

На основе системной и функциональной спецификаций рабочая группа A9D CENELEC разработала документ, который описывает пользовательский интерфейс машиниста DMI для систем ETCS и EIRENE. Концепция интерфейса DMI направлена на то, чтобы машинист мог выполнять свои задачи на высоком уровне и была сокращена до минимума вероятность человеческих ошибок. Документ определяет, каким образом отображается информация системы ETCS, как вводятся данные, как выглядят графические символы и какой должна быть звуковая информация. Аппаратное обеспечение в документе не регламентируется, чтобы железнодорожные операторы могли гибко выбирать техническое решение и сохранялась возможность для внедрения перспективных разработок. Интерфейс DMI состоит из шести полей, отвечающих основным задачам машиниста (рис.1.25):

Поле В. В этом поле отображается информация, связанная с управлением скоростью движения поезда (данные кривой контроля скорости при торможении и фактическая и допустимая скорости). Эта информация отображается всегда во время движения поезда.

Поле С. Поле включает дополнительную информацию по управлению движением поезда (например, рекомендуемая скорость, функциональный уровень ETCS, отклонение от графика, сведения о специализированных модулях передачи для национальных систем АЛС).

Поле D. Поле D предназначено для планирования будущих событий. На первом уровне прогноза может быть отображена, например, кривая скорости для поезда с соответствующими извещениями о мостах, тоннелях, переездах или станциях, приказах, расстоянии до места, где должно начинаться торможение (в системе ETCS пока имеются не все эти данные). Второй уровень прогноза позволяет отобразить при необходимости детальную информацию.

Прогноз предназначен для того, чтобы машинист локомотива, оборудованного ETCS, получал ту же информацию, что и при существующей системе, несмотря на то, что в ETCS уровня 2 нет данных о показаниях напольных сигналов и свободности блок-участков. Вместо этого машинисту в кабине управления предоставляется информация о линии и графике движения, получаемая от путевых приемопередатчиков и по каналу радиосвязи. В поле прогноза отображается информация, зависящая от конкретной ситуации и предназначенная для конкретного поезда.

Во время торможения поезда перед препятствием индикация прогнозной информации приглушается, чтобы не привлечь внимание машиниста к более важным сведениям. Эта концепция позволяет снизить нагрузку на машиниста в нормальном режиме эксплуатации. У машиниста остается больше времени для решения других задач, например, на реагирование в экстренном случае на неожиданные события. Это способствует повышению безопасности системы в целом.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ АЛС ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРОХОЖДЕНИИ ПОЕЗДА ЧЕРЕЗ СТАНЦИЮ

2.1 Анализ отказов в работе АЛС на железных дорогах Украины за 12 месяцев 2019 года

За 12 месяцев 2019 года на железных дорогах Украины количество случаев отказов локомотивных устройств АЛС, которые привели к следованию по приказу ДНЦ, увеличилось и составляет 1248 случаев против 1226 случаев за 12 месяцев 2018 года (увеличение составило - 22 случая или 1,8%). Увеличение количества отказов, которые привели к следованию по приказу ДНЦ допустили Львовская, Приднепровская и Юго-Западная железные дороги, а именно:

- Львовская железная дорога - составляет 89 случаев против 65 за 12 месяцев 2018 года (рост составил - 24 случая или 36,9%), рост количества отказов на 1 млн. км пробега - 1,9 случая против 1,5;

- Приднепровская железная дорога - составляет 486 случаев против 467 за 12 месяцев 2018 года (рост составил - 19 случаев или 4,1%), рост количества отказов на 1 млн. км пробега - 8,0 случая против 7,5;

- Юго-Западная железная дорога - составляет 279 случаев против 277 за 12 месяцев 2018 года (рост составил - 2 случая или 0,7%).

Также за 12 месяцев 2019 года количество отказов локомотивных устройств АЛС, которые привели к следованию по приказу ДНЦ, на 1 млн. км пробега уменьшилась и составляет 4,1 случая против 4,2 случая за 12 месяцев 2019 года.

В количественном виде, по вине работников службы локомотивного хозяйства за 2019 год допущен 728 случаев неисправностей АЛСН против 794 случаев, которые на 8,3% меньше чем в 2018 году.

Общее количество случаев отказов устройств АЛС за 12 месяцев 2019 года уменьшилась и составляет 1850 случаев против 2054 случая за этот же период 2018 года.

Наибольшее количество отказов устройств АЛС, которые привели к следованию по приказу ДНЦ, возникли по причинам неисправности такого оборудования:

- Локомотивные скоростемеры - 263 случая, которые составляет 21,1% от общего количества, через упрек стрелки скорости на «150 (220)» км/ч и неисправность повода;

- Отказы, которые вошли в графу «Другие» - 168 случаев, которая составляет 13,5% от общего количества;

- Аппаратура, которая обслуживается работниками службы сигнализации и связи - 154 случая, который составляет 12,3% от общего количества. Из них: 64 случая неисправностей дешифраторов и 55 случаев неисправностей усилителей.

- Рукоятки и педали бдительности - 73 случая через излом пружины контактной группы.

- Неудовлетворительное состояние электромонтажа - 67 случай из-за отсутствия электрической цепи, повреждения изоляции проводов, снижения сопротивления изоляции.

Приведенные выше статистические данные и анализ возможных причин возникновения сбоев АЛСН показывают, что некоторые из них могут быть устранены организационно-техническими мероприятиями, повышением качества технического обслуживания устройств, которые закреплены за соответствующими подразделениями - службами П, Ш, Е, др.

Но в условиях повышенной скорости движения поездов в горловинах станций в силу технического построения источника сигнальной информации - РЦ и физического принципа действия индуктивного канала связи между путевыми и локомотивными устройствами АЛСН ряд помех мешает устойчивой работе локомотивных устройств даже при условии их полной исправности.

Исследование отрицательного воздействия на работу устройств АЛСН именно таких помех и является целью данного раздела.

2.2 Эксплуатационно-технические требования к кодам АЛС

К основным параметрам, определяющим устойчивую передачу сигналов с пути на локомотив, относятся номинальный ток локомотивной сигнализации в рельсах в конце рельсовой цепи (в наиболее удаленном месте от питающего конца) и длительность импульсов и интервалов электрических сигналов, которая может изменяться при передаче их в рельсы. В табл. 2.1 приведены значения номинального тока в шлейфе при электротяге и значения электродвижущей силы (ЭДС), наводимой в приемных локомотивных катушках электровозов (ПЭ и КПУ-1) и тепловозов (ПТ и КПУ-2) с бортовыми локомотивными приборами безопасности типа АЛСН (ПЭ и ПТ) и КЛУБ (КПУ-1и КПУ-2) [10, 11].

Таблица 2.1

Номинальные параметры сигналов АЛСН

Тип АЛСН	Несущая частота, Гц	Полоса пропускания локомотивного фильтра, Гц	Номинальный ток в рельсах в конце рельсовой линии, А	ЭДС, наводимая в приемных катушках, не менее мВ			
				ПЭ	ПТ	КПУ-1	КПУ-2
АЛСН 25 Гц	$25 \pm 0,5$	18-32	1,40	49	42	54	50
АЛСН 50 Гц	$50 \pm 0,5$	40-60	2,00	140	121	155	142
АЛСН 75 Гц	$75 \pm 1,5$	65-85	1,40	196	170	217	200
АЛС-ГН 174,38 Гц	174,38	167-184	0,25	61	53	68	62

Для образования кодовых комбинаций служат электромеханические устройства - кодовые путевые транмиттеры типа КПТШ-515 с нормальной продолжительностью кодовой комбинации 1,6 с и КПТШ-715 с удлиненной продолжительностью 1,86 с [3, 11]. Трансммиттер представляет собой устройство с двигателем переменного тока и червячным редуктором, на выходном валу которого расположены кулачковые шайбы, взаимодействующие с контактами, которые при

вращении шайб замыкаются или размыкаются, коммутируя цепь питания трансмиттерного реле. Продолжительность замыкания и размыкания контактов зависит от формы шайб и скорости вращения двигателя.

КПТШ вырабатывают из непрерывного переменного тока три кодовые комбинации числового кода с определенными временными характеристиками (коды КЖ, Ж и 3) [3, 11]. Критичной является длительность первого интервала - она должна быть в пределах 0,12-0,18 с, поэтому на практике для компенсации скачков напряжения питания 230В её выставляют равной 0,15 с.

В настоящее время на происходит замена КПТШ на бесконтактные аналоги. Так, в схемах кодирования используют бесконтактный коммутатор тока БКТ, улучшающий работу кодирующей аппаратуры и повышающий качество кода АЛС, и бесконтактный кодово-путевой трансмиттер БКПТШ, который служит для формирования числовых кодов КЖ, Ж и 3 соответствующих сигнальным показаниям путевых светофоров с помощью полупроводниковых приборов и логических элементов.

Для проверки правильности приема и расшифровки локомотивными устройствами передаваемых с пути кодовых сигналов АЛС и соответствия между посылаемыми кодовыми сигналами и показаниями локомотивного светофора, на контрольных пунктах локомотивных депо в испытательный шлейф должны посылаться последовательные сигналы зеленого, желтого и желтого с красным огней с интервалами 10-15 с между ними. При этом на локомотивном светофоре в той же последовательности должны загораться соответствующие сигнальные огни. В интервалах, при прекращении посылки кодового сигнала зеленого и желтого огней, должен загораться белый огонь, а после желтого с красным огня на локомотивном светофоре должен загораться красный огонь.

Кодовый ток в испытательных шлейфах на контрольных пунктах АЛСН локомотивных депо в процессе проверки устройств автоматической локомотивной сигнализации должен быть в соответствии с табл. 2.1 для локомотивов переменного тока 1,40-1,47А частотой 25 и 75 Гц. Кроме того, смена сигнальных огней

локомотивного светофора на локомотивах, не оборудованных устройствами контроля бдительности машиниста, кроме смены на зеленый огонь, должна происходить с однократной проверкой бдительности машиниста.

2.3 Анализ причин сбоев в работе систем АЛС

Устройства систем АЛС работают в тяжелых эксплуатационных и климатических условиях, подвергаясь повышенным электрическим, механическим и температурным нагрузкам, а также воздействиям человеческого фактора [9, 12]. Причинами помех могут быть нестабильность параметров передачи, связанных с передающими и приёмными приборами рельсовых цепей и локомотива, особенности рельсовых линий и передачи сигналов. Сложность выявления причин сбоев в работе систем АЛС определяется тем, что сбой может произойти от действия одного или нескольких более чем из тридцати неблагоприятных факторов, причем в случайном сочетании и при различном уровне влияния.

Важным условием при проведении анализа причин сбоев в работе систем АЛС является то, что сбой происходит в конкретной поездной ситуации, при определенной электромагнитной обстановке и при заданном состоянии путевых и локомотивных устройств, и при этом все указанные факторы меняются случайным образом.

На рис. 2.1 показана структурная схема системы АЛС и основные негативные факторы, влияющие на устойчивость её работы и приводящие к невыполнению заданного объема перевозок из-за нарушения условий безопасности и бесперебойности движения поездов.

Структурно систему АЛС можно представить в виде трех функциональных блоков - передающие путевые устройства, линия связи и приемные локомотивные устройства, в каждом из которых могут как зарождаться внутренние причины сбоев, так и быть устройства, на которые оказывается внешнее негативное воздействие, приводящее к нарушениям в работе всей системы АЛС.

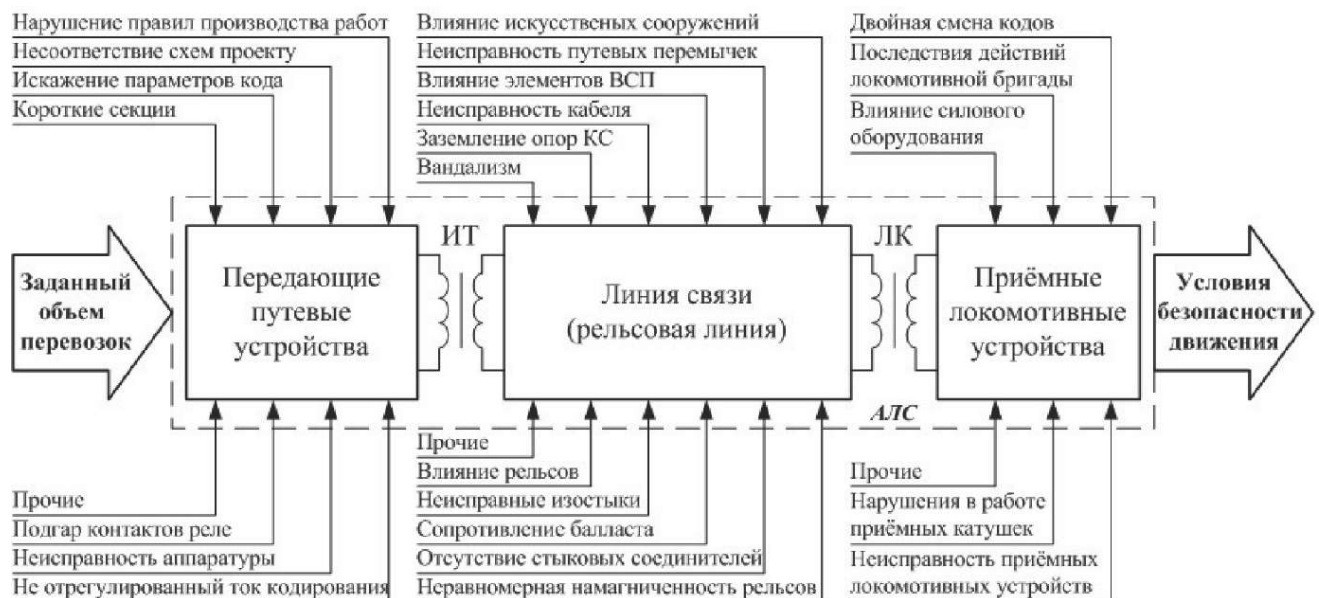


Рисунок 2.1 – Структурная схема системы АЛС и основные негативные факторы

Технологически сбои разделяют на три категории [13].

Первая категория – сбои в работе устройств АЛС, которые возникли в результате допущенных отступлений от норм содержания устройств, нарушения правил производства работ и невыполнения требований нормативных и технических документов и руководящих указаний.

Вторая категория – одиночные сбои. Сбой относится к разряду одиночных, если в результате расследования причина сбоя не установлена, а технические параметры локомотивных и путевых устройств соответствуют установленным требованиям. При этом на месте данного сбоя отсутствовали другие сбои в течение двух суток до данного сбоя и двух суток после него, а также на локомотиве, на котором зафиксировали сбой, отсутствовали сбои локомотивных устройств в течение суток до данного сбоя и в течение суток после него.

Третья категория – технологически обоснованные сбои в работе устройств АЛС. Технологически обоснованными сбоями являются сбои, произошедшие при искусственном нарушении логики работы системы АЛС, то есть произошло искажение трех подряд кодовых комбинаций при нормальной работе устройств. Например, при двойной смене кодов, когда при следовании одного поезда вслед за

другим (по удалению) происходят изменения показаний путевого светофора, что приводит к переключению огней локомотивного светофора с проблеском белого огня, или сбои на коротких изолированных участках, когда при определенной скорости поезд проезжает по изостыкам, определяющим границы рельсовых цепей, за время, совпадающее с продолжительностью трех подряд идущих кодовых комбинаций.

По результатам анализа значительного количества сбоев за несколько лет и их причин на электрифицированных переменным током участках железных дорог установлено, что наиболее подверженными негативному влиянию мешающих факторов являются устройства линии связи между передающей и приемной аппаратурой [7, 8, 14-19]. Рельсовая линия относится к напольным устройствам и поэтому подвержена влиянию практически всех видов помех, что отражается более чем в 70 % сбоев. На передающие путевые устройства, к которым относятся приборы кодирования, приходится до 10 % сбоев в работе систем АЛС, а на приемную локомотивную аппаратуру - порядка 20 %.

По технологическому признаку сбои в работе систем АЛС распределяются следующим образом: более 65% всех сбоев происходят по причине отступления от норм содержания устройств и нарушения правил производства работ, порядка 30 % сбоев оказываются одиночными, то есть не показывают повторяемость при соблюдении всех технологических требований, и около 3% сбоев являются технологически обоснованными – их появление заранее спрогнозировано.

Примером причин, оказывающих влияние на надежность работы рельсовой линии в целом, являются неисправности опор контактной сети (КС), неисправность элементов верхнего строения пути (ВСП) и неисправность напольных элементов устройств автоматики и телемеханики. Эти примеры подчеркивают то, что причины сбоев АЛС могут быть в устройствах, по принадлежности относящихся к разным хозяйствам инфраструктурного комплекса, что, в свою очередь, создает определенные трудности в расследовании сбоев и поиске достоверных причин.

Усугубляющим фактором является наличие повышенных обратных тяговых токов в рельсовой цепи вследствие регулярного тяжеловесного движения поездов с весовой нормой до 6300 тонн для горноперевальных участков и выше для равнинных участков. Как показывают экспериментальные исследования, наиболее подвержены сбоям поезда, попадающие под действие обратного тягового тока, протекающего от электровоза тяжеловесного поезда по тяговой рельсовой сети к месту подключения отсасывающей линии тяговой подстанции, которое и является самым вероятным местом появления сбоя в работе систем АЛС.

Максимальная величина обратного тягового тока наблюдается на двухкилометровом участке от места подключения отсасывающей линии в сторону тяжеловесного поезда. При наличии асимметрии сопротивлений рельсовых нитей ток, протекающий в них, также имеет различную величину, которая как в абсолютных, так и в относительных значениях может значительно превышать допустимые нормы. Так, напольные измерения обратного тягового тока на горноперевальных участках при движении тяжеловесных поездов показали, что коэффициент асимметрии может достигать 10 % при норме в 4 %, а абсолютная разница быть порядка 50 А, при суммарной величине тока в обеих рельсовых нитях, превышающей 1000 А. Причиной амплитудных искажений, как правило, является неотрегулированный кодовый ток в рельсовой цепи. Для устойчивой работы систем АЛС наряду с определёнными нормами по амплитуде импульсов должны выдерживаться также и их временные параметры. Временные искажения обычно проявляются в том, что принятые импульсы по продолжительности оказываются не равными переданным. Этим изменениям импульсов соответствуют противоположные по длительности изменения интервалов. Помехи имеют случайный характер, и их искажающее действие выражается в том, что они, накладываясь на импульсы и интервалы частично, заполняют интервалы и искажают кодовые комбинации.

Особой проблемой является влияние неравномерной остаточной намагниченности рельсов и рельсовых плетей, как уложенных в путь, так и

подготовленных к замене или уже замененных, разбросанных в колее или по концам шпал. Неравномерная остаточная намагниченность может оказывать негативное влияние на работу рельсовых цепей и систем АЛС как самостоятельно, так и дополняя и усугубляя остальные причины. Рабочая полоса приемных устройств АЛСН с несущей частотой полезного сигнала 25 Гц находится в пределах от 18 до 32 Гц. В эту полосу попадают импульсы помех от намагниченных участков рельсов, имеющих разбежность один метр, при движении поезда со скоростью от 65 до 115 км/ч.

Нарушение логики работы дешифрирующих устройств АЛС приводит к сбоям, которые поддаются логическому объяснению, и позволяет выявлять достоверные причины их возникновения. Как показывает статистика, сбои переключения показаний локомотивных светофоров (или блоков индикации) не всегда происходят по логической закономерности. Ряд сбоев проявляется в нелогичном переключении показаний, когда хаотично происходит их смена. Такие сбои явно происходят не вследствие нарушения логики работы канала АЛС и искажения кодовых комбинаций, а вследствие негативного воздействия различных помех на дешифрирующую аппаратуру, которая при этом может получать на вход «близкую к идеальной» кодовую комбинацию.

2.4 Особенности работы локомотивных приемных устройств

Электромагнитная совместимость канала АЛС с обратной тяговой сетью обеспечивается встречным включением приемных локомотивных катушек. Обратный тяговый ток протекает по двум рельсовым нитям в одном направлении, поэтому наведенные во встречно включенных катушках ЭДС взаимно вычитаются. Это проявляется в результате наличия продольной и поперечной асимметрии сопротивлений рельсовых нитей, а также из-за различия входных сопротивлений обратному тяговому току, стекаемому через колесные пары в рельсы.

В аппаратуре системы КЛУБ функции фильтрации и декодирования сигналов АЛС выполняются на программном уровне [4]. Эффективность применяемых способов программной обработки сигналов отражается на статистике

сбоев АЛС с бортовой аппаратурой систем АЛСН и КЛУБ. За последние три года количество сбоев в этих системах практически одинаково, при том что парк локомотивов с аппаратурой АЛСН незначительно, но превышает количество локомотивов, оборудованных аппаратурой КЛУБ, и всех его модификаций. Как отмечалось выше, основной проблемой в цифровой обработке сигналов АЛС аппаратурой КЛУБ является принцип кодирования - параметры кодовых посылок имеют большую схожесть в разных кодовых комбинациях.

В системе АЛСН для этих целей служит локомотивный фильтр типа ФЛ25/75М [3, 11]. Экспериментальные исследования влияния обратных тяговых токов на локомотивные приемники АЛС, проведенные в эксплуатационных условиях на различных участках, показали, что фильтр типа ФЛ-25/75М может ослаблять полезный сигнал частотой 25 Гц в полтора раза сильнее допустимого, а основную частоту помехи 50 Гц - меньше требуемого в 21 раз. По требованиям технических условий к частотным характеристикам локомотивного фильтра ФЛ-25/75М, он должен ослаблять сигнал частотой 25 Гц не больше чем в 2,5 раза, а сигнал с частотой 50 Гц - не меньше чем в 1000 раз.

Из трех основных блоков локомотивных приборов безопасности системы АЛСН наименее надежным является локомотивный фильтр. В связи с этим модернизации и разработке принципиально новых устройств фильтрации сигналов АЛС для системы АЛСН посвящено много работ, результаты которых не всегда востребованы по тем или иным причинам. Наиболее интересными являются работы [20, 21, 22, 16, 17, 23]. По результатам измерений в опытной поездке локомотивный фильтр ослаблял полезный сигнал частотой 25 Гц в полтора раза сильнее допустимого, а помеху основной частоты 50 Гц ослаблял меньше требуемого в 21 раз. Соотношение сигнал/помеха на входе фильтра составляло 1 к 18,5, а на выходе фильтра - 1 к 1,38, то есть степень ослабления помехи была значительно меньше требуемой и составила всего 48,5 раза (при норме не менее 1000 раз).

Аналогичные характеристики показали все обследованные во время опытных поездок по участкам, электрифицированным переменным током, фильтры

типа ФЛ25/75М. После снятия для проверки в условиях контрольного пункта локомотивного депо фильтры показали соответствие проверяемым по технологии параметрам. Однако степень ослабления и влияние помехи частотой 50 Гц по технологии не проверяется.

Локомотивный усилитель служит для увеличения мощности принятых приёмными катушками из рельсов кодов АЛС. В системе АЛСН большое распространение получили усилители типа УК25/50М со схемой, выполненной на транзисторах, и с трёхкаскадным усилением сигнала, и модернизированный аналог УК25/50М-Д, работающие на частотах 25 Гц и 50 Гц [3,11]. Модернизированный усилитель меньше подвержен влиянию низких температур, имеет более совершенную элементную базу и проще в техническом обслуживании.

