

На правах рукописи



Хохрин Алексей Сергеевич

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ КАНАЛА
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА**

2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения».

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Юсупов Руслан Рифович

Официальные оппоненты:

Демьянов Владислав Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Табунщиков Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта»

Ведущая организация Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»)

Защита состоится «24» июня 2025 года в 13:30 на заседании диссертационного совета 44.2.006.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения» по адресу: 443066, г. Самара, ул. Свободы, 2 В, ауд. 5216

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат <https://www.samgups.ru/>

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Исайчева Алевтина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г., утвержденная Правительством РФ от 17.06.2008 г. № 877-р, предполагает развитие тяжеловесного движения и увеличение скоростей движения поездов, обуславливающие внедрение нового тягового подвижного состава повышенной мощности. При этом повышается интенсивность воздействия дестабилизирующих факторов на железнодорожную инфраструктуру, в частности, на системы интервального управления движения поездов (ИУДП), задача которых – обеспечение высокой эффективности и безопасности перевозочного процесса. К таким системам относятся автоблокировка, автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС) и др.

Автоматической локомотивной сигнализацией непрерывного типа (АЛСН) оборудовано более 70 % эксплуатационной длины магистральных железнодорожных линий России. Опыт эксплуатации показывает недостаточную устойчивость ее функционирования, выражающуюся в значительном числе сбоев в ее работе. Они оказывают негативное влияние на процесс ИУДП, снижая уровень безопасности движения и пропускную способность перегонов и станций.

Статистический анализ сбоев в работе АЛСН на железной дороге за период с 2018 по 2022 гг. показывает, что доля сбоев первой категории ежегодно растет (с 32,8 % в 2018 г. до 48,8 % в 2022 г.). Одной из важнейших причин этих сбоев являются электромагнитные помехи, воздействующие на локомотивный приемник канала АЛСН. За этот же период доля сбоев, вызываемых помехами, в общем числе сбоев третьей категории увеличилась с 36,7 % до 53,1 %.

С 2018 по 2022 гг. на железной дороге доля локомотивов, оборудованных микропроцессорными локомотивными устройствами безопасности (МЛУБ) (комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У, безопасный локомотивный объединенный комплекс БЛОК, дешифратор кодовых сигналов микропроцессорный ДКСВ-М), увеличилась с 53,3 % до 87,0 %. Цифровая обработка сигналов АЛСН, применяемая в МЛУБ, создает возможности разработки и реализации в локомотивном приемнике канала АЛСН помехоустойчивых способов и алгоритмов приема и тем самым повышения устойчивости функционирования канала АЛСН.

С учетом изложенного, повышение помехоустойчивости приемника канала АЛСН в МЛУБ является актуальной научно-технической задачей.

Диссертационная работа выполнялась при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках конкурса «УМНИК» по договору 18461ГУ/2023 от 16.08.2023 г. о предоставлении гранта на выполнение научно-исследовательских работ и оценку перспектив коммерческого использования результатов в 2024-2026 гг., тема НИР: «Разработка

корреляционного приемного устройства автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа для железных дорог Российской Федерации».

Степень разработанности темы. Исследованием электромагнитной обстановки в каналах систем автоматики и телемеханики занимались известные ученые: В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, В.И. Шаманов, Н.Ф. Котляренко, И.В. Беляков, С.В. Бушуев, Е.М. Тарасов, Ю.М. Иваненко, А.Е. Пыров, П.Ф. Бестемьянов, В.Б. Леушин, А.К. Табунщиков, А.В. Пультяков, Ю.А. Трофимов, Г.П. Малай, В.А. Засов и другие.

Значительный вклад в развитие и модернизацию локомотивных устройств АЛС внесли: А.М. Брылеев, В.М. Лисенков, Е.Н. Розенберг, Д.В. Шалягин, В.В. Демьянов, А.В. Вековищев, Р.Р. Юсупов, В.С. Дмитриев, В.И. Астрахан, М.П. Бадёр, К.А. Бочков, А.И. Годяев, А.В. Горелик, Е.Г. Щербина и другие.

Целью диссертационной работы является повышение помехоустойчивости приемника сигналов канала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа.

Для достижения указанной цели в диссертации сформулированы следующие задачи:

- анализ современного состояния научно-технической проблемы устойчивости функционирования АЛСН в условиях действия помех;
- разработка алгоритма функционирования и имитационной модели помехоустойчивого приемника сигналов АЛСН;
- исследование на имитационной модели алгоритма функционирования помехоустойчивого приемника сигналов АЛСН при наличии дестабилизирующих факторов и оценка его помехоустойчивости при воздействии аддитивных флуктуационных, импульсных и гармонических помех;
- техническая реализация помехоустойчивого приемника сигналов АЛСН и сравнительная оценка его помехоустойчивости в условиях, приближенных к условиям функционирования при реализации процесса ИУДП.

Объектом исследования является автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа АЛСН, реализующая процесс ИУДП.

Предметом исследования являются методы приема амплитудно-манипулированного сигнала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН.

Научная новизна полученных автором диссертации результатов состоит в следующем.

1. Предложен способ поэлементного приема сигналов АЛСН, отличающийся применением квадратурного амплитудного детектирования огибающей с восстановлением ее амплитуды, позволяющий вследствие инвариантности результата детектирования к начальной фазе принимаемого несущего колебания отказаться от

системы фазовой автоподстройки частоты, что снижает сложность приемника, а также устранить снижение его чувствительности за счет восстановления амплитуды огибающей.

2. Предложен способ подавления импульсных помех на основе нелинейного преобразования, отличающийся применением амплитудного ограничения в импульсах сигналов АЛСН и бланкирования в его интервалах, позволяющий уменьшить влияние помех.

3. Разработана методика определения порога амплитудного ограничения или бланкирования импульсных помех, учитывающая временные параметры сигнала АЛСН и условия его распространения по рельсовой линии, что позволяет обеспечить эффективное нелинейное подавление импульсных помех без искажения сигнала.

4. Разработан алгоритм обработки сигнала АЛСН с квадратурным амплитудным детектированием огибающей и восстановлением ее амплитуды, а также применением нелинейных подавителей импульсных и гармонических помех, обеспечивающий повышение помехоустойчивости и безопасности функционирования приемника сигналов АЛСН.

Теоретическая и практическая значимость работы. В результате проведенных научно-практических исследований повышена помехоустойчивость и безопасность функционирования локомотивного приемника сигналов АЛСН в условиях действия помех. Это позволит за счет уменьшения числа сбоев в работе АЛСН снизить количество вынужденных выключений локомотивных устройств безопасности и необоснованных проверок бдительности машиниста (уменьшив психофизиологическую нагрузку на машиниста), что, в свою очередь, повысит эффективность и безопасность процесса ИУДП.

Предложенный и реализованный в работе способ приема сигналов АЛСН на основе квадратурного амплитудного детектирования огибающей с восстановлением ее амплитуды обеспечивает достоверный прием сигнала АЛСН с номинальной амплитудой при отклонениях частоты его несущей от номинального значения на 9 Гц.

Разработанный и реализованный в работе алгоритм обработки сигнала АЛСН с квадратурным амплитудным детектированием огибающей и восстановлением ее амплитуды, а также применением нелинейных подавителей импульсных и гармонических помех, согласно патенту автора «Приемник автоматической локомотивной сигнализации» № RU218341 от 23.05.2023 г., позволяет уменьшить число ошибок в работе приемника сигналов АЛСН в 3,8 раза, а долю опасных ошибок – с 95 % до 25 %.

