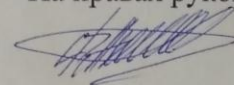


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО СамГУПС)

На правах рукописи



Ахмадуллин Фанис Ринатович

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ К ИЗМЕНЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ И ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОМЕХ ОТ
ТЯГОВОГО ТОКА**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – кандидат технических наук, профессор
Леушин Виталий Бениаминович

Самара – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 Анализ особенностей построения рельсовых цепей.....	13
1.1 Общие сведения.....	13
1.2 Особенности построения современных рельсовых цепей.....	14
1.3 Анализ статистики отказов в системах железнодорожной автоматики и телемеханики.....	23
1.4 Формулировка задач исследования.....	27
Глава 2 Моделирование рельсовых цепей.....	29
2.1 Выбор метода исследования.....	29
2.2 Алгоритмическая реализация согласованных рельсовых цепей.....	30
2.3 Имитационные модели устройств согласованных рельсовых цепей.....	35
2.3.1 Особенности функционирования рельсовых цепей.....	35
2.3.2 Структура рельсовой цепи.....	39
2.3.3 Имитационная модель рельсовой линии.....	43
2.3.4 Имитационная модель путевого генератора рельсовой цепи.....	46
2.3.4.1 Имитационная модель путевого генератора АМ-сигнала.....	46
2.3.4.2 Имитационная модель путевого генератора сигнала ФРМ-2.....	47
2.3.5 Имитационная модель путевого приемника рельсовой цепи.....	54
2.3.5.1 Анализ существующих способов защиты от воздействия аддитивных помех в рельсовых линиях.....	54
2.3.5.2 Имитационная модель путевого приемника АМ-сигнала.....	58
2.3.5.3 Имитационная модель путевого приемника сигнала с ФРМ-2.....	62
2.4 Имитационная модель согласованных рельсовых цепей.....	65
2.5 Зависимость длины рельсовой линии от частоты несущей сигнала рельсовой цепи.....	69
2.6 Выводы по главе.....	75
Глава 3 Моделирование помех в рельсовых линиях.....	77
3.1 Общие положения.....	77

3.2 Общие требования к моделям внешних воздействий.....	79
3.3 Имитационная модель помех от тягового тока.....	81
3.3.1 Флуктуационная помеха.....	81
3.3.2 Импульсная помеха.....	84
3.3.3 Помехи при коммутации тяговых двигателей электровоза.....	94
3.4 Выводы по главе.....	101
Глава 4 Аналитическое исследование согласованных рельсовых цепей.....	103
4.1 Стратегическое и тактическое планирование экспериментов.....	103
4.2 Исследование особенностей функционирования согласованных рельсовых цепей.....	108
4.3 Исследование зависимости помехоустойчивости путевого приёмника АМ-сигнала от частоты несущей сигнала.....	116
4.4 Исследование зависимости помехоустойчивости путевого приёмника сигнала с ФРМ-2 от частоты несущей сигнала.....	124
4.5 Исследование зависимости длины рельсовой линии от частоты несущей сигнала рельсовой цепи.....	129
4.6 Оценка результатов работы и рекомендации по их использованию.....	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	141
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ А Фрагмент листинга программы «RELS».....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Регистрация помех от тягового тока в рельсовых линиях.....	168
ПРИЛОЖЕНИЕ В Осциллограммы и графики, поясняющие особенности функционирования согласованных рельсовых цепей в условиях изменения сопротивления изоляции и наличия помех от тягового тока.....	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Документы интеллектуальной собственности.....	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Документы о внедрении результатов диссертационного исследования	190

ВВЕДЕНИЕ

Холдинг «РЖД» является лидером российского транспортного рынка и одной из крупнейших транспортных компаний мира. За период своего существования ОАО «РЖД» прошло значительный путь развития. В результате реформирования и модернизации трансформировалась бизнес-модели Холдинга, его корпоративная и организационная структура, вследствие чего произошли изменения на рынке железнодорожных перевозок России. Структурное реформирование отрасли позволило Холдингу добиться обеспечения роста устойчивости, доступности и безопасности перевозок, а также снижения транспортной нагрузки на экономику России и удовлетворения растущего спроса на перевозки [1, 2].

Современные тенденции развития российской и мировой экономик ставят перед Холдингом новые задачи, решение которых позволит обеспечить устойчивое функционирование Холдинга, повысит его конкурентоспособность, приведёт к увеличению стоимости его бизнеса.

Следовательно, одной из актуальнейших задач является реализация долгосрочной стратегии развития холдинга «РЖД», в основе которой – задачи, поставленные Правительством Российской Федерации, сформулированные на основе прогноза социально-экономического развития России до 2030 года, и актуализированные Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года. Эти документы ставят перед транспортным комплексом Российской Федерации масштабные цели, одной из которых является повышение уровня его безопасности [1, 2].

Постоянное развитие элементной базы, совершенствование алгоритмов управления железнодорожным транспортом направлено на решение важнейших задач, связанных с повышением экономичности перевозок, интенсивности и

бесперебойности движения поездов при неукоснительном обеспечении высокого уровня безопасности их движения.

На железнодорожном транспорте реализуется ответственный технологический процесс (ОТП) [3] – перевозка пассажиров и грузов посредством организации движения определенного количества поездов на строго ограниченном участке дороги.

Основную роль в обеспечении безопасности движения поездов и реализации Графика движения играют системы интервального регулирования движения поездов (СИРДП). Посредством этих систем реализуется пространственные и временные интервалы между поездами, гарантирующие остановку «головы» следующего поезда на безопасном расстоянии от «хвоста» предыдущего в любых поездных ситуациях.

Для регулирования движения поездов на перегонах широко применяется системы автоблокировки (АБ), а на станциях – системы электрической централизации (ЭЦ).

Первым звеном в этих системах являются путевые датчики (ПД), посредством которых определяется ордината нахождения поездов на перегоне и координата на станциях, а последним звеном – тормозные системы и тяговые двигатели.

На российских железных дорогах в системах АБ в качестве ПД широко применяются непрерывные путевые датчики (НПД) – рельсовые цепи (РЦ) [4], которые позволяют не только определять ординаты поездов на перегоне и координаты поездов на станциях, но и контролировать излом рельсов. Этот контроль основан на анализе уровня сигнала на выходе рельсовых линий (РЛ).

В настоящее время на перегонах железных дорог применяются АБ с централизованным расположением аппаратуры и с РЦ, несущая сигнала которых расположена в тональном диапазоне частот. Этот вид РЦ позволяет реализовать контроль на участках железных дорог, где применяются цельносварные РЛ.

Важным критерием надежности функционирования СИРДП является

устойчивость работы РЦ, подверженных влиянию помех, в частности, от тягового тока и дестабилизирующих факторов, порождаемых изменениями климатических условий и, конечно, динамическим воздействием движущегося поезда.

В настоящее время РЦ являются не только НПД, но и реализуют передачу информации о допустимой U_d и контролируемой U_k скорости движения в кабину машиниста посредством сигналов автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН). Поэтому в РЦ составной частью входят устройства формирования и передачи сигналов РЦ и канала АЛСН, устройства согласования и защиты (УЗС), рельсовая линия РЛ и устройства приема сигналов РЦ.

Сбои в функционировании СИРДП вызывают снижение пропускной способности участков железной дороги, что приводит к значительным экономическим потерям. Сбои могут возникать при воздействии помех в РЛ (при этом работа РЦ восстанавливается после прекращения действия помех). Отказы в работе СИРДП могут вызвать аварии и крушения [5, 6].

Сбой в работе РЦ, не связанный с ее повреждением, вызывает задержку в движении поездов от нескольких секунд до одной минуты. В случае отказа РЦ, время на поиск и замену неисправного элемента для централизованных систем составляет 15 – 50 минут, а для децентрализованных – от одного до трех часов.

Актуальность темы исследования. Основной задачей железнодорожного транспорта является перевозка грузов и пассажиров с максимальной производительностью, минимальной себестоимостью и гарантированной безопасностью движения. Решение этой задачи немислимо без создания и внедрения новой техники и новых технологий, без повышения пропускной способности железных дорог и безопасности движения поездов. Повышение указанных показателей возможно, в частности, посредством совершенствования СИРДП, в частности РЦ.

Увеличение скорости движения поездов, повышение их массы, а также большое количество климатических зон в РФ значительно усложняют условия работы РЦ.

Анализ статистических данных об отказах в работе устройств СИРДП за 2010 – 2016 гг., показывает, что на долю РЦ приходится порядка 13% отказов. Одним из негативных влияний, вызывающих отказы в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики, являются дестабилизирующие факторы, в частности, перманентное изменение сопротивления изоляции РЛ РЦ в течение календарного года.

В этой связи одним из направлений совершенствования функционирования устройств СИРДП является разработка РЦ, устойчивость работы которых не будет зависеть от колебаний величины сопротивления изоляции РЛ и от наличия в РЛ помех от тягового тока.

Данное направление соответствует паспорту специальности 05.22.08, в формуле которой указано, что содержанием специальности, в частности, является совершенствование существующих и разработка новых технических и технологических решений в организации, управлении перевозочным процессом, в том числе движением поездов.

Степень разработанности темы исследования. В совершенствовании современных СИРДП на перегонах принимали активное участие ученые: д.т.н. Беляков И.В., д.т.н., профессор Бестемьянов П.Ф., д.т.н., профессор Брылеев А.М., к.т.н. Бушуев В.И., к.т.н., доцент Бушуев С.В., д.т.н., профессор Василенко М. А, д.т.н., профессор Гавзов Д.В., д.т.н., профессор Горелик А.В., д.т.н., профессор Долгий И.Д., д.т.н., профессор Дмитренко И.Е., к.т.н., профессор Кораблев Е.А., д.т.н., профессор Кравцов Ю.А., д.т.н., профессор Лисенков В.М., д.т.н., профессор Нестеров В.Л., к.т.н. Пенкин Н.Ф., д.т.н., профессор Розенберг Е.Н., д.т.н., профессор Сапожников Вл.В., д.т.н., профессор Сапожников В.В., д.т.н., профессор Шаманов В.И., к.т.н. Шишляков А.В. и др.

Большой вклад в теоретические и прикладные исследования по разработке и проектированию РЦ внесли д.т.н., профессор Брылеев А.М., д.т.н. Беляков, д.т.н., профессор Бестемьянов П.Ф., д.т.н., профессор Лисенков В.М., д.т.н., профессор Кравцов Ю.А., к.т.н., профессор Котляренко Н.Ф., к.т.н. Дмитриев В.С., к.т.н., доцент Вековищев А.В. и другие отечественные ученые.

В своих исследованиях автор опирался не только на работы указанных авторов, но и на работы и практические результаты других отечественных и зарубежных ученых и инженеров.

Целью диссертационной работы является разработка и научное обоснование решений, направленных на совершенствование РЦ, способных устойчиво функционировать при изменении сопротивления изоляции РЛ и наличии помех от тягового тока.

Поставленная цель достигается решением следующих задач.

1. Провести анализ особенностей построения РЦ с целью выявления технических решений, позволяющих устойчиво функционировать в условиях изменения сопротивления изоляции РЛ и воздействия помех от тягового тока.

2. Разработать алгоритм функционирования РЦ, устойчивых к изменению сопротивления изоляции РЛ и воздействию помех от тягового тока, и разработать их имитационную модель (ИМ).

3. Выполнить анализ механизма появления помех от тягового тока в РЛ при движении электровозов, установить их параметры и на основе этого разработать ИМ этих помех, позволяющую производить оценку помехоустойчивости каналов с РЛ, в частности, путевых приемников (ПП) РЦ.

4. Выполнить исследования разработанного алгоритма функционирования РЦ при изменении сопротивления изоляции РЛ и воздействии помех от тягового тока с целью определения способности РЦ функционировать при изменении сопротивления изоляции РЛ; рабочих диапазонов частот повышенной помехоустойчивостью при необходимой и достаточной мощности путевых генераторов (ПГ), позволяющих повысить надежность РЦ и снизить потребление электроэнергии.

Объектом исследования являются системы интервального регулирования движения поездов с РЦ.

Предметом исследования являются РЦ, устойчиво функционирующие при изменении сопротивления изоляции РЛ и воздействии помех от тягового тока в РЛ.

Научная новизна результатов исследования, полученных автором диссертации, состоит в следующем:

1. Предложен алгоритм функционирования РЦ, устойчивых к изменению сопротивления изоляции РЛ.
2. Доказано, что РЦ, путевые приемники которых обнаруживают сигналы на выходе РЛ посредством разностной аппроксимации, обладают повышенной устойчивостью контроля свободности участков рельсового пути и излома рельсов при изменении сопротивления изоляции РЛ.
3. Установлены параметры флуктуационных и импульсных помех от тягового тока, возникающих в РЛ при движении электровозов.
4. Показано, что разработанная ИМ помех от тягового тока, вызванных некачественным токосъемом и коммутацией тяговых двигателей электровозов, позволяет определять помехоустойчивость ПП РЦ.
5. Доказано, что по критерию помехоустойчивости ПП при необходимой и достаточной мощности ПГ возможно определять рабочие диапазоны частот РЦ, использование которых повышает устойчивость функционирования РЦ в условия действия помех от тягового тока и снижает уровень потребления электроэнергии.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется следующими полученными результатами.

1. Применение алгоритма функционирования РЦ, устойчивых к изменению сопротивления изоляции РЛ, позволило обосновать повышение устойчивости контроля свободности участков рельсового пути и излома рельсов посредством обнаружении сигналов на выходе РЛ методом разностной аппроксимации.
2. Результаты аналитических исследований, выполненных на основе имитационного моделирования РЦ, в которых для обнаружения сигналов на выходе РЛ применяется метод разностной аппроксимации, показывают, что при эксплуатации РЦ во время изменения сопротивления изоляции РЛ возможен устойчивый контроль свободности участков рельсового пути и излома рельсов.
3. Параметры флуктуационных и импульсных помех от постоянного тягового тока, установленные на основе статистического анализа помех,

вызванных некачественным токосъемом и коммутацией тяговых двигателей электровозов, зарегистрированных в реальных условиях эксплуатации.

4. На основе параметров флуктуационных и импульсных помех от постоянного тягового тока, вызванных некачественным токосъемом и коммутацией тяговых двигателей электровозов, разработана ИМ, позволяющая выполнять исследования помехоустойчивости ПП РЦ.

5. В результате проведенных исследований помехоустойчивости ПП при необходимой и достаточной мощности ПГ РЦ установлены рабочие диапазоны частот, в которых РЦ обладают повышенной устойчивостью функционирования к воздействию помех от тягового тока и относительно низким потреблением электроэнергии.

Методология и методы исследований. В соответствии с областью исследований паспорта специальности 05.22.08 п.7 (Системы автоматики и телемеханики, предназначенные для управления перевозочным процессом, методы их построения и испытания) при работе над диссертацией автором использованы теория электрических цепей, теория рельсовых цепей, логико-алгоритмический подход, методы имитационного моделирования, теория помехоустойчивости, экспериментальные методы исследования флуктуационных и импульсных помех от тягового тока в РЛ, элементы теории вероятности и математической статистики, теории планирования экспериментов.

Положения, выносимые на защиту.

1. Алгоритм контроля занятости участков рельсового пути и излома рельсов, обеспечивающий устойчивое функционирование РЦ при изменении сопротивления изоляции РЛ.

2. Имитационные модели, позволяющие анализировать особенности функционирования РЦ, устойчивых к изменению сопротивления изоляции РЛ и воздействию помех от тягового тока.

3. Параметры помех в РЛ от постоянного тягового тока, возникающие при движении электровозов:

– флуктуационные помехи при некачественном токосъеме;

– импульсные помехи при коммутации тяговых двигателей электровоза.

4. Способ имитационного моделирования помех от тягового тока в РЛ, возникающих во время движения электровозов при некачественном токосъеме и коммутации тяговых двигателей.

5. Метод определения рабочих диапазонов частот РЦ по критерию помехоустойчивости ПП при необходимой и достаточной мощности ПГ.

Достоверность научных положений подтверждается соответствием результатов теоретических исследований и испытаний в лабораторных условиях.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов работы подтверждается соответствием результатов теоретических исследований и испытаний в лабораторных условиях.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта» (Самара, 2006 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Транспорт, наука, бизнес: проблемы и стратегия развития», посвященной 130-летию Свердловской железной дороги (Екатеринбург, 2008 г.); II Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту», посвященной 110-летию транспортного образования в Саратовской области (Самара – Саратов, 2010 г.); Научно-технической конференции «Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура», посв. 55-летию УрГУПС (Екатеринбург, 2011 г.); VI Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту, приуроченной к 40-летию Самарского государственного университета путей сообщения» (Самара, 2013 г.); I Международной научно-практической конференции «Инновации в системах обеспечения движения поездов» (Самара, 2016 г.); IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Самара, 2016 г.); Международной научно-технической конференции «Инновационный транспорт – 2016: специализация железных дорог» (Екатеринбург, 2016), общеуниверситетском семинаре аспирантов УрГУПС (Екатеринбург, 21.12.2016);

заседаниях и научных секциях кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» СамГУПС.

Реализация результатов работы. Полученные в диссертационном исследовании результаты используются в разработках ОАО «Бомбардье Транспортейшн Рейл Сигнал», выполняемых в соответствии с планом ОАО «РЖД», акционерным обществом «Научно-производственный центр информационных и транспортных систем» (АО НПЦ ИНФОТРАНС) в разработках по созданию подвижных средств контроля параметров РЦ и сигналов, а также в учебном процессе на кафедре «АТС на железнодорожном транспорте» СамГУПС при разработке курсов «Измерение в устройствах автоматике и телемеханики на ж.д. тр-те» и «Автоматика и телемеханика на перегонах»..

Публикации. По материалам, отражающим основное содержание диссертационной работы, опубликовано 10 печатных работ (из них 6 в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ для публикации научных результатов диссертационных исследований) и получены 1 патент на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы – 162 страницы, в том числе 61 иллюстрация, 13 таблиц, список литературы из 102 наименований, приложения на 30 страницах.

Работа выполнена на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» СамГУПС.

1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

1.1 Общие сведения

Основной особенностью РЦ является то, что в воспринимающий элемент РЦ составной частью входит РЛ. Учитывая это, РЦ используются не только в качестве НПД, но и в качестве составной части каналов связи между устройствами АБ и между АБ на перегоне или ЭЦ на станции и локомотивными устройствами АЛСН [4, 7-11].

Рельсовые цепи функционируют в условиях действия различных дестабилизирующих факторов: значительные сезонные и суточные колебания температуры и влажности окружающей среды, различной степени загрязненности балласта. Влияние этих факторов приводит к снижению надежности работы РЦ и, соответственно, достоверности контроля занятости подвижном составе рельсового пути и излома рельсов [3, 5-8, 85].

Известны различные пути устранения влияния упомянутых дестабилизирующих факторов [12-14], однако, универсального решения, которое могло бы быть широко внедрено на сети железных дорог, в настоящее время не существует. Применение микроэлектронной элементной базы в СИРДП, позволяет осуществлять автоматизированную диагностику [13, 15] и открывает широкие перспективы для внедрения новых технологий, в том числе для РЦ [15, 16].

Однако микроэлектронная элементная база является лишь инструментом для исследования, разработки и реализации перспективных устройств [15, 16]. Для ее эффективного использования необходимо проанализировать слабые стороны известных устройств и систем, а затем с учетом отмеченных

недостатков, наметить и реализовать новые способы контроля и управления движением поездов на базе перспективных СИРДП.

Учитывая изложенное, одним из основных направлений модернизации СИРДП является совершенствование РЦ.