Дешифратор сигналов АЛС обеспечивает включение огней на локомотивном светофоре или блоке индикации локомотива в соответствии с принимаемым кодом или при отсутствии кодов, а также непрерывный контроль скорости, периодическую и однократную проверку бдительности машиниста [3, 11].

Дешифратор системы АЛСН типа ДКСВ-1Д достаточно устойчив в работе, и нарушить её довольно сложно. По логике работы системы АЛСН для переключения показания на локомотивном светофоре дешифратор должен получить три подряд искаженные кодовые комбинации, то есть единичные искаженные кодовые комбинации не должны приводить к изменению сигнала.

Особое внимание заслуживают приемные локомотивные катушки, как системы АЛСН (ПЭ и ПТ), так и системы КЛУБ (КПУ-1 и КПУ-2). Наряду с конструктивными особенностями и различными техническими характеристиками они одинаково подвержены влиянию климатических факторов, приводящих к ухудшению их внутреннего сопротивления.

Известны также проблемы из-за наличия гальванической связи приемных катушек с аккумуляторной батареей локомотива, что сказывается на сопротивлении их изоляции. Новые катушки АЛСН, поступающие с завода, не всегда проходят по параметрам добротности, индуктивности и активного сопротивления. В клеммных

соединительных коробках этих катушек, даже при исправных крышках и уплотнителях, скапливается влага.

Катушки КПУ несомненно более качественные, но имеют и свои недостатки. Пайка в них заменена обжимкой, и обнаружить периодически пропадающий контакт внутри них довольно сложно.

2.5 Организационно-технические мероприятия по улучшению работы систем АЛС

Одним из известных недостатков существующей системы кодирования является значительная схожесть начала кодовых комбинаций. Для увеличения качества дешифрации сигналов АЛС и применения современных цифровых методов их обработки необходимо изменить параметры кодовых посылок с целью уменьшения степени схожести между кодами. Способ передачи кодовых сигналов с рельсовых нитей на локомотив низкочастотным сигналом также является не идеальным. В настоящее время достаточно широко обсуждается переход на радиоканал, что позволяет принципиально изменить систему кодирования сигналов АЛС

Разделение функций рельсовых цепей и кодирования сигналов АЛС, как это сделано в автоблокировке с тональными рельсовыми цепями, позволяет избавиться от ряда проблем рельсовых цепей, но кодовые сигналы АЛС, работающей на традиционных частотах 25, 50 или 75 Гц, по прежнему остаются подвержены негативному воздействию обратных тяговых токов и импульсных помех, возникающих от различных источников [14, 15].

Особое внимание необходимо уделять снижению влияния остаточной неравномерной намагниченности рельсов и плетей перед укладкой в путь. При установлении факта наличия остаточной неравномерной намагниченности рельсов или рельсовых плетей требуется применение для размагничивания и обработки рельсов мобильных или переносных размагничивающих установок. Для эффективного размагничивания необходимо обеспечивать двухразовый проход

установки с работой по обработке рельс на сбойных участках пути после смены рельсов или плетей [6, 19, 24].

Обеспечив минимальное время между выгрузкой плетей бесстыкового пути в колею и их укладкой в путь и между заменой и сбором плетей и замененных (инвентарных) рельсов минимизируется время их воздействия на приемный тракт АЛС. При этом необходимо осуществлять скрепление между собой рельсов, уложенных в путь для замены или вывоза с помощью накладок на концах рельсов, при этом выдерживая их параллельность к рабочим нитям.

При выполнении графика необходимо производить проверку состояния рельсовых цепей на предмет наличия переходных сопротивлений, особое внимание уделяя измерению сопротивления на токоведущих стыках. Электромеханикам при выполнении работ по графику производить измерение напряжения питания сигнальной точки. Если величина напряжения изменилась на 10 % и более от результата предыдущего измерения, то необходимо произвести измерение временных параметров кодового тока.

При новом строительстве систем интервального регулирования движения поездов на участках с электротягой переменного тока для кодирования сигналов АЛС следует применять частоту 75 Гц. Существующие типовые технические решения, в основе которых применены панели питания 1111- 75ЦАБ и ПП-75ЭЦ, позволяют без вмешательства в локомотивную аппаратуру переходить на менее подверженную воздействию низкочастотных помех частоту 75 Гц.

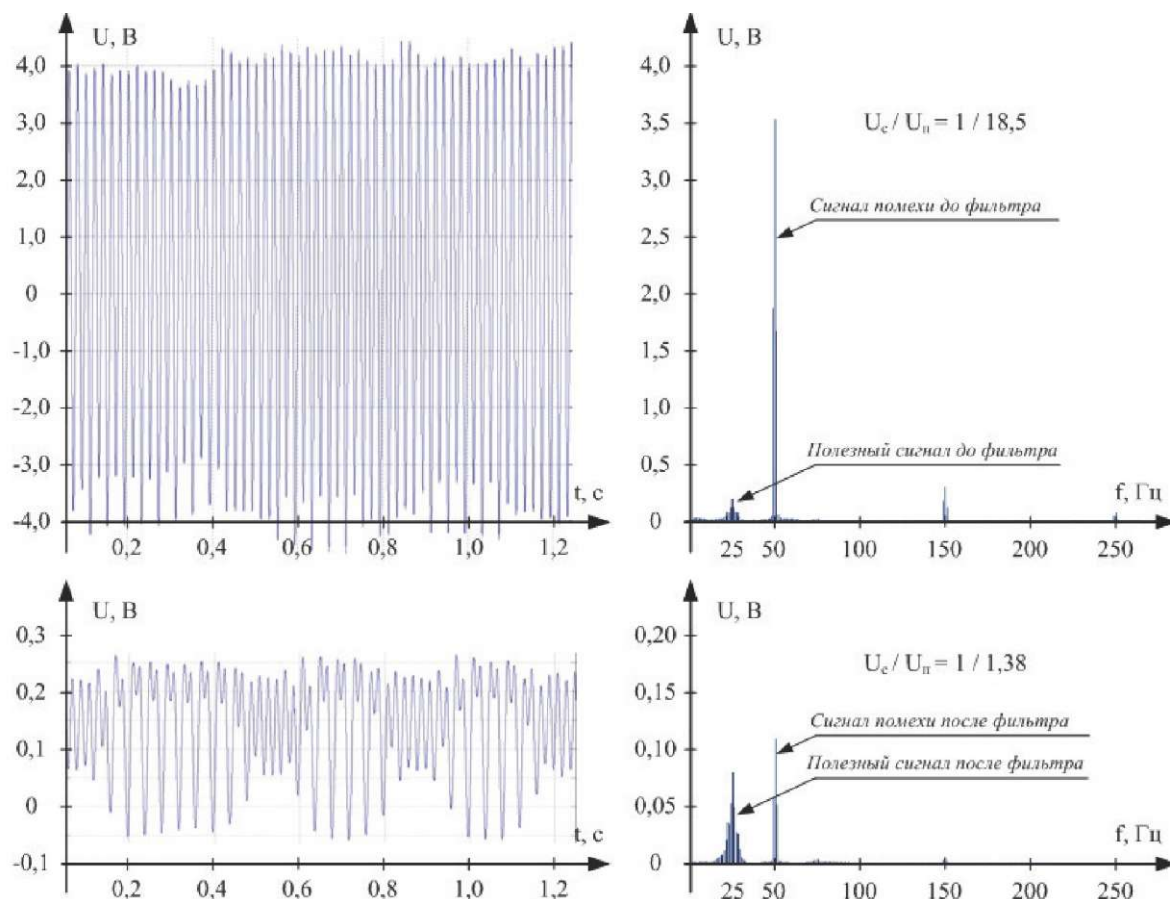


Рисунок 2.2 – Форма и спектр сигнала на входе и выходе локомотивного фильтра при сбое с «зеленого» огня на «белый»

Для возможности достоверного анализа поездной ситуации и фактических параметров оборудования электровозов, влияющих на интенсивность сбоев в работе систем АЛС, необходимо весь парк электровозов полностью оборудовать регистратором сигналов автоматической локомотивной сигнализации АЛС, предназначенным для установки на грузовых и пассажирских локомотивах, оборудованных системой АЛСН [25]. Он позволяет получить всю необходимую информацию для расследования случаев сбоев кодов АЛС в процессе движения.

Следует отметить, что существующие устройства для автоматизированной проверки на шлейфе как локомотивной аппаратуры типовой релейной АЛСН, так и современных систем безопасности семейства КЛУБ нуждаются в серьезной модернизации. Необходимо пересмотреть алгоритмы проверки аппаратуры АЛС в условиях локомотивных депо и создать принципиально новые технические средства

на современной элементной базе, позволяющие контролировать параметры аппаратуры АЛС при воздействии искусственных помех. Они должны предоставлять возможность оценки индивидуальной помехоустойчивости аппаратуры АЛС конкретного локомотива в соответствии с выбранными критериями.

2.6 Источники возникновения помех в индуктивном канале АЛС при проходе поездом горловины станции

Наиболее складывающиеся условия работы АЛСН наблюдаются при прохождении поезда через станцию на повышенной скорости движения (100 км/ч и выше) без остановки.

Увеличивается частота и сокращается время прохождения зон, которые являются источниками помех вследствие изменения магнитной проницаемости и взаимной индуктивности канала связи "РЛ - ПК". Связано это со спецификой разбивки путевого плана станции на изолированные секции, построения элементов верхнего строения пути и наличия (рис. 2.3):

- изолирующих стыков;
- стрелочных переводов;
- контррельсов и других металлических частей в зоне переездов и искусственных сооружений;
- рельсов, временно закрепленных работниками путевого хозяйства рядом с железнодорожными путями, или внутри них (для замены или замененных);
- мест локальной намагниченности рельсов и др.

При этом остаются электромагнитные помехи от тягового тока и другого электрооборудования подвижного состава, ЛЭП, грозовых разрядов, и.т.п.

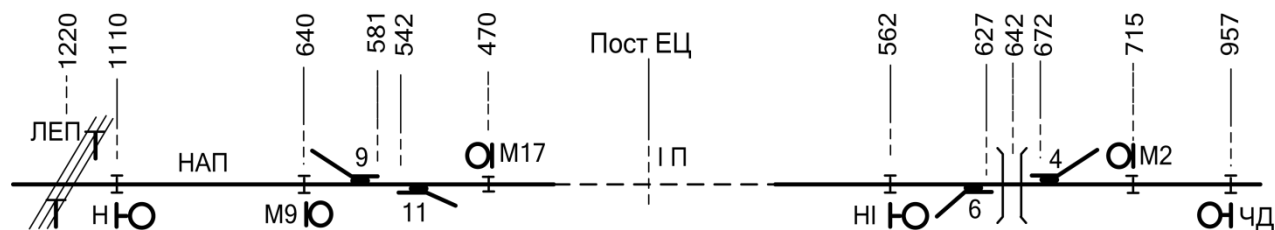


Рисунок 2.3 – Фрагмент однопутного плана станции

Прохождение локомотивом на повышенной скорости зон, которые могут быть источником помех приводит к появлению ряда помех в ПК с периодом повторения, который зависит от скорости движения поезда, и возможным повторением и совпадением во времени с длиной цикла числового кода. При разной скорости движения поезда также изменяются и количественные характеристики помех - уровень (мощность), продолжительность, спектральный состав. С учетом инерционности систем АЛСН числового кода независимо от их элементной базы при уменьшении времени прохождения изолированных секций в горловине станции определения существующими техническими средствами АЛСН действительного значения числового кода, который подается на локомотив, становится невозможным. Появление сбоев в работе локомотивных устройств АЛСН снижает уровень безопасности движения поездов, ухудшает условия работы локомотивных бригад.

Рассчитаем время прохождения поездом (скорость движения 100 и 140 км/ч) станционных объектов, которые могут быть источниками помех для канала АЛСН, и сравним его со временными условиями последовательного принятия не меньше трех кодовых циклов без искажений и сбоев (табл.2.1).

Согласно данным табл. 2.2, движение поезда по станции от входного светофора Н к пути 1П длится 23,4 с (скорость 100 км/ч) или 16,46 с (скорость 140 км/ч). Движение поезда со скоростью 100 км/ч от св. М9 до вступления на путь 1П длится 6,83 с, в течение которых локомотивные ПК последовательно проходят через четыре зоны потенциальных помех: изостыки св. М9 – стрелка 9 – стрелека 11 – изостыки св. М17. При проходе ПК от св. Н к св. М17 через потенциальные источники помех за время, меньшее двух кодовых циклов (3,2 с), каждый кодовый

цикл может быть искажен помехами. В соответствии с местом попадания помех на временную характеристику числовых последовательностей они могут накладываться на импульсы, частично или полностью перекрывать короткие интервалы, искажать длинный интервал, прибавляя в числовой код дополнительные импульсы. При условии последовательного искажения кодовых циклов (трех и больше) в течение времени, большее, чем замедление реле С на обесточивание (5,5с), произойдет изменение показания локомотивного светофора с зеленого (или желтого) на белый с дальнейшим его восстановлением после вступления головы поезда на путь 1П.

Таблица 2.2.

Длительность прохода поездом через станционные объекты, которые могут быть причинами припятствий

Участки между объектами, которые являются причинами помех	Длина участков, м	Время прохода участка, с	
		V=100 км/час	V=140 км/час
ЛЕП – св. Н	110	3,96	2,83
Св. Н – св. М9 (НАП)	470	16,92	12,1
Св. М9 – стр.9	79	2,84	2,03
Стр.9 – стр.11	39	1,4	1,0
Стр.11 – св. М17	72	2,59	1,85
Путь 1П	1032	37,15	26,54
Св. Н1 – стр. М6	65	2,34	1,67
Стр.6 - Переезд	15	0,54	0,39
Переезд – стр.4	30	1,08	0,77
Стр.4 – св. М2	43	1,55	1,1
Св. М2 – граница станции	242	8,71	6,22
Общее время прохождения нечетной горловины	640	23,04	16,46
Общее время прохождения четной горловины	395	14,22	10,16

При скорости движения 140 км/ч время прохождения участка от св. М9 ко вступлению на путь 1П составляет 4,88 с. При наличии сбоя канала АЛС

изменение показания локомотивного светофора не состоится (время замедления реле С на обесточивание больше времени прохода поездом горловины станции).

Тогда при непрерывном прохождении поездами малых станции со скоростью 140 км/ч длина горловин от безстрелочной секции к отправочному-приемо-отправочному пути (св. М9 - М17 непарной и св. Н1 - М2 парной горловины) должна быть не большей, чем 190 - 195 м (время прохода будет представлять до 5 с). В другом случае у работы АЛСН непременно будут наблюдаться сбои с изменением сигнального показания на локомотивном светофоре.

Если горловины станции будут иметь более сложное путевое развитие, то сбои в работе устройств АЛСН будут неминуемые. Экспериментальные исследования, которые подтверждают такие выводы, приводятся ниже.

2.7 Импульсные помехи в канале АЛС в зоне изолирующих стыков

Помехи возникают при прохождении локомотивом зон изостыков, когда электромагнитная связь ПК с рельсовыми нитями одной изолированной секции уменьшается и даже исчезает, а с рельсовыми нитями другой секции увеличивается. Параметры таких помех невозможно определить точно из-за непостоянства этого процесса и сложности учета всех факторов, которые влияют на их значения. Но знание параметров этих помех важно для определения инерционности системы АЛС в целом. Наличие сбоев в работе АЛС при прохождении зон изостыков связано с нарушением ритмичности поступления числового кода на приёмные устройства АЛС и наличия адитивных помех от действия тягового тока, который проходит по перемычке между средними выводами дроссель-трансформаторов (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Характеристика помех в системе АЛСН от прохода поездом зоны
изолирующих стыков

Источник помех и причины их возникновения	Характер помех	Количественные, качественные характеристики помех		
		амплитуда	спектральный состав	продолжительность
1 Отсутствие сигнального тока между точками подключения перемычек питающего конца и изо- стыками		Отсутствие сигнальной информации (≈ 1 м), продолжительность зависит от скорости движения поезда		
2 Недостаточный ток АЛС над ПК в рельсовой цепи (РЦ) за изостыками до шунтирования его колесной парой		В течение $\approx 1,5$ м, параметры помехи зависят от скорости движения поезда		
3 Задержка (отсутствие) приема кодовых сигналов на время восстановления чувствительности приемника при проходе ПК изостыков (зависит от соотношения уровней тока смежных РЦ)		10-кратная перегрузка сигнального тока (резкое уменьшение напряжения с 3,5 до 0,28 В)		Не больше 1,5 с, не меньше 0,6 с
4 Изменение фазы тока АЛС в смежных РЦ (на перегоне)	Несинхронная работа КПП смежных РЦ. Исправляется в течение одного кодового цикла			
5 Ток через перемычку между средними выводами ДТ при сменном тяговом токе*)	Аддитивные помехи в виде импульсов переменного тока	Не зависит от скорости движения поезда $f = 50$ Гц)	Спектральный состав помехи и продолжительность импульсов зависит от скорости движения поезда	
6 Ток через перемычку между средними выводами ДТ при постоянном тяговом токе	Аддитивные помехи в виде двух разнополярных импульсов постоянного тока, зависят от скорости движения поезда	Эмпирически определен и равняется	При 80 км/ч основная энергия - в полосе до 20 Гц из макс. значения модуля огибающей на частоте 5 Гц. Продолжительность 0,059 с на уровне 0,5, макс. огибаемая ЕДС = 0,925 В. При асимметрии подвеса ПК 5 % ЕДС = 5 В	
*) Примечание - При наличии внешней перемычки между средними выводами ДТ и конструктивным размещением в одном корпусе ДТ одного сердечника из основными и сигнальной обмотками				

Составляющие тягового тока в РЛ $i_{T1}(t)$, $i_{T2}(t)$ к изостыкам в общем случае отличаются от составных тягового тока $i_{T3}(t)$, $i_{T4}(t)$ после изостыков из-за случайного характера асимметрии соседних РЛ (рис. 2.4).

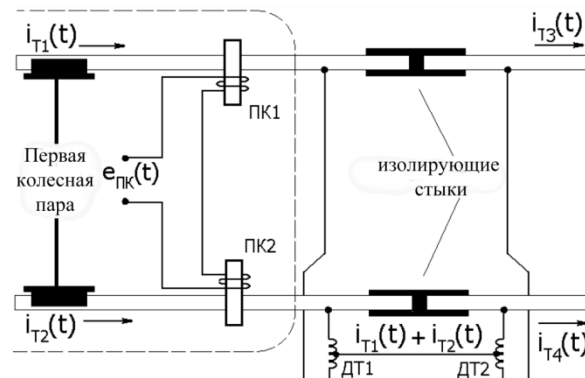


Рисунок 2.4 - Схема прохождения тягового тока и локомотивными ПК зоны изолирующих стыков.

Экспериментальные исследования характера воздействия изостыков на ЭДС в ПК, показывают, что воздействие изостыков на кодовые сигналы при прохождении мимо них ПК имеет характер всплеска ЭДС от действия адитивных помех тягового тока через перемычку между средними выводами ДТ, его разной асимметрии в рельсовых нитях смежных изолированных участков, качения ПК, мультипликативных помех при изменении взаимной индуктивности между рельсами и ПК для сигнального тока, нарушение в ритмичности поступления сигналов к ПК.

Нарушение в ритмичности поступления сигналов к ПК объясняется следующей последовательностью прохождения ПК зоны изолирующих стыков:

- отсутствие сигнального тока в рельсах между точками подключения к ним перемычек ДТ и изостыками (ПК находятся над рельсами, не охваченными токовым шлейфом, по правую сторону от места подключения перемычек ДТ, а первая колесная пара, которая образует с рельсами токовый шлейф, находится от перемычек ДТ слева);

- недостаточный ток для АЛС в следующей РЦ к шунтированию его первой колесной парой локомотива (приблизительно 1,5 м ПК перемещаются над

следующей РЦ по правую сторону от изостыков, а первая колесная пара - на предыдущей РЦ по левую сторону от изостыков);

- изменение фазы тока АЛС в смежных РЦ - случайный характер прерывания полного цикла в предыдущему РЦ, переход ПК на смежное РЦ, возобновление после перерыва приема сигналов АЛС также случайно из любого элемента числового кода следующего РЦ (характерно для перегонных РЦ);

- задержка приема сигналов на время автоматического восстановления чувствительности приемника к номинальной после приема в конце предыдущей РЦ (на питательном конце) сигналов значительного за уровнем тока АЛС;

- задержка включения кодирования в следующем РЦ, что работает без предыдущего включения кодирования.

Если момент прохождения зоны изостыка совпадает с наличием импульса числового кода, наблюдается всплеск амплитуды этого сигнального импульса (рисунок 2.5 а, б). При прохождении изостыка в момент интервала за счет всплеска помехи такой интервал искажается во времени (рис. 2.5 в).

ЭДС взаимоиנדукции $e_{ПК}$, что приводится в ПК, является функцией первой производной изменения потокосцепления магнитного поля $w_{ПК} \cdot \Phi_{РЛ-ПК}$, обусловленного наличием сигнального тока АЛС в рельсах $e_{ПК} = -\frac{d\psi}{dt} = -m(t) \frac{di(t)}{dt}$.

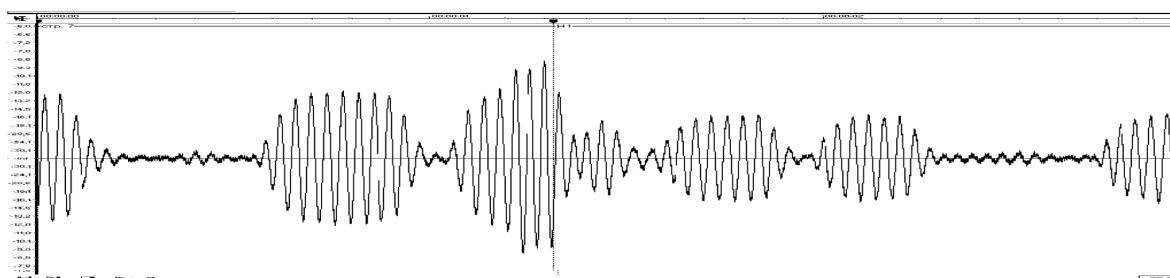
А функция, как первая производная аргумента (скорости изменения потокосцепления $\psi(t)$ во времени) есть тангенс угла между касательной в точках зависимости ЭДС в ПК от скорости прохождения ПК мимо зоны изостыков. Поэтому при повышении скорости движения поезда мимо зоны изостыков импульсная помеха в ПК будет возрастать, особенно при наличии:

- расхождений в электрических параметрах ПК;
- наличия асимметрии в подвешивании ПК;
- разной асимметрии тягового тока в смежных РЦ.