Методология и методы исследования. В соответствии с паспортом научной специальности 2.9.4 п. 5 «Теоретические основы, методы и технические средства обеспечения безопасности движения», п. 6 «Системы и устройства автоматики и

телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, их эксплуатация, методы построения и испытания» и п. 7 «Развитие технических средств и систем управления, цифровизация управления транспортными технологическими процессами» в ходе выполнения диссертационных исследований автором использованы основные положения теории рельсовых цепей, методы имитационного моделирования на ЭВМ и статистического анализа, методы нелинейной обработки сигналов. Расчеты выполнены с использованием математических пакетов MATLAB (в том числе среды имитационного моделирования Simulink) и Mathcad.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Предложенный способ приема сигналов АЛСН, отличающийся применением квадратурного амплитудного детектирования огибающей с восстановлением ее амплитуды, позволяет вследствие инвариантности результата детектирования к начальной фазе принимаемого несущего колебания отказаться от системы фазовой автоподстройки частоты, что снижает сложность приемника, а также устранить снижение его чувствительности за счет восстановления амплитуды огибающей.

2. Предложенный способ подавления импульсных помех на основе нелинейного преобразования, отличающийся применением амплитудного ограничения в импульсах сигналов АЛСН и бланкирования в его интервалах, позволяет уменьшить влияние помех.

3. Разработанный алгоритм обработки сигнала АЛСН с квадратурным амплитудным детектированием огибающей и восстановлением ее амплитуды, а также применением нелинейных подавителей импульсных и гармонических помех, позволяет повысить помехоустойчивость и безопасность функционирования приемника сигналов АЛСН и тем самым повысить эффективность и безопасность процесса ИУДП.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность результатов исследований подтверждена тем, что теоретические результаты полученные в ходе выполнения диссертации, согласуются с результатами полунатурного эксперимента: экспериментальный образец помехоустойчивого приемника в сравнении с приемником сигналов АЛСН комплексного локомотивного устройства безопасности допустил в 3,8 раза меньше ошибок в приеме, при этом доля опасных ошибок уменьшилась с 95 % до 25 %.

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены в работе научно-практических конференций, в том числе: IV Всероссийской научно-практической конференции «Образование – Наука – Производство» (г. Чита, 2020 г.); XIV-XVII Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (г. Самара, 2021-2024 гг.); II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.);

VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов «Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения» (г. Челябинск, 2023 г.); Международной научно-практической конференции «Транспортная наука и инновации», посвященной юбилею СамГУПС (г. Самара, 2023 г.); IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование: достижения и перспективы» (г. Саратов, 2024 г.).

Предложенный способ подавления импульсных помех на основе нелинейного преобразования в виде амплитудного ограничения и бланкирования использован в Кинельской дистанции сигнализации, централизации и блокировки – структурном подразделении Куйбышевской дирекции инфраструктуры – Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД».

Теоретические результаты исследований используются в ФГБОУ ВО ПривГУПС в учебном процессе на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» при чтении лекций, проведении практических занятий и лабораторных работ, выполнении курсовой работы по курсам «Теория передачи сигналов» и «Микропроцессорные и микроэлектронные системы перегонной автоматики».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ общим объемом 11 п. л. (личный вклад автора – 4,99 п. л.), в том числе: 2 – входящие в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, 8 – в ведущих рецензируемых журналах, определенных ВАК Минобрнауки России для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получен 1 патент на полезную модель и 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, имеющего 114 наименований и семи приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 203 страницы, включая 69 рисунков, 20 таблиц и 32 страницы приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены вопросы актуальности диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, представлены апробация и внедрение результатов исследования.

Глава 1 посвящена анализу проблемы повышения устойчивости функционирования автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН.

На примере статистики сбоев в работе АЛСН на железной дороге за период с 2018 по 2022 гг. проведен их анализ, показавший, что помехи в канале АЛСН, вызывая до 18,5 % от всех принятых к учету сбоев, являются одной из важнейших причин их возникновения. Значительное влияние на устойчивость функционирования АЛСН оказывают помехи от тягового тока при наличии асимметрии индуктивно-рельсовой линии (ИРЛ) и помехи, вызванные неравномерной намагниченностью рельсов. Следовательно, актуальны работы по повышению устойчивости функционирования АЛСН в условиях действия помех.

Снижение числа сбоев в работе АЛСН, вызываемых помехами, представляется целесообразным путем разработки новых научно-технических решений, позволяющих уменьшить количество ошибок при приеме сигнала АЛСН, допускаемых локомотивным приемником, за счет повышения его помехоустойчивости. Такой подход потребует существенно меньшего объема организационно-технических мероприятий по сравнению с повышением качества технического содержания верхнего строения пути (для уменьшения асимметрии рельсовой линии (РЛ) и неравномерности намагниченности рельсов) на всех участках железных дорог, оборудованных АЛСН.

Анализ актуальных методов и технических решений, применяемых для повышения помехоустойчивости приемника канала АЛСН, показал, что наиболее перспективными с точки зрения эффективности применения, простоты реализации и внедрения представляются решения, основанные на положениях теории оптимального приема, нелинейном преобразовании сигнала и компенсации помех, причем реализуемые посредством цифровой обработки сигналов АЛСН в микропроцессорном приемнике. Такие решения не снижают надежность аппаратуры локомотивных устройств безопасности, не требуют индивидуальной настройки на локомотиве и не увеличивают затраты на их техническое содержание.

Согласно теории оптимального приема, алгоритм функционирования и структура оптимального (в смысле минимального искажения сообщений) приемника во многом определяются свойствами принимаемого сигнала. Для выбора структуры оптимального приемника проанализирован процесс распространения сигнала АЛСН в РЛ при движении поезда от ее приемного конца к передающему. Принимаемый на локомотиве сигнал при отсутствии помех имеет вид

$$s(t) = a(t) \cdot A \cdot f(t) \cos[\omega_n t - \varphi_n(t)], \quad (1)$$

где $a(t)$ – множитель, характеризующий изменение амплитуды сигнала в ИРЛ; A – амплитуда сигнала на входе РЛ; $f(t)$ – функция амплитудной манипуляции (огibaющая сигнала АЛСН) – последовательность видеоимпульсов, формируемая кодовым путевым транзиттером; ω_n – угловая частота колебаний несущей; $\varphi_n(t)$ – фазовый сдвиг несущей сигнала на выходе РЛ относительно сигнала на входе РЛ.

Величины $a(t)$ и $\varphi_n(t)$ в выражении (1) определяются первичными параметрами РЛ, ее длиной, частотой несущей, а также для конкретной рельсовой цепи (РЦ) зависят от ординаты поездного шунта, непрерывно изменяющейся во времени в процессе движения поезда.