1.2 Особенности построения современных рельсовых цепей

В настоящее время на железных дорогах России применяется большое количество разнообразных видов РЦ [17-19, 22]. Во многих РЦ применена сходная элементная база, некоторые имеют одинаковые области применения, функции, структуру и т.д. Но есть РЦ, которые настолько непохожи друг на друга, что их трудно сравнивать между собой. Все это снижает цельность восприятия и возможность наиболее полно охватить весь материал по современным РЦ. Объективный анализ особенностей построения, применения и тенденций по совершенствованию РЦ можно выполнить на основе классификации [20], отображенной на рисунках 1.1 и 1.2. Классификация составлена на основе следующих основных наиболее общих для всех РЦ признаков:

- область применения;
- конфигурация РЛ;
- контроля целостности (наличие) рельса;
- способ подключения к РЛ путевого приемника;
- вид тяги;
- схема канализации обратного тягового тока;
- форма несущей сигнала;
- вид первичной манипуляции;
- метод обработки сигнала;

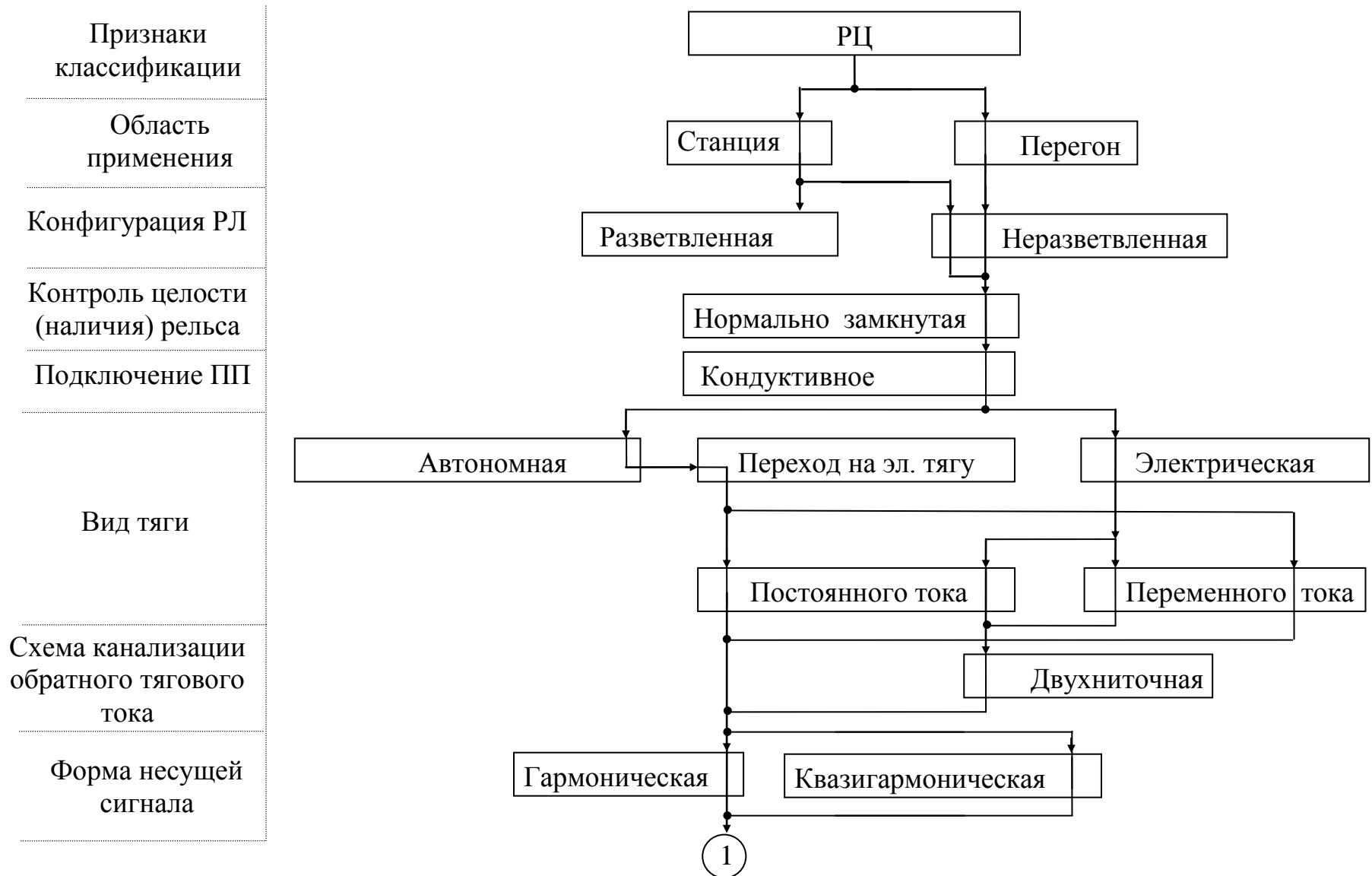


Рисунок 1.1 – Классификация РЦ автоблокировки

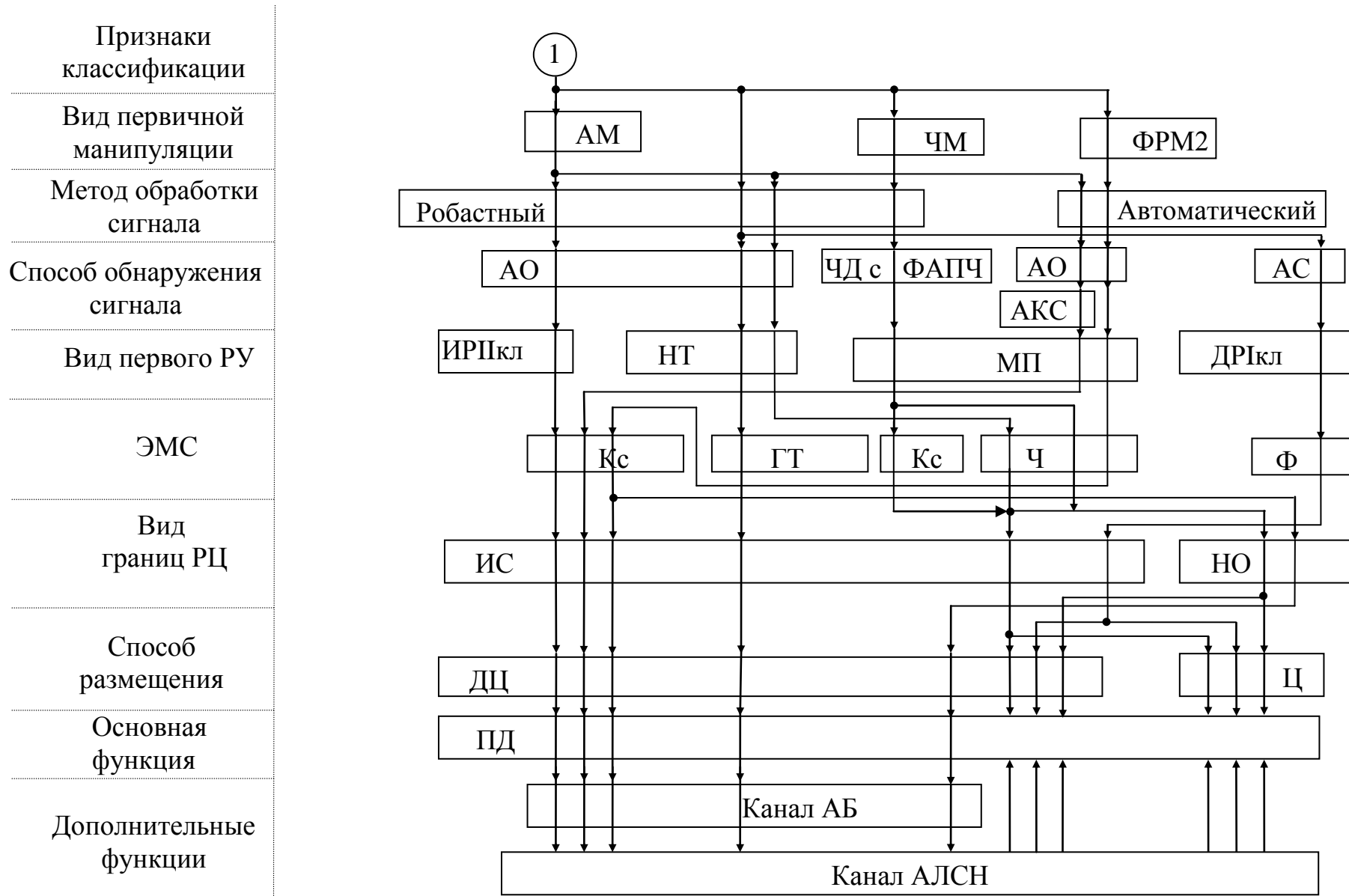


Рисунок 1.2 – Продолжение классификации РЦ автоблокировки (рисунок 1.1)

- способ обнаружения сигнала;
- вид первого решающего устройства (РУ);
- способ обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС);
- вид границ РЦ;
- способ расположения аппаратуры;
- основная и дополнительная функции.

Предложенная классификация позволяет проанализировать зависимость основных признаков РЦ от их функций.

АБ на перегонах автоматически реализует следующее:

- устанавливает ординату нахождения всех поездов на перегоне;
- определяет расстояние между попутно следующими поездами;
- передает в кабину поездного локомотива информацию о допустимой U_d и контролируемой U_k скорости движения.

При этом, следующий впереди поезд обуславливает скорость движения последующего поезда. Каждый блок-участок перегона, который, как известно [4, 7-9], является частью межстанционного перегона, оборудуется минимум одной РЦ.

На перегонах рельсовая колея (РК) не имеет ответвлений и поэтому конфигурация РЛ всегда неразветвленная.

Известно, что на перегонах отсутствуют постоянно действующие наблюдатели из обслуживающего персонала. В этой связи непрерывный автоматический контроль механической целостности и наличие рельсов реализуется посредством РЦ. Если РЦ нормально замкнутые, то они построены таким образом, что сигнальный ток при отсутствии подвижного состава и механической и электрической целостности РЛ непрерывно «обтекает» РН, а ПП РЦ контролирует наличие на выходе РЛ сигнального тока.

В мировой практике существуют РЦ, в которых ПП подключаются к РЛ индуктивно и кондуктивно. У всех РЦ современных систем АБ, применяемых в России, ПП соединены с РЛ кондуктивно.

На железнодорожном транспорте применяется два вида тяги: автономная и электрическая. В районах, где повышается надежность электроснабжения, может быть организован переход с автономной на электрическую тягу (постоянного или переменного тока). На конструкцию РЦ вид тяги оказывает существенное влияние. Электрическая тяга обуславливает необходимость пропуска обратного тягового тока с минимальными потерями по одной рельсовой нити – однониточные РЦ или одновременно по двум рельсовым нитям (РН) – двухниточные РЦ. На перегонах применяются только двухниточные РЦ.

В зависимости от формы несущей сигнала в РЦ применяются два вида источников сигнального тока – ПГ: «постоянного или переменного тока». В последнее время во всех случаях применяются ПГ, формирующие несущую сигнала гармонической или квазигармонической формы.

Несущая сигнала гармонической формы формируется относительно простым способом – посредством преобразования тока промышленной частоты.

В последнее время в ПГ применяются «ключевые» усилители, и поэтому они формируют несущую сигнала квазигармонической формы.

Форма сигнала РЦ зависит от вида первичной манипуляции (вторичной манипуляцией следует считать дискретное воздействие поездного шунта на РЛ), которая в свою очередь зависит от многих факторов: элементной базы, назначения РЦ, формы несущей сигнала и т.д. Абсолютная амплитудная манипуляция (АМ) применяется в РЦ современных систем АБ: числовая кодовая АБ системы АБ-ЧК, АБ-ЧКЕ и КЭБ, а также во всех типов АБ, где применяются тональные РЦ (ТРЦ). В новейшей системе АБ-УЕ для увеличения объема передаваемой информации и повышения помехоустойчивости применяется двукратная фазоразностная модуляция (ФРМ-2). В ОАО «НИИАС» разработана система АБТЦ-М, в которой для формирования сигнала применяется частотная манипуляция (ЧМ) [15].

Важной особенностью РЦ, которую ранее не рассматривали, является метод обработки сигнала в условиях действия помех. В традиционных, «устоявшихся»,

РЦ применяют, так называемый, робастный метод обработки сигнала, а в новейших разработках – автоматический.

Робастный метод обработки сигналов основан на детерминированном подходе, в котором учитываются только наихудшие условия эксплуатации РЦ.

Автоматический метод обработки основан на статистическом подходе к работе РЦ и предполагает, что все дестабилизирующие факторы, возникающие в тракте передачи сигнала РЦ в процессе эксплуатации, имеют во времени случайный характер.

Основное количество РЦ имеет в своем составе амплитудные обнаружители (АО) сигнала (фиксируется амплитуда сигнала). К ним относятся числовые кодовые РЦ и ТРЦ. В РЦ с фазочувствительным приёмником применяется амплитудно-синхронный (АС) обнаружитель сигнала. В РЦ системы АБТЦ-М применён обнаружитель, в котором реализовано частотное детектирование с фазовой автоподстройкой частоты (ЧД с ФАПЧ).

В системах АБ-ЧКЕ и АБ-УЕ для обнаружения сигнала применяется АО совместно с методом поиска разладки случайного процесса – алгоритмом кумулятивных сумм (АКС) с отражающим экраном [16]. Разладкой в этом случае является скачкообразное изменение свойств случайного процесса. Положительная разладка – скачкообразное изменение амплитуды сигнала РЦ в момент освобождения РК подвижным составом, отрицательная разладка – скачкообразное снижение амплитуды сигнала РЦ под действием поездного шунта.

Характерным отличием РЦ является применение в ПП различных видов первых решающих устройств (РУ1):

- в числовых кодовых РЦ применяются электромагнитные импульсные реле II класса надёжности на опасный отказ (ИРШкл);
- в РЦ с фазочувствительными приёмниками применяется двухэлементное секторное реле I класса надёжности (ДРШкл);
- в системах АБ с ТРЦ применяется несимметричный электронный триггер (НТ);

– в РЦ новейших систем КЭБ, АБ-ЧКЕ, АБ-УЕ и АБТЦ-М – соответствующая процедура микропроцессора (МП).

Надёжность РЦ, в смысле безопасности движения поездов, зависит и от их защищённости от взаимного влияния, т. е. от ЭМС. В реальных условиях эксплуатации возможны случаи электрического объединения РН смежных и параллельно расположенных РЦ. В этом случае возможен ложный контроль РЛ. ЭМС, осуществляется по одному или нескольким параметрам сигналов РЦ. В настоящее время известно пять способов ЭМС РЦ: полярный, частотный, гетеродинный, фазовый и кодовый.

Кодовый способ (Кс) основан на сравнении временных параметров логических импульсов и интервалов или на сравнении кодовых комбинаций сигналов смежных РЦ. Этот способ применяется в числовых кодовых РЦ и в РЦ с ФРМ2. В РЦ с ЧМ и ФРМ2 кодовый способ защиты применяется совместно с частотным способом.

Частотный (Ч) способ реализуется посредством чередования частот несущих и манипулирующих сигналов в смежных и параллельно расположенных РЦ.

Гетеродинный (ГТ) способ основан на получении строго определённой разности частот несущих сигнала в смежных и параллельно расположенных РЦ. При этом чередуются поддиапазоны рабочих диапазонов частот сигналов. Этот способ применяется в одном из видов частотной кодовой АБ. Физический смысл частотного и гетеродинного способов контроля один и тот же.

Фазовый (Ф) способ защиты применяется в РЦ с ФЧП. Он основан на использовании синхронных приёмников, при этом в смежных и параллельно расположенных РЦ чередуют фазу несущей сигнала и опорного сигнала.

В большинстве эксплуатируемых в нашей стране РЦ РЛ имеют в качестве границ между собой изолирующие стыки (ИС), которые чётко фиксируют границы контролируемого участка пути. Последние разработки учёных в области путевого хозяйства по строительству и эксплуатации цельносварных рельсовых плетей, а также разработки учёных в теории РЦ, позволили применить

«неограниченные» РЛ, т.е. РЛ, в которых нет изолирующих стыков. РЦ с такими РЛ принято называть неограниченными (НО). В этих РЦ границами РЛ являются границы естественного затухания сигналов в РЛ.

Практика эксплуатации железных дорог до появления высоконадежных систем АЛСН характерна применением АБ только с напольными светофорами. И поэтому ранее разрабатывались, проектировались, строились и эксплуатировались АБ с децентрализованным размещением аппаратуры (ДАБ), т.е. по всему перегону у границ смежных блок-участков.

В системах с централизованным размещением аппаратуры (ЦАБ) вся аппаратура, кроме устройств защиты и согласования (УЗС) и соединительных кабельных линий, располагается на смежных станциях.

Все РЦ без исключения выполняют основную функцию – контроль РЛ, т.е. являются НПД. РЦ выполняют дополнительные функции: каналов КС между границами смежных блок-участков (кодовые АБ – КАБ) и каналов связи между АБ и кабиной поездного локомотива (КАЛС), т.е. составных частей каналов АЛСН.

РЦ функционируют в тяжёлых условиях эксплуатации: пониженное сопротивление изоляции РЛ и наличие мощных помех от тягового тока. Учитывая это, основным критерием различения сигналов на фоне помех является отношение сигнал/помеха [21].

Существующие способы обработки сигналов, а также их техническая реализация не всегда позволяют производить контроль РЛ при пониженном сопротивлении изоляции РЛ. Для устранения этого недостатка приходится уменьшать длину РЦ, а это свою очередь требует увеличения количества аппаратуры и кабеля, что приводит к дополнительным экономическим затратам.

Анализ опыта эксплуатации РЦ на железных дорогах РФ и классификации (рисунки 1.1 и 1.2) показывает, что на данном этапе ТРЦ являются самыми надёжными при любом виде тяге и при любом виде РЛ (с ИС и без них). Однако при наличии дестабилизирующих факторов и действии мощных помех от тягового тока, для обеспечения надёжной работы ТРЦ дополнительно требуется

установка мощных усилителей на передающем конце РЛ. Кроме этого на участках с цельносварными РЛ, где применяются ТРЦ, появляются зоны дополнительного шунтирования и для уменьшения их влияния на пропускную способность перегонов требуется уменьшать длину РЦ, увеличивать количество аппаратуры и увеличивать расход кабеля.

В этой связи возникает необходимость в дальнейшем совершенствовании способа контроля РЛ, который был бы лишен указанных выше недостатков.

В данной работе предложено в признак «Способ обнаружения сигнала» классификации (рисунок 1.2) дополнить способ «Разностная аппроксимация» (рисунок 1.3), содержащий следующие признаки:

- разностная аппроксимация;
- сравнение величин напряжения сигналов на выходе демодуляторов ПП.

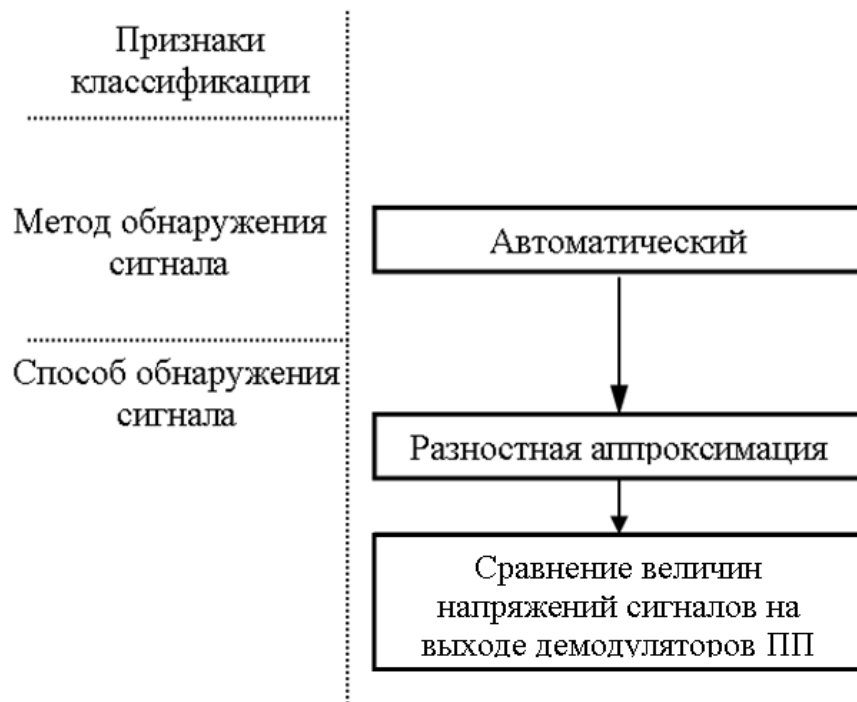


Рисунок 1.3 – Дополнение к классификации (рисунок 1.2)

В данной работе совершенствование РЦ основано, в частности, применением алгоритма сравнения значений величин напряжения сигнала на выходе демодуляторов ПП РЦ с общим ПП посредством разностной аппроксимации.