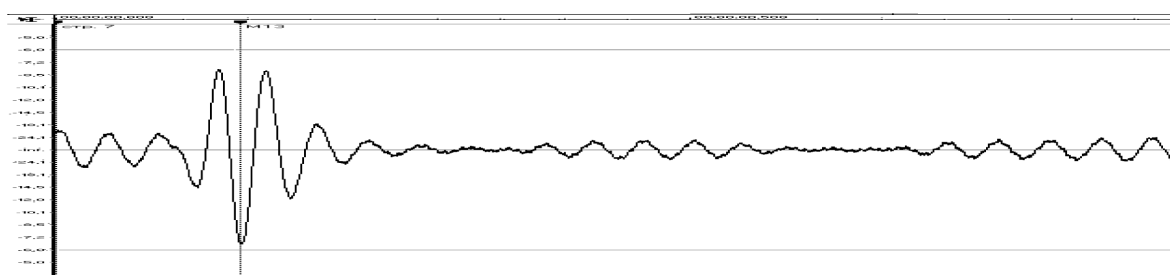
Так, согласно численных данных экспериментальных исследований, значение постоянного тягового тока в рельсах до изостыков принимались равными 500 А, а после них одинаковыми или с асимметрией до 12 %. При отсутствии

асимметрии тракта АЛСН только за счет междросельной перемычки в ПК приводится результирующая помеха в виде разнополярного импульса с амплитудой приблизительно (рис. 2.6):

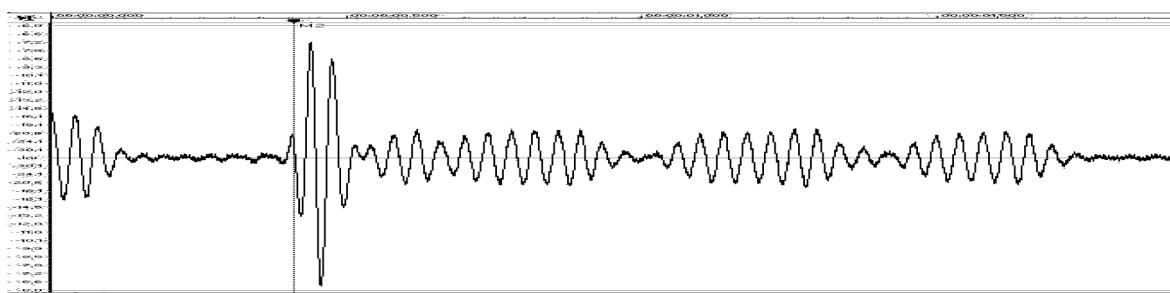
- 0,2 В и продолжительностью на уровне 0,5 от максимального значения $t_1 \approx 70$ мс при скорости движения ПК 80 км/ч;
- 0,4 В продолжительностью на уровне 0,5 от максимального значения $t_2 \approx 35$ мс при скорости движения ПК 160 км/ч.



а)



б)



в)

Рисунок 2.5 - Характерные эпюры напряжения на выходе фильтра при прохождении ПК зоны изолирующих стыков: а) $V = 95$ км/ч, б) $V = 100$ км/ч, в) $V = 104$ км/ч.

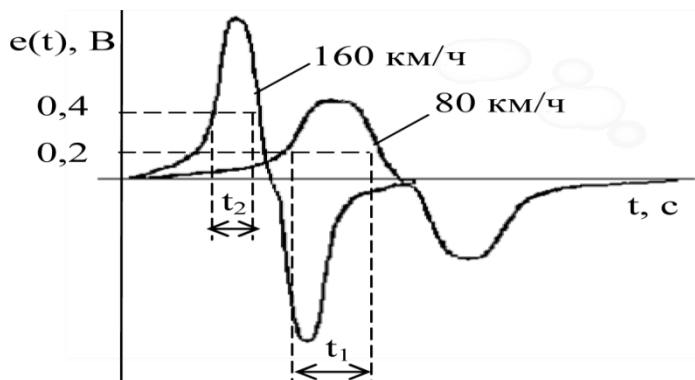


Рисунок 2.6 - Графики напряжения импульсной адаптивной преграды в ПК в зоне изолирующих стыков

Основная энергия импульсов при скорости движения 80 км/ч сосредоточена в полосе до 20 Гц при максимальном значении модуля огибающей спектральной плотности на частоте 5 Гц. При увеличении скорости вдвое максимум модуля спектральной плотности смещается на частоту 10 Гц с ростом полосы частот помехи. С учетом такой зависимости следует ожидать, что при скорости 200 км/ч за счет расширения спектрального состава импульса максимум модуля спектральной плотности будет иметь значение на частоте 16 Гц с попаданием частоты сигнального тока 25 Гц в полосу помех, где сосредоточенная основная энергия импульса помех (ширина полосы пропускания ФЛ (25 ± 7) Гц).

При асимметрии в подвеску локомотивных ПК, расхождениях их электрических параметров до 5 %, в них приводится импульсная помеха такой же формы (рис. 2.6), но при скорости 160 км/ч амплитуда импульсной помехи вместо 0,4 В достигает 7 В. Асимметрия тягового тока до 12 % вызывает наведение в локомотивных ПК импульсов с амплитудой до 4 В. Наличием на исследуемой горловине станции асимметрии разного уровня объясняется разный уровень (но одинаковой закономерности) помех в зоне изостыков, приведенных на рис. 2.5.

С учетом последовательного встречного включения двух ПК резкое увеличение уровня импульсных помех вызывается коротким замыканием одной из ПК или уменьшением тягового тока в одной из рельсов к нулю. В первом случае при скорости 160 км/ч амплитуда импульсов достигает 15 В, а во втором - 30 В.

Помехи в зонах изостыков при электротяге переменного тока представляют собой импульсы переменного тока частотой 50 Гц. Амплитуда этих помех определяется, главным образом, третьей составной ЕРС (слагаемому) выражения (15) и потому практически не зависит от скорости движения поезда, а также и четвертой составной при наличии влияния кузова, амплитуда и ускорения которой являются функциями скорости. От скорости движения поезда зависит продолжительность импульса помехи, а также, и его спектральный состав.

При симметрии тракта АЛС в зонах изостыков приводятся импульсы помехи лишь за счет воздействия тока междросельной перемычки и окончательной намагниченности концов рельсов в месте изостика. При общем тяговом токе в обеих рельсах 300 А в ПК создается препятствие с максимальным значением огибающей ЕДС 0,975 В. Большая часть энергии сосредоточена при скорости 80 км/ч в полосе 25 Гц со средней частотой 50 Гц. Асимметрия подвески ПК до 5 % вызывает импульсные препятствия переменного тока с максимальной амплитудой до 5 В.

Амплитуда помех резко увеличивается в экстремальных условиях. Например, при 100 % асимметрии тягового тока возникает прыжок амплитуды помехи при смещении ПК за изостыки, после которых наблюдается такая асимметрия. Увеличение уровня напряжения помехи достигает 40 В. Короткое замыкание одной из ПК вызывает постоянное увеличение препятствия частотой 50 Гц в течении всего времени движения поезда по блок-участку. Только в зоне изостыков имеется кратковременное уменьшение уровня помехи приблизительно на 15 В.

Логическим выводом устранения такого вида помех, которые существуют при канализации обратного тягового тока в обход изостыков с использованием ДТ при любых видах локомотивных САР с индуктивным принципом передачи сигнальной информации из РЛ на локомотив, есть использования в системах ЗА непрерывных или точечных путевых преобразователей без изостыков - тональных РЦ и точечных путевых датчиков. Возможно, это будет приемлемым на станциях

при соответствующих исследованиях организации безопасной поездной и маневровой работы с использованием в станционных системах ЕЦ тональных РЦ, точечных путевых датчиков или их дублированное совместное использование. Отсутствие изолирующих стыков разрешит решить проблему более качественной канализации тягового тока, значительно повысит надежность работы устройств контроля за состоянием РЦ вследствие "укрепления" рельсового пути на границе смежных «изолированных» участков.

2.8 Импульсные помехи в канале АЛС в зоне стрелочных переводов

Вследствие значительного изменения поперечного сечения одной рельсовой нити относительно второй, по которым протекают сигнальный ток АЛС и тяговый обратный ток, в зонах стрелочных переводов существенным образом поднимаются условия квазистационарности магнитного поля. При прохождении ПК над зоной стрелочных переводов из-за их влияния это приводит к появлению адитивных помех от тягового тока и мультипликативных помех от тока сигнального. Значительно усложняется форма огибающих импульсов переменного тока в виде двух разнополярных импульсов согласно направлению движения поезда по стрелочному переводу - пошерстному или протишерстному. При отсутствии асимметрии тракта АЛС при пошерстном движении максимальная амплитуда импульсного препятствия в ПК достигает 8 В. Через короткое замыкание одной из ПК рядом с импульсной помехой, которая достигает амплитуды 21 В, появляется составляющая с постоянной амплитудой, т.е. уровень помех чрезвычайно значительный по сравнению с нормативной ЭДС, которая индуцируется в ПК от сигнального тока в РЛ (табл. 2.5).

Помехи в зонах стрелочных переводов имеют более широкий спектр, чем в зонах изостыков, и создают в каналах АЛС с постоянными колебаниями в диапазоне 125...475 Гц всплески большего уровня. При коротком замыкании одной из ПК энергия отклика на выходе фильтра с полосой пропускания 14 Гц и средней частотой полосы пропускания 175 Гц от помехи в зоне стрелочного перевода при скорости 80 км/ч почти в 16 раз больше, чем в зоне изостыков. При этом энергия

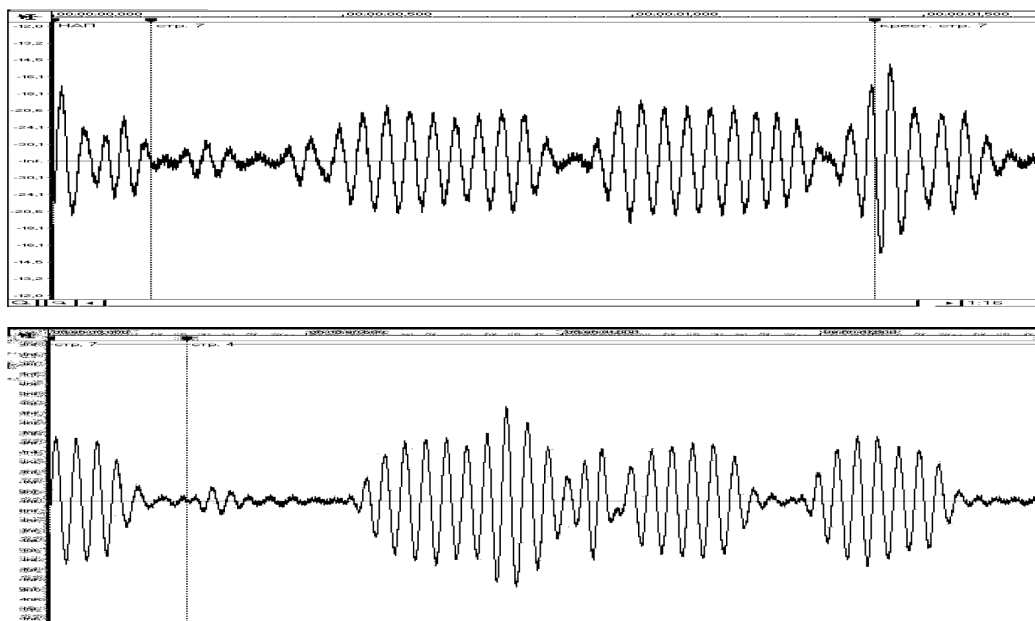
отклика фильтра на одну и ту же помеху в зоне стрелочного перевода на частоте 50 Гц приблизительно в $4,5 \cdot 10^3$ раз больше, чем на частоте 175 Гц. Таким образом, диапазон частот выше 125 Гц лучше защищен от действия импульсных адитивных помех, которые возникают в зонах стрелочных зон и стрелочных переводов, чем низкочастотный диапазон около 50 Гц.

Таблица 2.5

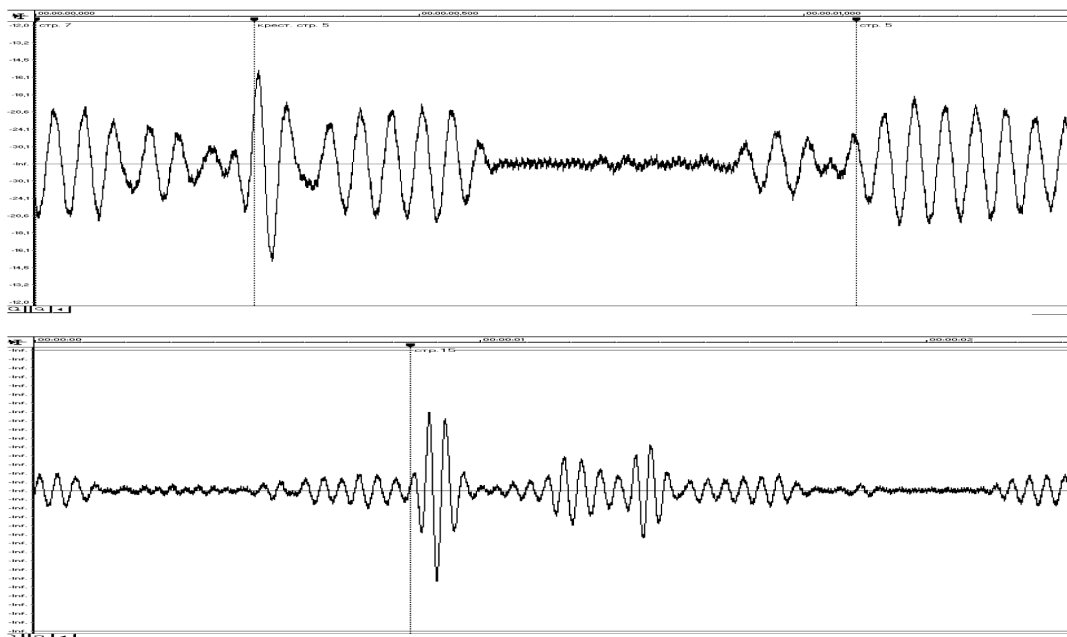
Характеристика помех в приемочных устройствах АЛСН при прохождении поездом зоны стрелочных переводов

Источник помех и причины их возникновения	Характер помехи	Количественные, качественные характеристики помехи		
		амплитуда	спектральный состав	продолжительность
Пошерстное движение, скорость 160 км/ч, марка крестовины 1/11. Изменение магнитной связи между рельсами и ПК при прохождении локомотивом стрелочных переводов	Два разнополярных импульса широкого спектра	До 3 В (макс. амплитуда достигает 8 В)	Значительный уровень помех в диапазоне 125 - 475 Гц	$0,66 \cdot 10^{-3}$ с на уровне 0,5

Из приведенных данных видно, что уровень помех при проходе локомотивом зоны стрелочных переводов чрезвычайно значительный по сравнению с нормативной ЕДС, которая индуцируется в ПК от сигнального тока в рельсах. Это подтверждается также проведенными экспериментальными исследованиями с выявлением мест переключивания кодовых посылок АЛС и причин их возникновения при анализе записей числового кода. На рис. 6 а) изображена запись эпюр ЕРС на выходе фильтра 25 Гц в зоне двух стрелочных переводов в пошерстном направлении движения при приеме поезда на главный путь с непрерывным прохождением станции (скорость движения 94 км/ч).



а)



б)

Рисунок 2.7 - Эпюры напряжения на выходе фильтра при проходе локомотивом зоны стрелочных переводов:

а) в пошерстном направлении; в) в противошерстном направлении

Нестационарность процесса накладки помехи на полезный сигнал приводит к всплеску напряжения повышенного уровня при прохождении за

временем импульса кодовой посылки или перекрытию в кодовых посылках интервалов составляющей помехи 25 Гц, что появляется на выходе фильтра.

При движении поезда через зону двух стрелочных переводов в противошерстном направлении (выход со станции, скорость движения 100 и 104 км/ч) наблюдаются эпюры ЭДС, которые приведены на рис. 2.7 б).

При изображении на эпюрах «чистых» кодовых последовательностей «С» с тремя импульсами, двумя короткими и длинным интервалами легко видеть проявления помех и прогнозировать их воздействие на результат дешифрации в ДКСВ.

Данный вид помех также, как при прохождении зоны изостыков, с ростом скорости движения, будет динамично увеличиваться за счет роста производной потокоцепления магнитного поля между рельсами и ПК. Как следствие, будет возрастать индуцированная в катушках ЭДС помеха при практически неизменном значении ЭДС полезного сигнала, который обусловлен величиной сигнального тока АЛС, что протекает в рельсах.

2.9 Источники других импульсных помех в канале АЛС

Достаточно своеобразным источником импульсных помех в канале АЛС есть намагниченность рельсов от электромагнитных захватов кранов, электродуговых сварочных агрегатов. При использовании электромагнитных захватов кранов на рельсе длиной 25 м появляются два намагниченных места на расстоянии приблизительно 12,5 м с разноименными полюсами в каждом, расстояние между которыми составляет приблизительно 1,25 м. Поэтому при движении локомотива его ПК через каждые 12,5 м пересекают пучности магнитных силовых линий разноименных полюсов магнитного поля намагниченного места рельса вдоль 2,5 м. Это приводит к появлению в ПК от каждого полюса рельса дипольного импульса ЭДС, направление которой у полюсов намагниченного места изменяется. В результате воздействия импульсов помех на выходе фильтру возникают колебания с частотой настройки фильтра.

Частота импульсов помехи непосредственно зависит от скорости движения поезда и теоретически будет проявляться как два разнополярных импульсов помехи в течение каждого полного цикла числового кода уже на скорости, которая может быть определена следующим образом:

– для кодовых циклов продолжительностью 1,6 с

$$v = \frac{l}{t_{\text{ц}}} = \frac{12,5}{1,6} \cdot 3,6 = 28,1 \text{ км/ч}$$

$$v = \frac{l}{t_{\text{ц}}} = \frac{12,5}{1,86} \cdot 3,6 = 24,2 \text{ км/ч}$$

При увеличении скорости движения поезда пропорционально будет увеличиваться амплитуда импульсов помех, сокращаться их продолжительность, которая будет приводить к расширению спектрального состава импульсов, увеличение количества двуполярных импульсов помех за единицу времени. При скорости движения поезда со скоростью 120 км/ч продолжительность периода импульсов представляет

$$t_n = \frac{l_{\text{маг}}}{v} = \frac{12,5 \cdot 10^{-3}}{120} \cdot 3,6 = 0,0375 (\text{с})$$

а это означает, что продолжительность периода импульса помехи от места локальной намагниченности рельса совпадает с периодом колебаний частоты сигнального тока ($f_n = \frac{1}{t_n} = 26,6 \text{ Гц}$), что является условием для более сильного проявления помехи. Возникающие колебания помехи различаются от полезного сигнала лишь малой продолжительностью действия по причине быстрого расхода энергии, которая поступает с импульсом помехи на поддержание колебаний на выходе фильтра. Приведенные в фильтре затухающие колебания помехи на выходе усилителя могут быть восприняты как импульсы сигнального тока в РЦ и исказить полезный сигнал.

С возвышением скорости движения поезда отрицательное воздействие помех на работу устройств АЛС от локальной намагниченности рельсов будет увеличиваться. Ритмическое и частое следование двополярных импульсов помехи в

течение значительного времени (пока на отрезку пути будут намагничены рельсы) будет приводить к многочисленному искажению кодовых циклов, сбоил их приема и появлением белого огня на локомотивном светофоре, не исключая временного появления вторых огней, не соответствующих сигналам числового кода в РЛ (в зависимости от искусственно полученного числового кода в течение отдельных циклов, которые передуют один за другим).

Окончательная намагниченность рельсов по сравнению с той, что была при первичном размещении их в пути, в течение нескольких дней (в зависимости от интенсивности эксплуатации пути и его механических нагрузок подвижным составом) уменьшается в несколько раз, потом стабилизируется и остается практически постоянной в течение значительного времени.

Причиной возникновения адитивных помех в каналах АЛС есть также колебания локомотивных ПК в магнитном поле обратного тягового тока, при которых в ПК приводится ЕРС с частотой, которая зависит от скорости движения. При возвышении скорости движения больше 120 км/ч в ПК появляется ЕРС помехи с частотой в пределах полосы пропускания фильтра канала 25 Гц.

При наличии асимметрии тягового тока, расхождениях электрических параметров ПК или асимметрии их подвеса на входе локомотивного приемника возникают помехи вследствие неравномерности магнитного поля тягового тока вдоль рельсов. Причина неравномерности - воздействие на напряженность магнитного поля над рельсом металлической массы подкладок, противоугонов, арматуры железобетонных шпал и других ферромагнитных материалов в пределах пути на переездах, искусственных сооружениях и т.д.

Лишь при наличии металлической подкладки магнитное поле в сердечнике ПК при ее нахождении над шпалой на 1,5 % больше, чем при нахождении ПК между шпалами. Частота импульсов препятствий, которые приводятся в катушках АЛС, зависит от скорости движения локомотива и определяется эмпирическим выражением $f = \frac{v}{2,24}$ (например, $f = 25$ Гц при $V = 56$ км/ч, $f = 50$ Гц при $V = 112$ км/ч). Соответственно чем выше скорость, тем больше уровень ЕДС помехи в ПК,

частота следования импульсов, шире спектральный состав импульсов помех. Неравномерность магнитного поля полезных сигналов АЛС вызывает их паразитную амплитудную модуляцию в ПК.

Подтверждением наличия помехи при прохождении локомотивными ПК отрезка пути, в пределах которой находятся "посторонние металлические предметы", есть воздействие на ЕДС в ПК контррельсов (рельсов, заключенных параллельно ходовым рельсам) при прохождении поездом зоны переезда (скорость движения - 94 км/ч) (характерная эпюра сигнала на выходе фильтра - на рис. 2.8). Время прохождения ПК зоны переезда совпало в коде "С" с концом 3-го импульса и длинным интервалом. Как результат - прыжок уровня сигнала в 3-м импульсе и частичное уничтожение длинного интервала (к выходу ПК из зоны переезда и восстановление в ПК действия лишь сигнального тока без составной помехи, связанной с изменением магнитной проводимости и взаимной индуктивности канала «РЛ - ПК» в зоне переезда).

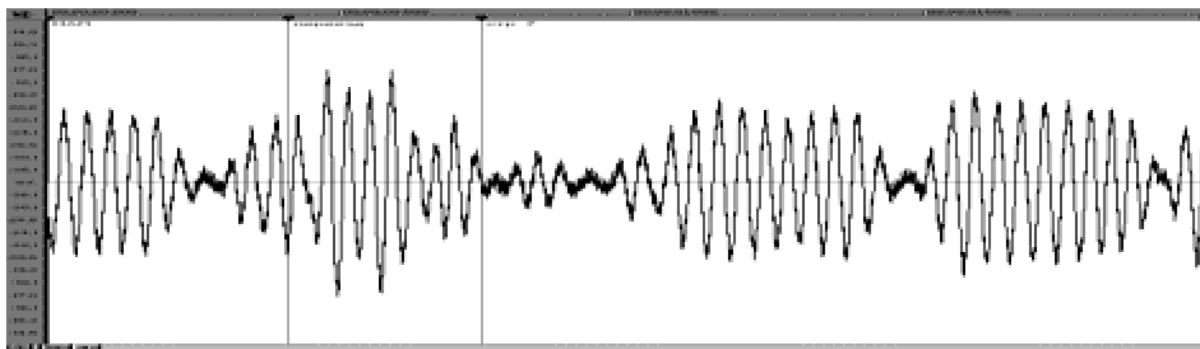


Рисунок 2.8 - Эпюра напряжения на выходе фильтра при проходе ПК зоны переезда

Общую качественную картину передачи сигнальной информации на локомотив можно наблюдать из фрагмента эпюры напряжения на выходе фильтра, полученной при прохождении поездом на скорости 98 км/ч входной горловины промежуточной станции (рис. 2.9).