Для оценки диапазона возможных значений $a(t)$ и $\varphi_n(t)$ с применением теории РЦ получены зависимости $a(x)$ и $\varphi_n(x)$, позволяющие определять изменение амплитуды и фазы тока $\dot{I}_л$ в рельсовых нитях под локомотивными приемными катушками (ЛПК) при любой ординате x поездного шунта:

$$a(x) = \left| \frac{\dot{I}_л(x)}{\dot{I}_{л.к}} \right|, \quad (2)$$

$$\varphi_n(x) = \arg(\dot{I}_л(x)), \quad (3)$$

где $\dot{I}_{л.к}$ – средняя величина тока в рельсовых нитях под ЛПК в момент нахождения локомотива в конце РЛ, а

$$\dot{I}_л(x) = \frac{\dot{E}_3}{D_л(x) \cdot Z'_{вхн} + B_л(x)}, \quad (4)$$

где $B_л, D_л$ – коэффициенты рельсового четырехполюсника; $Z'_{вхн}$ – обратное входное сопротивление аппаратуры в начале РЛ; \dot{E}_3 – ЭДС эквивалентного генератора,

$$\dot{E}_3 = \left(Z_б \operatorname{sh} \gamma l + \frac{Z_{ш} Z_{вхк}}{Z_{ш} + Z_{вхк}} \operatorname{ch} \gamma l \right) \dot{I}_{л.к \min} + Z'_{вхн} \left(\frac{1}{Z_б} \frac{Z_{ш} Z_{вхк}}{Z_{ш} + Z_{вхк}} \operatorname{sh} \gamma l + \operatorname{ch} \gamma l \right) \dot{I}_{л.к \min};$$

$Z_б, \gamma, l$ – соответственно волновое сопротивление, коэффициент распространения и длина симметричной РЛ; $Z_{ш}$ – полное сопротивление поездного шунта; $Z_{вхк}$ – входное сопротивление устройств согласования в конце РЛ, на выходе которых подключен путевой приемник РЦ.

На основании (2)-(4) получены зависимости

$$a(x) = \left| \frac{\dot{E}_3}{\dot{I}_{л.к \min} [D_л(x) \cdot Z'_{вхн} + B_л(x)]} \right|, \quad (5)$$

$$\varphi_n(x) = \arg \left(\frac{\dot{E}_3}{D_л(x) \cdot Z'_{вхн} + B_л(x)} \right), \quad (6)$$

где $\dot{I}_{л.к \min}$ – минимальный расчетный ток под ЛПК в конце РЛ, при электротяге постоянного тока принимаемый равным 2 А.

Согласно (5) и (6) выполнены расчеты для двух числовых кодовых РЦ с $f_n = 50$ Гц и построены графики, представленные на рисунке 1, а) и б) соответственно. Они показывают, что амплитуда сигнала АЛСН может изменяться в 3,6 (при $r_n = 50$ Ом·км и $l = 1$ км) – 24 раза (при $r_n = 0,5$ Ом·км и $l = 2,6$ км), а фазовый сдвиг соответственно – от минус $2,37^\circ$ до $77,46^\circ$. Следовательно, задачу приема сигналов АЛСН на локомотиве следует рассматривать как задачу различения

радиосигналов со случайными амплитудой и начальной фазой, существенно зависящими от длины РЛ и сопротивления ее изоляции.

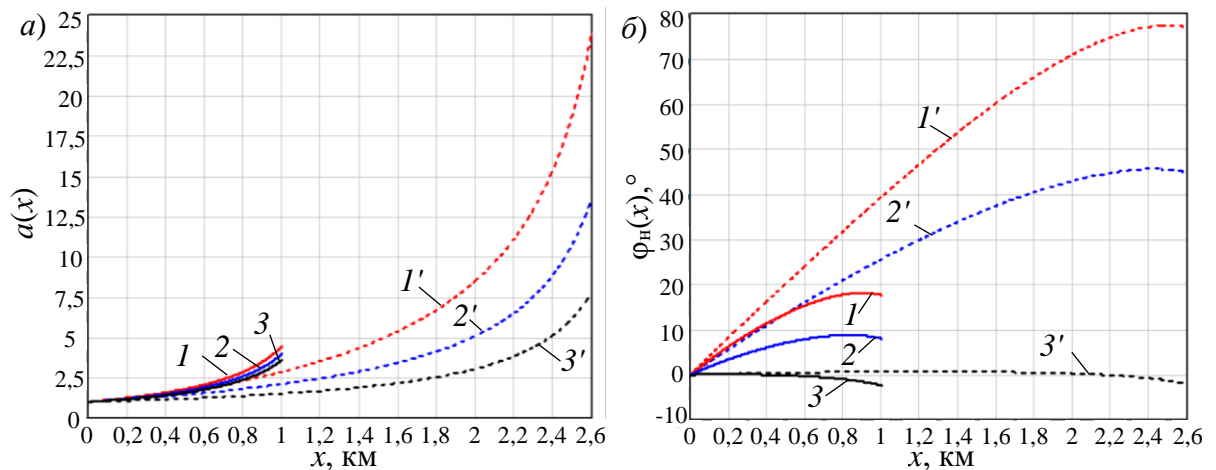


Рисунок 1 – Графики зависимости $a(x)$ и $\varphi(x)$: 1, 1' – при $r_{из} = 0,5 \text{ Ом} \cdot \text{км}$; 2, 2' – при $r_{из} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$; 3, 3' – при $r_{из} = 50 \text{ Ом} \cdot \text{км}$

Полученная зависимость $\dot{I}_n(x)$ позволяет определять амплитуду и фазу тока в рельсовых нитях под ЛПК при любой ординате x поездного шунта, что может быть полезным при решении задач анализа изменения по ординате или во времени параметров сигнала АЛСН, принимаемого на локомотиве в процессе его движения.

Глава 2 посвящена разработке способа приема сигналов АЛСН, способа подавления импульсных помех и разработке на их основе алгоритма функционирования помехоустойчивого приемника сигналов АЛСН.

Задача различения сигналов со случайными амплитудой и начальной фазой в условиях действия помех оптимальным образом решается посредством осуществляющего «прием в целом» многоканального приемника, содержащего согласованные фильтры, или корреляционного приемника с квадратурными каналами. Анализ потенциальных возможностей оптимального приема сигналов АЛСН в корреляционном приемнике с квадратурными каналами показал, что вследствие высокой взаимной корреляции кодовых сигналов АЛСН он не обеспечивает их достоверное различение даже при идеальной синхронизации принимаемых и формируемых в приемнике опорных сигналов и отсутствии помех. В ходе анализа выявлена инвариантность формируемых в оптимальном приемнике функций правдоподобия к начальной фазе несущей принимаемого сигнала. Это позволило перейти от «приема в целом» к поэлементному приему и, соответственно, более простой задаче обнаружения сигнала на фоне помех, **впервые применив способ приема сигналов АЛСН**, заключающийся в квадратурном амплитудном детектировании огибающей и восстановлении ее амплитуды (КАДВ).

В квадратурном приемнике, представленном на рисунке 2, принимаемая смесь $\xi(t)$ сигнала $s_i(t)$ и помехи $n(t)$ в квадратурных каналах перемножается с опорными

гармоническими колебаниями с частотой $\omega_{\text{оп}}$ и начальной фазой $\varphi_{\text{оп}}$. Посредством низкочастотной фильтрации выделяются квадратурные составляющие $X_c(t)$ и $X_s(t)$ огибающей, по которым формируется удвоенная (и тем самым восстановленная) по амплитуде огибающая $2X(t)$. Пороговое решающее устройство по восстановленной огибающей принимает решение о наличии или отсутствии сигнала АЛСН.