1.3 Анализ статистики отказов систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Эффективность перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в значительной степени зависит от безотказного функционирования СИРДП [3, 5 и 6], так как отказы устройств этих систем оказывают существенное влияние на пропускную способность железнодорожных участков, так как уменьшают участковую скорость движения поездов, нарушают график их движения и, как следствие, приводят к значительным экономическим потерям.

Безаварийная и безотказная работа СИРДП является основой для обеспечения заданного уровня пропускной и провозной способности железных дорог и является основной задачей всех подразделений хозяйства автоматики и телемеханики. Оценка качества работы напрямую зависит от количества допущенных отказов устройств СИРДП и определяется динамикой их изменения.

Анализ надежности СИРДП достаточно подробно изложен в работах [3, 5, 10-14].

Показатели деятельности хозяйства автоматики и телемеханики за 2010-2016 года в целом положительные, хотя имеются отдельные недостатки, которые и рассмотрим.

В ОАО «РЖД» с июля 2008 года осуществлён переход на единую систему учёта отказов технических средств с использованием Комплексной автоматизированной системы учёта, контроля и устранения отказов технических средств и анализа надёжности (КАС АНТ). Также для анализа причин отказов устройств СИРДП использованы данные автоматизированной системы управления хозяйством автоматики и телемеханики – АСУ-Ш-2 (включающие отказы всех категорий по классификации системы КАС АНТ).

В зависимости от последствий отказы технических средств классифицируются по категориям:

– отказы 1-й категории – отказы, приведшие к задержке пассажирского, пригородного или грузового поезда на перегоне (станции) на 1 час и более, либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта;

– отказы 2-й категории – отказы, приведшие к задержке пассажирского, пригородного или грузового поезда на перегоне (станции) продолжительностью от 6 минут до 1 часа;

– отказы 3-й категории – отказы, не имеющие последствий, относящихся к отказам 1-й и 2-й категории, (учет таких отказов производится первоначально в рамках автоматизированных систем управления хозяйствами).

Согласно этой системе было выявлено в целом по ОАО «РЖД»:

в 2010 году всего 70199 отказов технических средств, из которых 8595 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (12,2 % от общего числа),

в 2011 году всего 63447 отказов технических средств, из которых 7927 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (12,4 % от общего числа),

в 2012 году всего 58039 отказов технических средств, из которых 7354 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (12,7 % от общего числа),

в 2013 году – 53739, из которых 7217 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (13,4 % от общего числа),

в 2014 году – 60969, из которых 6851 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (11,24 % от общего числа),

в 2015 году – 62667, из которых 6383 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (10,2 % от общего числа),

в 2016 году – 48183, из которых 5586 приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (11,6% от общего числа), т.е. абсолютное количество самих отказов устройств ЖАТ с каждым годом уменьшалось, а по отношению к общему числу отказов их доля в среднем упала только на 0,2 %.

Таким образом, было выявлено в целом по ОАО «РЖД» за период 2010-2016 гг. в среднем 58177 отказов технических средств в год, из которых в среднем

7130 отказов приходится на хозяйство автоматики и телемеханики (в среднем 12,25 % от общего числа).

Так в 2013 году наибольшее количество отказов устройств ЖАТ допустили хозяйства: Ш – 53%, П – 28%, Э – 11,9% (рисунок 1.4).

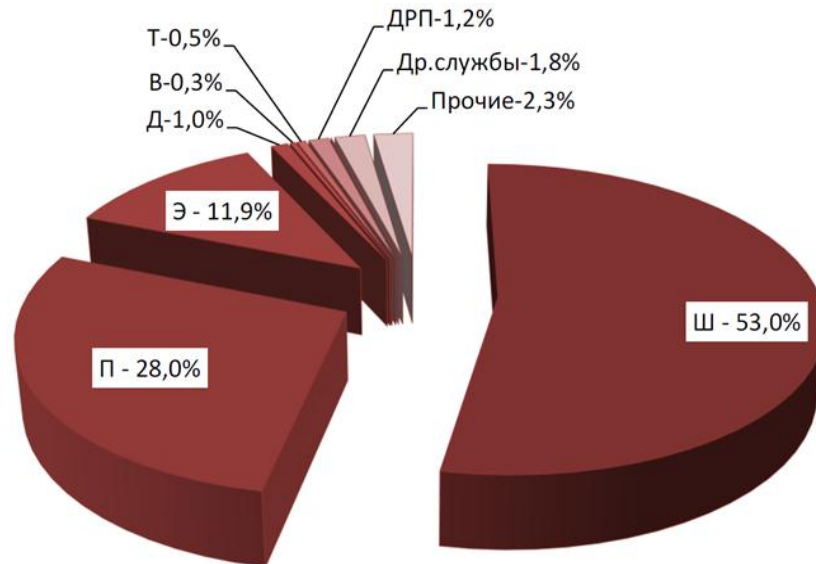


Рисунок 1.4 – Распределение отказов устройств СИРДП за 2013 год по хозяйствам (в %)

Основное количество отказов СИРДП, отнесённых за хозяйством Ш, приходится на отказы устройств СЦБ – 93,3%, т.е. большая часть отказов приходится именно на устройства СЦБ.

За 12 месяцев 2013 года количество отказов устройств СЦБ составило 22279. Распределение количества отказов устройств СЦБ по хозяйствам приведено на диаграмме (рисунок 1.5).

Анализ причин отказов устройств СЦБ показал, что около 80% этих отказов произошло из-за неисправности следующих элементов (среднее значение за период 2010-2016 гг.):

- аппаратура СЦБ – 30 %;
- монтаж стативов, релейных шкафов – 20 %;
- элементы рельсовой линии – 12 %;
- кабель – 10 %;
- стрелки – 8 %.

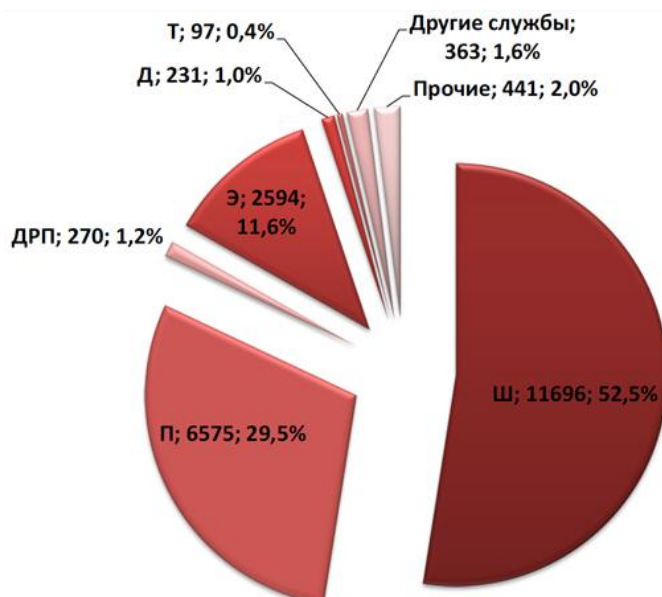


Рисунок 1.5 – Распределение отказов СЦБ по хозяйствам за 2013 год

Распределение отказов устройств СЦБ по элементам в 2013 году представлено на диаграмме (рисунок 1.6), из которой видно, что основное количество отказов устройств СЦБ допущено по системам электрической централизации – 55% и автоблокировки – 42%.

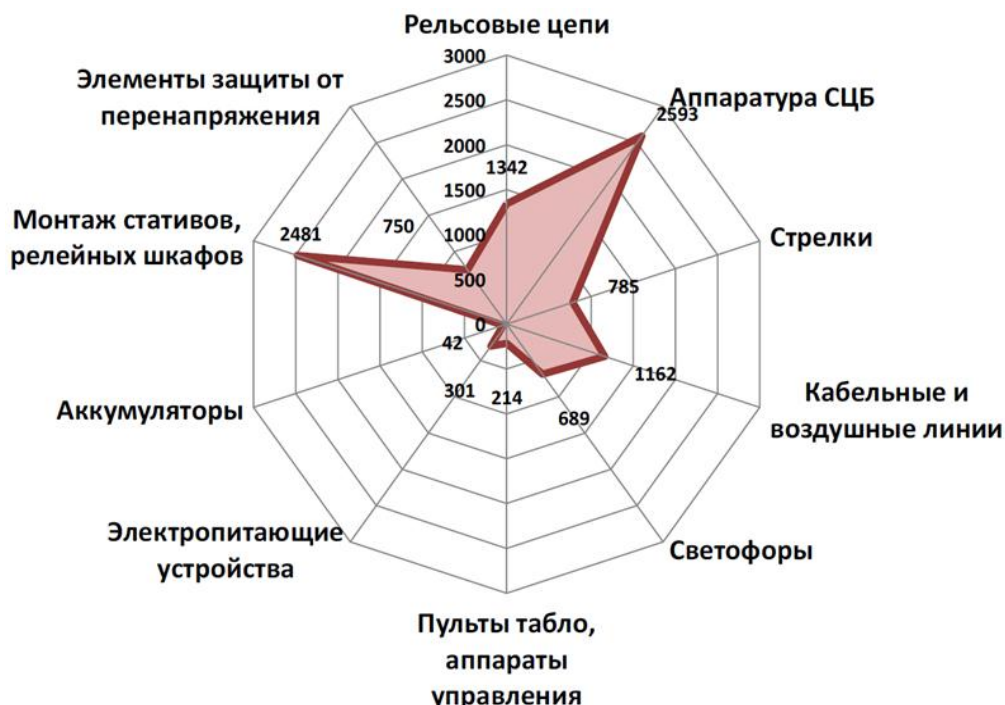


Рисунок 1.6 – Распределение отказов устройств СЦБ по элементам

Таким образом, с учетом выше приведенных данных и их анализе можно сделать следующие выводы:

1. Анализ состояния безопасности движения поездов по части хозяйства автоматики и телемеханики дирекций инфраструктуры по результатам эксплуатации на сети железных дорог ОАО «РЖД» доказывает актуальность задачи постоянного совершенствования действующих устройств СЦБ, а также создание новых более надежных и безопасных.

2. Ежегодно количество отказов устройств СЦБ уменьшается в среднем на 5-7% в год, а доля отказов устройств СЦБ из общего числа отказов устройств ЖАТ с каждым годом практически не снижается.

3. Согласно выше приведенным данным видно, что отказы РЦ занимают третье место из общего числа отказов устройств СЦБ.

Поэтому улучшить положение в этой сфере можно различными путями, в том числе и модернизацией СИРДП, что является одним из стратегических направлений научно-технического развития ОАО «РЖД».

1.4 Формулировка задач исследования

Выполненный анализ особенностей построения, применения и тенденций по совершенствованию РЦ, а также анализ статистики отказов устройств автоматики и телемеханики за последние годы, показывает необходимость в проведении научно-исследовательских работ по дальнейшему совершенствованию РЦ, которые позволят уменьшить или исключить вышеупомянутые проблемы в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД».

Таким образом, изложенное выше показывает, что целью данного исследования должны быть работы по пути разработки и реализации РЦ

функционирующих при пониженном сопротивлении изоляции РЛ и наличии в РЛ помех от тягового тока.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ особенностей построения РЦ с целью выявления технических решений, позволяющих устойчиво функционировать в условиях изменения сопротивления изоляции РЛ и воздействия помех от тягового тока;

2. Разработать методику аналитических исследований РЦ с целью: анализа устойчивого функционирования при изменении сопротивления изоляции РЛ; определения рабочих диапазонов частот по критерию помехоустойчивости ПП РЦ и необходимой и достаточной мощности ПГ, применение которых позволит повысить устойчивость РЦ и оптимизировать энергопотребление.

3. Разработать алгоритмическую реализацию РЦ, позволяющих при изменении сопротивления изоляции РЛ и наличии помех от тягового тока устойчиво контролировать свободу участков рельсового пути и излом рельсов, и, на основе этого, разработать ИМ.

4. Выполнить анализ механизма появления помех от тягового тока в РЛ при движении электровозов, на основе которого разработать ИМ этих помех, позволяющую производить оценку помехоустойчивости каналов с РЛ, в частности, ПП РЦ;

5. Выполнить исследования РЦ с целью:

– оценки способности контролировать свободу участков рельсового пути и излом рельсов при изменении сопротивления изоляции РЛ;

– определения рабочих диапазонов частот, при использовании которых согласованные РЦ функционируют с повышенным уровнем помехоустойчивости ПП при необходимом и достаточном уровне потребления электроэнергии.

6. На основе результатов, полученных в данной работе, выработать рекомендации по разработке новых и совершенствованию существующих РЦ, позволяющие повысить их надежность в условиях изменения сопротивления изоляции РЛ и наличии помех в РЛ от тягового тока.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

2.1 Выбор метода исследования

Основным критерием оценки качества функционирования РЦ является обеспечение безопасности движения поездов. Учитывая то, что РЦ работают в условиях действия дестабилизирующих факторов и помех от тягового тока, одним из решающих факторов их сравнительной оценки является высокая помехоустойчивость ПП [17, 22-25, 89].

Таким образом, для определения эффективности РЦ необходимо установить способность ПП обеспечить прием и обработку сигналов с заданным уровнем достоверности при наихудших условиях эксплуатации. Кроме этого, количественная мера эффективности позволяет оценить качество функционирования РЦ при его работе в различных ситуациях, а также сравнивать РЦ между собой. Эта мера определяется показателями качества.

В соответствии с целевой функцией РЦ предпочтение следует отдать комплексной характеристике качества ПП – помехоустойчивости.

Помехоустойчивость ПП оценивается на основании приема элементарных дискретных символов.

При совершенствовании существующих и разработке новых систем во многих областях науки применяются экспериментальные и аналитические методы исследований.

Во многих случаях проведение достаточно полных экспериментальных исследований в естественных условиях требует значительные затраты материальных средств и времени, а в отдельных случаях этот метод исследований невозможен.

Особую важность в оценке помехоустойчивости каналов СИРДП, где в качестве линий связи применяются РЛ и индуктивно-рельсовые линии (ИРЛ), имеют исследования, выполненные на основе достоверного представления сигналов и помех.

Применительно к исследованиям некоторых видов помех в РЛ это обусловлено тем, что при одновременной фиксации значений параметров помех и всех основных факторов, влияющих на них, появляется потребность в специальной сложной и дорогостоящей аппаратуре. Более того, регистрация помех в аварийных ситуациях практически невозможна.

Аналитические методы лишены этих недостатков, однако применять их становится возможным лишь тогда, когда есть возможность достаточно точно описать математически все основные факторы, влияющие на исследуемый процесс.

В этих условиях единственным методом исследования является имитационное моделирование, под которым понимается воспроизведение происходящих процессов с имитацией детерминированных и случайных величин, от которых зависят эти процессы [26-32, 93, 94].

2.2 Алгоритмическая реализация согласованных РЦ

Для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов на РЦ, автор предлагает применять так называемые согласованные РЦ (две смежных РЦ с общим ПГ, подключенным к РЛ на границе их сопряжения). В согласованных РЦ обнаружение и обработка сигналов на выходе РЛ осуществляется посредством разностной аппроксимации (сравнение величин напряжений сигналов с выхода демодуляторов ПП смежных РЦ – получение т.н. согласия).

Поэтому в данном разделе представлены имитационные модели согласованных РЦ, в которых контроль величины напряжения сигнала на выходе РЛ осуществляется посредством разностной аппроксимацией (рисунки 2.18 и 2.19).

Особенностью работы согласованных РЦ является то, что алгоритмом их функционирования предусматривается проверка двух условий для определения свободности участков рельсового пути и излома рельсов:

- равенство значений напряжений сигналов на приемных концах РЦ;
- превышение уровней напряжений сигналов на приемных концах РЦ величины напряжения порога чувствительности ПП для шунтового режима РЦ.

Указанный алгоритм позволяет повысить устойчивость определения свободности рельсового пути и излома рельсов при изменении сопротивления изоляции РЛ.

Кроме этого, в данной работе для повышения надежности ЭМС смежных и параллельно расположенных согласованных РЦ предлагается применить частотное (несущие сигналов на разной частоте) и кодовое (каждым согласованным РЦ назначается свое кодовое слово) разделения сигналов [4, 9-15, 16, 17, 19, 22, 23 и 33].

Отличительной особенностью предложенной реализации согласованных РЦ является применение микроэлектронной элементной базы, позволяющей относительно легко реализовать алгоритм принятия решения (рисунок 2.1) о состоянии рельсового пути в условиях изменения сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ.

На рисунке 2.1 представлены следующие величины:

- $U_1(t)$ и $U_2(t)$ напряжения сигнала на выходе демодуляторов ПП первой и второй согласованных РЦ соответственно;
- $U_{ППШ}$ напряжение порога шунтовой чувствительности ПП согласованных РЦ (величина постоянная);
- Δ_t – величина, учитывающая естественный разброс величин $U_1(t)$ и $U_2(t)$ в реальных условиях эксплуатации;
- $\Delta_{t\text{ДОП}}$ – допустимый уровень величины Δ_t .