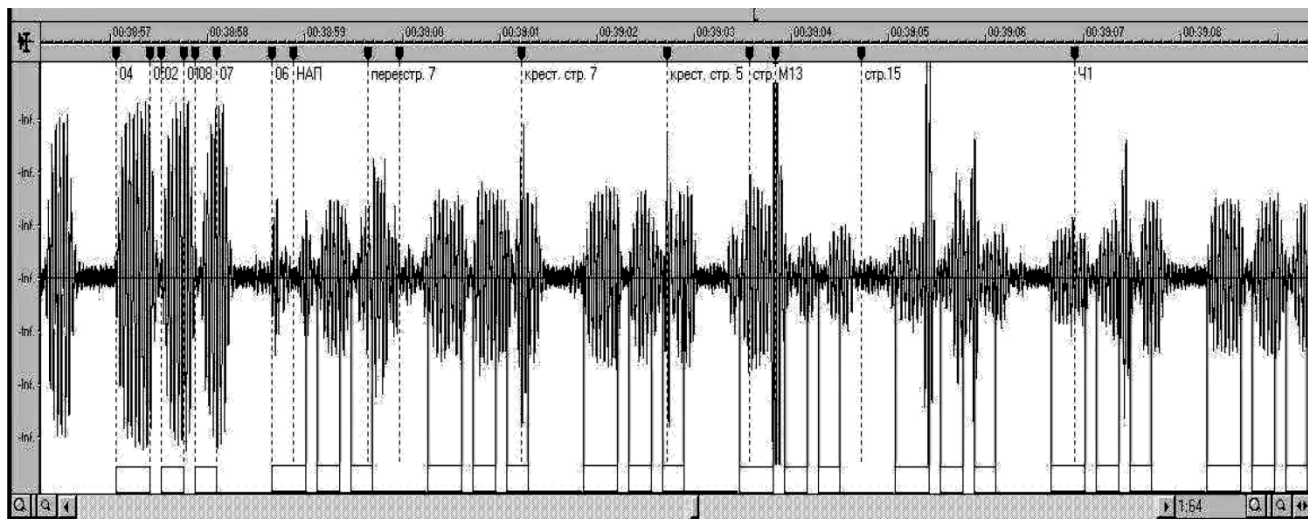


Рисунок 2.9 - Эпюра напряжения (код «З») на выходе фильтра при прохождении поездом горловины станции

Длина горловины между НАП (кодированные циклы «С» без сбоев по левую сторону) и путем 1П (аналогично по правую сторону) составляет 216 м. Уровни сигналов, как и на всех предыдущих записях, - логарифмический масштаб в dB. Снизу эпюры напряжения приведено в масштабе времени непрерывную последовательность кода "З" (продолжительность цикла 1,6 с).

При скорости движения 98 км/ч поезд проследует горловину станции между НАП и 1П за 7,9 с, в течение которых происходит непрерывное искажение кодовых последовательностей "З". Помехи с уровнями, соответствующими уровню нормативного тока АЛС на входном конце РЦ, и составляющими частотного спектра, которые входят в полосу пропускания 18-32 Гц локомотивного фильтра, "уничтожают" информационные признаки числового кода, пока голова поезда не вступит на путь 1П, неизменная конфигурация которой в поперечном сечении отвечает условиям квазистационарности токов и магнитного поля.

На рис. 2.9 эпюры исходного напряжения локомотивного фильтра записано в реальном времени. Вертикальными пунктирными линиями добавлены расчетные ординаты напольных объектов горловины станции (изолирующие стыки, стрелки). Скорость движения поезда и реальное время (развертка масштаба времени на диаграмме сверху) известны. Временные отметки момента прохождения ПК

объектов, которые являются потенциальными источниками помех, делались в процессе движения поезда в ручном режиме. При скорости движения поезда 98 км/ч вручную точно зафиксировать (т.е. "угадать") положение ПК над объектами невозможно, поэтому возможная погрешность в определении положения главы поезда соответственно объектов - потенциальных источников помех, но в целом это не влияет на ход исследований и справедливость сделанных выводов.

Выводы по разделу

Помехи в канале АЛС, что связанные с прохождением поездом горловин станций и рассматриваются в работе, которые практически "не существовали" и не вызвали беспокойства при незначительных скоростях движения (до 70 - 80 км/ч) с ростом скорости движения поездов (100 км/ч и выше) в отдельных местах путевого развития будут динамично увеличиваться за счет нарушений в РЛ условий квазистационарности токов и магнитного поля. При этом будет возрастать ЭДС помехи, которые индуцируются в ПК, при неизменном значении ЭДС полезного сигнала, обусловленного величиной тока АЛС, что протекает в рельсах.

Выбор методов и технических средств САР, на базе которых может быть организовано скоростное движение, должны предшествовать соответствующие исследования электромагнитной среды вдоль железнодорожной линии, по которой планируется введение скоростного движения. При движении поездов со скоростью до 140 км/ч на станциях и до 200 км/ч на перегоне необходимо определиться с ограничениями по работоспособности САР, связанными с повышенными скоростями движения, которые будут накладываться на любую систему (числовую кодовую, многозначительную частотную непрерывного питания, точечную с использованием современных информационных технологий для обмена информацией между стационарными и подвижными объектами).

3 НОРМАТИВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОДОВОГО ТОКА АЛС

3.1 Измерительные приборы, инструмент, материалы

Измерение кодового тока локомотивной сигнализации в рельсам проводится 1 раз в год. Для этого используется следующее оборудование: преобразователь тока А9-1, комбинированный прибор Ц4380, шунт ШУ-01м сопротивлением $(0,06 \pm 0,003)$ Ом, измеритель временных параметров (импульсов и интервалов) кодов АЛС, ключи торцевые ключи 7 мм × 140 мм; 8 мм х 140 мм; 9 мм х 140 мм; 10 мм х 140 мм; 11 мм х 140 мм, кондукторская сумка, средства связи с дежурным по станции, Журнал технических проверок устройств СЦБ (форма ШУ-64) на станции, ведомость (форма ШУ-79) на перегоне, блокнот, авторучка, сигнальный жилет.

3.2 Общие требования

Ток АЛС в рельсах на входном конце рельсовой цепи и продолжительность первого интервала между импульсами кодового цикла необходимо измерять в установленный срок и при определении причин сбоя в работе устройств АЛС, а также после регулировки параметров, замены кодовой аппаратуры рельсовой цепи и по результатам проверки устройств АЛС измерительным комплексом вагона-лаборатории.

Периодическую проверку параметров кодового тока АЛС отдельных рельсовых цепей можно не проводить при положительных результатах проверки этих рельсовых цепей измерительным комплексом вагона-лаборатории или другой подвижной единицы.

Периодическую проверку кодового тока АЛС можно не проводить в тех рельсовых цепях, в которых она обеспечивается регулировкой в нормальном режиме.

3.3 Измерения и регулирования тока АЛС

Работа по измерению тока АЛС должна быть согласована с дежурным по станции, и проводиться в свободное от движения поездов время.

Если рельсовая цепь кодируется с питательной и релейной концов или имеет кодированные ответвления, измерения необходимо проводить на каждом входном конце.

В станционных рельсовых цепях с предыдущим включением кодирования, кодовый ток в маршрутах приема и отправления поездов следует измерять после задания маршрута и последовательного занятия соответствующих рельсовых цепей.

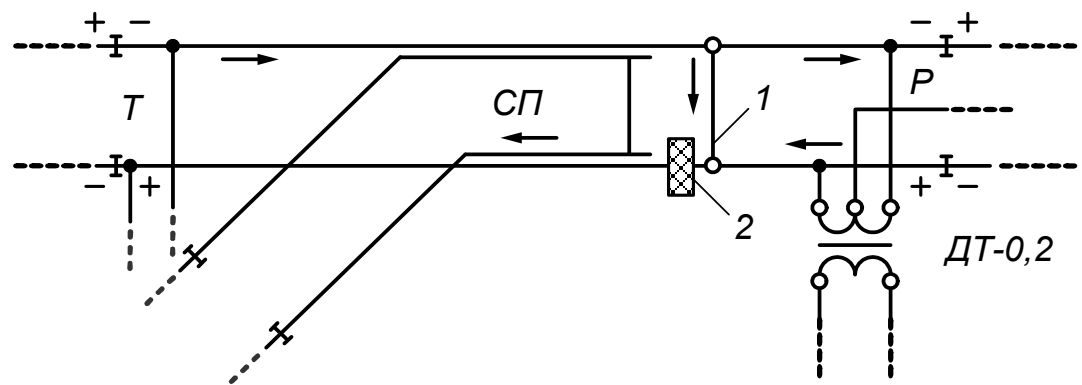


Рисунок 3.1 - Схема вимірювання струму АЛС

1 – шунт типу ШУ-01м; 2 – перетворювач струму типу А9-І

Значение переменного тока кодовых сигналов АЛС (без учета пауз) в рельсах входного конца при минимально допустимом сопротивлении балласта и шунтировании этого конца шунтом ШУ-01м или в кодированном шлейфе, должно быть не менее: 1,2 А при частоте тока 50 Гц на участках без электротяги; 1,4 А при частоте тока 25 Гц и 75 Гц на участках без электротяги; 2,0 А на участках с электротягой постоянного тока; 1,4 А на участках с электротягой переменного тока.

Для определения переменного тока кодовых сигналов АЛС необходимо наложить шунт ШУ-01м на выходном конце рельсовой цепи, настроить преобразователь А9-1 на частоту тока АЛС, установить его на головку рельса и измерить ток.

При отсутствии преобразователя тока А9-1 рекомендуются для измерений переменного тока кодовых сигналов АЛС применять следующие методы:

- подключением измерительного прибора (амперметра) на шкале измерений "мА" параллельно вторичной обмотке дроссель-трансформатора входного конца; кодовый ток определяется умножением полученного значения тока на коэффициент трансформации дроссель-трансформатора. Подключить прибор можно в дроссельной муфте, путевой коробке, а также в релейном помещении или шкафу при отсутствии в электрической цепи (от места измерения до дроссель-трансформатора) ограничительного резистора;

- подключением к рельсам измерительного прибора (амперметра), сопротивление которого на шкале измерения тока близок или равен сопротивлению типового шунта 0,06 Ом. При использовании прибора Ц4380 измерения необходимо проводить на шкале 6 А, при этом внутреннее сопротивление прибора составляет 0,08 Ом, полученное значение тока необходимо умножать на коэффициент 1,3;

- наложением на входной конец рельсовой цепи шунта ШУ-01м ($0,06 \pm 0,003$) Ом на рельсы с параллельным подключением вольтметра любого типа, имеет предел измерения переменного напряжения менее 1 В. Кодовый ток определяется делением полученного значения напряжения на сопротивление шунта 0,06 Ом.

При кодировании с питающего конца, где питательный трансформатор рельсовой цепи является одновременно и источником кодов АЛС, измерение возможно без включения схемы кодирования.

Для измерения кодового тока при кодировании с релейной конца необходимо включить схему кодирования данного участка, выключить напряжение питающего конца, а уже потом выполнять измерения.

Для включения схемы кодирования необходимо задать маршрут с открытием светофора и, искусственно занимая рельсовые цепи, измерить токи АЛС в них.

В рельсовых цепях путей приема при кодировании с питающего конца измерения проводят без задания маршрута при отключенном кодовом

трансформаторе на релейном конце, а при кодировании с релейной конца - без задания маршрута при снятом напряжении на питающем конце.

Кодовый ток в рельсовых цепях частотой 25 Гц при кодировании частотой 50Гц измеряют обычным измерительным прибором. Для измерения тока кодирования с питающего конца необходимо на первичной обмотке путевого трансформатора рельсовой цепи или на блоке БПК открыть провода питания 220В 25 Гц и свободные клеммы (выводы) закоротить. Остальные измерения выполняют методами, рассмотренными выше.

Ток АЛС в рельсовых цепях регулируют методом изменения напряжения на вторичной обмотке кодирующего (питающего) трансформатора и устанавливают на входном конце с учетом расчетных значений для каждой рельсовой цепи. Напряжение регулируют наибольшей длиной кодированного участка, входящего в группу рельсовых цепей, питающихся от одного трансформатора. Результаты измерений записывают в Журнал формы ШУ-64 на станции и ведомость формы ШУ-79 на перегоне.

3.4 Измерение и регулирование временных параметров тока АЛС

Продолжительность первого интервала между импульсами кодового цикла измеряют на рельсах контактным или индуктивным методом при коде С или Ж в рельсовой цепи. При изменении напряжения питания трансмиттерное реле от минимально допустимого до максимально допустимого значения продолжительность первого интервала между импульсами кодового цикла, измеренного на уровне 0,5 амплитуды импульса, должно быть в пределах от 120 мс до 180 мс.

Временные параметры кода АЛС следует регулировать изменением напряжения питания трансмиттерное реле или перемычкой на монтажной плате реле. Измерения временных параметров кода АЛС можно не проводить, если на бирке РТД (этикетке) трансмиттерного реле, которое устанавливается, указано искажение кода и разница с характеристикой реле, которое заменяется, не превышает 0,01 с.

4 ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

4.1 Общие положения по повышению функционально безопасности АЛС

Подводя итоги приведенных выше результатов исследований, можно сделать вывод, что одной из наиболее распространенных причин возникновения сбоев в работе АЛС являются электромагнитные помехи. Эти помехи могут возникать на отдельных участках железной дороги и их источником могут быть тяговые подстанции, электроподвижной состав, продольные линии электропитания устройств СЦБ, высоковольтные линии электропередачи, которые пересекают железнодорожные пути, намагниченность рельсов и др.

Причем их уровень и спектральный состав меняется в зависимости от эксплуатационной работы, а именно режимов нагрузки тяговых подстанций, режимов работы электроподвижного состава. Тяговые подстанции переменного тока генерируют нечетные гармоники, в то время как подстанции постоянного тока - четные. Электроподвижной состав с асинхронным тяговым приводом генерирует мощные помехи в широком частотном диапазоне.

Повышенная интенсивность сбоев АЛС на участках, электрифицированных переменным током, объясняется, прежде всего, высоким уровнем помех. Помехи создаются всеми нечетными гармониками, включая основную наиболее мощную гармонику тягового тока частотой 50Гц. При электротяге постоянного тока негативное влияние оказывают только четные гармоники тягового тока.

В свою очередь одинаковые по параметрам помехи могут приводить к сбоям в работе АЛСН или нет, в зависимости от коэффициента асимметрии рельсовой линии и других условий эксплуатации.

Интенсивность сбоев АЛС выше на участках, где обращаются тяжеловесные поезда, особенно на горных участках, то есть при повышенных тяговых токах в рельсовой тяговой сети. С ростом величины тягового тока увеличивается абсолютное значение разности тяговых токов в рельсовых нитях под катушками АЛС (асимметрия тягового тока) при одинаковом качестве содержания рельсовой

цепи. В результате уровень помех в приемниках АЛС, который прямо пропорционален величине асимметрии тягового тока, существенно повышается. При движении тяжеловесных и скоростных поездов сильнее искажается и синусоидальность тягового тока, растет доля высших гармоник в тяговом токе. В итоге увеличивается негативное влияние сразу двух факторов.

При больших переменных тяговых токах дополнительно появляются помехи от нечетных гармоник сигнального тока 25 Гц из-за насыщения сердечников дроссель-трансформаторов.

К примеру, при движении на подъем количество сбоев АЛС у электровозов серии ЭП1 в 4-13 раз больше, чем на спуске. По этой же причине на участках, по которым организовано движение тяжеловесных поездов, в отдельных рельсовых цепях высокая повторяемость сбоев АЛС.

С ростом частоты гармоник ее величина в тяговом токе уменьшается по отношению к величине первой гармоники с частотой 50 Гц. Поэтому считается, что основное мешающее влияние оказывает вторая гармоника постоянного тягового тока, первая и третья гармоники переменного тягового тока. Однако ЭДС, которая наводится в приемных локомотивных катушках АЛС, прямо пропорциональна частоте тока в рельсах.

Для повышения надежности работы и помехоустойчивости устройств АЛСН необходимо своевременно определять проблемные места на этапе появления условий для нарушения работы сигнализации и выполнять работы по регулированию и обслуживанию рельсовых цепей.

4.2 Техническое обслуживание путевых устройств АЛСН

Анализ работоспособности устройств железнодорожной автоматики показал, что наибольший процент отказов приходит на рельсовые цепи - 18% и аппаратуру системы кодовой автоблокировки - 22%. Причинами отказов в рельсовых цепях является обрыв электротяги, стыковых и стрелочных соединителей, дроссельных и междроссельной перемичек, неисправность изолирующих стыков, уменьшение сопротивления изоляции балласта ниже нормативного, а в системе автоблокировки

- выход из строя реле типа ИМВШ-110, ИВГ, дешифраторов, трансформаторов, трансмиттеров типа КПТШ-5 (КПТШ-7), трансмиттерное реле.

Из причинного анализа нарушения нормального функционирования устройств автоматики, телемеханики и связи следует, что на долю эксплуатационных отказов приходится 90%, заводских - 8%, схемно-конструкторских - 2%. Причем большая часть эксплуатационных отказов вызвана несоблюдением норм технического обслуживания и ремонта устройств СЦБ.

Согласно нормативных документов техническое обслуживание рельсовых цепей включает проверку шунтовой чувствительности путем наложения шунта ШУ-01м в начале и конце рельсовой цепи и через каждые 100м, измерение сопротивления балласта рельсовой цепи, измерение напряжения на путевом приемнике, регулирования рельсовых цепей 50 Гц изменением напряжения на вторичной обмотке путевого трансформатора, а также на вторичной обмотке преобразователя частоты в случае регулирования РЦ 25 Гц или изменением сопротивления ограничивающего резистора в РЦ постоянного тока, измерение и регулировка тока АЛС, проведение визуального контроля состояния ее элементов (изолирующих стыков, электрических соединителей, дроссельных перемычек и др.).

Измерение кодового тока автоматической локомотивной сигнализации производится электромехаником и электромонтером на входном конце рельсовой цепи в свободное от движения поездов время один раз в год и при выявлении причин сбоя в работе устройств АЛС, а также после регулировки параметров, замены кодовой аппаратуры РЦ и по результатам проверки измерительным комплексом вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь». Измерения временных параметров кодов автоматической локомотивной сигнализации осуществляются при замене трансмиттерного реле электромехаником. При этом проверяется продолжительность первого интервала между импульсами кодового цикла, которая должна находиться в пределах 120 ... 180 мс.

Периодическую проверку параметров отдельных рельсовых цепей кодового тока АЛС можно не выполнять при положительных результатах проверки этих

рельсовых цепей измерительным комплексом вагона-лаборатории. Проверка параметров кодового тока АЛС с помощью оборудования, установленного в вагоне-лаборатории, проводится два раза в год.

При выявлении отклонения контролируемых параметров от нормативных значений производится регулировка РЦ с устранением неисправностей. Ток АЛС в рельсовых цепях регулируют методом изменения напряжения на вторичной обмотке кодирующего (питающего) трансформатора.

Таким образом, основной операцией в техническом обслуживании РЦ, от которой зависит надежная их работа во всех режимах, является контроль параметров. В то же время точность контроля параметров РЦ, которая регламентирована отраслевыми инструкциями, не обеспечивает необходимой точности и достоверности результатов. Измерение производится приборами высокой точности типа М-01, но присутствует человеческий фактор и несоблюдение правил производства измерений. В результате существует необходимость в усовершенствовании технологического процесса обслуживания рельсовых цепей за счет автоматизации измерительного процесса их параметров, которые позволили бы по возможности исключить трудоемкие операции, повысить точность и сократить время, выделяемое на проверку состояния рельсовой цепи.

Для обеспечения надежной работы автоматической локомотивной сигнализации необходимо совершенствовать процесс технического обслуживания рельсовых цепей путём применения методов автоматизированного контроля ее параметров, а также уровней и спектрального состава в рельсовых цепях.

4.3 Требования к параметрам кодовых сигналов автоматической локомотивной сигнализации

В автоматической локомотивной сигнализации информация о состоянии впереди лежащих блок-участков индуктивно передается на локомотив с помощью электромагнитного поля Φ_1 , Φ_2 сигнального тока $I_{\text{АЛС}}$, протекающего в рельсах под приемными катушками локомотива ПК1 и ПК2, которые расположены перед первой колесной парой локомотива.

К основным параметрам, определяющим достоверную устойчивую передачу сигналов с пути на локомотив, относятся ток локомотивной сигнализации в рельсах, который нормируется по значению тока на удаленном конце РЦ, длительность импульсов и интервалов электрических сигналов. Значения параметров кодового тока зависят от первичных параметров РЦ, а длительность импульсов и интервалов изменяется при прохождении кодового тока в рельсах. В соответствии с требованиями минимальный кодовый ток на входном конце РЦ при автономной тяге равен 1,2 А, при электрической тяге постоянного тока - 2 А и переменного тока - 1,4 А. Максимальный кодовый ток на выходном конце РЦ не более 25 А. Информационным параметром кода автоматической локомотивной сигнализации является число импульсов и интервалов в сигнале.

При преобразовании кодовых комбинаций в электрические сигналы и передачи их в локомотивные устройства в каждом элементе тракта передачи могут возникать искажения. Причинами их возникновения являются отклонения от номинальных параметров напольных и приемных устройств локомотивной сигнализации, а также влияние помех, которые присутствуют в системе тягового электроснабжения, линиях электропередач, идущих вдоль или пересекают железную дорогу, и возникают в результате атмосферных электрических разрядов.

В результате амплитуда и длительность импульсов и интервалов кода изменяются. При значительных искажениях сигналов, превышающих допустимые значения, возникает сбой при приеме сигналов, который сопровождается проблесками белого, желтого или красного с желтым огней на локомотивном светофоре вместо зеленого или кратковременным его пропаданием.

Электрические сигналы, поступающие на вход дешифраторов кодовой автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации должны соответствовать определенным требованиям декодирования. Большое внимание уделяется первому импульсу кодовой комбинации, так как от него срабатывает реле 1 счетной группы дешифратора. Продолжительность первого импульса должна быть достаточной для заряда конденсатора, который обеспечивает замедление на

отпуск якоря реле 1, поэтому продолжительность импульса ограничивается только в сторону укорочения.

Таблица 4.1

Допустимая продолжительность импульсов и интервалов в зависимости от кодовых комбинаций

Символ комбінацій	Допустима тривалість імпульсів і інтервалів, с					
	Кодовый трансмиситтер	На контактах трансмиситтерного реле входних РЦ	На контактах импульсного реле усилителя	В рельсах под приёмными катушками	На контактах путевого реле	В рельсах на релейном конце
Короткий интервал	0,12	0,11-0,17	0,07-0,19	0,05-0,17	0,07	0,11
Первый импульс	0,35	0,3-0,36	0,25	0,27	0,2	0,2
Первый імпульс КЖ	0,23	0,18-0,24	0,12	0,14	0,16	0,16
2-й та 3-й імпульси	0,22	0,17 –0,23	0,07	0,09	0,07	0,7
Длинный интервал	0,57	0,56-0,62	0,5	0,48	0,52	0,56

Уменьшение продолжительности коротких интервалов кодов АЛС ограничивается временем срабатывания реле 1А и 2А, которые фиксируют эти интервалы. Увеличение продолжительности коротких интервалов вызывает отпускание якоря реле 1. Таким образом, продолжительность коротких интервалов лимитируется как по уменьшению, так и по увеличению. Наименьшая продолжительность паузы в конце кодовой комбинации на контактах импульсного реле усилителя должна составлять 500 мс, что связано с реле счетной группы дешифратора 1, 1А и 2А, которые должны успеть отпустить свои якоря. Следует отметить, что период кодового цикла остается неизменным, поэтому увеличение длительности импульсов вызывает такое же уменьшение интервалов. Допустимые длительности импульсов и интервалов кодовых комбинаций приведены в табл. 4.1.