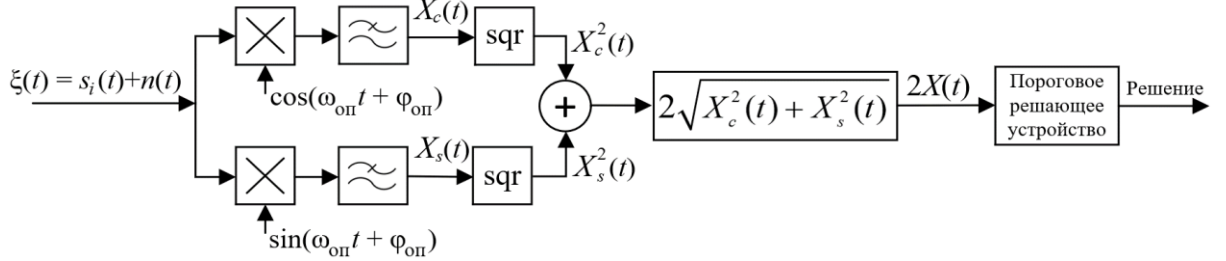


Рисунок 2 – Функциональная схема приемника сигналов АЛСН с КАДВ

Предложенный способ позволяет вследствие инвариантности результата детектирования к начальной фазе принимаемого несущего колебания отказаться от системы фазовой автоподстройки $\omega_{\text{оп}}$, что снижает сложность приемника, а также устранить снижение его чувствительности за счет восстановления амплитуды огибающей.

Исследования других авторов показывают, что для повышения помехоустойчивости приемника в условиях воздействия импульсных (ИП) и гармонических (ГП) помех целесообразно использовать нелинейную обработку сигнала. В частности, для подавления ИП применяют амплитудное ограничение и бланкирование (полное отключение приемного тракта на время действия ИП).

Для оценки эффективности блоков нелинейного преобразования (БНП) в виде амплитудного ограничителя (АО) и бланкирующего устройства (БУ) автором введены коэффициенты их эффективности ($\mu_{\text{АО}}$ и $\mu_{\text{Б}}$) и получены выражения, характеризующие зависимость этих коэффициентов от относительного порога $\rho_{\text{пор}}$ АО или БУ при воздействии ИП треугольной формы:

$$\mu_{\text{АО}}(\rho_{\text{пор}}) = \frac{E_{\text{ип}}}{E_{\text{АО}}(\rho_{\text{пор}})} = \frac{1}{2\rho_{\text{пор}}(1 - \rho_{\text{пор}}/2)}, \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Б}}(\rho_{\text{пор}}) = \frac{E_{\text{ип}}}{E_{\text{Б}}(\rho_{\text{пор}})} = \frac{1}{\rho_{\text{пор}}^2}, \quad (8)$$

где $E_{\text{ип}}$ – энергия импульса помехи до БНП; $E_{\text{АО}}$ – энергия этого же импульса после АО; $E_{\text{Б}}$ – энергия этого же импульса после БУ; $\rho_{\text{пор}} = U_{\text{пор}}/U_{\text{ип}}$; $U_{\text{пор}}$ – пороговое напряжение АО или БУ; $U_{\text{ип}}$ – амплитуда импульса помехи.

Графики зависимостей (7) и (8), представленные на рисунке 3, показывают, что эффективность АО и БУ нелинейно растет с понижением $\rho_{\text{пор}}$, при этом эффективность БУ становится значительно выше эффективности АО. Следовательно, для подавления ИП целесообразным является применение БУ с минимально возможным порогом бланкирования.

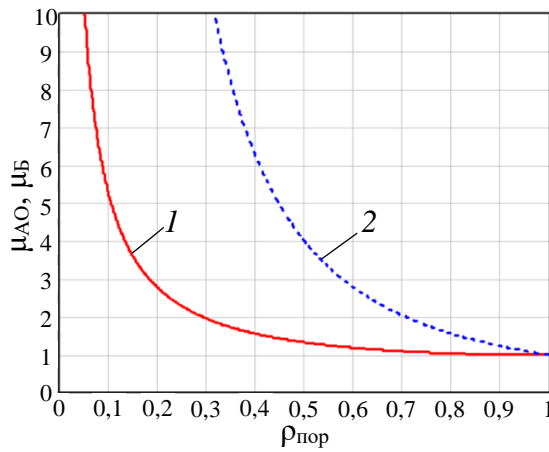


Рисунок 3 – Графики зависимостей коэффициентов $\mu_{АО}$ (1) и $\mu_{Б}$ (2) от $\rho_{пор}$ при импульсной помехе треугольной формы

Существенным недостатком БУ в отличие от АО является то, что при наличии сигнала бланкирование ИП приводит к полному подавлению не только ее, но и сигнала. Поэтому автором **впервые предложен способ подавления ИП** на основе нелинейного преобразования, когда в импульсах сигнала АЛСН для уменьшения его подавления используется амплитудное ограничение, а в интервалах сигнала, в которых колебание несущей отсутствует, для более эффективного подавления ИП используется бланкирование. Реализация способа обуславливает применение в приемнике подавителя импульсных помех (ПИП) с разветвленной структурой, содержащего АО и БУ.

Обеспечить высокую эффективность АО и БУ и в то же время предотвратить искажение в них сигнала АЛСН (при отсутствии ИП) можно, если $U_{пор}$ имеет наименьшее значение, при котором выполняется условие $U_{пор} \geq U_c$. Для определения $U_{пор}$ **разработана следующая методика**. В процессе движения локомотива амплитуда сигнала АЛСН на входе приемника увеличивается, следовательно, $U_{пор}$ также должно увеличиваться. Текущее значение $U_{пор}$ (в начале нового импульса сигнала АЛСН с увеличившейся амплитудой U_{c2} в момент времени t_2) в соответствии с рисунком 4 можно определить через амплитуду U_{c1} сигнала АЛСН в конце предыдущего импульса в момент времени t_1 :

$$U_{пор} = U_{c2} = U_{c1} + \Delta U_c = U_{c1} (1 + \Delta U_c / U_{c1}) = K_{з.пор} U_{c1},$$

где $K_{з.пор} = 1 + \Delta U_c / U_{c1}$ – коэффициент запаса по порогу амплитудного ограничения или бланкирования, значение которого определяется максимально возможной величиной ΔU_c (т. е. при наихудших условиях).

С использованием (4) получена зависимость величины $K_{з.пор}$ от ординаты x_1 места подключения локомотивного приемника (поездного шунта) в момент времени t_1 :

$$K_{з.пор}(x_1) = \left| \frac{D_{л}(x_1) \cdot Z'_{вхн} + B_{л}(x_1)}{D_{л}(x_2) \cdot Z'_{вхн} + B_{л}(x_2)} \right|, \quad (9)$$

где x_2 – ордината места подключения локомотивного приемника (поездного шунта) в момент времени t_2 , $x_2 = l - x_1 - v_d \Delta t$; v_d – максимально допустимая скорость

движения поезда, при которой возможно использование системы АЛСН; Δt – наибольшая длительность интервала между импульсами сигнала АЛСН.