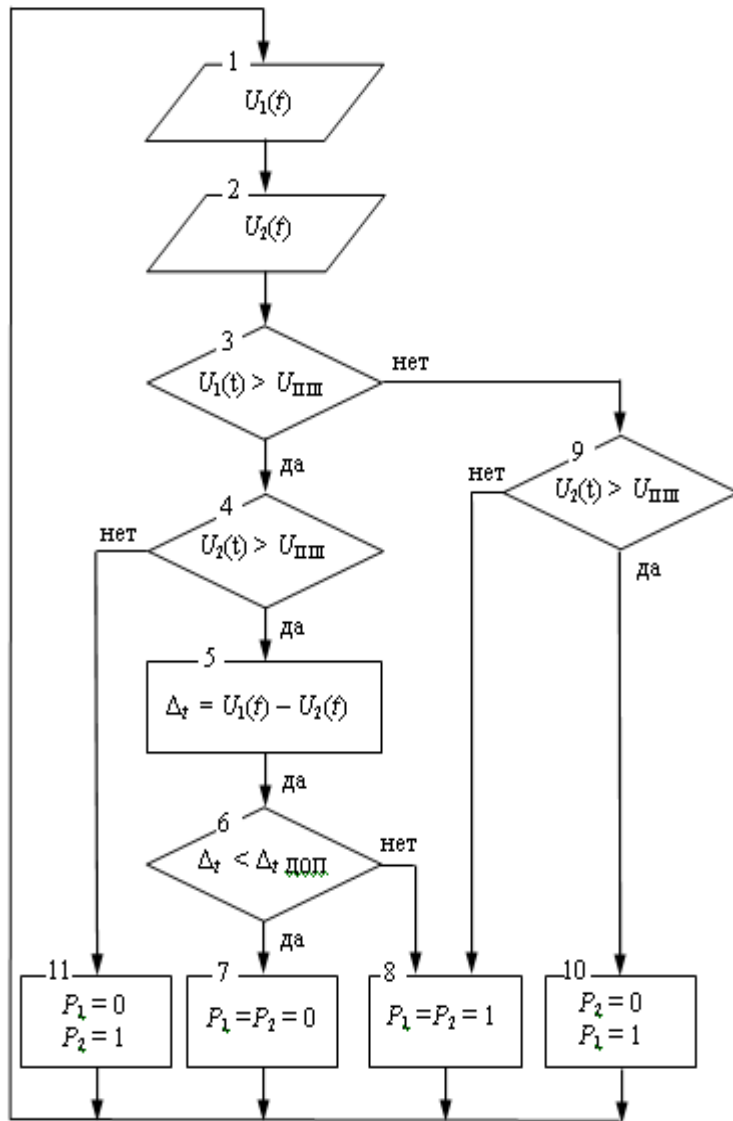


Рисунок 2.1 – Схема алгоритма алгоритм принятия решения согласованными РЦ

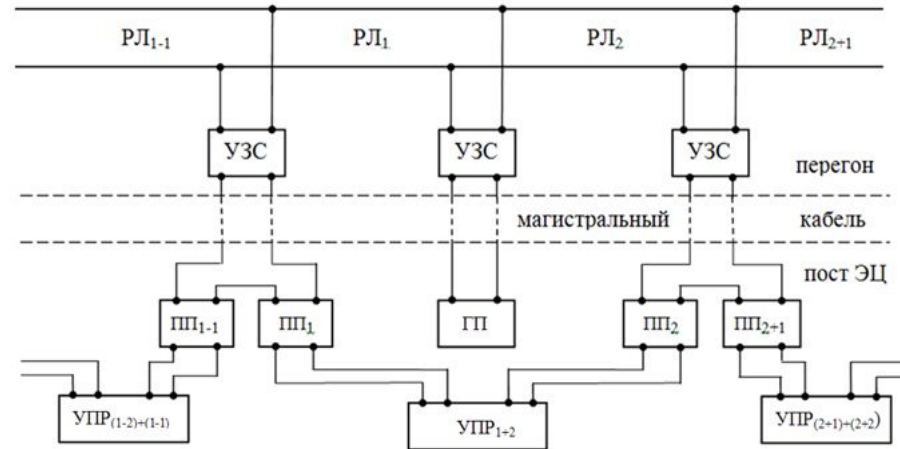


Рисунок 2.2 Электрическая функциональная схема согласованных РЦ

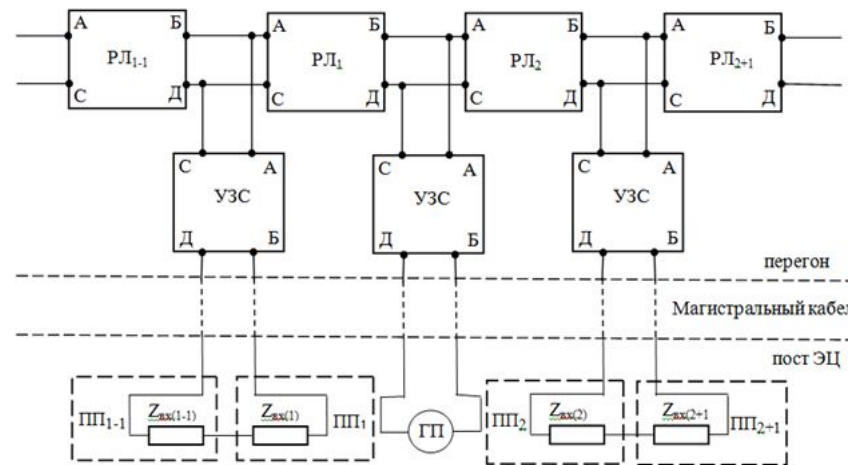


Рисунок 2.3 Схема замещения согласованных РЦ

Решение о возможности функционировать согласованных РЦ при изменении во времени сопротивления изоляции РЛ принимается на основе разностной аппроксимации:

1. Производится предварительная проверка неравенств

$$U_1(t) > U_{\text{ПШ}} \text{ и } U_2(t) > U_{\text{ПШ}};$$

2. Производится вычисление во времени соответствия

$$\Delta_t = U_1(t) - U_2(t);$$

3. Производится сравнение Δ_t с установленной нормами для конкретного случая величиной $\Delta_{t\text{ДОП}}$.

Проверим все возможные сочетания значений этих вычислений:

1. $U_1(t) > U_{\text{ПШ}}, U_2(t) > U_{\text{ПШ}}, \Delta_t = U_1(t) - U_2(t)$ и $\Delta_t < \Delta_{t\text{ДОП}}$. – проходим путь 1-2-3-4-5-6-7. Есть решение.

2. $\Delta_t \geq \Delta_{t\text{ДОП}}$ – проходим путь 1-2-3-4-5-6-8. Есть решение.

3. $U_1(t) > U_{\text{ПШ}}, U_2(t) \leq U_{\text{ПШ}}$ – проходим путь 1-2-3-4-11. Есть решение.

4. $U_1(t) \leq U_{\text{ПШ}}, U_2(t) > U_{\text{ПШ}}$ – проходим путь 1-2-3-9-10. Есть решение.

5. $U_1(t) \leq U_{\text{ПШ}}, U_2(t) \leq U_{\text{ПШ}}$ – проходим путь 1-2-3-9-8. Есть решение.

Алгоритм (рисунок 2.1) представляет особенности функционирования согласованных РЦ с общим ПГ следующим образом:

– в символах 1 и 2 производится оценка величины напряжения сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$ на выходе демодуляторов ПП согласованных РЦ, контролирующих первый и второй смежные участки рельсового пути;

– в символах 3 и символ 4 производят сравнение значений напряжения $U_1(t)$ и $U_2(t)$ соответственно с порогом чувствительности $U_{\text{ПШ}}$ по шунтовому режиму ПП РЦ ($U_1(t) > U_{\text{ПШ}}$ и $U_2(t) > U_{\text{ПШ}}$): если каждое из значений $U_1(t)$ и $U_2(t)$ превышает значение $U_{\text{ПШ}}$, то в символе 5 производится сравнение величин $U_1(t)$ и $U_2(t)$ между собой посредством разностной аппроксимации $\Delta_t = U_1(t) - U_2(t)$, а если $U_1(t) > U_{\text{ПШ}}$, а $U_2(t) \leq U_{\text{ПШ}}$, то в символе 11 принимается решение о занятом состоянии второго участка рельсового пути ($P_1 = 0; P_2 = 1$);

– в символе 6 производится сравнение величин Δ_t и $\Delta_{t\text{доп}}$ и на основании этого выполняется управление символами 7 и 8: если $\Delta_t < \Delta_{t\text{доп}}$, то в символе 7 принимается решение о свободном состоянии обоих контролируемых участков рельсового пути ($P_1 = P_2 = 0$), а если $\Delta_t \geq \Delta_{t\text{доп}}$, то в символе 8 принимается решение о занятом состоянии обоих контролируемых участков пути ($P_1 = 1; P_2 = 1$);

– в символе 9 принимается решение об управлении символами 8 и 10: если $U_2(t) \leq U_{\text{пш}}$, то в символе 8 принимается решение о занятом состоянии обоих контролируемых участков рельсового пути ($P_1 = 1; P_2 = 1$), а если $U_2(t) > U_{\text{пш}}$, то в символе 10 принимается решение о свободном состоянии второго участка рельсового и занятом состоянии первого участка рельсового пути.

На рисунке 2.2 представлена электрическая функциональная схема согласованных РЦ, реализующих алгоритм (рисунок 2.1).

На схеме представлены:

- РЛ₁ и РЛ₂ – рельсовые линии контролируемых первого и второго участков рельсового пути соответственно;
- РЛ₁₋₁ и РЛ₂₊₁ – рельсовые линии смежных с контролируемыми участками рельсового пути;
- УЗС – устройства защиты и согласования;
- ПГ – путевой генератор;
- ПП₁ и ПП₂ – путевые приемники первой и второй согласованных РЦ соответственно;
- ПП₁₋₁ и ПП₂₊₁ – путевые приемники РЦ смежных с согласованными РЦ;
- УПР₁₊₂ – устройство принятия решения о состоянии контролируемых участков рельсового пути;
- УПР₍₁₋₂₎₊₍₁₋₁₎ и УПР₍₂₊₁₎₊₍₂₊₂₎ – устройства принятия решения о состоянии участков рельсового пути, смежных с согласованными РЦ.

Устройство принятия решения о состоянии контролируемых участков рельсового пути УПР₁₊₂ функционирует в соответствии с алгоритмом, блок-схема которого представлена на рисунке 2.1.

На основе электрической функциональной схемы (рисунок 2.2) была составлена обобщенная схема замещения согласованных РЦ (рисунок 2.3), которая позволила с учетом теории РЦ и аппарата имитационного моделирования разработать ИМ согласованных РЦ (представлена в п.2.4).

2.3 Имитационные модели устройств согласованных рельсовых цепей

2.3.1 Особенности функционирования рельсовых цепей

В данном исследовании анализ функционирования ПП РЦ выполнен для РЦ, которые работают в пяти режимах: нормальном, шунтовом, контрольном, автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и короткого замыкания.

На рисунке 2.4 представлена структурная схема согласованных РЦ, контролирующая состояние двух смежных участков рельсового пути. При отсутствии на данных участках подвижной единицы и исправных рельсах, РЦ функционируют в нормальном режиме.

Согласованные РЦ содержат следующие устройства: одно общее для двух РЦ передающее устройство (ПДУ), в состав которого входят кодер К и ПГ; два тракта передачи сигналов (ТПС 1 и ТПС 2), в состав которых входят устройства согласования и защиты (УЗС) на передающем и приемных концах РЦ и РЛ; приёмные устройства (ПРУ 1 и ПРУ 2), содержащие в своем составе ПП 1 и ПП 2 и декодеры K^{-1} .

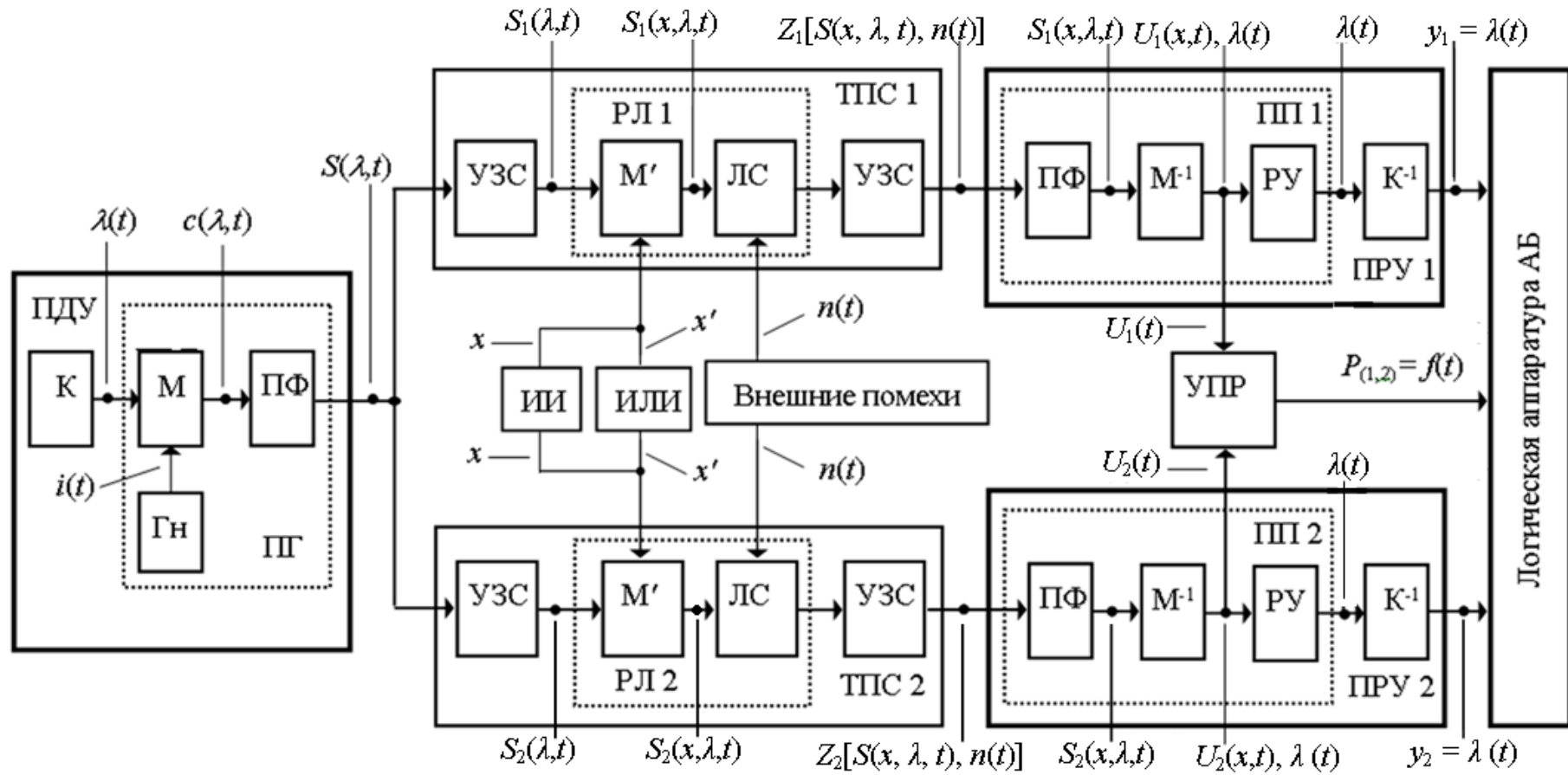


Рисунок 2.4 – Структурная схема согласованных РЦ

В тот момент, когда на контролируемый участок рельсового пути въезжает подвижная единица, соответствующая РЦ начинает функционировать в шунтовом режиме и режиме АЛС (на схеме путевые устройства АЛС не показаны). В современных системах АБ для обеспечения высокого уровня ЭМС применяется два вида контроля взаимного влияния РЦ: частотный и кодовый.

Поэтому в РЦ, контролируемых смежные и параллельно расположенные участки пути, применяются несущие сигнала на разных частотах и каждой РЦ назначается индивидуальная кодовая комбинации [4, 9-11, 17-19, 68, 88, 92].

В этой связи в данном пункте анализируются структура согласованных РЦ, в которых применяется два способа контроля взаимного влияния.

Согласованные РЦ в нормальном, шунтовом, контрольном режимах и режиме короткого замыкания функционируют следующим образом. Кодер К согласно кодовой комбинации, назначенной данной РЦ, формирует сообщение $\lambda(t)$. Модулятор М на основе $\lambda(t)$ совместно с несущей сигнала $i(t)$, которую вырабатывает генератор несущей Гн, формирует сигнал $c(\lambda, t)$. Полосовой фильтр ПФ, подавляя паразитные продукты модуляции, формирует сигнал $S(\lambda, t)$, поступающий через УЗС на передающие концы РЦ в РЛ 1 и РЛ 2. Протекающий в рельсовых нитях (РН) тяговый ток и атмосферные перенапряжения являются источником помех $n(t)$ в РЛ. Поэтому, для уменьшения влияния помех $n(t)$ на сигналы $S_1(\lambda, t)$ и $S_2(\lambda, t)$, а также на аппаратуру ПДУ 1, ПДУ 2, и ПРД 1, ПРД 2 ее подключают к РЛ через УЗС.

Колёсные пары подвижной единицы выполняют функцию поездного шунта (источник информации ИИ – x). При въезде поезда на контролируемый участок рельсового пути, колесные пары шунтируют РЛ, при этом, параметры РЛ изменяют свое значение. Параметры РЛ изменяются и в том случае, когда появляется изломанный рельс (источник ложной информации ИЛИ – x'). Изменение параметров РЛ 1 (РЛ 2) вызывает изменение параметров сигналов $S_1(\lambda, t)$ и $(S_2(\lambda, t))$, так как РЛ в этом случае работает как вторичный модулятор М'. Сигналы $S_1(x, \lambda, t)$ и $S_2(x, \lambda, t)$ распространяясь по РЛ 1 и РЛ 2, функционирующих в качестве линии связи ЛС, от ПДУ 1 (ПДУ 2) к ПРУ 1 (ПРУ 2) соответственно,

подвергаются воздействию помех $n(t)$ и поэтому на вход полосовых фильтров (ПФ) ПП 1 и ПП 2 поступают аддитивная смесь сигналов и помех $Z_1[S(x,\lambda,t),n(t)]$ и $Z_2[S(x,\lambda,t), n(t)]$ соответственно. На схеме указано основное место проникновения помех $n(t)$ в РЦ.

ПФ ПП 1 и ПП 2, подавляя помехи вне полосы рабочего диапазона частот, увеличивают отношение сигнал/помеха. Демодуляторы M^{-1} преобразует сигналы $S_1(x,\lambda,t)$ и $S_2(x,\lambda,t)$ в сигналы $U_1(x,t), \lambda(t)$ и $U_2(x,t), \lambda(t)$.

С выхода M^{-1} ПП 1 и ПП 2 сигналы $U_1(x)$ и $U_2(t)$ поступают на первый и второй входы устройства принятия решения (УПР) соответственно, а сигналы $U_1(x,t), \lambda(t)$ и $U_2(x,t), \lambda(t)$ – на вход соответствующих РУ ПП 1 и ПП 2.

ПФ пропускает сигнал только своего рабочего диапазона частот, а декодер K^{-1} «различает» только «свою» кодовую комбинацию. С выхода РУ ПП 1 и РУ ПП 2 на вход соответствующих декодеров K^{-1} поступает сообщение $\lambda(t)$, и которое после декодирования приобретает вид кодовой комбинации $y_1 = y_2 = \lambda(t)$.

С выхода K^{-1} – кодовая комбинация $y_1 = y_2 = \lambda(t)$ только «своего» контролируемого участка рельсового пути поступают в логическую аппаратуру АБ.

УПР, алгоритм работы которого представлен на рисунке 2.1, на основе процедур $U_1(t) > U_{\text{пш}}$ и $U_2(t) > U_{\text{пш}}$ и $\Delta_t = U_1(t) - U_2(t)$ принимает решение по работе согласованных РЦ по контролю участков рельсового пути при изменяющейся во времени величине сопротивления изоляции РЛ и передает об этом данные $[P_1 = f(t), P_2 = f(t)]$ в логическую аппаратуры АБ.

Данные о состоянии РЦ обрабатываются логическими устройствами АБ и используется для формирования информации о допустимой U_d и контролируемой U_k скорости движения поезда для передачи ее в кабину поездного локомотива.

2.3.2 Структура рельсовой цепи

В качестве объекта в данном исследовании принята за основу тональная РЦ типа ТРЦЗ с АМ-сигнала [33, 34, 99], структурные схемы устройств которой представлены на рисунке 2.5.

На рисунке 2.5, а изображена структурная схема ПДУ ТРЦЗ, которая содержит ПГ типа ГПЗ1, подключенный через полосовой фильтр типа ФПМ к тракту передачи сигнала ТПС.

Для исключения неисправностей в работе электронных элементов ГПЗ1 при наличии на его входе напряжений, возникающих от сигнального тока АЛСН, тягового тока и атмосферного электричества, в ТРЦ применены УЗС и ФПМ.

Генератор несущей Γ_H формирует несущую сигнала ТРЦ (форма несущей – квазигармонические колебания). Генератор манипулирующей Γ_M формирует манипулирующую сигнала – последовательность однополярных прямоугольных импульсов со скважностью два и частотой следования 8 или 12 Гц. Модулятор М перемножает несущую и манипулирующую сигнала.

В результате этого на выходе модулятора появляется АМ сигнал, имеющий три составляющие: колебание с несущей частотой, нижнее боковое колебание (с частотой, равной разности частот несущего и модулирующего колебаний), верхнее боковое колебание (с частотой, равной сумме частот несущего и модулирующего колебаний).

Предварительным усилителем $У_{п}$, регулятором напряжения $Р_H$ и выходным усилителем ВУ, устанавливается мощность сигнала ТРЦЗ на выходе ПГ, соответствующая мощности сигнала на входе ПП, необходимой для надежного срабатывания РУ1.