Проанализировав работу систем АБ и АЛС можно сделать вывод, что наиболее характерными из всей кодовой посылки является длительность первого импульса, коротких интервалов кодовых комбинаций и большого интервала.

В настоящее время при проверке соответствия временных параметров кодовых комбинаций требованиям с помощью оборудования, установленного в вагоне-лаборатории, проверяется только продолжительность первого интервала независимо от типа КПТ и переданного кода, которая должна находиться в пределах от 0,12 до 0,18 с.

4.4 Современные подходы к обеспечению надежности и помехоустойчивости устройств АЛС

В соответствии с требованиями, изложенными в инструкции [3], измерения кодового тока АЛС в рельсах необходимо проводить 1 раз в год электромехаником или электромонтером. Периодическую проверку параметров кодового тока АЛС отдельных рельсовых цепей можно не проводить при положительных результатах их проверки измерительным комплексом вагона-лаборатории.

Существуют следующие методы измерения тока в рельсах в свободное от движения поездов время.

Метод измерения тока локомотивной сигнализации с шунтированием рельсовой цепи на входном конце амперметром с внутренним сопротивлением не более 0,06 - 0,08 Ом.

Метод измерения тока локомотивной сигнализации в дополнительной обмотке дроссель-трансформатора. Амперметр подключается параллельно этой обмотке без отключения нагрузки. Величину тока в рельсах можно определить, умножив показания прибора на коэффициент трансформации. Недостатком этого метода является то, что на результат измерения влияет внутреннее сопротивление амперметра. Обычно используется амперметр Ц-4380М, который имеет шкалу 0 - 1,5 А с сопротивлением 0,32 Ом.

Метод измерения тока локомотивной сигнализации с шунтированием рельсовой цепи испытательным шунтом. Данный метод применяется при

отсутствии амперметра с низким входным сопротивлением. При этом измеряется напряжение на нормативном шунте и делится на его сопротивление (0,06 Ом), в результате получаем значение тока локомотивной сигнализации.

Метод измерения непрерывного тока, который посылается в РЦ при проверке вместо импульсного. Этот метод предусматривает участие в измерении второго человека, который перемычкой шунтирует контакт трансмиттерное реле для временной посылки непрерывного тока.

Обеспечение соответствия временных параметров кодов требованиям сводится к регулированию напряжения питания трансмиттерное реле. При этом трансмиттерные реле постоянного тока регулируют так, чтобы время срабатывания превышало время отпуска не более, чем на 0,03-0,05 с, поскольку для трансмиттерного реле постоянного тока характерно укорочение импульсов. В трансмиттерном реле переменного тока время срабатывания и отпускания якоря не должен отличаться друг от друга более чем на 0,01 с.

Описанные выше методы позволяют контролировать ограниченное число параметров кодового тока. Измерения тока в рельсах должны быть достоверными и по возможности исключать трудоемкие и длительные по времени операции. К тому же проведение измерений на перегоне связано с необходимостью строгого соблюдения правил техники безопасности для исключения поражения обслуживающего персонала электрическим током и опасности со стороны подвижного состава.

4.5 Контроль параметров сигнального тока АЛС вагоном-лабораторией

Более перспективными и производительными системами являются системы на основе мобильных вагон-лаборатории.

Для автоматизированной комплексной оценки работоспособности рельсовых цепей широко используются различные системы, применяемые на базе вагона-лаборатории («Контроль», «Колос», «Аист» и др. Аналогичные), которые отличаются между собой способами обработки и хранения данных, полученных от приемных ко-тушек, установленных перед первой колесной парой.

Аппаратура "Контроль" предназначена для измерения кодового тока и временных параметров числового кода автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛС), измерения координат рельсовой цепи, контроля проезда изолирующих стыков и регистрации результатов измерений. Размещается она в вагоне-лаборатории автоматики, телемеханики и связи и применяется для периодической проверки состояния напольных устройств АЛС путем измерения параметров кодового тока в рельсовых цепях при движении поезда.

В этой системе измерению подлежат следующие величины:

- ток кодовых сигналов АЛС в рельсовых цепях частотой 25, 50 и 75 Гц в диапазоне от 1 до 35 А с относительной основной погрешностью измерения 10%;
- длительность кодовых сигналов (импульсов и интервалов) в диапазоне от 0,08 до 0,6 с и цикла кода АЛС в диапазоне от 0,08 до 2 с. Абсолютная основная погрешность измерения 0,01 с для кодовых сигналов частотой 50 и 75 Гц и 0,02 с для кодовых сигналов частотой 25 Гц;
- длина рельсовой цепи в диапазоне от 0 до 3999 м с относительной основной погрешностью измерения 3% [17-20].

Данная система позволяет определить положение изолирующего стыка. В основу метода положено измерение сопротивления подвагонного контура, образованного рельсами, колесными парами и рамой вагона. Измерительный ток в контуре частотой 5 кГц создается специальными индукторами, расположенными под вагоном. Измерения тока в рельсах производится с помощью приемных катушек, расположенных под вагоном аналогично катушек АЛС.

Система "Колос", предназначена для проведения измерений параметров числового кода АЛС и рельсовой цепи из вагона-лаборатории при движении поезда по действующей участке.

Аппаратура "Колос" подключается к локомотивным катушкам параллельно действующим устройствам АЛС через усилитель и способна измерять и выводить на цифровой блок значение тока в рельсах в первом импульсе до 50 А с шагом измерений 0,1 А; длину импульсов и интервалов кодового цикла, а также длину

самого цикла с точностью 0,01 с; осуществлять непрерывную проверку первого импульса и первого интервала каждого кодового цикла; выявлять перерыв в кодировке более 1 с. Проверка путевых элементов рельсовой цепи может осуществляться в одном из двух режимов: проверка шпал и режим проверки изолирующих стыков. В процессе движения измеряется скорость и расстояние от точки отсчета с точностью 0,1 км.

Для регистрации результатов измерений в аппаратуре "Колос" используется печатное устройство. На бумажной ленте выводится информация о номере сигнальной точки и расстояние от нее до точки отсчета, количество шпал с низким сопротивлением, отклонения временных параметров или перерыв в кодировке, ток АЛС, состояние изостыков. Следует отметить, что информация, выводится на ленту, что вызывает неудобна для восприятия.

Также известна система автоматизированного контроля параметров сигналов АЛС и кодовых РЦ с вагона лаборатории, которая является модернизированным вариантом системы «Контроль».

Основные недостатки этих систем: погрешность при определении местонахождения изостыка (несколько десятков метров) большая погрешность при измерении тока более 20А (до 30-50%); низкая помехозащищенность приемных катушек от токов тяговой сети, не позволяют измерять фазовые соотношения тока АЛС и параметры рельсовой цепи с достаточной точностью; частое повышение сопротивления подвагонного контура, обусловленное нарушением контакта между колесом и рельсом, а также контактов в буксовых узлах колесных пар, что приводит к ошибочному контролю неисправного состояния рельсовой цепи и шпал; большие затраты электроэнергии; устарела элементная база, на которой построены эти системы, вызывает дополнительные сложности при ремонте и обслуживании. К тому же, в этих измерительных системах не предусмотрено измерения уровня помех.

В состав измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) входят датчики тока АЛС, датчики изостыков и датчики, фиксирующие вращение оси;

измерительные устройства асимметрии тягового тока, модуля, аргумента и временных параметров тока АЛС, а также измерители, фиксирующие границу РЦ и пройденный путь. Все данные, поступающие от датчиков передаются в бортовую микро-ЭВМ и могут быть выведены через принтер с помощью устройства управления. Фазовые соотношения в ВОК предложено измерять с помощью цифровых фазометров.

Данная система предназначена для автоматизированной комплексной оценки работоспособности рельсовых цепей и позволяет выполнять следующие функции:

- измерять модуль, аргумент и временные параметры тока АЛС, а также значение обратного тягового тока в рельсах;
- измерять текущую ординату рельсовой линии, фиксировать начало и конец рельсовой цепи, и контролировать исправность изостыков;
- вычислять параметры рельсовой линии и аппаратуры РЦ по результатам измерений и определять показатели работоспособности РЦ;
- документально фиксировать измеренную информацию.

Датчики тока АЛС имеют большую помехозащищенность, чем в аппаратуре «Контроль», поскольку выполнены с применением симметричной намотки. Элементы системы в экранирующих корпусах расположены так, чтобы обеспечить ослабление синфазных помех, обусловленных коммутационными процессами, воздействием высоковольтных линий и другими причинами. Применяемые приемные катушки также обеспечивают слабую зависимость наведенной ЭДС от горизонтальных смещений элементов в процессе движения, уменьшает инструментальные погрешности измерения амплитудных и временных параметров кодов.

Системой МИКАР оборудуют вагон-лабораторию автоматики и она обеспечивает измерение тока кодовых сигналов локомотивной сигнализации частотой 25, 50 и 75 Гц в рельсовых цепях в диапазоне от 1 до 35 А и длительность кодовых сигналов (импульсов и интервалов) в диапазоне от 0,06 до 0,9 с с основной погрешностью $\pm 0,02$ с – при частоте 25 Гц та $\pm 0,01$ с – при частотах 50 и 75 Гц.

В системах КЛУБ и САУТ регистрируются параметры сигналов локомотивных устройств, определяется наличие сигналов АЛС на входе локомотивных устройств, тип кодового путевого транмиттера, расстояние от начала (конца) рельсовой цепи до места сбоя в сигналах АЛС. САУТ также позволяет сопоставить места сбоев этих сигналов с режимами ведения локомотива (разгон, торможение и т.д.).

Автоматизированная система измерения и контроля параметров аппаратуры СЦБ ТЕСТ построена на основе микроЭВМ, и отличается от рассмотренных выше систем тем, что предназначена для контроля и диагностирования устройств железнодорожной автоматики непрерывно в условиях эксплуатации.

Преимуществом разработанных в последнее время систем является то, что они позволяют контролировать большее количество параметров сигнального тока по сравнению с применяемыми на железных дорогах Украины и облегчают процедуры измерения и обработки результатов. Однако они имеют повышенную повторяемость сбоев (особенно системы САУТ и КЛУБ), что обусловлено их низкой помехозащищенностью. К тому же в зависимости от типа локомотива эти системы ведут себя по-разному. Наиболее частые сбои наблюдались при установке их на электровозах серии ЭП1 (до 40%).

Для расшифровки скоростемерных лент и контроля за работой систем САУТ, КЛУБ, АЛС были разработаны системы АСУ-Ш2 и АСУ-БК, которые позволяют создавать электронные базы данных, в которых фиксируются причины нарушений в работе рельсовых цепей, дистанция (ШЧ, ПЧ, ТВ, ЭЧ), которая несет ответственность за них, меры по устранению и последствия.

Точность мест и причин сбоев повышается при совокупном использовании систем МИКАР, САУТ и КЛУБ, а также устройств для расшифровки скоростемерных лент системами АСУ-Ш2 и АСУ-БК. Однако ввиду того, что на работу влияет большое количество внешних воздействий для определения причины сбоя необходимы, как правило, дополнительные измерения.

Для определения причин возникновения сбоев в системе АЛС используют статистику отказов, считая, что на стыке рельсовые соединители приходится около 78% отказов (увеличение сопротивления - 22%, обрывы - 6%, кражи - 8%, отсутствие - 42%), а дроссельные перемычки - 22%. При этом спектральный состав обратного тягового тока и уровне помех, содержащиеся в нем, не исследуются, никак несмотря на то, что достаточно большое количество сбоев в работе АЛС обусловлено именно препятствиями со стороны тягового тока.

В 2019 году на вагонах-лабораториях была установлена система ВК-АЛСН - универсальный измерительный комплекс, который предназначен для измерения кодового тока и временных параметров числового кода АЛСН с привязкой к координатам по GPS, контроля проезда изолирующих стыков, намагниченности рельс, асимметрии тягового тока и регистрации результатов измерения. АК-АЛСН применяется для периодической проверки состояния napольных устройств АЛСН путем измерения их параметров в рельсовых цепях на ходу поезда.

Недостаток измерительных систем установленных в вагоне-лаборатории заключается в том, что они не подходят для оперативных измерений. Поэтому кроме измерительных систем ведется разработка и приборов, которые измеряли бы величину и временные параметры кодового тока. Конструкторским бюро вычислительной техники г. Псков был разработан прибор УПН-АЛС / 03. Прибор фиксирует действующее значение токов частотой 25, 50 и 75 Гц, временные параметры импульсов кодовых посылок, а также изменение порядка следования, накапливает информацию в буфере. Время непрерывной его работы составляет 24 часов. Этот прибор, также как и САУТ, предназначенный для установки в локомотивах.

Прибор ВЧП-АЛС обеспечивает измерение периода и продолжительность всех импульсов и интервалов кодовых сигналов АЛС на свободных контактах реле и трансмиттере, на элементах устройств АЛС, которые питаются постоянным и переменным (25, 50 и 75 Гц) током контактным способом, а также измерения временных параметров кодовых сигналов АЛС в виде импульсов переменного тока

частотой 25, 50 и 75 Гц, протекающих по рельсам, индуктивным способом. Другими словами, прибор обеспечивает выполнение измерений в релейной шкафу автоблокировки, рельсовых цепях, а также на свободных контактах КПТ и ТР - без влияния на работу других устройств.

Построен на микропроцессорной элементной базе и имеет жидкокристаллический индикатор, отображающий 16 знаков. Это переносной прибор, предназначенный для выполнения измерений электромехаником при обслуживании РЦ.

Основные технические характеристики ВЧП-АЛС: диапазон измерения временных параметров 60-1999 мс; диапазон измерения значений амплитуды импульсов кодовых сигналов: постоянного тока 3-100 В, переменного тока 0,2 -240 В. Измерение индуктивным методом обеспечиваются при токе в рельсовом цепи 0,5-2 А на частотах 25 и 75 Гц и при токе 0, 5-15 А на частоте 50 Гц.

Прибор ВЧП-АЛС позволяет также измерять многочисленные параметры тока автоматической локомотивной сигнализации в рельсовых цепях с локомотива. Прибор в таком случае содержит катушки для приема сигнала (ПК1 и ПК2), которые включены встречно, и измеритель временных параметров ВЧП-АЛС и вольтметр ВЗ-44 для определения ЭДС, наведенной в обмотках.

Недостатком устройства является невозможность непрерывно фиксировать параметры сигналов во время движения локомотива и необходимость присутствия оператора во время измерений, что при длительных исследованиях увеличивает количество ошибок. Кроме того, прибор может измерять только временные параметры тока в рельсах.

Кроме приборов Ц-56, Ц-760 и Ц-4380М, ток и напряжение в рельсах могут быть измерены с помощью мультиметра В7-63, прибора ЕК4306 с преобразователем П4306, многофункционального прибора МПИ-СЦБ или КОМАГ-Б. Эти приборы имеют широкий спектр применения и позволяют определять не только параметры кодовых рельсовых цепей, но и тональных.

Основное отличие прибора ЭК-4306 от Ц-4380М состоит в том, что здесь вместо диодного выпрямителя используется электронный преобразователь, а вместо металлической стрелки - стеклянная. В результате при измерениях возникает расхождение с показаниями прибора Ц-4380М. Применение преобразователя с одной стороны позволило уменьшить потребление электроэнергии при измерении сопротивлений постоянного тока и уменьшить шкалу, однако использование преобразователя П4306 для проведения измерений в РЦ различной частоты, является неудобным из-за его громоздкости. К недостаткам мультиметра В7-63 следует отнести необходимость введения частоты измеряемого сигнала и относительно большое время реакции (до 10 с).

Таким образом, наиболее перспективными из описанных выше приборов и систем для измерения параметров кодового тока в рельсах являются такие, которые позволят автоматизировать процесс измерений и, по возможности, исключать ручные операции, связанные с выходом на поле, контролировать максимальное число параметров сигнального тока и оценивать спектр и уровень помех, действующих на приемнике системы АЛС.

Для уменьшения инструментальных погрешностей необходимо совершенствовать измерительную аппаратуру, использовать статистическую обработку результатов и автоматически корректировать систематические погрешности. При этом необходимо применять системный подход в измерении, не рассматривая каждый параметр отдельно, а учитывая тесную взаимосвязь, что позволит получать общую оценку о работоспособности системы.

5 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОДОВ АЛС ВАГОНОМ-ЛАБОРАТОРИЕЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

5.1 Фурье анализ сигналов

В предыдущем разделе показано, что помехи с промышленной частотой (50Гц при частоте сигнального тока 25Гц) и инфразвуковой частотой могут привести к возникновению сбоев в работе АЛС. Но существующие методы обработки сигналов при расшифровке кодов АЛС не позволяют определить их. Фурье анализ сигнального тока, записанного для достаточно больших промежутков времени во время поездки вагон-лаборатории, не даёт значительного результата, поскольку появление кратковременной помехи в сигнале тока АЛСН, что может вызвать сбой в работе сигнализации, не будет заметно на общей спектрограмме. К тому же Фурье анализ сигнала позволяет определить временную локализацию помехи в сигнальном токе.

Спектральный анализ - это один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав сигнала измерения. Преобразование Фурье является математической основой, которая связывает временной или пространственный сигнал (или некоторую модель этого сигнала) с его представлением в частотной области.

Прямое дискретное преобразование Фурье конечной периодической последовательности $x(nT), n = 0, 1, \dots, N-1$ определяется выражением:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk}, \quad (5.1)$$
$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

где: $T=1/F$ – интервал временной дискретизации сигнала $x(t)$;

F – частота дискретизации;

n – номер дискретной выборки сигнала;

k – номер спектрального компонента сигнала;

$\Omega = 2\pi/NT$ – частота основной гармоники сигнала;

$W_N = \exp(-j2\pi/N) = \exp(-j\Omega T)$ – фазовый множитель.

Обратное преобразование Фурье имеет вид:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k\Omega) e^{j2\pi nkt/N} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{-nk}, \quad (5.2)$$

Спектральный анализ, как и анализ по форме сигнала можно проводить с помощью многих типичных пакетов программного обеспечения. Для проведения анализа с помощью программы, построенной для этого в среде последовательности MatLab.

5.2 Устройство для регистрации сигнального тока АЛС

Для проведения измерений сигнального тока АЛС было разработано измерительное устройство, структурная схема которого приведена на рис.5.1.

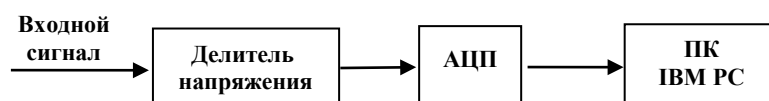


Рис. 5.1 – Структурная схема измерительного устройства

Схема состоит из делителя напряжения, аналогового цифрового преобразователя и персонального компьютера (ноутбука). Делитель напряжения выбирался исходя из следующих требований: ЭДС, приведенная в катушках локомотивной сигнализации, при токе в рельсах величиной 10 А достигает значения 0,75 В на электровозах и 0,65 В на тепловозах. При проведении измерений необходимо обеспечить измерение тока локомотивной сигнализации в пределах от 1 до 35 А. Приведенная в катушках ЭДС не превышает 2,65 В при максимальном значении сигнального тока в рельсах. Для уменьшения тока до значения, не превышающего номинальный ток АЦП (1 В) использовали делитель напряжения (1:5).

Для оцифровки сигнала использовали АЦП В-421 (с параметрами $f = 0..200$ МГц, $U = 0..1$ В). С выхода АЦП сигнал подается на USB вход ноутбука.

Для цифровой обработки сигнала использовали программный пакет MatLab для анализа и обработки сигнала (цифровая фильтрация, преобразование Фурье, вейвлет преобразования).

Для определения типов кодовых сигналов, принимаемых в рельсовых цепях, необходимо решить следующие задачи:

- измерения длительности импульсов и паузы с исключением кратковременных провалов и всплесков сигнала;
- подбор типа кода по длительности импульсов и пауз;
- определение типа кода, принятого с рельсовой цепи и типа кодового путевого трансмиттера;
- определение амплитудных и временных параметров кодового сигнала.

Согласно Инструкции по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки проверка работы устройств автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) проводится периодически вагонами-лабораториями с рассмотрением результатов совместно службами сигнализации и связи и локомотивного хозяйства. В действующих на Украине вагонах-лабораториях установлена аппаратура ВК-АЛСН, которая предназначена для измерения кодового тока частотой 25, 50 и 75 Гц [2], определение временных параметров кода, вычисление координат рельсовой цепи, контроля изостыков и скорости движения подвижного состава.

Измерения тока локомотивной сигнализации должны иметь заданную точность и по возможности исключать трудоемкие, длительные по времени и связанные с выходом на поле операции. К тому же проведение измерений на перегоне связано с необходимостью строгого соблюдения правил техники безопасности для исключения поражения обслуживающего персонала электрическим током и опасности со стороны подвижного состава.

Следует отметить, что проверка вагоном-лабораторией позволяет выявить в первую очередь отступление в регулировании РЦ и аппаратуры кодирования, но не дает возможности определить фазовые соотношения токов АЛС, величину

обратного тока в рельсах и спектр помех, асимметрию сигнального и тягового токов, вычислить параметры рельсовых цепей по значению тока локомотивной сигнализации в начале и в конце линии.

Технологию обслуживания рельсовых цепей предложено усовершенствовать за счет автоматизации измерения ее параметров во время измерительной поездки вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь» с целью контроля параметров кодовых комбинаций автоматической локомотивной сигнализации, которые выполняются по графику, утвержденному начальником службы сигнализации и связи аппаратуры связи, два раза в год. Результаты проверок передаются в дистанцию сигнализации и связи. Взаимные проверки работоспособности рельсовых цепей других железных дорог Украины вагонами-лабораториями проводятся в соответствии с графиком, утвержденным Управлением автоматики, телемеханики и связи АТ «Укрзализныци». Результаты измерений оформляются актом.

Периодическую проверку параметров кодового тока АЛС нельзя не проводить при положительных результатах проверки этих рельсовых цепей измерительным комплексом вагона-лаборатории[2].

Измерения выполняются в два человека электромеханиками. Перед проведением измерений с помощью оборудования, установленного в вагоне-лаборатории, выполняется калибровка аппаратуры на реальной рельсовой цепи. При этом устанавливается соответствие показаний измеряемых аппаратурой тока кодовых сигналов показаниями прибора, осуществляет измерение кодового тока непосредственно в рельсовой цепи (например, УПН-АЛС). Крепятся приемные катушки перед первой колесной парой локомотива. Далее в АПК задаются исходные данные: определяется тип исследуемого участка (перегон, станция), наименование перегона, длины и типа РЦ, задание частоты дискретизации и шага квантования, которые используются при аналого-цифровом преобразовании сигнала.

Дальнейшие действия оператора сводятся к наблюдениям за работой аппаратуры. Считывания информации из приемных устройств и проверка на соответствие параметров рельсовых цепей и тока автоматической локомотивной сигнализации требованиям проводится в автоматическом режиме. При этом осуществляется контроль уровня и спектрального состава помех в рельсах с целью выявления и устранения причин их возникновения.

По результатам измерительных поездок создаются базы данных, что позволяет автоматизировать процесс поиска РЦ, в которых обнаружены неисправности, и прогнозировать причины их возникновения.