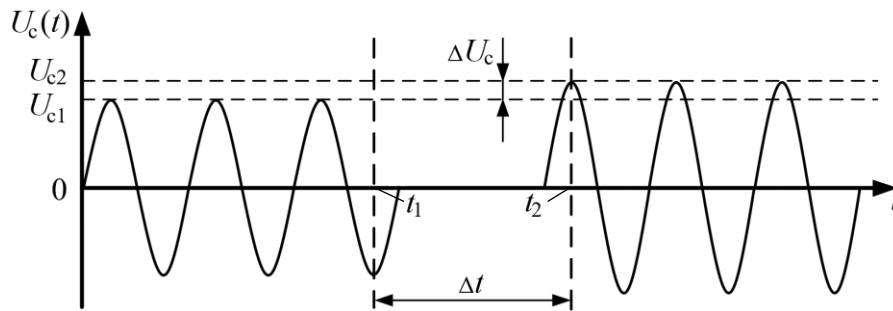


Рисунок 4 – Определение $U_{\text{пор}}$

На рисунке 5 представлены графики зависимости (9), полученной при $\Delta t_{\text{max}} = 0,83$ с (длинный интервал сигнала АЛСН и один период несущей с $f_{\text{н}} = 25$ Гц), $v_{\text{д}} = 140$ км/ч, $r_{\text{из}} = 0,5; 1; 50$ Ом·км и длине РЛ 1 и 2,6 км. Они показывают, что $K_{\text{з.пор}}$ изменяется от минимального значения (при $x_1 = 0$ в конце РЛ) до максимального (при $x_1 = l - v_{\text{д}}\Delta t_{\text{max}}$ в начале РЛ). $K_{\text{з.пор}}$ зависит не только от x_1 , но и от $r_{\text{из}}$, причем эта зависимость максимальна в конце РЛ и минимальна в начале.

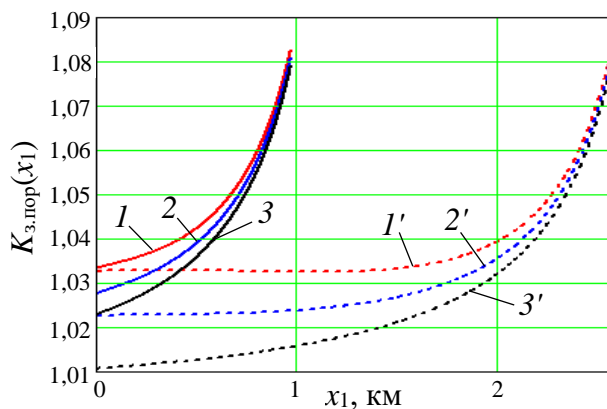


Рисунок 5 – Графики зависимости $K_{\text{з.пор}}(x_1)$: 1, 1' – при $r_{\text{из}} = 0,5$ Ом·км; 2, 2' – при $r_{\text{из}} = 1$ Ом·км; 3, 3' – при $r_{\text{из}} = 50$ Ом·км

Для максимально эффективного подавления ИП в АО или БУ значение $K_{\text{з.пор}}$ необходимо определять в каждый момент времени. Согласно (9) для расчета $K_{\text{з.пор}}$ необходимо знать текущие значения x_1 , $B_{\text{л}}$ и $D_{\text{л}}$, $Z'_{\text{вхн}}$. Эти величины являются случайными, на практике определить их значения затруднительно. Обойти это затруднение можно, используя одно значение $K_{\text{з.пор}}$, при котором не будет происходить искажение сигнала АЛСН в наихудших условиях ($l = 2,6$ км, $r_{\text{из}} = 0,5$ Ом·км). В этом случае принимаем $K_{\text{з.пор}} = 1,083$.

В качестве нелинейного подавителя гармонической помехи (ПГП) используется нелинейность с зоной нечувствительности (ЗН). Граница ЗН определяется по минимумам выделенной в квадратурном детекторе огибающей сигнала АЛСН.

В соответствии с предложенными способами поэлементного приема сигналов АЛСН и подавления ИП, а также методикой определения $U_{\text{пор}}$, **разработан алгоритм** функционирования квадратурного приемника с нелинейными преобразованиями сигнала (КПИГП), содержащий следующие основные операции по обработке сигнала:

- 1) широкополосная частотная фильтрация;

- 2) подавление ИП в ПИП;
- 3) узкополосная частотная фильтрация;
- 4) КАДВ;
- 5) подавление ГП в ПГП;
- 6) сравнение огибающей с порогом принятия решения и формирование логического импульса или интервала на выходе приемника.

Для независимой оценки эффективности применения КАДВ, ПИП и ПГП дополнительно составлены алгоритмы функционирования следующих приемников:

- 1) приемник с КАДВ (без ПИП и ПГП) – КП;
- 2) приемник с КАДВ и ПИП (без ПГП) – КПИП;
- 3) приемник с КАДВ и ПГП (без ПИП) – КПГП.

В главе 3 осуществляется имитационное моделирование приемников сигналов АЛСН.

На основе полученных алгоритмов в среде Simulink разработаны имитационные модели КП, КПИП, КПГП и КПИГП. Установлено, что при отклонении частоты несущего колебания f_n от ее номинального значения в пределах допустимого ($25 \pm 0,5$ Гц, 50 ± 1 Гц, $75 \pm 0,5$ Гц) коэффициент передачи квадратурного детектора изменяется не более чем на 0,35 %, а при отклонениях, превышающих допустимые в два раза – не более чем на 1,21 %. При наличии на входе сигнала с номинальным напряжением устойчивое функционирование квадратурных приемников в отсутствие помех обеспечивается при разности частот несущего и опорных колебаний 9 Гц. Таким образом, нестабильность f_n в условиях эксплуатации не будет оказывать значимого влияния на устойчивость функционирования квадратурных приемников.

Проведена сравнительная экспериментальная оценка помехоустойчивости и безопасности функционирования квадратурных приемников и известного приемника с амплитудным детектированием на основе скользящего окна и вычитающим устройством (АДВУ) при воздействии аддитивных флуктуационных помех (ФП), ИП, а также ГП от высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП). Под безопасностью функционирования приемников в условиях воздействия помех понимается их свойство обеспечивать технологическую безопасность АЛСН и ее безопасное поведение, т.е. не приводить к увеличению риска появления более разрешающего, чем это допускается по условиям безопасности, сигнального показания на локомотивном светофоре.

На рисунке 6 представлена диаграмма выигрышей в помехоустойчивости B_n и безопасности функционирования B_6 квадратурных приемников в сравнении с АДВУ при воздействии ФП и ИП.

Выигрыш B_n определялся при приеме сигналов кодовых комбинаций (КК) «З_{1,6}» (столбцы зеленого цвета) и «КЖ_{1,6}» (столбцы красного цвета), B_6 – при

приеме сигнала КК «КЖ_{1,6}» (столбцы синего цвета). Значения B_{Π} и $B_{\text{б}}$ при воздействии ФП определялись в диапазоне значений отношения сигнал/помеха на входе решающего устройства приемников от 4 до 34; при воздействии ИП – в диапазоне значений коэффициента асимметрии приемного тракта канала АЛСН от 5 до 50 %. Пунктирной линией в столбцах показано среднее значение B_{Π} и $B_{\text{б}}$. Величины B_{Π} и $B_{\text{б}}$ определялись в соответствии с выражениями

$$B_{\Pi} = P_{\text{ош.АДВУ}}/P_{\text{ош.КП(ИП,ГП,ИГП)}}, B_{\text{б}} = P_{\text{оп.АДВУ}}/P_{\text{оп.КП(ИП,ГП,ИГП)}},$$

где $P_{\text{ош.АДВУ}}$ – средняя вероятность ошибки при приеме элементарного сигнала (символа) в АДВУ; $P_{\text{ош.КП(ИП,ГП,ИГП)}}$ – аналогичная вероятность для квадратурных приемников; $P_{\text{оп.АДВУ}}$ – вероятность опасной ошибки (вида «ложный импульс» или «дробление импульса») при приеме элементарного сигнала (символа) в АДВУ; $P_{\text{оп.КП(ИП,ГП,ИГП)}}$ – аналогичная вероятность для квадратурных приемников.