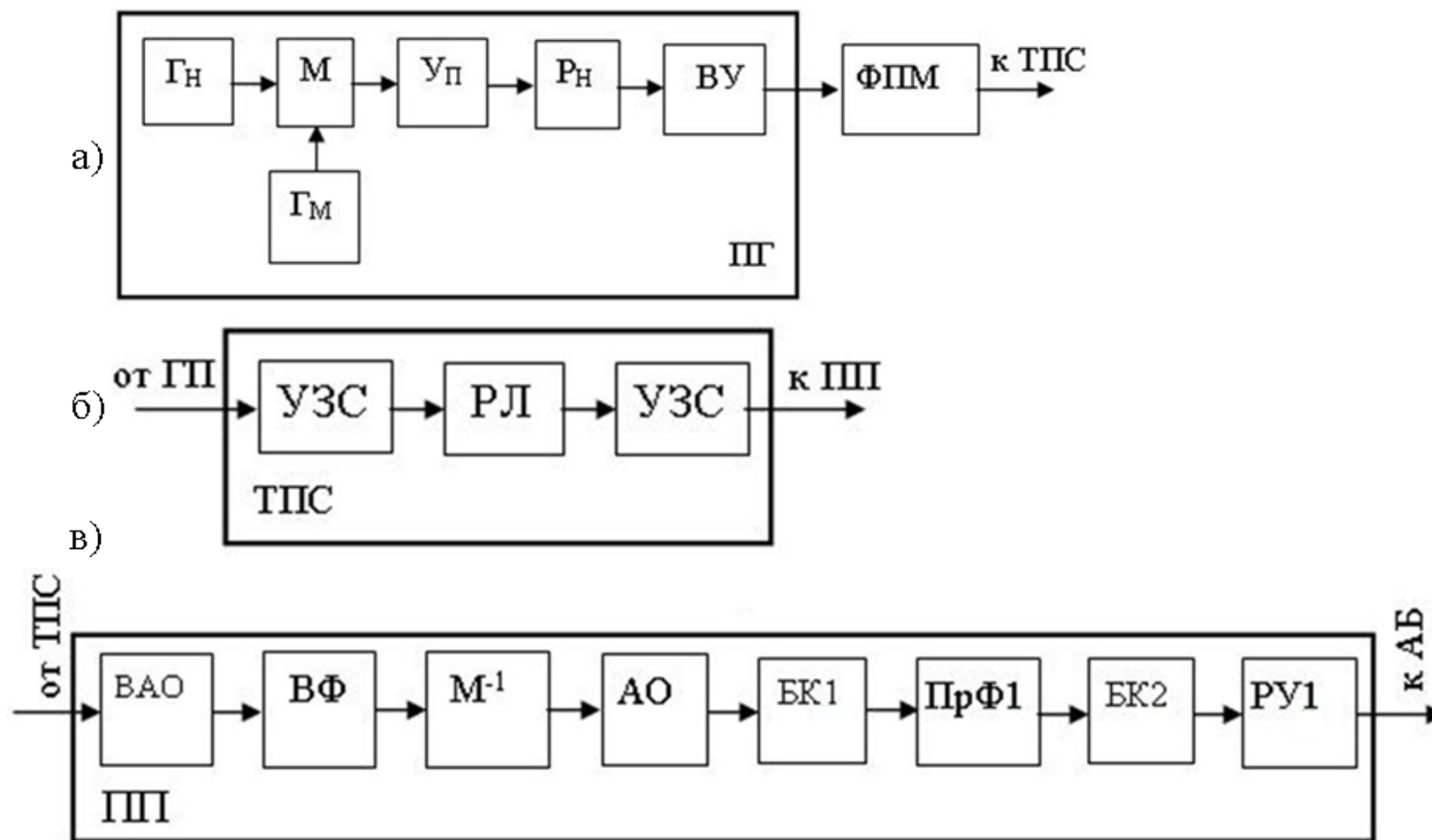


Рисунок 2.5 – Структура ТРЦ: *а* – структура ПП; *б* – структура ТПС; *в* – структура ПП

Сигнал, сформированный ГПЗ1, поступает в РЛ через путевой фильтр типа ФПМ. При этом ФПМ подавляя паразитные продукты манипуляции и гармонические составляющие сигнала, расположенные вне рабочего диапазона частот, окончательно формирует сигнал ТРЦ.

Кроме этого, ФПМ обеспечивает требуемое по условиям работы РЦ обратное входное сопротивление передающего конца РЛ и исключает мешающее влияние, вызванное наличием сигнала АЛСН, помех от тягового тока и атмосферного электричества в РЛ.

Таким образом, ГПЗ1 совместно с ФПМ формируют сигнал ТРЦ, который полностью «согласуется» с РЛ и обеспечивает ЭМС смежных и параллельно расположенных ТРЦ.

На рисунке 2.5, б представлена структурная схема тракта передачи сигнала, состоящего из РЛ и УЗС на передающем и приемном концах РЛ.

На рисунке 2.5, в представлена структурная схема ПП ТРЦЗ [33, 34], на основе которой разработана ИМ ПП ТРЦ с амплитудной манипуляцией (п. 2.3.4.1).

На выходе РЛ могут возникнуть высокие напряжения от тягового тока и атмосферного электричества, вызывающие повреждения и отказы электронных элементов ПП. Для исключения этого перед входным полосовым фильтром ВФ установлен входной амплитудный ограничитель ВАО.

Из теории приема сигналов известно [17, 25, 73], что в ПРУ применяется два вида фильтров: фильтр, создающий на своем выходе максимальное отношение «сигнал/помеха»; фильтр, обеспечивающий минимальную среднеквадратическую ошибку в воспроизведении формы сигнала.

Наличие фильтров первого вида обеспечивает создание максимального отношения «сигнал/помеха» при фильтрации манипулированных сигналов, т. е. фильтрации, предшествующей демодуляции сигнала. Второй вид фильтров применяется тогда, когда из шума выделяется не только один или несколько параметров сигнала, а весь сигнал, который является полезным сообщением. Этот вид фильтров устанавливается после демодуляторов.

Входной фильтр ВФ, являясь полосовым фильтром, подавляет помехи вне рабочего диапазона частот и тем самым создает на своем выходе максимальное отношение «сигнал/помеха».

Процесс демодуляции, выполняемый демодулятором M^{-1} ПП, является операцией, обратной модуляции, позволяющей восстановить переданное сообщение (первичный сигнал).

Для обеспечения минимальной среднеквадратической ошибки при восстановлении манипулирующего сигнала в ПП введен первый промежуточный полосовой фильтр ПрФ1, который подавляет паразитные продукты демодуляции и тем самым окончательно выделяет модулирующую составляющую.

Учитывая то, что в ТРЦ применяются манипулирующие сигналы (последовательность однополярных импульсов прямоугольной формы со скважностью два и частотой следования 8 или 12 Гц), частотные диапазоны которых расположены достаточно близко, дополнительно введен амплитудный ограничитель АО, который нормирует максимальное значение модулирующей и тем самым обеспечивает номинальную работу ПрФ1. Таким образом, ПрФ1 обеспечивает достаточно надежное разделение диапазонов частот смежных манипулирующих несущей сигнала (8 или 12 Гц).

Для согласования выходного сопротивления АО и входного сопротивления ПрФ1 введен первый буферный каскад БК1 [33]. Модулирующий сигнал с выхода первого промежуточного фильтра ПрФ1 через второй буферный каскад БК2 поступает на вход первого РУ1, которое принимает решение о наличии сигнала ТРЦ на входе ПП.

2.3.3 Имитационная модель рельсовой линии

Главной особенностью ТПС в РЦ является то, что в нем основной средой распространения сигнала является РЛ – электрическая линия, проводниками которой являются РН, состоящие из отдельных рельсов, электрически соединенных в пределах одной РЦ, а изоляцией между ними являются элементы подрельсового основания: нащпальные прокладки, шпалы, балласт, земляное полотно. В настоящее время широко применяются цельносварные РЛ.

Элементы РЛ участвуют в канализации тягового тока и подвержены постоянному механическому воздействию колесными парами подвижного состава. РЛ расположена близко к земляному полотну и поэтому у нее в сравнении с линиями связи (ЛС) в системах проводной связи низкое входное сопротивление.

В РЛ происходят значительные потери энергии сигнала и поэтому длина электромагнитной волны λ (км) и фазовая скорость V_{ϕ} (км/с) ее распространения вычисляются по формулам [4, 7]:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \text{ и } V_{\phi} = \frac{2\pi}{\beta} f_i ,$$

где β – километрический коэффициент фазы, рад/км;

f_H – частота несущей сигнала, Гц.

В РЛ V_{ϕ} изменяется в зависимости от сопротивления изоляции $R_{\text{и}}$ РЛ и частоты несущей сигнала f_H в пределах от 540 до 6380 км/с.

Длина электромагнитной волны в РЛ при различных значениях сопротивления изоляции $Z_{\text{и}}$ и частоте несущей сигнала f_H в диапазоне от 50 до 2000 Гц оказывается соизмеримой с геометрической длиной РЛ, при этом расстояние между РН в РЛ (между головками рельсов – 1520 мм) несоизмеримо меньше длины электромагнитных волн (1600...20000 м) [4]. Учитывая это, РЛ следует считать длинной линией. Поэтому условия передачи сигналов в РЛ

определяются ее вторичными параметрами: коэффициентом распространения волны γ и волновым сопротивлением Z_B .

Анализ условий распространения электромагнитной волны вдоль РЛ осуществляется на основе анализа связи между напряжениями и токами в начале и конце РЛ. Эта связь устанавливается при помощи уравнений РЛ:

$$\dot{U}_H = \dot{U}_K ch\gamma l + \dot{I}_K Z_B sh\gamma l; \quad (2.1)$$

$$\dot{I}_H = \dot{U}_K \frac{sh\gamma l}{Z_B} + \dot{I}_K ch\gamma l, \quad (2.2)$$

где \dot{U}_H и \dot{I}_H – напряжение и ток в начале РЛ соответственно;

\dot{U}_K и \dot{I}_K – напряжение и ток в конце РЛ соответственно;

$\gamma = \alpha + j\beta$ – коэффициент распространения, где α – коэффициент ослабления (затухания), а β – коэффициент фазы;

Z_B – волновое сопротивление, Ом;

l – длина РЛ, км.

Выражения (2.1) и (2.2) позволяют производить вычисления при условии задания величин напряжения \dot{U}_K и тока \dot{I}_K в конце РЛ.

При имитационном моделировании нагляднее устанавливать обратную зависимость между напряжением \dot{U}_K и током \dot{I}_K в конце и напряжением \dot{U}_H и током \dot{I}_H в начале РЛ соответственно. В этой связи и с учетом того, что в идеальных условиях эксплуатации РЛ можно считать длинной линией с равномерно распределенными параметрами, уравнения (2.1) и (2.2) преобразуем к виду

$$\dot{U}_K = \dot{U}_H (sh\gamma l - ch\gamma l), \quad (2.3)$$

$$\dot{I}_K = \dot{U}_H \frac{1}{Z_B} (ch\gamma l - sh\gamma l). \quad (2.4)$$

На рисунке 2.6 представлена блок-схема элементов ИМ РЛ, разработанная на основе выражений (2.3) и (2.4) в системе визуального моделирования *Simulink* среды MATLAB [35].

Блок-схема состоит из следующих элементов: 1 – задание модуля удельного сопротивления РЛ; 2 – задание сопротивления изоляции РЛ; 3 – задание аргумента удельного сопротивления РЛ; 4 – задание длины $l_{РЛ}$ РЛ; 5 – вычисление

гиперболических функций; 6 – вычисление величины $\text{ch}\gamma l$; 7 – вычисление величины $\text{sh}\gamma l$; 8 – вычисление абсолютного значения и фазы комплексного числа; 9 и 10 – выходные порты вывода модуля и аргумента соответственно коэффициента передачи РЛ.

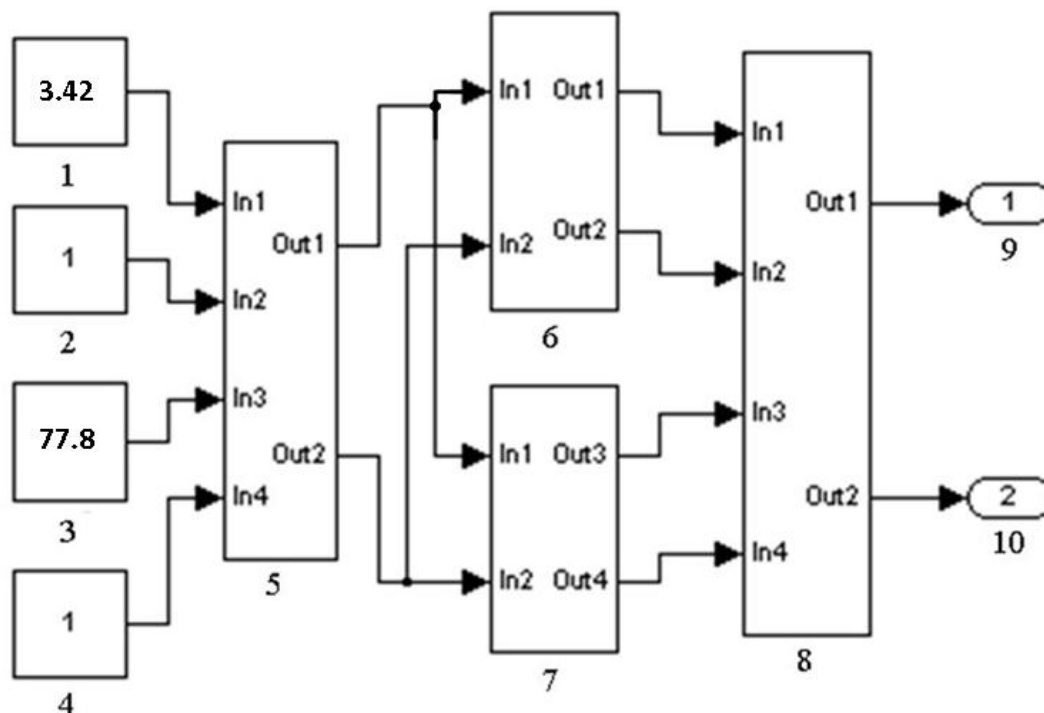


Рисунок 2.6 – Блок-схема элементов ИМ РЛ в *Simulink*

В представленную модель в качестве примера введены следующие данные:

- 375 Гц (частота несущей сигнала);
- 1,0 км ($l_{\text{РЛ}}$);
- 3,42 Ом/км (модуль удельного сопротивления РЛ на частоте 420 Гц);
- 77,8 градусов (аргумент удельного сопротивления РЛ на частоте 420 Гц);
- 1 Ом·км (сопротивление изоляции $Z_{\text{и}}$ РЛ);
- 10 В (амплитуда напряжения на входе РЛ).

Параметры РЛ изменяются в зависимости от частоты несущей сигнала сопротивления изоляции $Z_{\text{и}}$ РЛ. В предложенной модели имитация изменения величины сопротивления изоляции $Z_{\text{и}}$ РЛ осуществляется посредством ИМ модели, представленной блоком 2 (рисунок 2.6).

Данная ИМ позволяет оценивать зависимости напряжений и токов сигнала РЦ по концам РЛ, значения коэффициента затухания, что в итоге позволяет выполнить оценку помехоустойчивости ПП РЦ.

2.3.4 Имитационная модель путевого генератора рельсовой цепи

2.3.4.1 Имитационная модель путевого генератора АМ-сигнала

В данной работе осуществляется аналитическое исследование помехоустойчивости ПП АМ-сигнала и сигнала с двукратной фазоразностной манипуляцией (ФРМ-2). Поэтому в качестве полезного сигнала в данном исследовании применяются два сигнала: с АМ и с ФРМ-2.

Несущая АМ-сигнала расположена в диапазоне от 50 до 1000 Гц между гармониками, кратными частоте промышленного тока, на частотах: 75, 125, 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 827, 875, 925 и 975 Гц. В качестве манипулирующего сигнала принята последовательность однополярных прямоугольных импульсов со скважностью два. Такая форма сигнала применяется в ТРЦ [24, 33].

В общем виде амплитудно-модулированное колебание представляется следующим образом [17]:

$$U_c(\lambda, t) = U_{0c} [1 + m_a \lambda(t)] \sin(\omega_c t + \varphi_c), \quad (2.5)$$

где U_{0c} – амплитуда немодулированного колебания;

m_a – коэффициент амплитудной модуляции;

$\lambda(t)$ – нормированный информационный процесс;

ω_c – круговая частота несущей сигнала;

φ_c – начальная фаза.

В случае амплитудной манипуляции (2.5) приобретает вид:

$$U_c(\lambda, t) = \lambda(t)U_{oc}\sin(\omega_c t + \varphi_c). \quad (2.6)$$

В соответствии с выражением (2.6) в *Simulink* MATLAB [39] разработана имитационная модель ПГ ТРЦЗ – устройства, формирующего амплитудно-манипулированный сигнал U_c , блок-схема которой представлена на рисунке 2.7.

Разработанная ИМ полезного сигнала использована в главе 4 в статистических экспериментах для решения задачи оценки помехоустойчивости ПП РЦ АМ-сигнала.

На рисунке 2.8 представлены осциллограммы сигналов на выходе элементов ИМ устройства формирования (ПГ) АМ-сигнала соответственно:

- а) сигнал с выхода формирователя манипулирующей сигнала;
- б) сигнал с выхода генератора несущей сигнала;
- в) сигнал на выходе полосового фильтра.

2.3.4.2 Имитационная модель путевого генератора сигнала с ФРМ-2

Для уменьшения времени передачи информации и обеспечения высокой помехоустойчивости в настоящее время в СИРДП используется двукратная фазоразностная манипуляция [17, 36].

При разработке ФРМ-2 были применены методы, основанные на использовании конечных разностей функций.

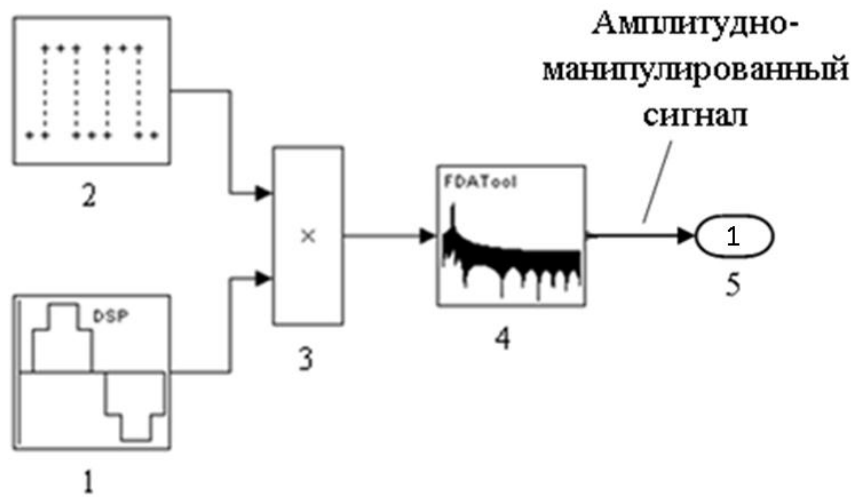


Рисунок 2.7 –Блок-схема ИМПГАМ-сигнала в *Simulink*:

- 1 – генератор несущей сигнала;
- 2 – формирователь манипулирующей сигнала;
- 3 – манипулятор;
- 4 –полосовой фильтр;
- 5 – выходной порт

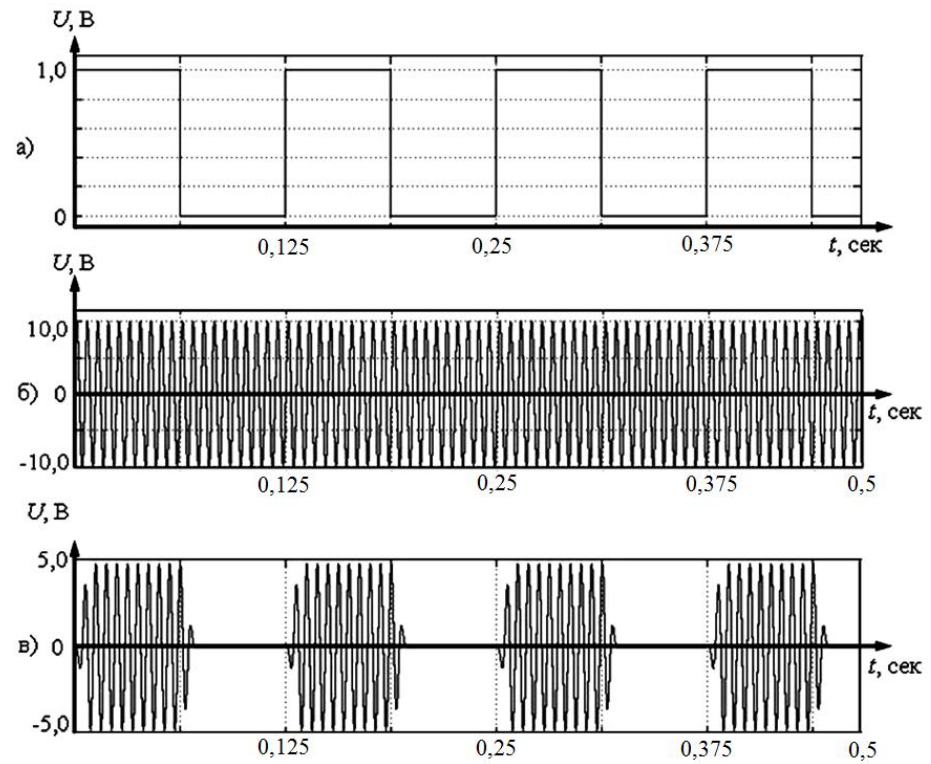


Рисунок 2.8 – Осциллограммы сигналов на выходе элементов устройства формирования АМ-сигнала

Известно [36], что конечная разность функции $\Delta_n^K \gamma$ (γ – фаза, параметр сигнала), представляющая собой конечную разность функции времени $i(t)$, выраженную через ее отсчеты в моменты t_1, t_2, \dots, t_n , имеет два индекса: верхний и нижний. Верхний индекс указывает порядок конечной разности, а нижний – номер разности, соответствующей ее положению во времени.