В итоге, перечень параметров контролируемых вагоном-лабораторией, оборудованным разработанным аппаратно-программным комплексом, расширяется. По предлагаемому в работе методу измерения параметров рельсовых цепей на базе вагона-лаборатории позволяет проводить оценку состояния рельсовых цепей путем косвенных измерений и сравнения полученных характеристик с теоретическими, соответствующими нормированным с точки зрения нормального функционирования РЦ. В результате время, потраченное на проверку состояния РЦ, сокращается, а также облегчаются условия труда обслуживающего персонала и исключается субъективность при проведении измерений.

5.1 Результаты измерений

На рис. 5.2 приведен сигнал кода "С", записанный во время тестовых поездок вагона-лаборатории, во временной и частотной области.

Спектр сигнала имеет четко выраженный пик на частоте 50 Гц, что соответствует частоте сигнального тока, а также значительное количество пиков на разных частотах, которые обусловлены сложной формой модулированного кодом "С" сигнала, а также помехами в рельсовой линии.

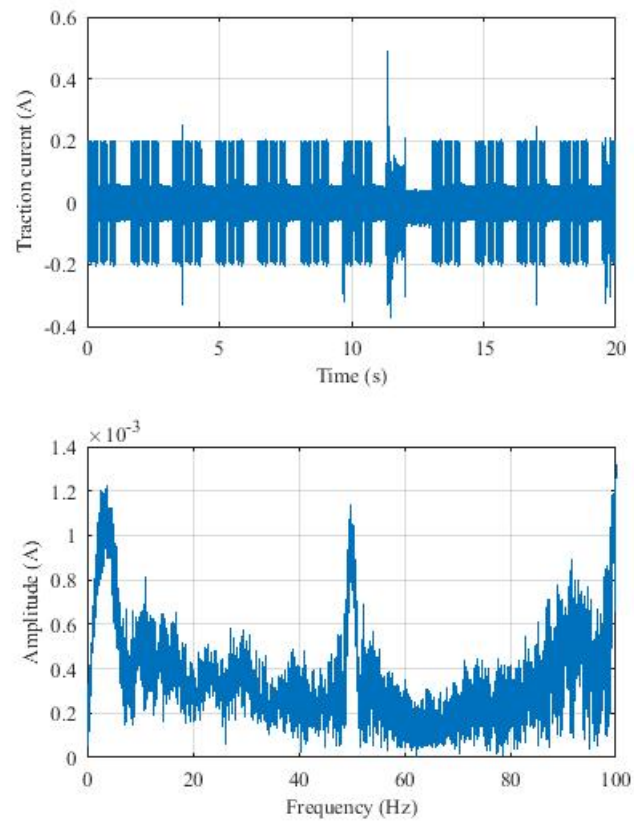


Рисунок 5.2 – Сигнал кода "3" во временной и частотной области

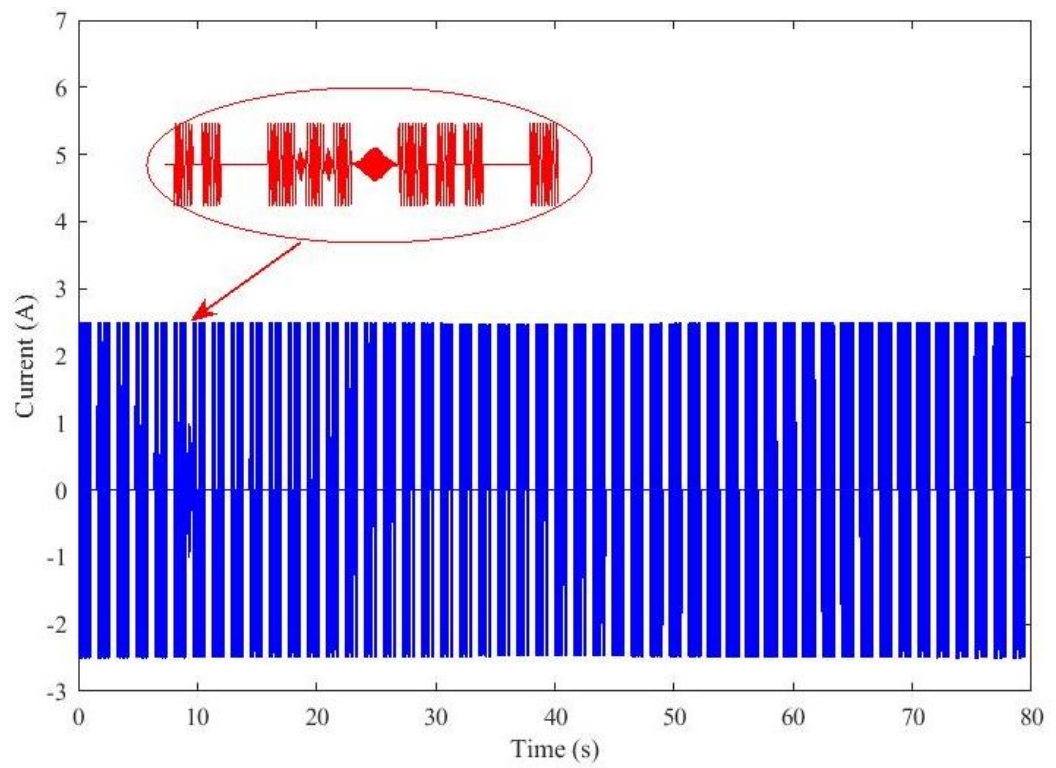


Рисунок 5.3 – Сигнальный ток с кратковременной помехой частотой 50Гц в одном периоде кода "3"

Для проверки возможности определения помех в сигнальном токе были проведены исследования с использованием сигнального тока, был синтезирован на компьютере с искусственно добавленной кратковременной помехой (рис. 5.3). Исследование проводили, используя два вида сигнального тока с частотой 25 Гц, длительностью 80 с. В обоих строках добавлено кратковременные помехи в паузах одного периода сигнала (рис. 5.3). Разница была в том, что в одном токе помехи были частотой 25 Гц, а во втором – 50 Гц.

На рис. 5.4 та 5.5 приведен спектральный состав сигнального тока с кратковременными помехами частотой 25 и 50Гц.

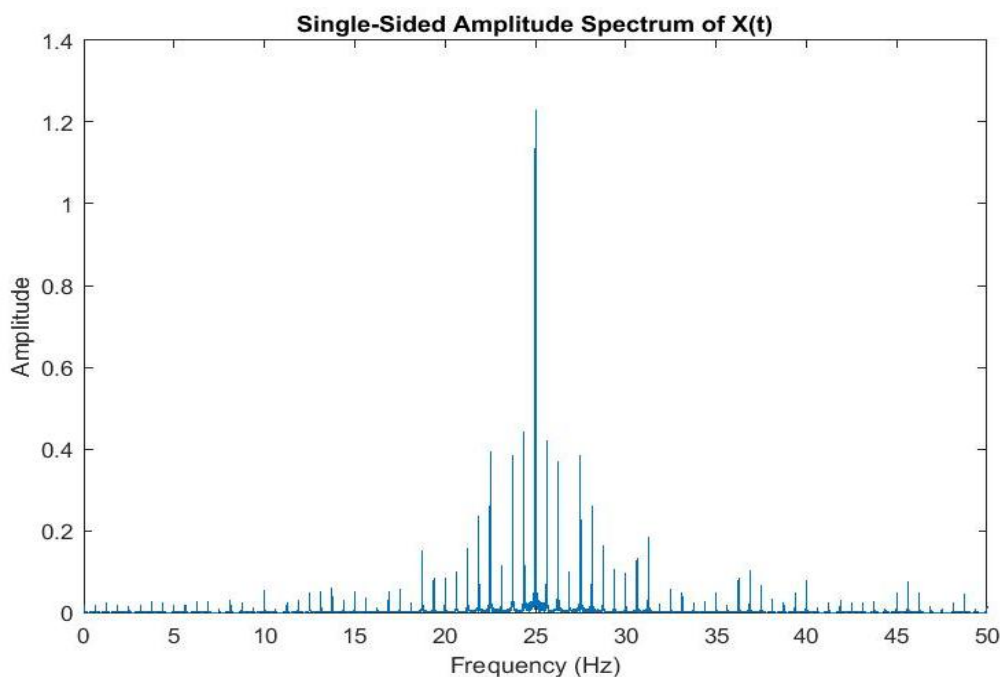


Рисунок 5.4 – Спектральный состав сигнального тока с помехой частотой 25Гц.

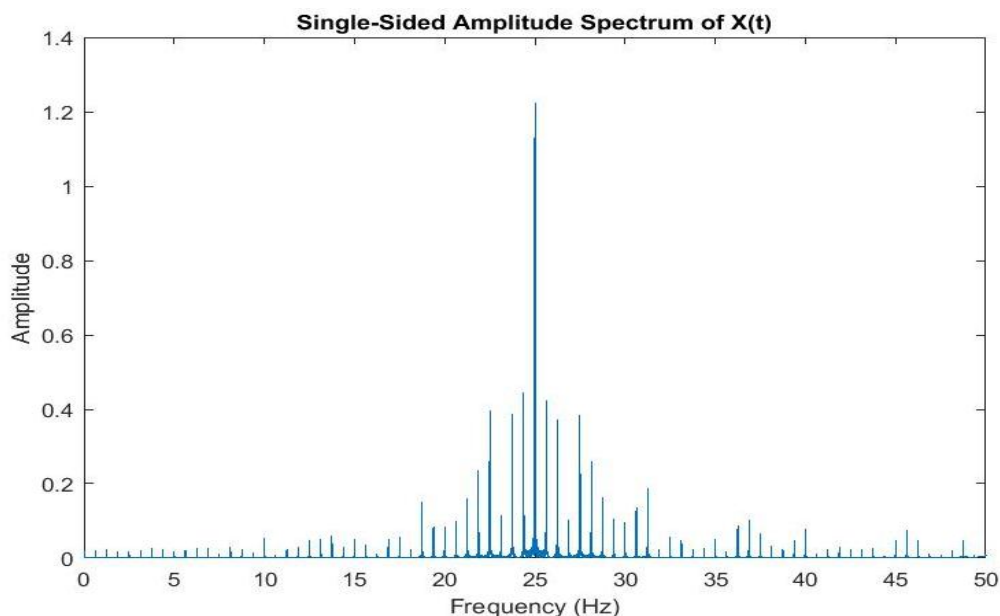


Рисунок 5.5 – Спектральный состав сигнального тока с помехой частотой 50Гц.

Из рисунков видно, что спектрограммы практически не различаются, таким образом определить кратковременные помехи в длительном токе АЛСН с помощью Фурье анализа невозможно.

Более подходящим для этого есть частотно-временной анализ сигнального тока или кратковременное Фурье преобразования, в котором спектральный Фурье анализ тока происходит последовательно на ограниченных сегментах сигнального тока, которые выделяются специальными окнами (оконное Фурье преобразования). Результатом преобразования являются так называемые спектрограммы сигнального тока.

Частотно-временной анализ сигнального тока в работе проводили с помощью программного пакета Matlab, Signal Processing Toolbox.

На рис. 5.6 и 5.7 приведены спектрограммы сигнальных токов с кратковременными помехами частотой 25 и 50Гц.

На спектрограммах видна светлая полоса, которая имеет частоту 25 Гц и простирается через весь промежуток времени с небольшими перерывами (паузами) в сигнале. Также на спектрограмме с помехой 50 Гц можно различать небольшую более светлую область в период времени 8-9 с и частотой 50 Гц.

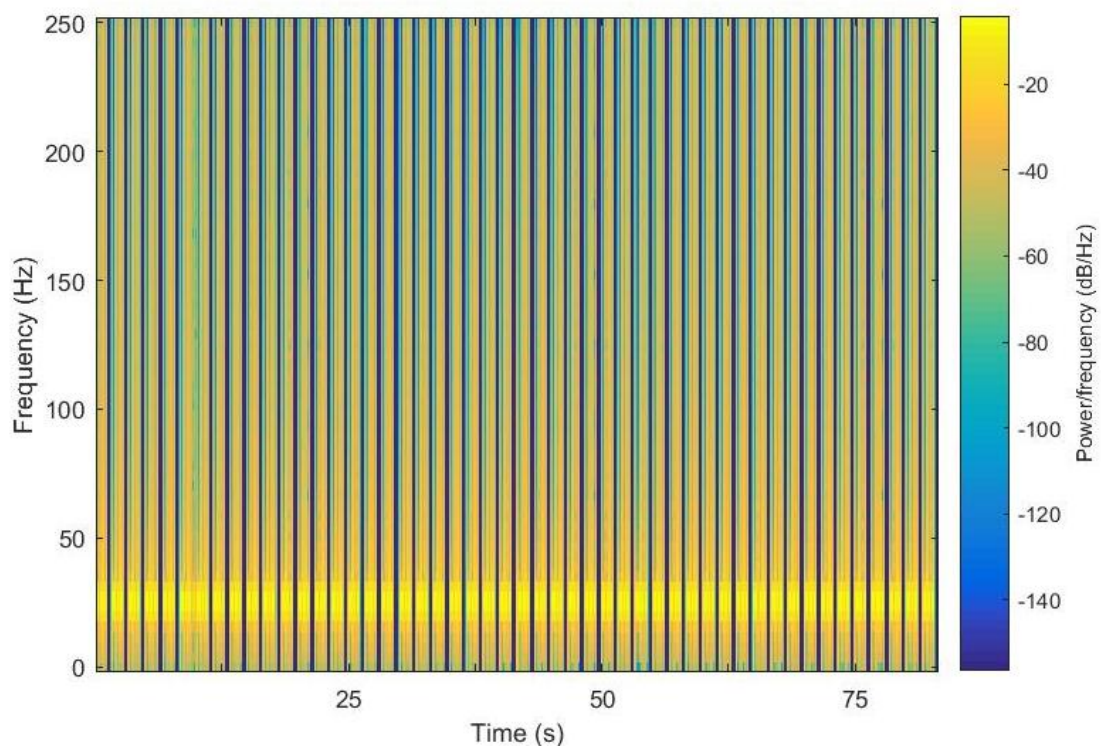


Рис. 5.6 – Спектрограмма сигнального тока с кратковременной помехой частотой 25 Гц.

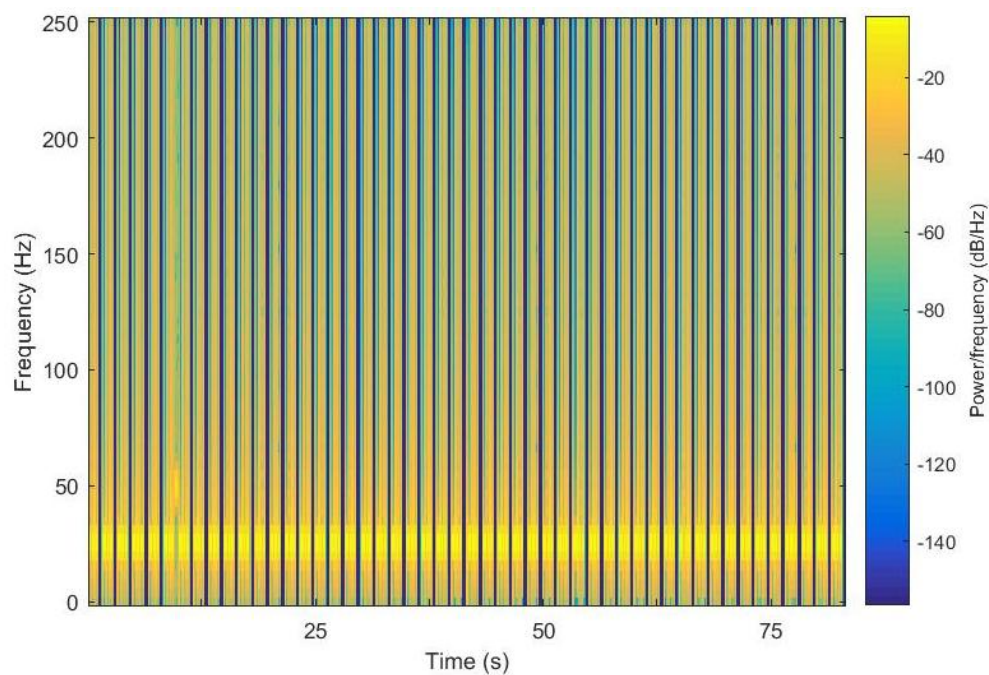


Рис. 5.7 – Спектрограмма сигнального тока с кратковременной помехой частотой 50 Гц.

Более чётко помеху 50 Гц можно определить на трехмерном представлении спектрограмм (рис. 5.9).

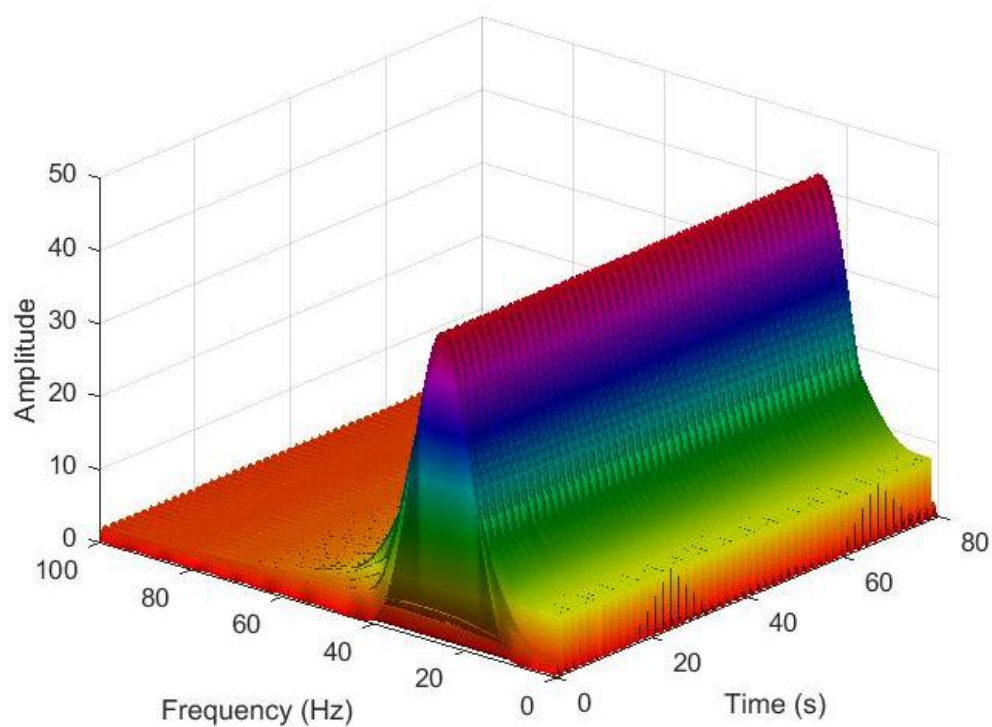


Рис. 5.8 – Спектрограмма сигнального тока с кратковременной помехой частотой 25 Гц.

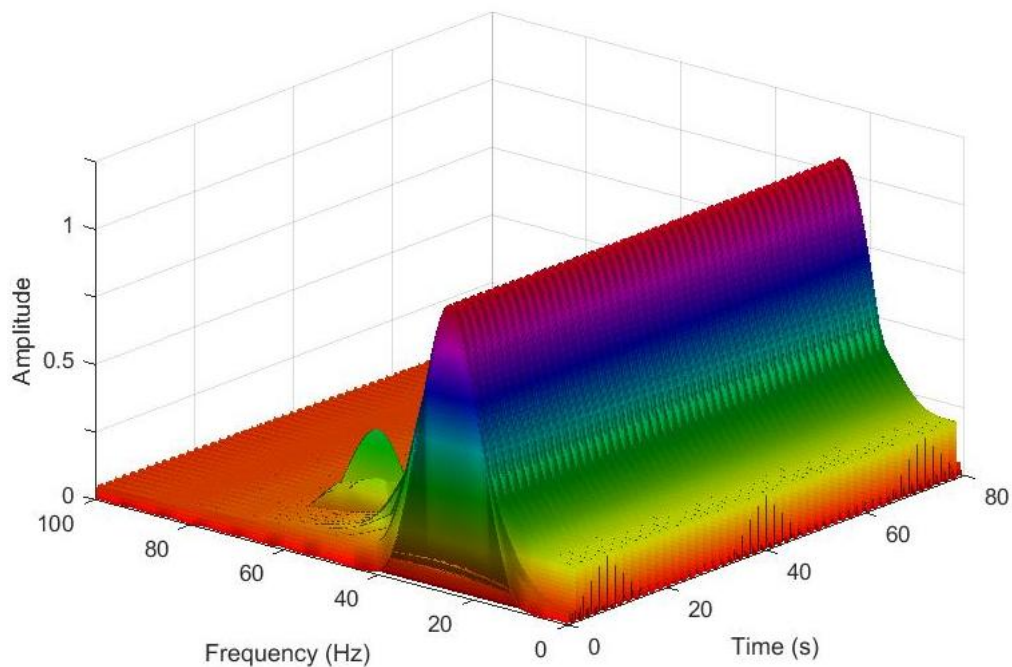


Рис. 5.9. Спектрограмма сигнального тока с кратковременной помехой частотой 50 Гц.

Пример временной зависимости, спектра и спектрограммы сигнального тока АЛСН с частотой 50 Гц приведена на рис. 5.10, 5.11.

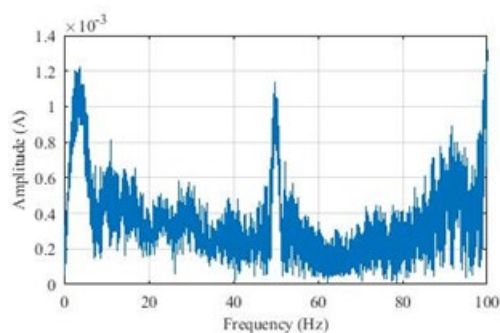


Рис. 5.10 – Спектр сигнального тока АЛСН с частотой 50 Гц.