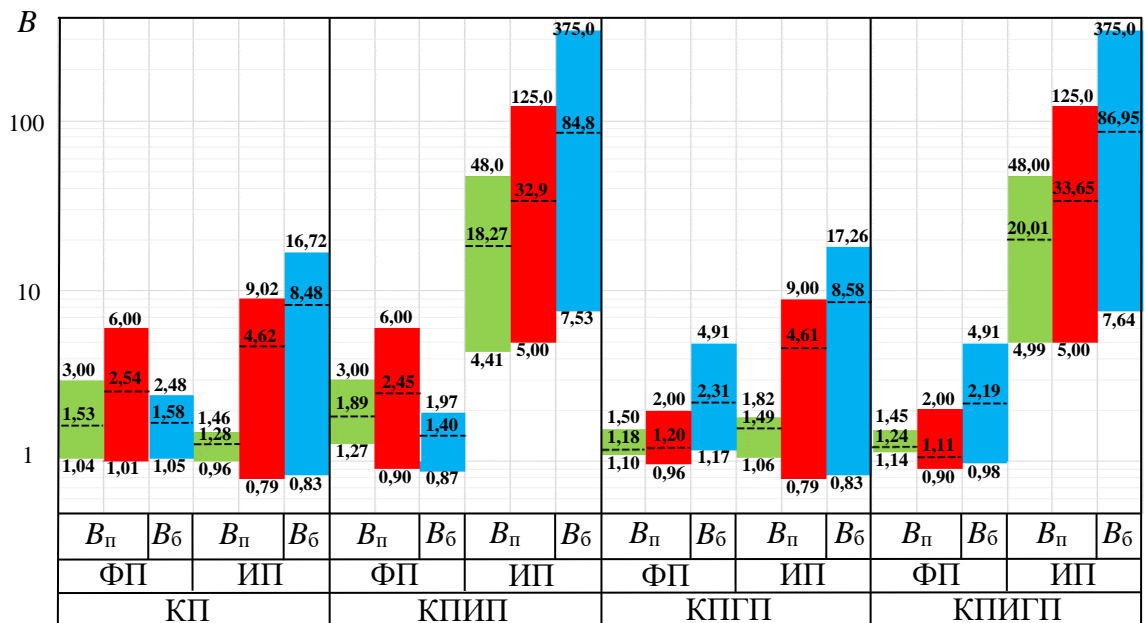


Рисунок 6 – Диаграмма выигрышей в помехоустойчивости и безопасности функционирования квадратурных приемников в сравнении с АДВУ

В эксперименте с воздействием ГП от высоковольтной ЛЭП были определены для каждого из приемников представленные в таблице 1 значения минимальной скорости $v_{\Pi \min}$ поезда в зоне влияния ЛЭП (с шагом 2,5 м/с), при которой сбой в работе АЛСН происходить не будет, при различных углах пересечения ЛЭП и железнодорожной линии. Зеленым цветом в таблице выделены ячейки с наилучшими (наименьшими) значениями $v_{\Pi \min}$, оранжевым – с наихудшими (наибольшими).

Данные в таблице 1 показывают, что при перпендикулярном пересечении ЛЭП и железнодорожной линии ($\varphi_{\text{Л}} = 90^\circ$) воздействие ГП от ЛЭП на приемники минимально, что позволяет поезду двигаться с меньшей скоростью без риска возникновения сбоя в работе АЛСН.

Таблица 1 – Значения минимальной скорости $v_{п\ min}$ поезда в зоне влияния ЛЭП, при которой сбой в работе АЛСН происходить не будет

Фл, °	$v_{п\ min}$, м/с (меньше - лучше)				
	АДВУ	КП	КПИП	КПГП	КПИГП
90	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
85	10,0	12,5	12,5	10,0	10,0
80	12,5	17,5	17,5	12,5	12,5
75	20,0	17,5	17,5	15,0	15,0
70	22,5	20,0	20,0	17,5	17,5
65	25,0	22,5	22,5	17,5	17,5
60	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
55	30,0	32,5	32,5	27,5	27,5
50	32,5	35,0	35,0	30,0	30,0
45	35,0	>35,0	>35,0	32,5	35,0
40	>35,0	>35,0	>35,0	>35,0	>35,0

Согласно таблице 1, наилучшим (с наибольшей помехоустойчивостью при воздействии гармонической помехи от ЛЭП) приемником является КПГП, незначительно хуже КПИГП, а наихудшими являются КП и КПИП.

По результатам экспериментальных исследований на моделях приемников по критерию универсальности применения (при воздействии помех всех видов без значительной потери в показателях помехоустойчивости и безопасности функционирования) для технической реализации экспериментального образца наиболее целесообразным решением, позволяющим эффективно бороться как с ИП, так и с ГП от ЛЭП, выбран КПИГП.

Глава 4 посвящена технической реализации экспериментального образца КПИГП и сравнительной оценке его помехоустойчивости и помехоустойчивости существующего приемника, реализованного в ячейке ВУ-1М локомотивного устройства безопасности КЛУБ-У. Эксперимент заключался в одновременной подаче на вход обоих приемников одинаковых сигналов АЛСН и помех и визуальном анализе осциллограмм выходных сигналов приемников на наличие ошибок в приеме. Образец КПИГП получен путем разработки ПО, реализующего алгоритм функционирования КПИГП, и программирования ячейки ВУ-1М.

Для оценки помехоустойчивости существующего приемника и КПИГП использованы записи сигналов АЛСН и помех, записанные с выхода ЛПК грузовых и пассажирских электропоездов на участках с электротягой постоянного тока. Общая продолжительность банка записей составила 70 ч 1 мин. 12 сек. При непосредственной его подаче на вход приемников амплитуда сигнала может быть меньше порога чувствительности приемника. Поэтому осуществлялось нормирование амплитуды воспроизводимых сигналов АЛСН следующим образом: все записи при их воспроизведении усиливались по напряжению с коэффициентом усиления $K_{y\ i}$, определяемым для i -ой записи таким образом, чтобы на входе приемников выполнялось условие

$$U_{mi \text{ воспр min}} = K_{yi} \cdot U_{mi \text{ зап min}} = 396 \text{ мВ},$$

где $U_{mi \text{ воспр min}}$ – минимальная амплитуда воспроизводимого на входе приемников из i -ой записи сигнала АЛСН (ее значение соответствует номинальной амплитуде сигнала АЛСН на несущей частоте 50 Гц на входе блока электроники локомотивного КЛУБ-У при электротяге постоянного тока); $U_{mi \text{ зап min}}$ – минимальная амплитуда сигнала АЛСН в i -ой записи.

Для проведения эксперимента разработан стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 7.