Верхний индекс $\Delta^K \gamma$ сохраняется в случае, если результат относится к любому значению разности K -го порядка. Если результат относится к любому значению разности любого порядка, то сохраняется символ без индекса Δf . Конечная разность $\Delta_n^K \gamma$ может быть вычислена непосредственно через отсчеты функции

$$\Delta_n^K \gamma = \sum_{i=0}^{K-1} (-1)^{K-i} C_K^i \gamma(t_{n-K+i}), \quad (2.7)$$

где C_K^i – число сочетаний из K по i .

Данный алгоритм позволяет вычислять K -ю разность непосредственно через значения параметра γ в $(K+1)$ отсчетных точках, минуя вычисления разностей более низкого порядка.

Таким образом, алгоритм модуляции и демодуляции конечных разностей фаз γ_n при ФРМ, основанный на выражении (2.7), принимает вид

$$\gamma_n = \Delta_n^K \gamma - \sum_{i=0}^{K-1} (-1)^{K-i} C_K^i \gamma_{n-K+i}. \quad (2.8)$$

Соотношения (2.7) и (2.8) определяют алгоритм работы передающей и приемной частей системы ФРМ K -го порядка.

Двукратная ФРМ (ФРМ-2) позволяет 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 $16 \times 16 = 256$.

В ФРМ-2 первого порядка информационным параметром сигнала является разность фаз между текущей посылкой и предыдущей.

Кратность ФРМ определяется выражением

$$K = \log_2 M,$$

где M – число возможных дискретных значений разности фаз.

При ФРМ-2 разность фаз может принимать четыре дискретных значения (0° , 90° , 180° и 270°). Одна элементарная посылка содержит два бита информации.

Использование ФРМ-2 и модифицированного кода Бауэра позволяет значительно уменьшить мощность ПГ, так как необходимый уровень полезного сигнала на входе ПП (обеспечивающий заданную достоверность) достигается при уровне сигнального тока в конце РЛ в 2 раза меньше, чем в РЦ с ПП АМ-сигнала. В сигнале с ФРМ-2, принятом в данном исследовании, одна элементарная посылка содержит 16 периодов несущей и имеет длительность $t_0 = 0,1$ с.

Для передачи элементарной посылки заданной длительности, при которой обеспечивается уверенный приём информации при использовании ФРМ-2, требуется минимальная полоса частот, равная примерно

$$П_\phi = 1,5/t_0.$$

ФРМ-2 определяет параллельную организацию кодового цикла, когда по одному подканалу передаются кодовые комбинации КК, а по другому – сигнал цикловой синхронизации в виде синхрогрупп (СГ) той же разрядности, что и КК. Использование в качестве СГ нескольких кодовых слов позволяет увеличить объём передаваемой информации и реализовать кодовую защиту по сигналу цикловой синхронизации от сигналов ПГ РЦ, контролирурующих смежные и параллельно расположенные пути на перегонах и станциях, в результате обработки которых может быть получена ложная информация о состоянии РЛ.

Использование ФРМ-2 эффективно и с точки зрения помехоустойчивости, так как по помехоустойчивости она не уступает частотной манипуляции и в 2 раза эффективнее по мощности по сравнению с АМ при той же помехоустойчивости.

В соответствии с выражениями (2.3 и 2.4) разработана в *Simulink* MATLAB [35, 37-39] ИМ формирователя сигналов (ПГ) с ФРМ-2, представленная на рисунке

2.9: 1 – генератор несущей сигнала; 2 – многоканальный ключ (МК), устройства ПГ сигнала с ФРМ-2; 3 – генератор однополярных импульсов со скважностью 2; 4 – формирователь сигнала СГ; 5 – формирователь сигнала КК; 6 – формирователь управляющего сигнала МК (блок 2); 7 – счетчик количества сформированных и переданных имитационной моделью (блок 2) бит сигнала; 8, 9, 10 и 11 – выходные порты для вывода на внешнюю модель сигнала с ФРМ-2, количества сформированных и переданных бит сигнала (N бит), сигнала СГ и сигнала КК соответственно.

ИМ ПГ сигнала с ФРМ-2 функционирует следующим образом.

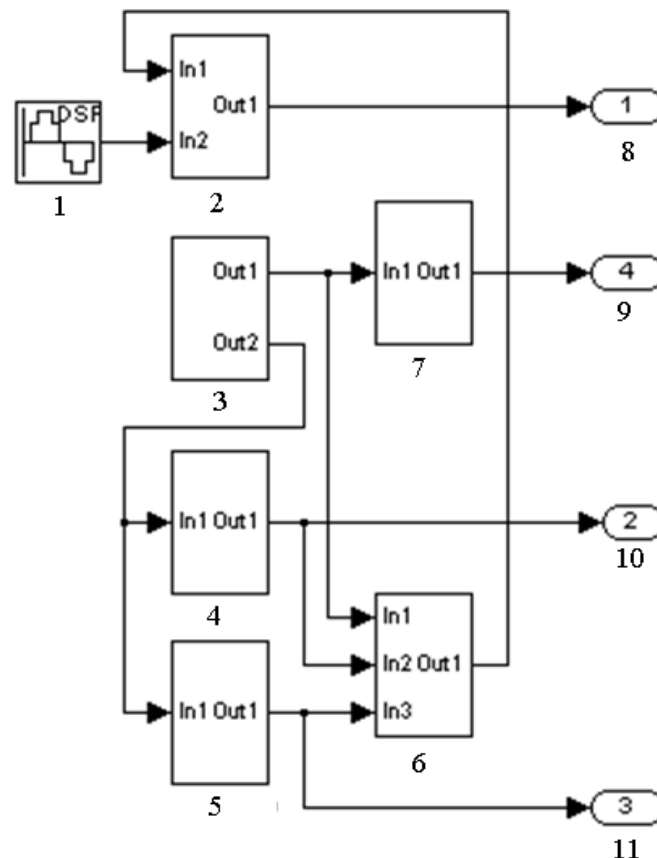


Рисунок 2.9 – Блок-схема ИМ ПГ с ФРМ-2 в *Simulink*

Гармонические колебания несущей частоты с начальными сдвигами фаз 0° , 90° , 180° и 270° формируются генератором несущей сигнала (блок 1), которая через многоканальный ключ (блок 2), коммутирующего несущую частоту в функции соответствующей фазы, поступает на выход. Генератор (блок 3) формирует однополярные прямоугольные импульсы со скважностью 2,

посредством которых задаются границы элементарных посылок полезного сигнала. Формирователи сигнала СГ (блок 4) и сигнала КК, коммутируют входы и выход многоканального ключа (блок 2) через формирователь управляющего сигнала (блок 6), содержащего восемь переключателей (позволяет задавать значение «0» или «1» для любого элемента СГ и КК). Выходные порты «СГ» (блок 10) и «КК» (блок 11) осуществляют вывод эталонных сигналов СГ и КК для анализа помехоустойчивости путём сравнения с ними сигналов на выходе ПП РЦ, полученных в результате обработки.

На выходной порт (блок 9) «N бит» выводится количество сформированных и переданных имитационной моделью формирователя сигналов с ФРМ-2 бит сигнала, суммарно по подканалам СГ и КК.

Выходной порт 8 выводит сформированный сигнал с ФРМ-2.

Для исследования в качестве СГ и КК приняты последовательности «11001100» и «10101010» соответственно, что будет соответствовать таким разностям фаз соседних посылок $\Delta\varphi$: «180-270-90-0-180-270-90-0» (квадранты «3-4-2-1-3-4-2-1»). Это сделано для того, чтобы проанализировать работу ПП при всех возможных значениях $\Delta\varphi$.

Осциллограмма сформированного ИМ сигнала с ФРМ-2 амплитудой 0,1 В длительностью 8 элементарных посылок в качестве примера представлена на рисунках 2.10 и 2.11.

На рисунке 2.10 представлены модели логических сигналов СГ и КК соответственно:

- а) логический сигнал СГ – двоичная последовательность «00110011»;
- б) логический сигнал КК – двоичная последовательность «01010101».

На рисунке 2.11 представлена осциллограмма сигнала с ФРМ-2, сформированного в соответствии с логическими сигналами СГ и КК (рисунок 2.10).

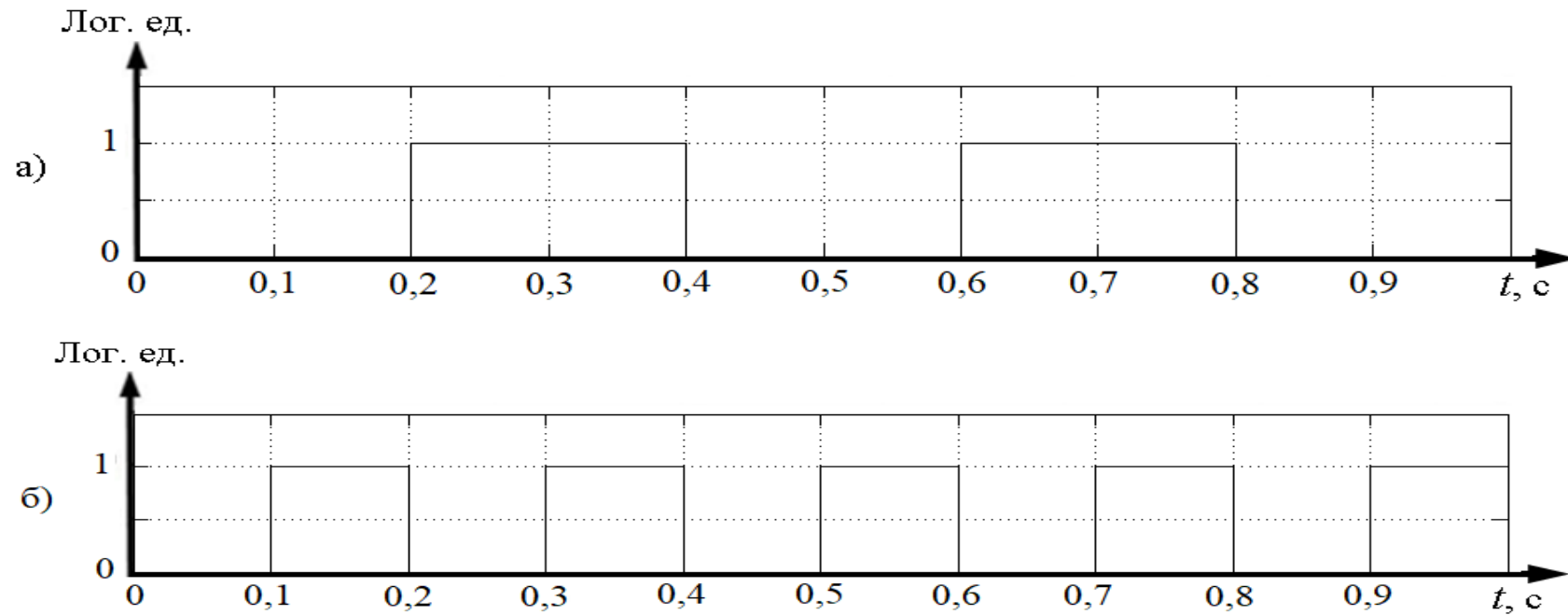


Рисунок 2.10 – Осциллограммы моделей логических сигналов: а – СГ; б – КК

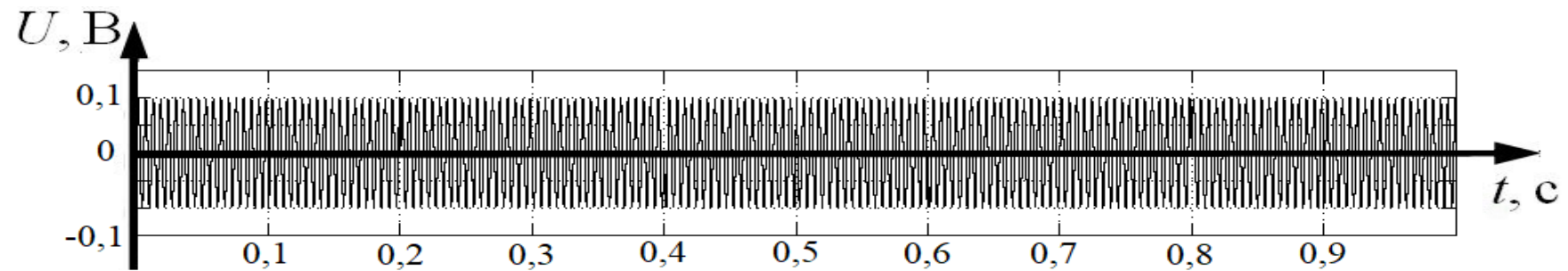


Рисунок 2.11 – Осциллограмма модели сигнала с ФРМ-2

2.3.5 Имитационная модель путевого приемника рельсовой цепи

2.3.5.1 Анализ существующих способов защиты от воздействия аддитивных помех в рельсовых линиях

Защита от аддитивных флуктуационных помех. С учётом особенности функционального назначения РЦ, работа которых осуществляется с использованием передачи сигналов по РЛ, в данном исследовании предложено использовать для оценки помехоустойчивости ПП РЦ количество ошибок при приеме сигнала в функции частоты его несущей, которая, в свою очередь, зависит от отношения сигнал/помеха, в частности, мощности сигнала к мощности помехи.

Оценка помехоустойчивости РЦ в свою очередь поможет установить эффективность использования диапазонов рабочих частот [17, 21, 25, 40-45, 73, 102]

$$\eta = \frac{R}{\Delta f_{\text{Э}}},$$

где R – скорость передачи информации, дв. ед./с;

$\Delta f_{\text{Э}}$ – эффективная полоса частот по входу приёмника, Гц.

Оценка помехоустойчивости с учётом величины $\Delta f_{\text{Э}}$ объясняется тем, что рабочие диапазоны частот РЦ могут располагаться только между гармониками кратными частоте промышленного тока.

Обработка сигналов ПП РЦ начинается с фильтрации (преддетекторная обработка), которая предполагает, что сигнал РЦ и помехи стационарны, а фильтрация линейна. Поэтому критерием качества линейной фильтрации является отношение мощности сигнала к мощности помехи h^2 на выходе входного полосового фильтра ПП, который позволяет получить максимальную величину этой h^2 .

Свойства частотной передаточной функции $K(j\omega)$ оптимального линейного фильтра принято определять при воздействии на его входе радиоимпульса прямоугольной формы

$$A(t) = a(t)\cos\omega t \text{ при } 0 \leq t \leq \tau,$$

где τ – длительность радиоимпульса, и флуктуационной помехи, имеющую вид стационарного случайного процесса;

a – амплитуда радиоимпульса.

$$N(t) = n(t)\cos[\omega t + \varphi(t)] = x(t)\cos\omega t + y(t)\sin\omega t,$$

где $x(t) = n(t)\sin\varphi(t)$; $y(t) = n(t)\cos\varphi(t)$.

Следует учитывать, что в этом случае величины $a(t)$, $x(t)$, $y(t)$ и $\varphi(t)$ изменяются медленно в сравнении с $\cos\omega t$, а функции времени $x(t)$ и $y(t)$ – случайные независимые функции с нормальным распределением вероятностей, нулевым средним значением и дисперсией

$$\delta^2 = \nu_0^2 \Delta f \Delta t,$$

где ν_0^2 – удельная интенсивность мощности помехи (спектральная плотность мощности).

Максимальное значение отношения сигнал/помеха h^2 на выходе оптимального линейного фильтра может быть обеспечено, если его частотная передаточная функция $K(j\omega)$ может быть определена согласно выражению

$$K(j\omega) = ce^{-j\omega\tau} \frac{S^*(j\omega)}{G_N(\omega)},$$

где $S^*(j\omega)$ – функция, комплексно сопряжённая с функцией спектральной плотности сигнала $S(j\omega)$;

$G_N(\omega)$ – энергетический спектр помехи.

Отношение сигнал/помеха на выходе линейного фильтра имеет максимальное значение

$$h^2_{\max} = Q^2 = \frac{\int_0^{\tau} a^2(t) dt}{2\nu_0^2},$$

равное отношению энергии сигнала к удельной интенсивности помехи. Линейный фильтр с характеристиками, удовлетворяющий условию (3.1), является оптимальным согласованным фильтром. Установлено [45], что в диапазоне частот от 125 до 475 Гц спектральная плотность флуктуационной помехи в РЛ остаётся практически постоянной в полосе рабочих частот РЦ около 15 Гц.

Поэтому при прямоугольной форме огибающей сигнала РЦ максимальное отношение сигнала/помеха примет вид

$$Q^2 = \frac{a_0^2 \tau}{2\nu_0^2},$$

где a_0 – амплитуда сигнала, постоянная в пределах τ .

В реальных ПП РЦ применяются квазиоптимальные входные фильтры, у которых величина h^2 меньше, чем у оптимального фильтра до 20% [17].

Линейная оптимальная преддетекторная обработка сигналов осуществляется с помощью оптимального интегратора сигнала и помехи. Оптимальный интегратор осуществляет интегрирование сигнала и помехи с весовой функцией, воспроизводящей с точностью до постоянного множителя форму сигнала и помехи. При флуктуационных помехах помехозащищённость оптимального интегратора соответствует помехозащищённости оптимального согласованного фильтра.

Защита от аддитивных импульсных помех. Для подавления импульсных помех в реальных ПП РЦ широко применяется схема ШОУ (широкая полоса – ограничение – узкая полоса), которая позволяет реализовать нелинейную преддетекторную обработку сигналов с высокой эффективностью [84, 98, 100]. Амплитудный ограничитель устанавливает максимальный уровень импульсной помехи, который равен уровню полезного сигнала, при этом увеличивается отношение мощности сигнала к мощности импульсной помехи. Узкополосный фильтр на выходе схемы ШОУ, согласованный со спектром полезного сигнала, значительно повышает отношение сигнал/помеха. Отношение сигнал/помеха в этом случае можно определить следующим образом

$$\left(\frac{C}{P}\right)_{\text{ШОУ}} = \frac{U_0 \tau}{U_0 \Delta t} = \frac{\tau}{\Delta t},$$

где U_0 – уровень порога ограничителя;

τ – длительность элементарного символа сигнала;

Δt – длительность импульсной помехи.

Учитывая то, что длительность импульсной помехи практически не зависит от широкополосного фильтра на входе схемы ШОУ, отношение сигнал/помеха будет определяться, главным образом, эффективной полосой пропускания узкополосного фильтра $\Delta f_{\text{ЭУ}}$ на выходе схемы

$$\left(\frac{C}{P}\right)_{\text{ШОУ}} = \frac{\Delta f_{\text{ЭШ}}}{b \Delta f_{\text{ЭУ}}} = \frac{\tau}{\Delta t}, \quad (2.9)$$

где $b = \ln 2 \frac{S_0 \Delta f_{\text{ЭШ}}}{U_0}$;

$\Delta f_{\text{ЭШ}}$ – эффективная полоса пропускания широкополосного фильтра на входе ограничителя схемы ШОУ;

S_0 – спектральная плотность помехи.