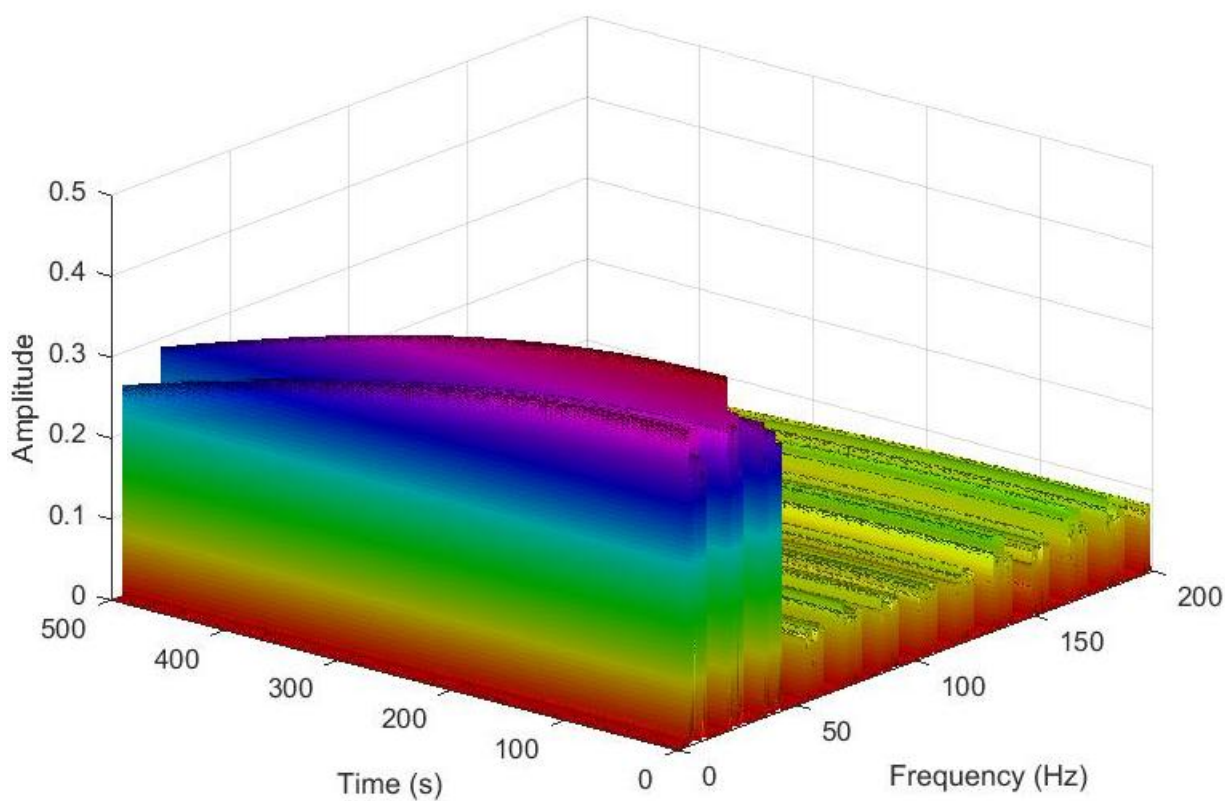


Рис. 5.11 – Спектрограмма сигнального тока с кратковременной помехой частотой 50 Гц.

Из рисунка видно наличие помех в сигнале АЛСН в инфранизком диапазоне частот.

6 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЕМНИКА МНОГОЗНАЧНОЙ АЛС

6.1 Структура локомотивного приемника

Локомотивный приемник АЛСУ включает в себя катушки, которые принимают сигналы с рельсов, два канала декодирования (формируют 15 команд управления) и устройство управления и индикации, которое принимает информацию и выводит ее машинисту [6].

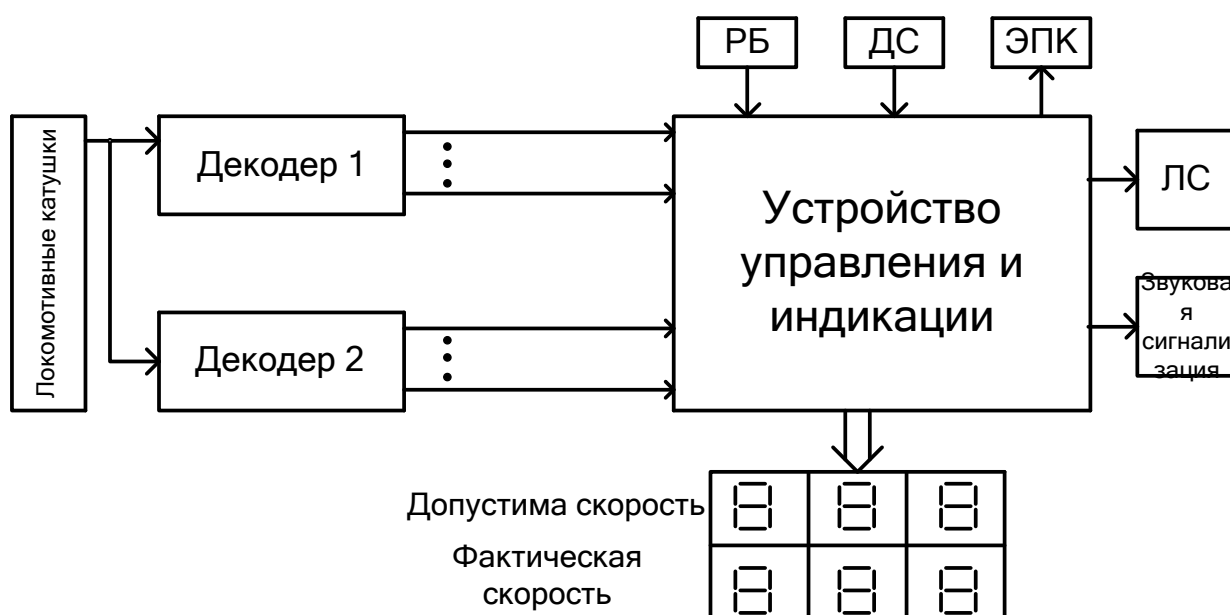


Рисунок 6.1 – Структура локомотивного приемника

На рис.6.1 представлена структурная схема локомотивного приемника. Локомотивный приемник состоит из следующих элементов:

- локомотивные катушки;
- декодер 1 и декодер 2;
- устройство управления и индикации;
- рукоятка бдительности (РБ);
- датчик скорости (ДС);
- электропневматический клапан (ЭПК)
- локомотивный светофор (ЛС);

- звуковая сигнализация;
- семисегментный индикатор контролирующей и фактической скорости.

Локомотивные катушки – служат для приема сигналов с рельсов и передают их на декодер. Декодер нужен для преобразования аналогового сигнала в двоичную комбинацию. В данной системе мы дублируем канал декодирования для повышения надежности. После декодирования, информация с первого канала попадает в устройство управления и индикации. Устройство получив информацию от декодера, обрабатывает полученные данные и выводит их на семисегментный индикатор контролирующей скорости и ЛС (локомотивный светофор), проверяет нажата ли рукоятка бдительности (РБ), считывает информацию с датчика скорости (ДС) и выводит ее на семисегментный индикатор фактической скорости. Также он включает звуковую сигнализацию при превышении контролирующей скорости. Если СП не было нажато, посылается команда на электропневматический клапан (ЭПК) и происходит экстренное торможение поезда.

6.2 Выбор методов резервирования аппаратуры

Резервирование является методом повышения надежности аппаратуры путем применения идентичных дублирующих элементов, устройств и систем.

Группа элементов считается резервируемой, если отказ одного или нескольких ее элементов не нарушает нормальной работы резервированной схемы (узла, системы) и оставшиеся исправные элементы продолжают выполнять заданную функцию; такое резервирование называется функциональным. При этом методе резервирования различные системы отличаются друг от друга в первую очередь реакцией на отказ элемента схемы.

Основным параметром резервирования является его кратность, представляющий собой отношение количества резервных единиц к числу резервируемых.

Кратность резервирования – отношение числа резервных элементов к числу основных элементов устройства. Кратность резервирования принято обозначать m . Например, если $m=3$, то это означает, что: основное устройство - одно, число

резервных устройств – три, а общее число устройств равное (три плюс один) четырем. Если $m=4/2$, то это означает резервирование с дробной кратностью, при которой число резервных устройств равное четырем, число основных – двум, а общее количество устройств – шести. Сократить дробь нельзя, поскольку если $m=4/2 = 2$, то это резервирование с целой кратностью, при котором число резервных устройств – два, главное – одно, а общее количество устройств – три.

Однократное резервирование называется дублированием.

По состоянию резервных элементов до момента включения их в работу различают:

- нагруженный (горячий) резерв – резервные элементы нагружены так же, как и основные;
- облегченный (ожидающий) резерв – резервные элементы нагружены меньше, чем основные;
- ненагруженный (холодный) резерв – резервные элементы практически не несут нагрузки.

Использование облегченного или ненагруженного резерва позволяет снизить расход энергии, потребляемой резервируемой системой и увеличить надежность аппаратуры ($T_{ср\ p\ ненагр} > T_{ср\ p\ обл} > T_{ср\ p\ нагр}$), поскольку надежность резервных устройств выше, чем основных. Однако следует учитывать, что перерыв на переключение с основного устройства на резервное допустимо не во всех схемах.

В зависимости от состояния, в котором находятся резервные цепи (элементы) до момента включения их в работу вместо цепи (или элемента), отказавшего различают:

- холодный резерв – резервные цепи (элементы) находятся в нерабочем состоянии (например, когда на резервные блоки радиостанции питающее напряжение не приходит);
- горячий резерв – все цепи резервного блока нагружены одинаково с основными блоками;

- облегченный резерв – резервные блоки находятся не в полном рабочем состоянии (нагруженные меньше, чем основные).

Наиболее употребительные методы резервирования можно разделить на следующие три группы:

- элементное или системное резервирование, при котором в объекте вместе с основными элементами имеют место резервные. Способы включения их разнообразны (параллельное, последовательное, комбинированное, поэлементное, общее, мостиковое, по избирательной схеме, постоянное, с переключающими устройствами и т.д.);

- временное резервирование, при котором предусматривается запас (резерв) времени на выполнение заданных функций. Этот резерв времени позволяет многократно повторять рабочую операцию, выявлять отказ и устранять ее. Отказ в период резервного времени не приводит к катастрофическим последствиям и его можно не учитывать при расчетах;

- функциональное резервирование, при котором система имеет функциональную избыточность, то есть при отказах в системе она продолжает выполнять заданную функцию;

- информационное резервирование, когда при передаче и представлении информации используются дополнительные (резервные, чрезмерные) средства представления (дополнительные кодовые разряды, коды с обнаружением ошибок и т. п.).

Информационная избыточность позволяет исключить искажения в передаче информации даже при наличии отказов в аппаратуре передачи и отображение и поэтому по своему действию на надежность относится к категории резервирования.

Эффективность резервирования принято оценивать с помощью коэффициента повышения надежности γ , который определяют по показателям безотказности из соотношений:

$$\gamma_p = P(t)_p / P(t)$$

$$\gamma_Q = Q(t) / Q(t)_p$$

где $P(t)$ и $Q(t)$ - вероятность безотказной работы и вероятность отказа для резервированной системы,

$P(t)$ и $Q(t)$ - вероятность безотказной работы и вероятность отказа для нерезервированной системы.

Общее резервирование системы

При общем резервировании резервируется вся система в целом. Общее резервирование, в зависимости от способа включения резервных устройств можно разделить на постоянное резервирование и резервирование замещением, при котором резервные изделия замещают основные только после отказа. При общем постоянном резервировании резервные устройства подключены к основному в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ним режиме работы.

Постоянное резервирование

К преимуществам постоянного общего резервирования относятся:

- относительная простота построения схем;
- отсутствие даже кратковременного перерыва в работе при отказе от одного до $m-1$ элементов системы;
- отсутствие дополнительных элементов, что подключаются снижают общую надежность схемы.

Очевидные недостатки нагруженного резерва, кроме увеличения габаритов и массы системы - повышенный расход энергии, а также то, что резервные элементы "стареют" одновременно с основными элементами системы. В случае общего резервирования системы, потребуется полный состав записанных элементов. При общем постоянном резервировании может использоваться только нагруженный резерв.

Характеристики для случая резервированной системы при общем постоянном резервировании.

Вероятность безотказной работы резервированной системы при общем постоянном резервировании с целой кратностью рассчитывается по формуле:

$$P(t)_p = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}$$

где $P(t)_p$ - вероятность безотказной работы резервированной системы

$P(t) = e^{-\lambda t}$ - вероятность безотказной работы нерезервированной системы при экспоненциальном законе распределения надежности, m -кратность резервирования.

$$T_{ср p} = T_{ср} \sum_{i=0}^m \frac{1}{(i+1)} = T_{ср} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{m+1}\right)$$

где $T_{ср p}$ - средняя наработка на отказ резервированной системы ,

$T_{ср}$ - средняя наработка на отказ нерезервированной системы.

Для наиболее простого случая, когда $m=1$, получаем:

$$P(t)_p = 1 - [1 - P(t)]^2$$

$$T_{ср p} = 1,5 T_{ср}$$

Таким образом, при дублировании (одно основное устройство резервируется одним резервным устройством), средняя наработка на отказ увеличивается в 1,5 раза.

Резервирование замещением

При резервировании замещением резервное устройство включается в работу системы с помощью автоматических устройств или человеком - оператором вручную. При автоматическом включении нужно чрезвычайно высокую надежность переключающих элементов. При большом количестве и невысокой надежности этих дополнительных элементов, входящих в резервируемую систему, ее надежность может снизиться по сравнению с надежностью нерезервированной системы. Кроме того, существует кратковременный перерыв, на время переключения на резервные устройства. При ручной замене отказавших элементов, растет время переключения, но надежность человека – оператора, производящего переключения, может быть принята в расчетах за единицу.

При использовании нагруженного резерва запасные резервные элементы находятся в том же режиме работы, что и основные элементы (независимо от того, участвуют они в работе схемы или нет) и если при этом основной и резервный

элемент идентичны, то интенсивность их отказа совпадают и надежность основного и резервного устройств одинакова, поэтому, если не учитывать надежность автоматически переключающих устройств, характеристики надежности рассчитываются по тем же формулам, что и для общего постоянного резервирования.

При использовании ненагруженного резерва, запасные резервные элементы до момента их включения в работу системы полностью отключены. В этом случае резервные устройства имеют высокую надежность по сравнению с основными элементами, поэтому общее резервирование замещением с использованием ненагруженного резерва обеспечивают наилучшие показатели надежности для случая общего резервирования.

Характеристики для случая общего резервирования замещением с использованием ненагруженного резерва.

$$P(t)_p = P(t) \sum_{i=0}^m \left(\frac{t_p}{T_{cp}}\right)^i \frac{1}{i!} = P(t) \left[1 + \frac{t_p}{T_{cp}} + \frac{1}{2!} \left(\frac{t_p}{T_{cp}}\right)^2 + \dots + \frac{1}{m!} \left(\frac{t_p}{T_{cp}}\right)^m \right]$$

где $P(t)_p$ - вероятность безотказной работы резервированной системы

$P(t)$ - вероятность безотказной работы нерезервированной системы,

m - кратность резервирования.

$$T_{cp p} = T_{cp} (m + 1)$$

где $P(t)_r$ и $P(t)_p$ - средняя наработка на отказ резервированной и нерезервированной систем,

$T_{cp r}$ и T_{cp} - средняя наработка на отказ резервированной и нерезервированной систем,

m - кратность резервирования.

Для наиболее простого случая, когда $m = 1$, получаем:

$$P(t)_p = P(t) \left(1 + \frac{t_p}{T_{cp}} \right)$$

$$T_{cp p} = 2T_{cp}$$

Таким образом, при использовании ненагруженного резерва средняя наработка на отказ увеличивается минимум в два раза.

Раздельное резервирование

Раздельное резервирование бывает общим и замещенным.

При раздельном способе резервирования, вводится индивидуальный резерв для каждой части не чрезмерной системы. Если отказ повториться два раза подряд в одном и том же устройстве при раздельном замещении может произойти отказ системы.

Математический анализ показывает, что самые высокие показатели надежности можно получить в случае, если системы строятся с использованием раздельного резервирования замещением ненагруженным резервом.

Так как система отвечает за безопасность движения, мы не можем допустить отсутствие даже кратковременного перерыва в работе при отказе одного из элементов системы. Таким образом, в данной системе лучше всего использовать дублирование с нагруженным (горячим) резервом [5].

6.3 Структура и принцип работы декодера многозначной АЛС

Структура декодера (рис.6.2) выполнена так, что на один из 15 выходов подается команда при условии, что локомотивным приемником принято две частоты и на двух выходах $z1-z6$ появилась значение логической 1 [8]. Если сигнал логической единицы появился на 1-м или 3 и более $z1-z6$, то команда не формируется на одном из выходов декодера. Этим образом выполняется числовая защита от повреждений и препятствий тягового тока [6].

На рис. 6.2 представлена структурная схема декодера многозначной АЛС. Декодер состоит из следующих элементов:

- амплитудный ограничитель;
- усилитель (У);
- фильтр низких частот (ФН);
- аналогово - цифровой преобразователь (АЦП);
- полосовые фильтры на 125, 175, 225, 275, 325, 375 Гц;
- нелинейный элемент;
- интегратор;

- пороговый элемент (h);
- декодер (DC);

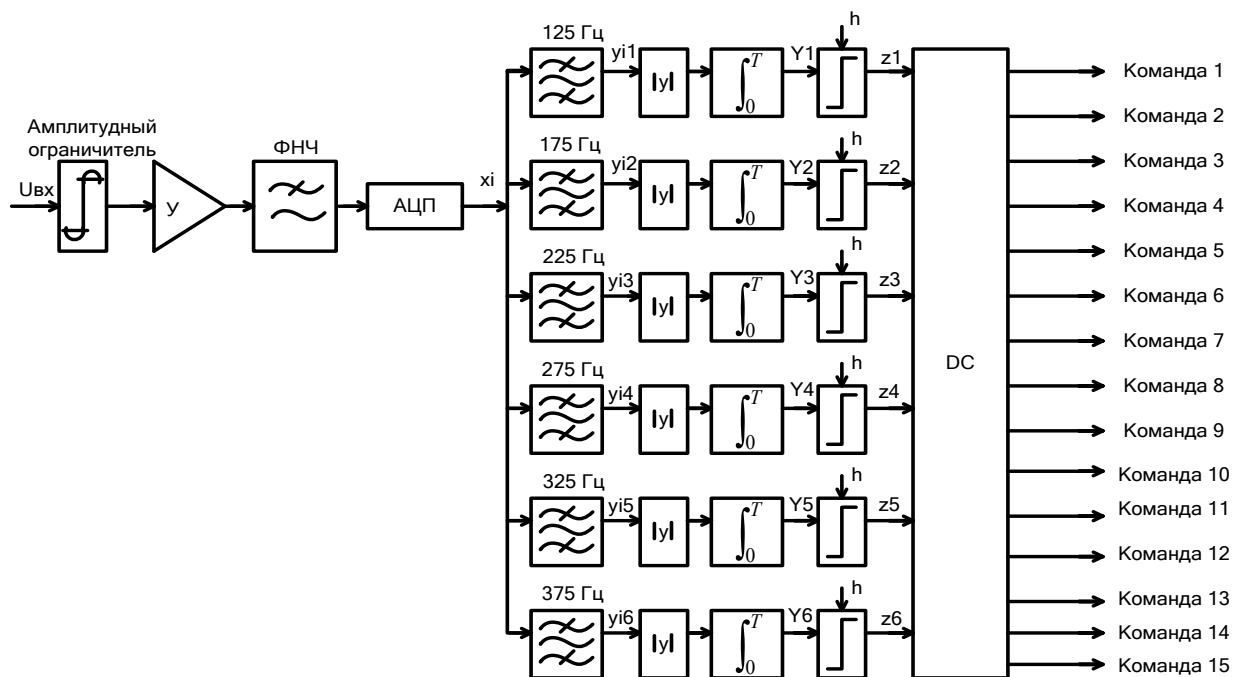


Рисунок 6.2 – Структура декодера многозначной АЛС

В данной схеме полосовой фильтр, демодулятор, пороговый элемент, декодер, представляют собой центральный сигнальный процессор (ЦСП).

При получении локомотивными катушками сигнала он поступает на амплитудный ограничитель, с помощью которого ограничиваются уровни помех, которые возникают после прохождения сигнала через рельсовую линию. Сигнал усиливается до нужного уровня и поступает на вход фильтра низких частот (ФНЧ), где происходит ограничение спектра входного сигнала (частота среза фильтра выбирается в 2 раза меньше частоты дискретизации АЦП). Аналогово - цифровой преобразователь (АЦП) преобразует наш входной сигнал в двоичную комбинацию которая поступает на входы цифровых фильтров. Входная комбинация сравнивается с коэффициентами фильтров. В результате чего будут пропускать сигнал только два фильтра из шести. Далее вычисляется абсолютное значение и попадает на интегратор, где берется сумма выборок необходимого интервал времени. Затем сигнал поступает на вход порогового элемента, где определяется

или это логическая 1 или 0. Полученная комбинация поступает на декодер, в котором записаны все возможные комбинации. Они сравниваются с входными. Если комбинация совпадает одной из заданных, то формируется соответствующая команда.

В начале работы происходит инициализация сигнального процессора (запуск), включения таймера, обнуление центрального сигнального процессора. Включение аналогово – цифрового преобразователя (АЦП) для оцифровки аналогового сигнала. Обнуляем счетчик. Выполняем считывания входных сигналов цифровыми фильтрами. Организуем цикл на шесть проходов, чтобы определить какие из фильтров пропустили сигнал. В цикле также выражаем позитивную составляющую сигнала и интегральным методом определяем сумму выборок за интервал времени. Когда все шесть фильтров опрошено, переходим по метке 1 на таймер. Если таймер не переполнен ли (прошло менее 1 м), то мы переходим по метке 3. А если переполнен то обнуляем счетчик и снова организуем цикл на шесть проходов, чтобы определить в каком из каналов уровень сигнала превысил пороговый уровень. Далее выполняется декодирование частотного кода, формирование команды и обнуление таймера. Переходим на начало по метке 2 .

Алгоритм работы декодера представлен на рис. 6.3.

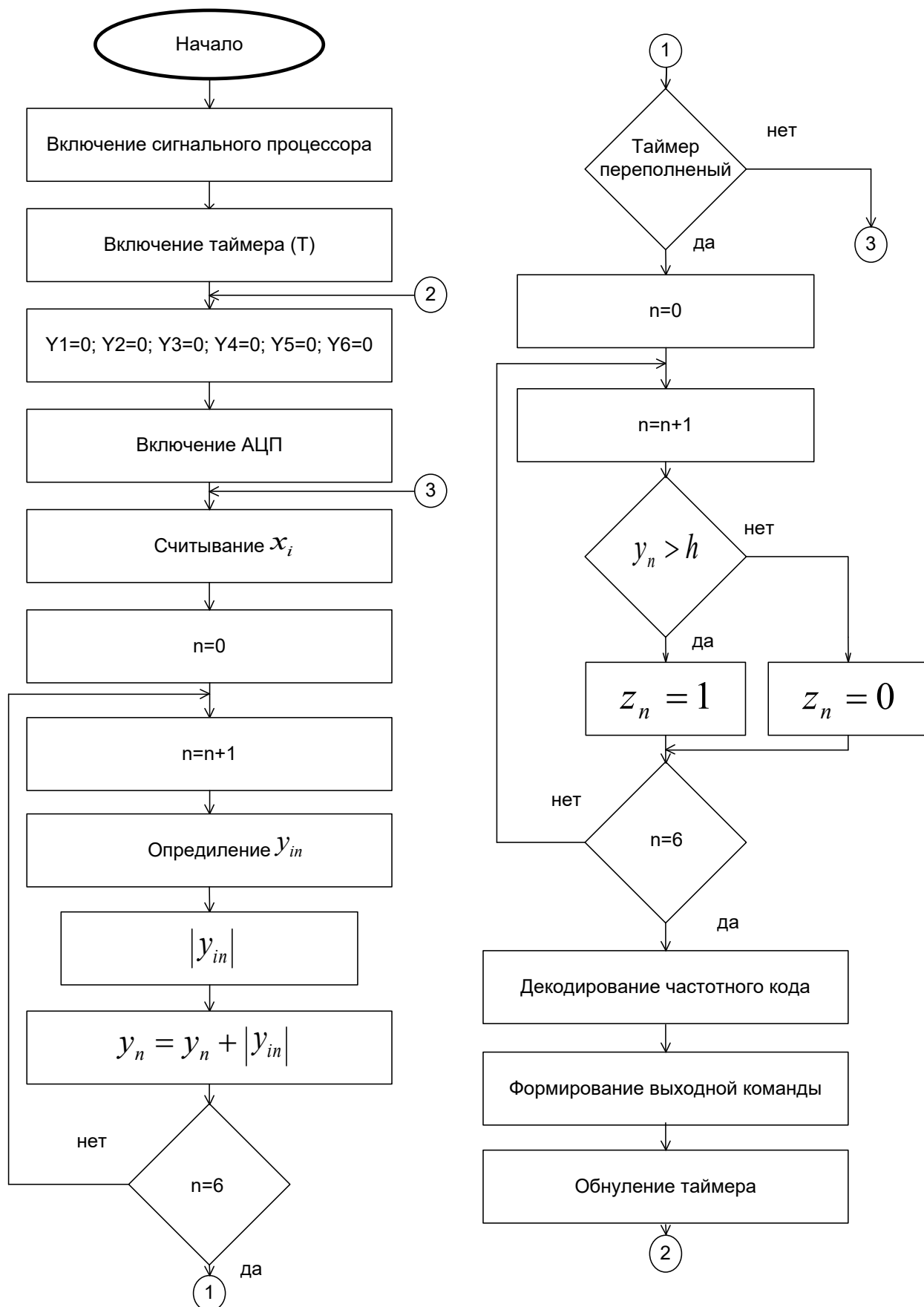


Рисунок 6.3 – Алгоритм работы декодера многозначной АЛС

6.4 Структура и принцип работы устройства управления и индикации

Устройство управления и индикации получает информацию с декодера, рукоятка бдительности (РБ) и датчик скорости (ДС) обрабатывает ее и отображает данные машинисту.