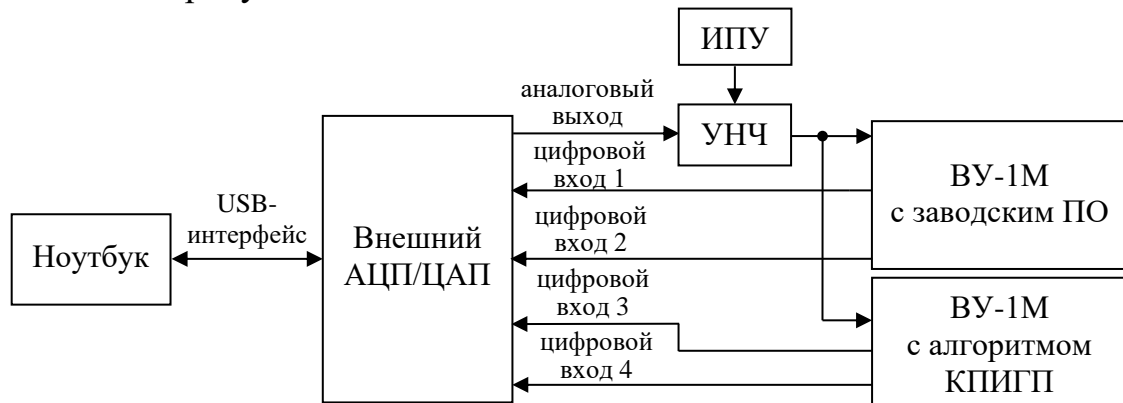


Рисунок 7 – Структурная схема стенда для проведения эксперимента

Стенд содержит ноутбук с программным обеспечением MATLAB, внешний АЦП/ЦАП с USB-интерфейсом (модуль E14-140-MD), низкочастотный усилитель напряжения (УНЧ) на базе операционного усилителя DRV134РА, источник питания усилителя (ИПУ) на базе лабораторных источников питания GPS-3030D и две ячейки ВУ-1М: одна с заводским ПО, вторая – с ПО, реализующим алгоритм функционирования КПИГП. При анализе осциллограмм сигналов от приемников выявлялись и подсчитывались: $N_{\text{сл}}$ – число ошибок вида «слияние импульсов»; $N_{\text{лож}}$ – число ошибок вида «ложный импульс»; $N_{\text{др}}$ – число ошибок вида «дробление импульса»; $N_{\text{проп}}$ – число ошибок вида «пропуск импульса». Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по сравнительной оценке помехоустойчивости приемников

Приемник	Число ошибок по видам				Всего ошибок
	$N_{\text{сл}}$	$N_{\text{лож}}$	$N_{\text{др}}$	$N_{\text{проп}}$	
ВУ-1М с заводским ПО	14	312	95	5	426
ВУ-1М с алгоритмом КПИГП	20	12	16	62	110

Для ВУ-1М наиболее частыми (73 %) являются ошибки вида «ложный импульс», что говорит о недостаточной помехоустойчивости интервалов кодового сигнала АЛСН в алгоритме. С наибольшей вероятностью возникновение ложного импульса происходит в длинных интервалах кодового сигнала. При этом интервал разбивается на две части. Если длительность первой части составит менее 250 мс, то происходит нарушение нормальной обработки циклов КК в дешифраторе (не фиксируется длинный интервал, разделяющий соседние КК). При трех подряд пораженных таким образом КК произойдет сбой в работе АЛСН и появление белого

огня на локомотивном светофоре. Приведенная в первой главе диссертации статистика сбоев показывает, что за период с 2018 по 2022 гг. 66-68 % всех принятых к учету сбоев имело характер кратковременной смены показания локомотивного светофора на белый огонь («З-Б-З», «Ж-Б-З» и «З-Б-Ж»), что подтверждает сказанное.

Из общего числа зафиксированных ошибок в работе существующего приемника подавляющее число (95 %) являются ошибками вида «ложный импульс» и «дробление импульса». При приеме сигнала КК «Ж» или «КЖ» они приводят к трансформации КК в более разрешающую, что может привести к снижению уровня безопасности движения поездов. Так, согласно статистике, в 2022 году на железной дороге доля сбоев с характером проявления «Ж-Б-З» составила 8,9 % от общего количества сбоев.

Для КПИГП наиболее частыми (56 %) являются ошибки вида «пропуск импульса». Из общего числа ошибок 75 %, являются ошибками вида «слияние импульсов» и «пропуск импульса». Они могут вызвать трансформацию КК в более запрещающую, что может привести к необоснованным снижениям скорости движения поездов, при этом уровень безопасности движения поездов не снижается.

КПИГП показал уменьшение числа ошибок в приеме сигнала АЛСН в 3,8 раза в сравнении с существующим приемником, что говорит о его более высокой помехоустойчивости. Применение реализованного в нем алгоритма обработки сигналов АЛСН в МЛУБ позволит уменьшить число ошибок в его приеме и тем самым повысить устойчивость функционирования канала АЛСН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) В результате анализа сбоев в работе АЛСН установлено, что воздействие помех является причиной до 18,5 % сбоев. Определено, что для повышения помехоустойчивости приемника перспективными представляются решения, основанные на положениях теории оптимального приема, нелинейном преобразовании сигнала и компенсации помех, реализуемые алгоритмически в микропроцессорном приемнике. При этом задачу приема сигналов АЛСН на локомотиве следует рассматривать как задачу различения сигналов со случайными амплитудой и начальной фазой.

2) Установлено, что оптимальный корреляционный приемник сигналов АЛСН, осуществляющий «прием в целом», не способен обеспечить достоверное различение сигналов. Предложено использовать поэлементный прием сигнала АЛСН с квадратурным амплитудным детектированием огибающей и восстановлением ее амплитуды, позволяющий вследствие инвариантности результата детектирования к начальной фазе принимаемого несущего колебания отказаться от системы фазовой автоподстройки частоты опорных колебаний, что снижает сложность приемника, а восстановление амплитуды огибающей позволяет устранить снижение его чувствительности.

3) Для эффективного подавления импульсных помех и уменьшения негативного эффекта подавления сигнала предложен способ на основе нелинейного

преобразования, отличающийся применением амплитудного ограничения в импульсах сигнала АЛСН и бланкирования в его интервалах. Для реализации предложенного способа разработана методика определения порога амплитудного ограничения или бланкирования, учитывающая временные параметры сигнала АЛСН и условия его распространения по рельсовой линии. Определено значение коэффициента запаса по порогу $K_{з.пор} = 1,083$. Показано, что для подавления гармонических помех от ЛЭП эффективным является применение нелинейности с зоной нечувствительности.

4) Разработан алгоритм обработки сигнала АЛСН с применением квадратурного амплитудного детектирования огибающей и восстановления ее амплитуды, нелинейных подавителей импульсных и гармонических помех. Для получения независимых оценок эффективности их применения составлены алгоритмы функционирования квадратурных приемников: без применения нелинейных преобразований; с нелинейным подавлением импульсных помех; с нелинейным подавлением гармонических помех; с нелинейным подавлением как импульсных, так и гармонических помех.

5) Разработаны имитационные модели квадратурных приемников сигналов АЛСН, позволяющие исследовать процесс их функционирования при различных условиях. Исследования на моделях показали, что квадратурные приемники устойчиво функционируют при отклонении частоты несущей от номинального значения на 9 Гц, что многократно превышает допустимые нормами. В сравнении с приемником с амплитудным детектированием на основе скользящего окна и вычитающим устройством квадратурный приемник с нелинейным подавлением импульсных и гармонических помех обеспечивает при воздействии флуктуационной помехи выигрыш в помехоустойчивости в среднем в 1,1-1,2 раза, в безопасности функционирования – в 2,1 раза. При воздействии импульсной помехи получены выигрыши соответственно в среднем в 20,0-33,6 раза и в 86,9 раза. При воздействии гармонической помехи от ЛЭП достигнуто уменьшение на 2,5-7,5 км/ч минимальной скорости движения поезда в зоне влияния ЛЭП с углом пересечения 75-50 °, при которой сбой в работе АЛСН происходить не будет.