Отношение (2.9) показывает, что чем шире полоса пропускания входного фильтра в схеме ШОУ, тем выше эффективность подавления импульсной помехи. Помехоустойчивость приёмников ФРМ-2-сигналов со схемами ШОУ значительно выше ПП АМ-сигналов и ЧМ-сигналов [17, 36]. Учитывая это, влияние импульсных помех на помехоустойчивость приёмников ФРМ-2-сигналов можно исключить уже при отношении эффективных полос пропускания широкополосного и узкополосного фильтров

$$R_{\text{ФМ}} > \frac{2}{\ln 2} \approx 3b,$$

где $b = \frac{1}{2} \frac{\ln(25_0 \Delta f_{\text{ЭШ}})}{U_0}$;

U_0 – уровень порога ограничения.

Поэтому отношение полос широкополосных входных фильтров схемы ШОУ для ЧМ-сигналов ($k_{\text{ЧМ}}$) и для ФРМ-2-сигналов ($k_{\text{ФМ}}$) может соответствовать следующему выражению:

$$\frac{k_{\text{чм}}}{k_{\text{ФМ}}} = \frac{5b}{3b} = 1,66.$$

Если отношение эффективных полос пропускания широкополосного и узкополосного фильтров будет соответствовать неравенству $k_{AM} \geq 7b$, то при применении схемы ШОУ влияние импульсных помех на помехоустойчивость ПП амплитудно-манипулированных сигналов РЦ можно исключить.

2.3.5.2 Имитационная модель путевого приемника АМ-сигнала

В данной работе для исследования помехоустойчивости ПП АМ-сигнала РЦ принят ПП ТРЦЗ (рисунок 3.5), принцип функционирования которого можно представить посредством блок-схемы ИМ в *Simulink* на рисунке 2.12.

Блок-схема содержит следующие элементы и устройства: 1 – блок входной порт (с выхода РЛ); 2 – блок полосовой фильтр; 3 – блок амплитудный детектор; 4 – блок задания порога; 5 – блок первое решающее устройство РУ1; 5 – блок вывода, выходной порт (к входу второго решающего устройства РУ2).

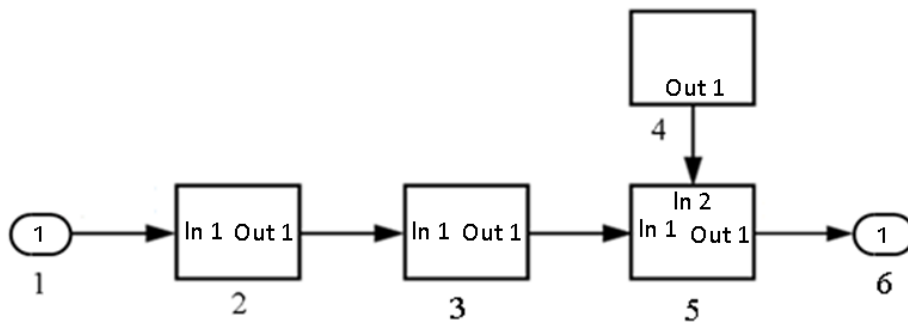


Рисунок 2.12 – Функциональная схема ИМ ПП АМ-сигнала в *Simulink*

ПП представляет собой линейный приёмник с амплитудным детектированием и постоянным порогом принятия решения.

Аддитивная смесь АМ-сигнала и помехи поступает на вход цифрового полосового фильтра ПФ с центральной частотой 75 (125, 175, 225, ..., 975) Гц и эффективной полосой пропускания 24 Гц на уровне – 6 дБ. Полосовой фильтр – цифровой нерекурсивный с фильтрующим окном Кайзера. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания ПФ – не более 1 дБ. Затухание соседних с полосой пропускания гармоник, кратных промышленной частоте 50 Гц, – не менее 40 дБ.

В амплитудном детекторе АД, накапливающем в буфере скользящую выборку отсчетов несущей сигнала объемом $N_{АД} = \frac{f_D}{f_H}$ (f_D – частота дискретизации сигналов при моделировании), посредством определения максимального значения отсчетов выборки выделяется огибающая сигнала. Объем выборки определяется необходимостью накопления отсчетов одного периода несущей с частотой f_H при частоте дискретизации обрабатываемого сигнала f_D (например, для АМ-сигнала с частотой дискретизации 8000 Гц и частотой несущей 75 Гц $N_{АД} = 8000/75 = 106,7 \approx 107$ отсчетов).

Выделенная огибающая поступает на один из входов порогового решающего устройства РУ, на другой вход которого поступает сигнал порога сравнения с выхода блока задания порога БЗП.

При моделировании значение порога сравнения РУ задано равным половине амплитуды АМ-сигнала, что соответствует критерию максимального правдоподобия.

Блок РУ выполняет функцию порогового решающего устройства: на основе сравнения огибающей сигнала и порога сравнения он формирует на своем выходе сигнал логической «1», когда текущее значение огибающей превышает значение порога, или сигнал логического «0» в противном случае.

На рисунке 2.13 представлена блок-схема имитационной модели ПП АМ-сигнала в системе визуального моделирования *Simulink*, составленная на основе схем рисунках 2.5, в и 2.12.

Виртуальная имитационная модель ПП составлена с учетом того, что имитация производится с некоторыми упрощениями, которые не оказывают

существенного влияния на функционирование ПП. При исследованиях влияния на помехоустойчивость особенности функционирования элементной базы ПП можно исключить. В данном исследовании оценивается помехоустойчивость ПП в зависимости от рабочей частоты РЦ. Поэтому в модели ПП отсутствуют следующие элементы: входной амплитудный ограничитель ВАО, амплитудный ограничитель АО, буферные каскады БК1 и БК2.

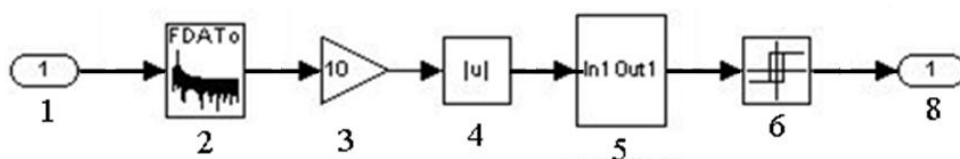


Рисунок 2.13 – Блок-схема элементов ПП ТРЦЗ в *Simulink*:

- 1 – входной порт; 2 – входной полосовой фильтр; 3 – усилитель; 4 – демодулятор;
 5 – первой полосовой фильтр; 6 – первое решающее устройство (РУ1);
 7 – осциллограф; 8 – выходной порт

На рисунке 2.14 представлены осциллограммы откликов на выходе элементов модели ПП ТРЦЗ на воздействие сигнала ТРЦЗ, которые демонстрируют их форму и механизм обработки сигнала:

– осциллограмма (рисунок 2.14, а) представляет отклик сигнала на выходе входного полосового фильтра ПП, подавляющего составляющие вне рабочего диапазона частот;

– осциллограмма (рисунок 2.14, б), представляет отклик сигнала на выходе демодулятора M^{-1} , выделяющего огибающую сигнала на выходе входного полосового фильтра;

– осциллограмма (рисунок 2.14, в), представляет отклик сигнала на выходе первого полосового фильтра, выделяющего первую гармоническую составляющую сигнала на выходе входного полосового фильтра;

– осциллограмма (рисунок 2.14, г) представляет сигнал на выходе РУ1, принимающего решение о наличии сигнала на входе ПП.

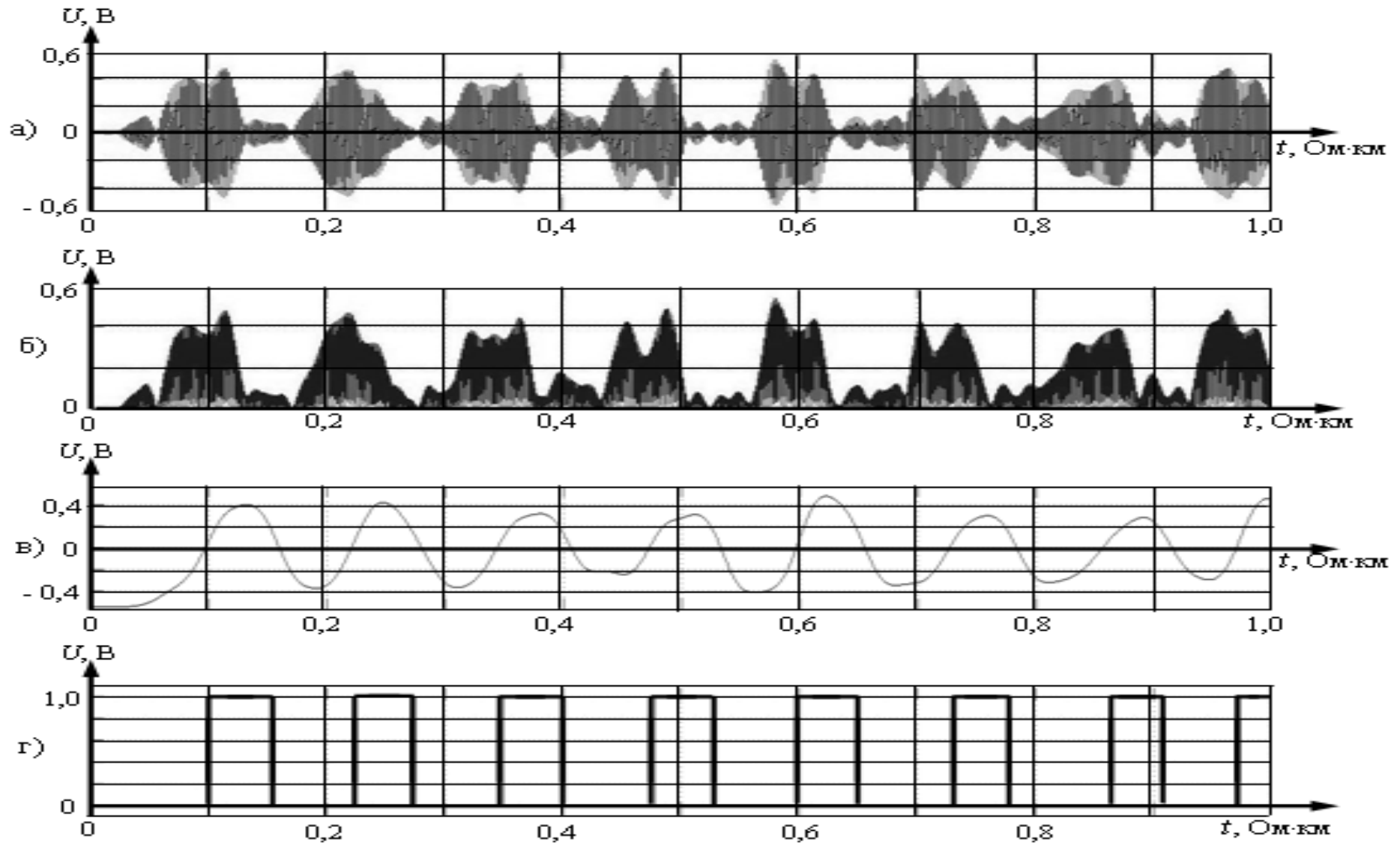


Рисунок 2.14 – Осциллограммы откликов сигналов: *а* – на выходе ВФ; *б* – на выходе демодулятора; *в* – на выходе первого полосового фильтра; *г* – на выходе РУ1

2.3.5.3 Имитационная модель путевого приемника сигнала с ФРМ-2

Анализ помехоустойчивости ПП сигналов с ФРМ-2 в данных исследованиях выполнен посредством ИМ согласованных РЦ (рисунки 2.18 и 2.19). Для реализации этого ИМ ПП и ПП АМ-сигналов заменяется на ПП и ПП сигналов с ФРМ-2.

Основным устройством ПП сигналов с ФРМ-2 является демодулятор.

Схема цифрового демодулятора сигналов с ФРМ-2, реализующая предложенный метод, представлена на рисунке 2.15 [46].

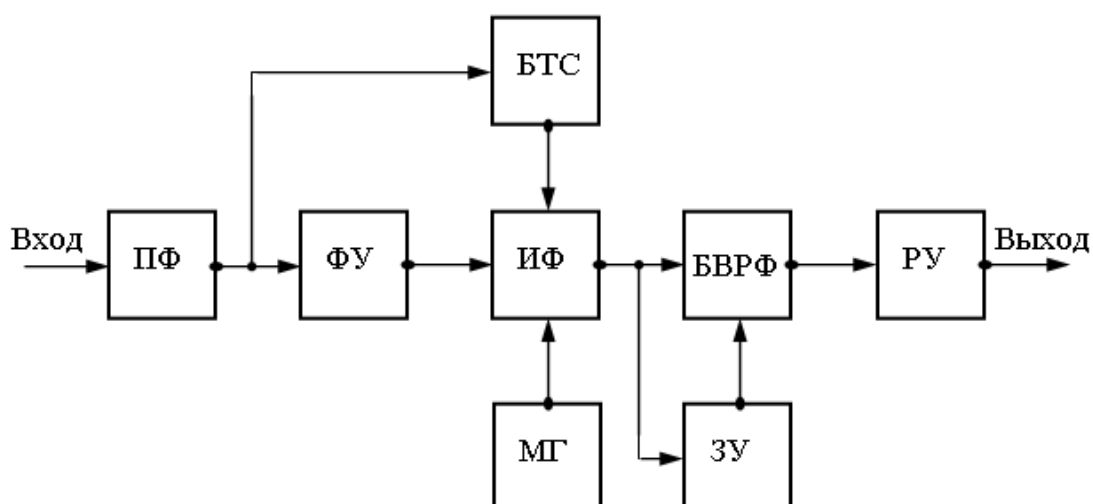


Рисунок 2.15 – Функциональная схема цифрового демодулятора сигналов с ФРМ-2

На схеме представлены следующие функциональные устройства: полосовой фильтр ПФ, формирующее устройство ФУ; блок тактовой синхронизации БТС; измеритель фазы ИФ; местный генератор МГ; запоминающее устройство ЗУ; блок вычисления разности фаз БВРФ; решающее устройство РУ.

Формирующее устройство ФУ преобразует синусоидальный фазоманипулированный сигнал в последовательность однополярных

импульсов, моменты появления которых соответствуют моментам «положительных и отрицательных» переходов входного напряжения через нулевой уровень.

Блок тактовой синхронизации БТС вырабатывает импульсы для определения моментов изменения фазы колебания i -й посылки для последующего его сравнения с фазой колебаний $(i+1)$ -й посылки. Блок вычисления разности фаз БВРФ рассчитывает разность фаз i -й и $(i+1)$ -й посылок. Решающее устройство РУ принимает решение о принятом символе кодовой комбинации.

Данный демодулятор реализует некогерентный прием сигналов с ФРМ-2, близкий к оптимальному согласно критерию идеального наблюдателя Котельникова-Зигера. В демодуляторе измеряется непосредственная разность фаз двух соседних посылок. Входной фильтр в этом демодуляторе близок оптимальному, что обусловлено скоростью передачи и полосой пропускания одного частотного канала, ограниченного частотами гармонических помех, кратных частоте промышленного тока (гармоники тягового тока). При эффективной полосе входного фильтра $\Delta f_{\text{э}}$, которая удовлетворяет неравенству $\Delta f_{\text{э}} \leq \frac{2,5}{\tau}$, применяется однократное измерение фазы колебаний отдельных посылок (метод однократной пробы).

На рисунке 2.16 представлена блок-схема ИМ ПП сигнала с ФРМ-2, составленная в системе визуального моделирования Simulink среды MATLAB на основе схемы (рисунок 2.15) и выражений (2.3) и (2.4) на базе [71].

ПП сигнала с ФРМ-2 представляет собой квазикогерентный приемник с линейной фильтрацией, содержащий следующие блоки: 1 – входной порт; 2 – полосовой фильтр; 3 – ограничитель чувствительности приемника; 4 – измеритель фазы посылок принимаемого сигнала; 5 – демодулятор сигнала; 6 и 7 – выходные порты.

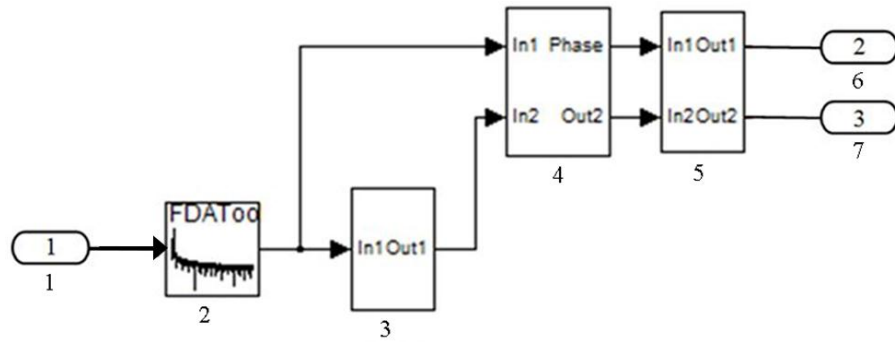


Рисунок 2.16 – Блок-схема ИМ ПП сигнала с ФРМ-2 в Simulink

Полосовой фильтр – цифровой нерекурсивный с весовым окном Кайзера с шириной эффективной полосы пропускания 24 Гц. Затухание соседних гармоник, кратных 50 Гц – не менее 40 дБ.

С выхода ПФ сигнал поступает на вход блока 2, который осуществляет ограничение чувствительности приемника на уровне 36 мВ. Этот блок также реализует функцию таймера, который включает приемник через 1,4 с после появления на входе блока сигнала с ФРМ-2, и выключает приемник через 0,2 с после пропадания сигнала с ФРМ-2.

В блоке 4 осуществляется непрерывное измерение фазы посылок принимаемого сигнала с ФРМ-2. При этом на первый вход блока 4 поступает сигнал с выхода полосового фильтра ПФ, а на второй вход – сигнал разрешения обработки с выхода блока 3. Значения измеренной фазы посылок сигнала поступают на первый выход блока 4, на второй выход которого подаются стробы, соответствующие фронтам несущей принимаемого сигнала с ФРМ-2.

Демодуляцию сигнала РЦ и формирование по ее результатам сигналов СГ и КК реализует блок 5. Для этого на первый вход блока 5 поступает сигнал со значением текущей фазы принимаемой посылки с первого выхода блока 4, а на второй вход – стробы фронтов несущей принимаемого сигнала со второго выхода блока 4. На первом выходе блока 5 формируется сигнал принимаемой СГ, а на втором выходе блока 5 формируется сигнал принимаемой КК.

ИМ ПП сигнала с ФРМ-2 дополнена блоком z^{-1180} (на рисунке 2.16 не показан), который осуществляет компенсацию временной задержки в приеме

сигнала, вносимой приёмником и блоками «*SGErrors*» и «*CCErrors*» (на рисунке 2.16 не показанными), осуществляющими сравнение принятых СГ и КК с эталонными и подсчет количества допущенных при приеме ошибок.

Количество допущенных ошибок индицируется в блоках «*SG ERRORS*» и «*CC ERRORS*» (на рисунке 2.16 не показанных) соответственно.

Блок «*ALL BITS*» (на рисунке 2.16 не показан) индицирует общее количество переданных бит сигнала с ФРМ-2.

На рисунке 2.17. представлены осциллограммы откликов на выходе элементов имитационной модели ПП сигнала с ФРМ-2 на воздействие входного сигнала, которые позволяют анализировать их форму и механизм обработки.

2.4 Имитационная модель согласованных рельсовых цепей

На основе схемы замещения (рисунок 2.3), согласно выражений (2.3) и (2.4) и ИМ РЛ (рисунок 2.6), разработаны ИМ согласованных РЦ (рисунок 2.18 и 2.19), реализованная в среде *Simulink* системы *MATLAB* [35].

ИМ согласованных РЦ позволяет выполнить оценку помехоустойчивости ПП и исследовать процесс функционирования согласованных РЦ при изменении во времени сопротивления изоляции РЛ.