Принцип работы основан на том, что когда приходит информация из декодера, она обрабатывается и определяется контроллером скорости. Скорость выводится на семисегментный индикатор контролирующей скорости и локомотивный светофор. Опрашивается датчик скорости и выводится информация о фактической скорости на семисегментный индикатор фактической скорости. Если фактическая скорость меньше контролирующей, устройство выполняет повторный опрос декодера. Если поезд превысил контролирующую, контроллер проверяет не выше ли она предельной. При превышении, включается звуковая сигнализация и включается экстренное торможение. Когда скорость меньше предельной, для продолжения движения на такой скорости, машинист должен нажать рукоятку бдительности (РБ). На это ему дается 20с. Если СП не было нажато включается мигание индикатора контролирующей скорости, включается звуковая сигнализация и включается экстренное торможение. Если нажата, включается мигание индикатора контролирующей скорости и продолжается движение на данной скорости.

На рис.6.4. представлена структурная схема устройства управления и индикации многозначной АЛС. Оно состоит из следующих элементов:

- устройство управления и индикации 1 и 2;
- рукоятка бдительности (РБ);
- датчик скорости (ДС);
- электропневматический клапан (ЭПК);
- локомотивный светофор (ЛС);
- звуковая сигнализация;
- семисегментный индикатор контролирующей и фактической скорости.

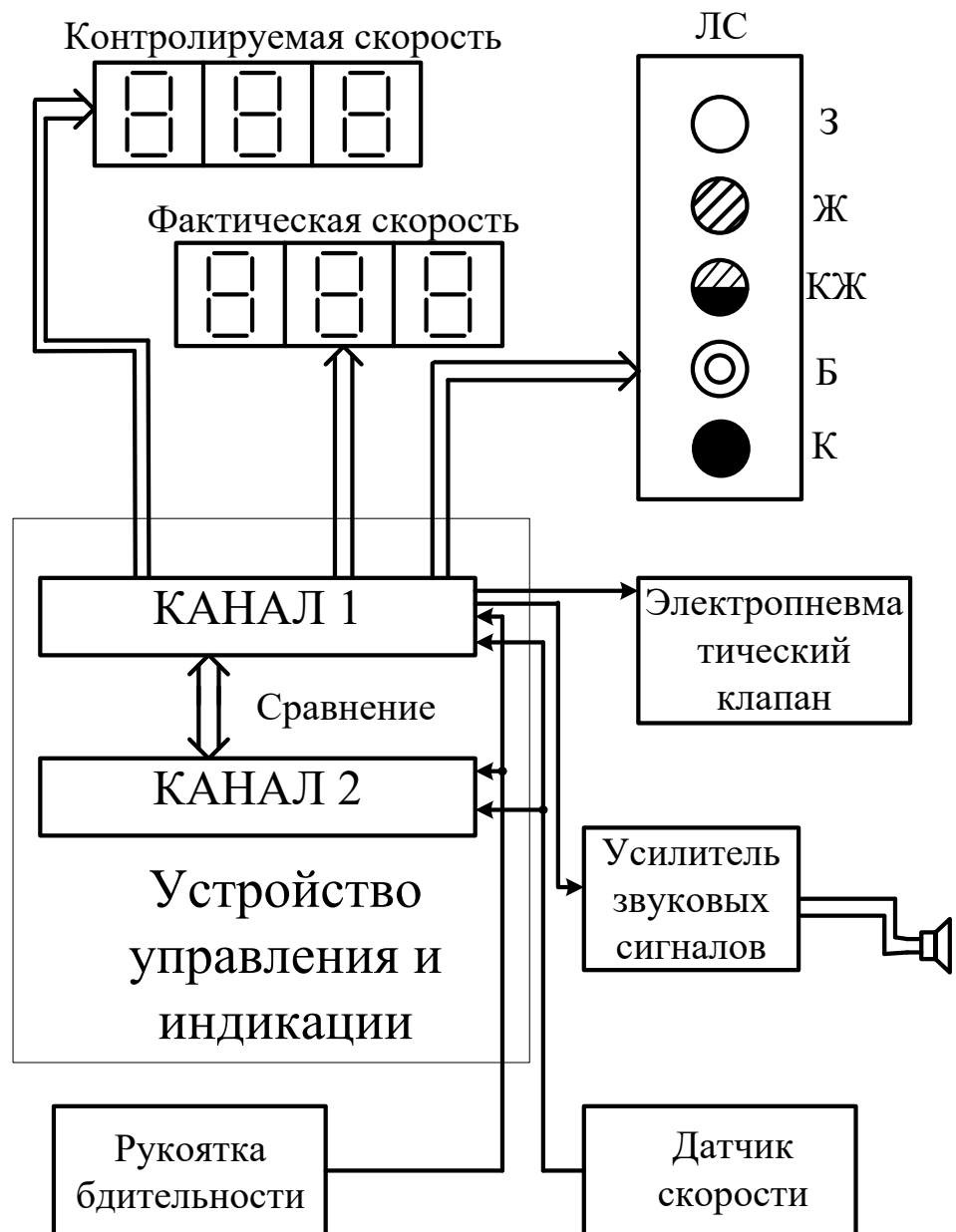


Рисунок 6.4 – Структура устройства управления и индикации многозначной АЛС



Максимальная скорость – 160км/ч.

В начале работы, происходит считывание фактической скорости и вывода ее на индикатор. Далее система проверяет, поступает команда на устройство

управления. Если команда отсутствует, то система проверяет получалась ранее команда 1. Если да, то переходим по метке 2. Если не было, то включаем индикацию белого света на локомотивном светофоре и переходим по метке 1 на начало алгоритма.

Если команда поступает, выполняется сравнение ее с предыдущей. Когда команда изменилась, происходит проверка, нажал ли машинист однократно рукоятку бдительности и происходит определение полученной команды.

Система проверяет команду 9. Если она, то индикация зеленого света и переход на начало алгоритма. Если нет, проверяется команда 8 и так все команды по очереди.

Если получено команду 8, включается индикация желтого света и скорости до 160 км/час. Команда сигнализирует о снижении скорости на следующем блок - участке.

Получено команду 6 . Индикация желтого света и скорости до 120км/ч. Выполняется проверка фактической скорости. Если она больше 120км/ч, то выполняется периодический контроль бдительности и переход по метке 1. Если меньше – сразу переходим по метке 1.

Получено команду 4 . Индикация желтого света и скорости до 80км/ч. Выполняется проверка фактической скорости. Если скорость больше 120км/ч, мы переходим к пометке 3 и выполняется экстренное торможение. Если меньше, проверяем она больше 80км/ч. Если да, выполняется периодический контроль бдительности и переход по метке 1. Если нет – сразу переходим по метке 1 .

Получено команду 1. Индикация красно – желтого света (КЖ). Выполняется проверка фактической скорости. Если она больше 80км/ч, то выполняется переход по метке 3 и экстренное торможение . Если меньше – выполняется периодический контроль бдительности и переходим по метке 1.

Команда отсутствует. Индикация красного света. Проверка фактической скорости, больше чем 20км/ч. Если да, выполняется экстренное торможение. Если нет - периодический контроль бдительности и переход по метке 1.

Таблица 6.1

Сигнализация и номера команд для пассажирского и грузового поездов при централизованной АБ

Пассажирский	3160	Ж160	Ж120	Ж80	КЖ	К
Грузовой	3100	Ж100	Ж80	Ж50	КЖ	К
Команда АЛСЧ	9	8	6	4	1	-

В таблице 6.1 приведена сигнализация и номера команд для пассажирского и грузового поездов при централизованной автоблокировке.

При данной сигнализации информация выводится о свободности 4-х блок-участков.

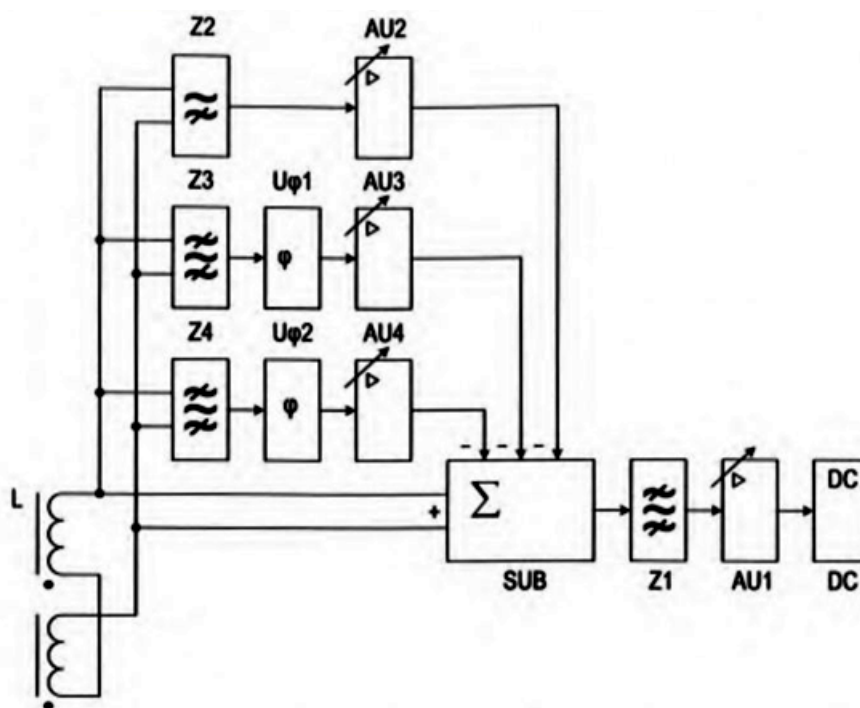


Рисунок 6.12 – Устройство компенсации помех в токе АЛС

Для замены старых фильтров на новые необходимо время и финансовые ресурсы. Чтобы частотные характеристики не ухудшались во время эксплуатации и не изменялись при движении поездов, особенно большегрузных, необходима модернизация фильтров, например, за счет использования дополнительных каскадов фильтрации или способа компенсации помех.

Блок-схема одного из вариантов модернизации локомотивного приемника АЛС с несколькими каналами компенсации помех показана на рис. 6.12. Наиболее высокие уровни помех генерируют обычно первая и третья или вторая и четвертая гармоники тягового тока при электротяге соответственно переменного и постоянного токов. В запатентованном локомотивном приемнике сигналов АЛС отдельно компенсируются помехи от этих и других гармоник тягового тока.

В схеме этого приемника алгебраический сумматор SUB имеет три отрицательных входа. Полосовой фильтр Z3 настраивается на пропуск первой гармоники тягового тока при электротяге переменного тока второй гармоники при электротяге постоянного тока, другой полосовой фильтр Z4 - на пропуск третьей гармоники при электротяге переменного тока и на пропуск четвертой гармоники при электротяге постоянного тока. Через фильтр высокой частоты Z2 проходят все гармоники тягового тока с частотами 250 Гц и выше.

Первый фазовращатель $U_{\phi 1}$ и усилитель с регулируемым коэффициентом усиления AU3 компенсируют изменения фазы и амплитуды, которые вносятся полосным фильтром Z3 в сигнал помехи от первой или второй гармоники тягового тока. Второй фазовращатель $U_{\phi 2}$ и усилитель с регулируемым коэффициентом усиления AU4 компенсируют изменения фазы и амплитуды, которые вносятся полосным фильтром Z4 в сигнал помехи от третьей или четвертой гармоники тягового тока. Усилитель AU2 с регулируемым коэффициентом усиления, включенный на выходе фильтра высокой частоты Z2, корректирует амплитуды помех от более высоких гармоник тягового тока.

Составляющие сигнала помехи компенсируются в алгебраическом сумматоре SUB. В результате в сигнале на его выходе резко уменьшается уровень помехи. Это существенно повышает качество работы фильтра.

Выводы

Подводя итоги приведенных выше результатов исследований, можно сделать вывод, что одной из наиболее распространенных причин возникновения сбоев в работе АЛС являются электромагнитные помехи. Эти помехи могут возникать на отдельных участках железной дороги и их источником могут быть тяговые подстанции, электроподвижной состав, продольные линии электропитания устройств СЦБ, высоковольтные линии электропередачи, которые пересекают железнодорожные пути, намагниченность рельсов и др.

Помехи с промышленной частотой и инфразвуковой частотой могут привести к возникновению сбоев в работе АЛС. Но существующие методы обработки сигналов при расшифровке кодов АЛС не позволяют определить их. Фурье анализ сигнального тока, записанного для достаточно больших промежутков времени во время поездки вагон-лаборатории, не даёт значительного результата, поскольку появление кратковременной помехи в сигнале тока АЛСН не будет заметно на общей спектрограмме. Но зато Фурье анализ сигнала позволяет определить временную локализацию помехи в сигнальном токе.

Проверка вагоном-лабораторией позволяет выявить в первую очередь отступление в регулировании РЦ и аппаратуры кодирования, но не дает возможности определить фазовые соотношения токов АЛС, величину обратного тока в рельсах и спектр помех, асимметрию сигнального и тягового токов, вычислить параметры рельсовых цепей по значению тока локомотивной сигнализации в начале и в конце линии.

Перечень параметров контролируемых вагоном-лабораторией, оборудованным разработанным аппаратно-программным комплексом, расширяется. По предлагаемому в работе методу измерения параметров рельсовых цепей на базе вагона-лаборатории позволяет проводить оценку состояния рельсовых цепей путем косвенных измерений и сравнения полученных характеристик с теоретическими, соответствующими нормированным с точки зрения нормального функционирования РЦ. Время, потраченное на проверку состояния РЦ,

сокращается, а также облегчаются условия труда обслуживающего персонала и исключается субъективность при проведении измерений.

Локомотивное оборудование АЛС нуждается в комплексной модернизации. Для замены старых фильтров на новые необходимо время и финансовые ресурсы. Чтобы частотные характеристики не ухудшались во время эксплуатации и не изменялись при движении поездов, необходимо обновление фильтров за счет использования дополнительных каскадов фильтрации или способа компенсации помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохов І.В., Бадьор М.П., Гаврилюк В.І., Сиченко В.Г. Про електромагнітну сумісність електрифікованих ліній постійного струму // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 2. – С. 10-12.
2. Порядок технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування : СТП 13-005:2020: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 18.06.2020. – Київ, 2020. – 120с.
3. Інструкція про порядок користування автоматичною локомотивною сигналізацією безперервного типу (АЛС) і пристроями контролю пильності машиніста на залізницях України: ЦТ-ЦШЕОТ-0027: Затв. Наказом Міністерства транспорту України 27.01.2000. - Київ, 2000. - 30с.
4. Устройства АЛСН. Технические указания на выполнение работ по обслуживанию локомотивных и стационарных устройств на КП АЛСН: РМ 32 ЦШ 09.23-84: М-ва путей сообщения СССР. – М., 1985. – 24 с.
5. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. – Київ, 2006. – 433с.
6. Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации. – М.: Транспорт, 1982.-255с.
7. Новиков М.А., Петров А.Ф., Степанов Н.М. Проектирование автоматической блокировки на железных дорогах. - М.: Транспорт , 1979. -328с.
8. Путевая блокировка и авторегулировка / Котляренко Н.Ф., Шишляков А.В., Соболев Ю.В., Скрыпник И.З., Шишляков В.А. / Под ред. Н.Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.
9. Трепшин В.Ф., Швидкий Ю.А. Система «Контроль» // Автоматика, телемеханика и связь. – 1988. - №3. – С.22-25.
10. Трепшин В.Ф., Швидкий Ю.А., Хохряков Г.В. Система «Контроль». Технические решения // Автоматика, телемеханика и связь. – 1988. - №10. – С.26-31.

11. Аппаратура «Контроль». Техническое описание и инструкция по эксплуатации: 8402 ТО: М-ва путей сообщения СССР. – М., 1988. – 120 с.
12. Методика выполнения измерений параметров кодов АЛСН в вагонелaborатории Приднепровской ж.д.: Утв. Службой сигнализации и связи Приднепровской ж.д. 08.05.2003. – Днепропетровск, 2003. – 27 с.
13. Лукоянов С.В. Системе МИКАР: технические средства и методы измерения // Автоматика, связь, информатика. – 2004. - №2. – С.33 – 36.
14. Дмитренко И.Е., Алексеев В.М., Талалаев В.И., Ферюкин Н.В. Автоматизированная система измерения и контроля параметров аппаратуры СЦБ «ТЕСТ» // Автоматика, связь, информатика. – 2000. - №3. – С.2-4.
15. Володарский В.А., Куликов И.И. Возможности повышения качества анализа сбоев АЛСН // Автоматика, связь, информатика. – 2003. - №10. – С.28 – 29.
16. Шаманов В.И., Косякин В.В., Березовский Г.С., Пультяков А.В. Обеспечение надежности токопроводящих элементов рельсовой линии при электротяге переменного тока // Автоматика, связь, информатика. – 2002. - № 12. – С. 28 - 32.
17. Володарский В.А., Куликов И.И. Применение прибора УПН-АЛС/03 для измерения параметров кодов АЛСН // Автоматика, связь, информатика. –
18. Гофман И.Я., Белинский П.Н. Измеритель временных параметров кодов АЛСН в рельсовых цепях // Автоматика, телемеханика и связь. – 1981. - №7. – С.21-24.
19. Логинов С. Н., Брунштейн В.А. Измеритель временных параметров кодовых сигналов // Автоматика, телемеханика и связь. – 1997. - №1. – С.32.
20. Скрипник И.Н. Измерение параметров кодов АЛСН на перегоне//Автоматика, связь, информатика. – 2002. - №8. – С.47.
21. Мартычук П. П. О расхождении показаний при измерении в рельсовых цепях // Автоматика, связь, информатика. – 2000. - №2. – С.24-25.
22. Перникис В.Д., Ягудин Р.Ш. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. – М.: Транспорт, 1984. – 240 с.

23. Sentarius P., Vasenka P. Frequency characteristics of electricity supply net work impedance // International Wroclaw Symposium on electromagnetic compatibility. EMC-88. – Wroclaw (Poland).- 1988. – P.743-748.

24. Соболев Ю.В. Путевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта. – Харьков:ХФИ «Транспорт Украины», 1999. – 200 с.

25. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник/ В.С. Аркатов, Н.Ф. Котляренко, А.И. Баженов, Т.Л. Лебедева/ Под ред. В.С. Аркатова. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с.

26. Резников М.С., Табунщиков А.К., Барышев Ю.А., Крылов А.Ю. Определение сигнальных токов маневровой локомотивной сигнализации в рельсовых нитях // Совершенствование автоматизации управления движением поездов. – Москва: МИИТ. – 1984. – №741. – С. 45-50.

27. Бардина Г.Д., Беленький Н.М., Ким Д.В., Мейстрик Р.К. О методике оценки качества рельсовых цепей, подверженным опасным влияниям // Исследование эксплуатационной надежности устройств автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. Сборник научных трудов. – Ташкент. – 1983. - С.55-58.

28. Поздеев М.Я, Трепшин В.Ф. Некоторые вопросы автоматизации измерений параметров рельсовой линии и канала АЛС // Труды ЦНИИ МПС. – 1974. –вып. 350. – С.4 – 10.

29. Соколов В.И. Цифровой измеритель параметров рельсовых цепей // Автоматика, связь, информатика. – 2002. – № 12. – С. 6 – 8.

30. Поздеев М.Я, Трепшин В.Ф. Некоторые вопросы автоматизации измерений параметров рельсовой линии и канала АЛС // Труды ЦНИИ МПС. – 1974. –вып. 350. – С.4 – 10.

31. Кирикашвили А.П., Денисенко О.Н. Контрольно-сигнальное устройство измерительной аппаратуры вагона-лаборатории АЛСН // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 5. – С. 17 – 20.

32. Беляков И.В. Флуктуационные помехи рельсовых линий от переменного тягового тока // Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: МИИТ.– 1988. - №790. – С. 69-72.

33. Брылеев А.М. Критерии работы рельсовых цепей с учетом токов помех // Исследование элементов устройств автоматики и телемеханики на ж.д. транспорте. Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: МИИТ. – 1980. - № 664. – С.3-17.

34. Леушин В.Б., Юсунов Р.Р., Дубинина Н.Е., Вековищев А.В. Метод исследования параметров импульсных помех в каналах АЛС // Исследование и разработка ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте. Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. – Самара: СамИИТ. – 2001. -№21.– С.139-141.

35. Леушин В.Б., Юсунов Р.Р., Дубинина Н.Е. Об одном методе статического анализа параметров импульсных помех в каналах АЛС // Исследование и разработка ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте. Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. – Самара: СамИИТ. – 2001.- №21. – С.142-144.

36. Малай Г.П., Попов А.А. Влияние помех на работу АЛСН при движении по мосту // Автоматика, телемеханика и связь. – 1983. - №8. – С. 7-8.

37. Бадер М.П. Экспериментальное исследование гармонического состава тока в тяговой сети и рельсовых цепях // Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: МИИТ. – 1984. - №756 – С.17-20.

38. Gavriluk V.I., Serdyuk T.N. Telemetric system for the control of signal parameters of rail circuits // Transport systems telematics. II International Conference. – Katowice-Ustron (Poland). – 2002. – P.185 - 190.

39. Gavriluk V.I., Serdyuk T.N. To the question about checking parameters of code current of rail circuit // Transport systems telematics. III International Conference. – Katowice-Ustron (Poland). – 2003. – P.127 - 135.

40. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. About electromagnetic compatability of railway with the traction supply system of railway // Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте (ЕМС-Р 2007): Тезисы I Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2007. – С.44-45.

41. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Определение первичных и вторичных параметров рельсовой цепи // Электромагнитная совместимость на железнодорожном транспорте (ЕМС-Р 2007): Тезисы I Международной научно-практической конференции. – Д.:ДИИТ. - 2007. – С.87 - 88.

42. Сердюк Т.Н., Гаврилюк В.И. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті . – 2007, №4, С.108-112.