6) Технически реализован экспериментальный образец квадратурного приемника с нелинейными подавителями импульсных и гармонических помех. Исследование на записях реальных сигналов АЛСН и помех подтвердило правильность теоретических исследований и результатов моделирования: экспериментальный образец в сравнении с приемником сигналов АЛСН комплексного локомотивного устройства безопасности продемонстрировал более высокую помехоустойчивость, допустив в 3,8 раза меньше ошибок в приеме, и более высокую безопасность функционирования – доля опасных ошибок уменьшилась с 95 % до 25 %.

Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является реализация в приемнике алгоритмов искусственного интеллекта для адаптации к изменяющейся помеховой обстановке.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

а) в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Хохрин, А. С. Корреляционный приемник с квадратурными каналами для автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Транспорт Урала. – 2022. – № 3(74). – С. 49-54. (К2)
2. Хохрин, А. С. Исследование процесса функционирования корреляционного приемника с квадратурными каналами автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа в номинальных условиях эксплуатации / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Транспорт Урала. – 2023. – № 1(76). – С. 51-58. (К2)
3. Хохрин, А. С. О снижении влияния помех от линий электропередачи на функционирование канала автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2024. – Т. 83, № 1. – С. 70-80. (К2)
4. Хохрин, А. С. О применении нелинейной обработки в квадратурном приемнике сигналов АЛСН / А. С. Хохрин, Р. Р. Юсупов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2024. – № 4. – С. 20-25. (К2)
5. Хохрин, А. С. Анализ качества функционирования квадратурных приемников с нелинейной обработкой сигналов АЛСН в условиях воздействия флуктуационной помехи / А. С. Хохрин, Р. Р. Юсупов // Транспорт Урала. – 2024. – № 1(80). – С. 73-78. (К2)
6. Хохрин, А. С. Обзор методов и технических решений по повышению помехоустойчивости локомотивного приемного устройства канала АЛСН / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Вестник транспорта Поволжья. – 2024. – № 6(108). – С. 95-101. (К3)
7. Хохрин, А. С. Нелинейная обработка сигналов в АЛСН для подавления импульсных помех / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 3. – С. 9-11. (К2)
8. Хохрин, А. С. Направления снижения числа сбоев в работе системы АЛСН / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 1(109). – С. 169-176. (К3)

б) в изданиях, входящих в международную базу цитирования Web of Science

9. The influence of harmonic interference from high-voltage power lines on the noise immunity of the receiver of the continuous automatic locomotive signaling channel / R. R. Yusupov, A. S. Khokhrin, I. P. Gordeev, K. E. Blachev // Russian Electrical Engineering. – 2023. – Vol. 94, No. 10. – P. 732-735.
10. Khokhrin, A. S. On the effectiveness of correlation reception and nonlinear processing in a receiver of continuous automatic train signaling signals / A. S. Khokhrin, R. R. Yusupov, E. M. Plokhov // Russian Electrical Engineering. – 2023. – Vol. 94, No. 10. – P. 748-752.

в) в других изданиях

11. Хохрин, А. С. Комбинированный приемник сигналов автоматической локомотивной сигнализации / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин, В. Б. Леушин // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 1. – С. 325-329.
12. Хохрин, А. С. Исследование качества функционирования квадратурного приемника сигналов АЛСН при воздействии аддитивных импульсных помех / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 1.
13. Хохрин, А. С. К вопросу о методах приема сигналов в устройствах автоматики и телемеханики / А. В. Сабанцев, А. С. Хохрин, Л. А. Чудаков // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения : Сборник трудов VII

Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов. – Челябинск: ЮУТУ, 2023. – С. 124-131.

14. Хохрин, А. С. Оценка помехоустойчивости квадратурных приемников АЛСН с нелинейным преобразованием сигнала при воздействии импульсной помехи / А. С. Хохрин, Р. Р. Юсупов // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 250-253.

15. Хохрин, А.С. Об эффективности нелинейного подавления гармонических помех от высоковольтных ЛЭП в приемнике сигналов АЛСН / А. С. Хохрин, Р. Р. Юсупов // Наука и образование: достижения и перспективы. – 2024. – С. 109-113.

г) патенты, свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

16. Патент RU 218341 Приёмник автоматической локомотивной сигнализации / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин. – заявл. 22.04.2023, опубл. Б.И. 2023 г., № 15.

17. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU 2022685678 Имитационная модель квадратурного приемника сигналов автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН / Р.Р. Юсупов, А.С. Хохрин, В.Б. Леушин. – заявл. 13.12.2022, опубл. 2022 г.

18. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU 2024615593 Программа для реализации функций корреляционного приемного устройства автоматической локомотивной сигнализации с нелинейным преобразованием сигнала / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин. – заявл. 26.02.2024, опубл. 2024 г.

19. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU 2024687400 Программа для расчета мгновенных значений сигнала на выходе квадратурного приемника с нелинейным преобразованием для автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН / Р. Р. Юсупов, А. С. Хохрин, К. А. Хохрина заявл. – 11.11.2024, опубл. 2024 г.

20. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ RU 2025614393 Имитационная модель квадратурного приемника сигналов АЛСН с подавителем импульсных помех / А. С. Хохрин, Р. Р. Юсупов. – заявл. 13.02.2025, опубл. 2025 г.

Основные положения и результаты исследований получены автором самостоятельно. Личный вклад автора в научных работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1] – предложен способ поэлементного приема сигналов АЛСН с применением квадратурного амплитудного детектирования огибающей и восстановлением ее амплитуды; [2] – проведено исследование процесса функционирования квадратурного приемника в номинальных условиях эксплуатации; [3, 9, 15] – предложено применение блока с зоной нечувствительности для подавления гармонических помех от ЛЭП и выполнена оценка его эффективности; [4, 7, 11] – предложен способ подавления импульсных помех на основе нелинейного преобразования; [5, 10, 12, 14] – проведено имитационное моделирование приемников сигналов АЛСН для оценки их помехоустойчивости и безопасности функционирования в условиях воздействия помех; [6, 13] – проведен анализ методов и технических решений по повышению помехоустойчивости локомотивного приемника канала АЛСН; [8] – проведен статистический анализ сбоев в работе АЛСН; [16] – разработана функциональная схема помехоустойчивого приемника сигналов АЛСН с применением предложенных способов квадратурного амплитудного детектирования огибающей и восстановлением ее амплитуды и нелинейного подавления помех; [17-20] – разработаны машинные программы для исследования процесса функционирования квадратурных приемников сигналов АЛСН с нелинейными подавителями помех.

Хохрин Алексей Сергеевич

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ КАНАЛА
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ
НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА**

2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать ____ . ____ .2025. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. _____. Тираж 100 экз. Заказ _____.

Отпечатано в Приволжском государственном университете путей сообщения.
443022, Самара, Заводское шоссе, 18. Тел.: (846) 255-68-36.