Отличие ИМ для оценки помехоустойчивости согласованных РЦ (рисунок 2.19) от ИМ реализующей процесс функционирования согласованных РЦ (рисунок 2.18) в следующем:

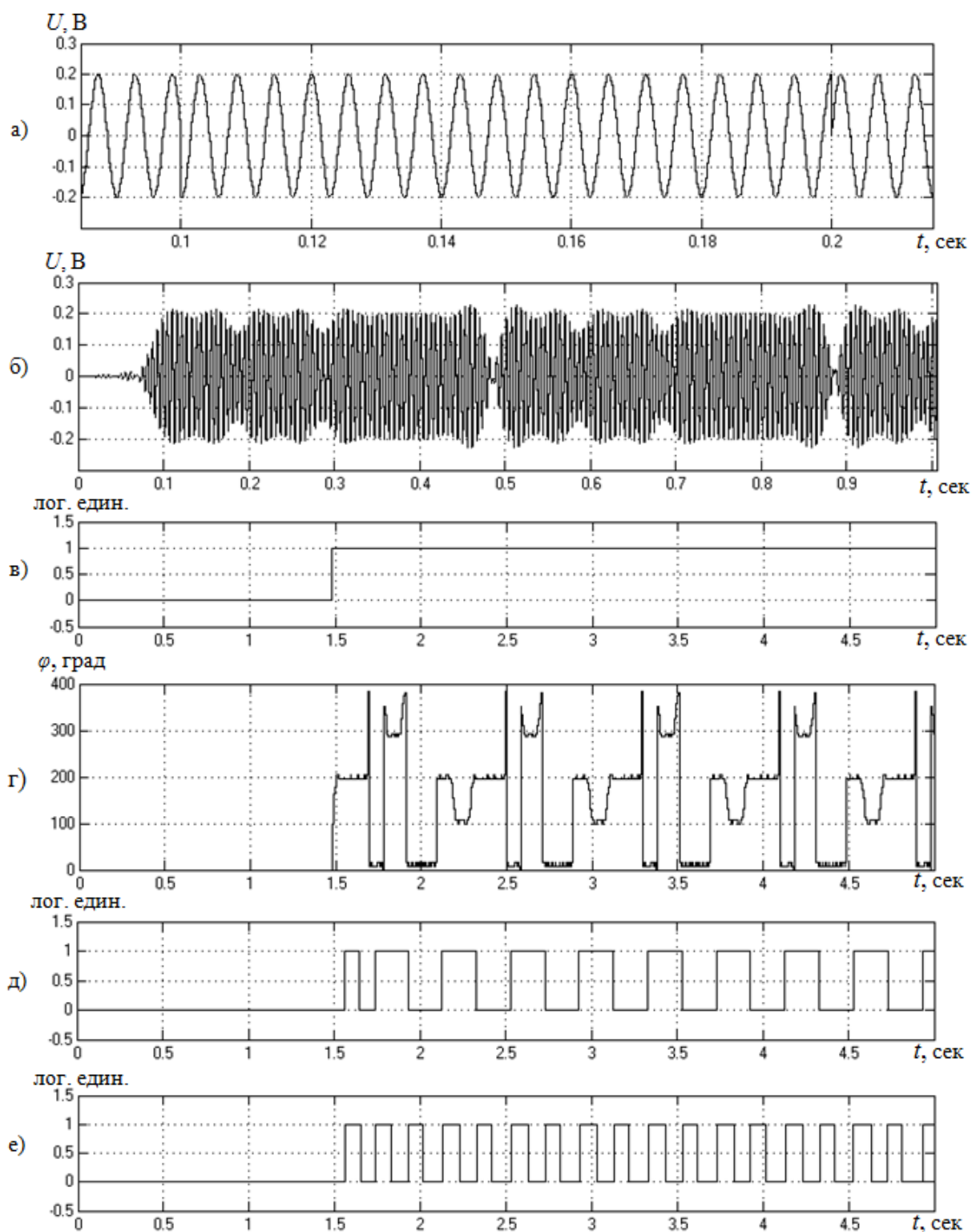


Рисунок 2.17 – Осциллограммы откликов сигналов на выходе элементов имитационной модели ПП сигнала с ФРМ-2:

a – сигнал на входе ПП; $б$ – сигнал на выходе ПФ; $в$ – сигнал на выходе блока $S1$; $г$ – сигнал на верхнем выходе блока $S2$; $д$ – сигнал на верхнем выходе блока $S3$ (принимаемая синхрогруппа); $е$ – сигнал на нижнем выходе блока $S3$ (принимаемая кодовая комбинация)

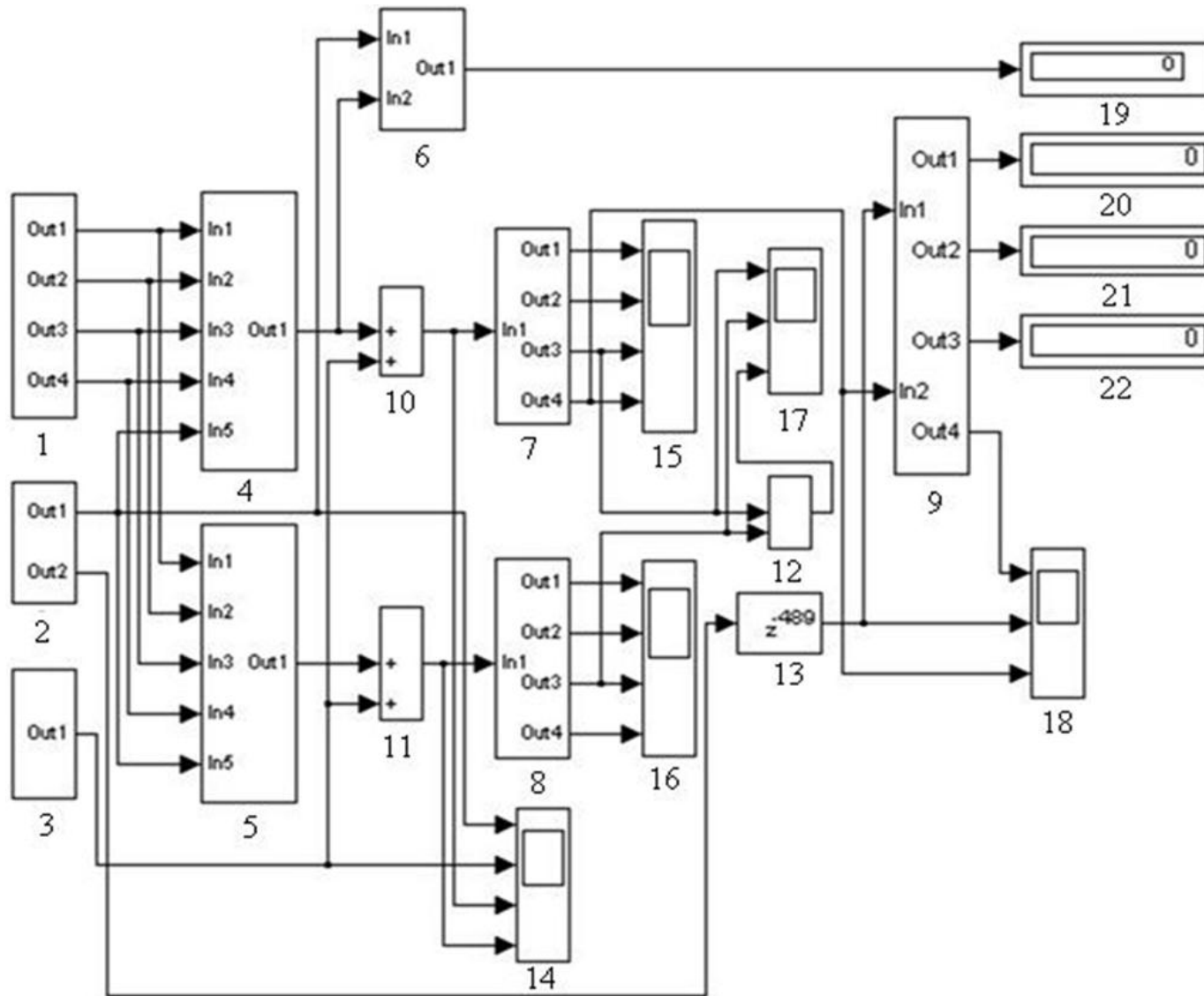


Рисунок 2.18 – Блок-схема ИМ оценки помехоустойчивости ПП согласованных РЦ в *Simulink*:

- 1 – параметры РЦ;
- 2 – ПГРЦ;
- 3 – источник помех;
- 4 – РЛ первой РЦ;
- 5 – РЛ второй РЦ;
- 6 – расчет затухания в РЛ;
- 7 – ПП первой РЦ;
- 8 – ПП второй РЦ;
- 9 – вычисление ошибок;
- 10 и 11 – сумматоры;
- 12 – устройство принятия решения
- 13 – линия задержки;
- 14, 15, 16, 17 и 18 – виртуальные осциллографы;
- 19 – дисплей затухания в РЛ;
- 20 – дисплей «пропуск цели»;
- 21 – дисплей «ложная цель»;
- 22 – дисплей общего количества ошибок.

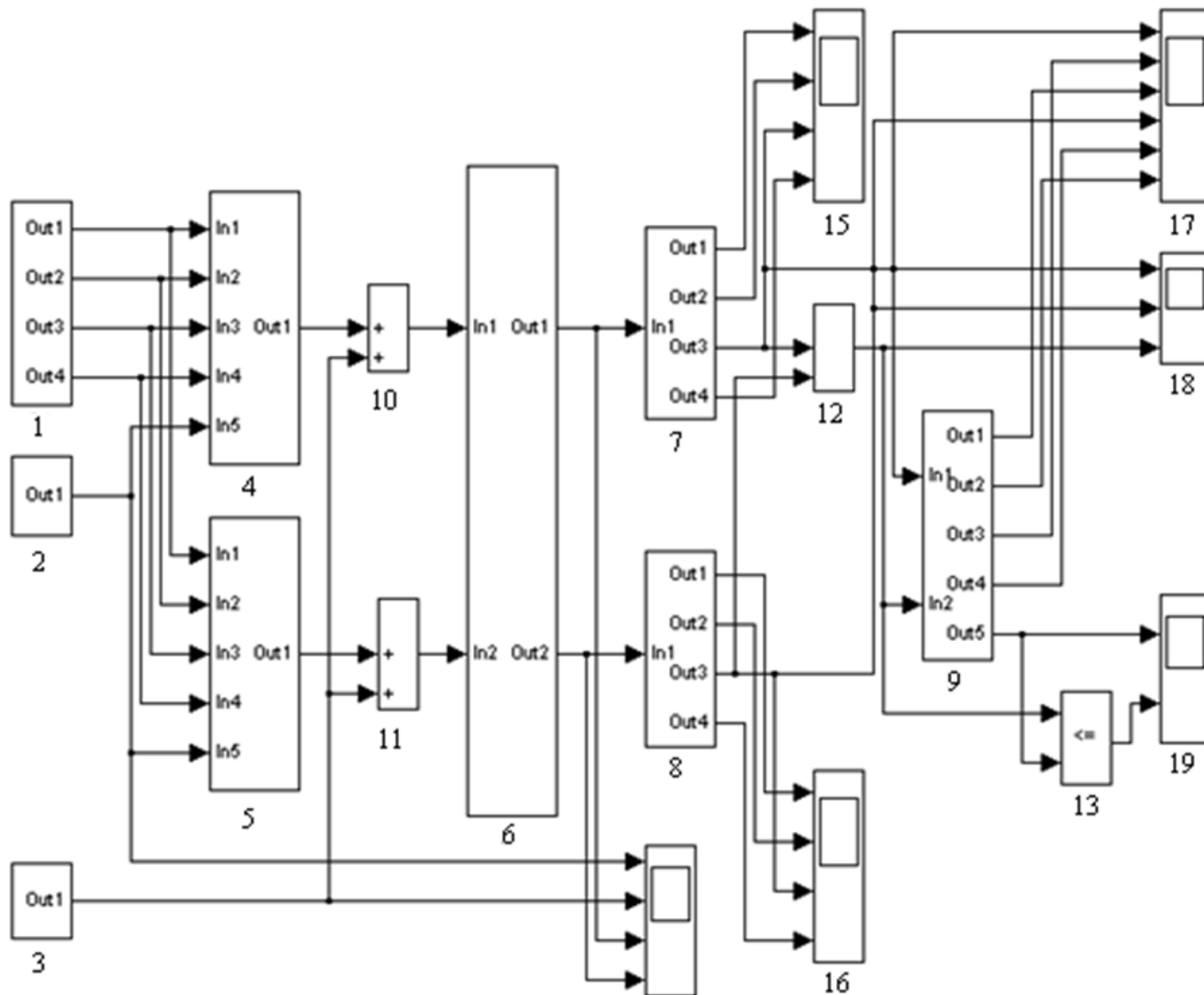


Рисунок 2.19 – Блок-схема ИМ согласованных РЦ в Simulink:

- 1– параметры РЛ;
- 2 – ПГРЦ;
- 3 – источник помех;
- 4 – РЛ первой РЦ;
- 5 – РЛ второй РЦ;
- 6 – имитация движения поезда;
- 7 – ПП первой РЦ;
- 8 – ПП второй РЦ;
- 9 – оценка величины напряжения сигнала на выходе ПП согласованных РЦ;
- 10 и 11 – сумматоры;
- 12– устройство принятия решения
- 13 – блок контроля смежных участков пути;
- 14, 15, 16, 17, 18 и 19 – виртуальные осциллографы

– в ИМ оценки помехоустойчивости согласованных РЦ отсутствует блок, реализующий имитацию движения поезда, и блок, выполняющий оценку величин напряжения сигнала на выходе ПП согласованных РЦ (рисунок 2.19);

– в ИМ оценки помехоустойчивости согласованных РЦ введены блок вычисления ошибок, блок линии задержки и дисплеи 19, 20, 21 и 22, демонстрирующие соответственно затухание в РЛ, ошибку вида «пропуск цели», ошибку вида «ложная цель» и общего количества ошибок.

Представленные ИМ согласованных РЦ позволяют выполнить анализ особенности их функционирования при изменении во времени величины сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ. Для этого блок 1 параметры РЛ (рисунки 2.18 и 2.19) в своем составе содержит имитационную модель, реализующей процесс изменения величины сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ в функции временного окна исследования T .

2.5 Зависимость длины рельсовой линии от частоты несущей сигнала рельсовой цепи

Современные РЦ функционируют в четырех основных режимах работы: нормальном (автоматический контроль состояния всех элементов РЦ при отсутствии на контролируемом участке рельсового пути подвижной единицы и целых рельсах), шунтовом (контроль нахождения на контролируемом участке рельсового пути подвижной единицы), контрольном (контроль излома и наличие рельсов), короткого замыкания (функционирование РЦ при нахождении шунта подвижного состава на передающем конце РЛ). Некоторые виды РЦ реализуют режим автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа АЛСН (передача сигнала в кабину поездного локомотива).

В настоящее время разрабатываются и внедряются РЦ, построенные на микроэлектронной элементной базе, позволяющей применять современные методы обработки сигналов. Поэтому для вновь разрабатываемых РЦ необходимо определять их способность достоверно контролировать участок рельсового пути при изменении параметров РЛ в самых неблагоприятных условиях эксплуатации в различных диапазонах частот. В данном пункте представлен аналитический метод определения максимальной длины $l_{РЛ}$ РЛ в зависимости от сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ и частоты несущей сигнала $f_{Н}$ РЦ, который выполняется в два этапа: первый этап – расчет зависимости $l_{РЛ}$ от $Z_{И}$; второй этап – расчет зависимости $l_{РЛ}$ от $f_{Н}$.

Реализация первого этапа аналитического исследования (зависимость $l_{РЛ}$ от $Z_{И}$).

На сети железных дорог России широко применяются «робастные» РЦ, особенностью которых является постоянный порог чувствительности ПП, уровень которого определяется отношением сигнал/помеха в наихудших условиях эксплуатации (таблица 2.1) [4, 7, 8 и 23].

Таблица 2.1 – Наихудшие условия эксплуатации рельсовых цепей

№№ п.п.	Режимы работы РЦ	Параметры элементов РЦ					Отношение сигнал/помеха
		$S_{ПГ}, В \cdot А$	$Z_{РЛ}, Ом/км$	$Z_{И}, Ом \cdot км$	$Z_{ПЭСЭ}, Ом$		
					передающий конец РЛ	приёмный конец РЛ	
1	Нормальный	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>
2	Шунтовой	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>
3	Контрольный	<i>Max</i>	<i>Min</i>	Критическое	<i>Min</i>	<i>Min</i>	<i>Min</i>
4	Короткого замыкания	<i>Max</i>	<i>Min</i>	–	<i>Min</i>	–	–
5	АЛСН	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	–	<i>Min</i>

В таблице 2.1 величины представлены верхней (*Max*) и нижней (*Min*) границами нормативных диапазонов. Исключение составляет сопротивление изоляции $Z_{и}$ РЛ в контрольном режиме (КР): критическое – значение величины $Z_{и}$, при котором вероятность обнаружения излома или наличия рельсов имеет самый низкий уровень.

В нормальном режиме (НР) работы, который может иметь место только при отсутствии на контролируемом рельсовом участке пути подвижного состава и целых рельсах, РЦ автоматически и непрерывно контролирует исправное состояние своих элементов и поэтому надёжное функционирование в этом режиме возможно при условии, что уровень сигнала на входе ПП будет не ниже порога его чувствительности. Учитывая это, наихудшие условия эксплуатации в НР обуславливаются наличием на выходе путевого ПП минимального *Min* уровня мощности сигнала $S_{ПП}$, а в шунтовом и контрольном режимах обуславливаются наличием на выходе ПП максимального *Max* уровня мощности сигнала $S_{ПП}$.

Режим АЛСН в наихудших условиях эксплуатации обусловлен наличием на выходе ПП минимального *Min* уровня мощности сигнала $S_{ПП}$.

Учитывая изложенное, для определения зависимости длины РЛ РЦ от сопротивления изоляции РЛ необходимо выполнить следующее:

– установить зависимость мощности сигнала $S_{ПП}$ от параметров РЛ (длина $l_{рл}$ РЛ, сопротивление $Z_{рл}$ РЛ, сопротивление изоляции $Z_{и}$ РЛ, сопротивление согласующих элементов СЭ и сопротивление передачи $Z_{псэ}$) во всех режимах работы при условии, что уровень сигнала на входе ПП РЦ будет не ниже его порога чувствительности;

– на основании полученных данных определить зависимость длины $l_{рл}$ РЛ РЦ от сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ при требуемой мощности сигнала на выходе ПП.

Для реализации процесса моделирования зависимости длины $l_{рл}$ РЛ РЦ от сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ разработана ИМ РЦ на базе программы для ЭВМ «RELS» [68-70], которая позволяет рассчитывать мощность сигнала $S_{ПП}$ на выходе ПП для всех режимов работы и при любых параметрах элементов РЦ.

Коэффициенты четырёхполюсника РЛ в программе «RELS» для различных режимов работы рассчитываются согласно выражениям в таблице 2.2 [10].

Для определения зависимости длины $l_{РЛ}$ РЛ РЦ от сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ необходимо выполнить следующее:

1) электрическую принципиальную схему анализируемой РЦ представить схемой её замещения;

Таблица 2.2 – Коэффициенты рельсового четырехполюсника в нормальном режиме

Наличие изолирующих стыков	Коэффициенты четырёхполюсника			
	A	B	C	D
На передающем и приемном концах	$ch\gamma l$	$Z_A sh\gamma l$	$\frac{sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l$
На приемном конце	$ch\gamma l$	$Z_A sh\gamma l$	$\frac{ch\gamma l + sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l + sh\gamma l$
На передающем конце	$ch\gamma l + sh\gamma l$	$Z_A sh\gamma l$	$\frac{ch\gamma l + sh\gamma l}{Z_B}$	$ch\gamma l$
Отсутствуют на передающем и приемном концах	$ch\gamma l + sh\gamma l$	$Z_A sh\gamma l$	$\frac{2(ch\gamma l + sh\gamma l)}{Z_B}$	$ch\gamma l + sh\gamma l$

2) определить параметры коэффициентов четырёхполюсников схемы замещения;

3) определить параметры РЛ и пределы $l_{РЛ}$ и $Z_{И}$ согласно данных, изложенных в [9, 10];

4) ввести полученные данные посредством окон программы «RELS» (рисунки 4.15 и 4.16);

5) выполнить расчеты и вывести полученные результаты в виде графиков зависимости $S_{ПГ}$ от сопротивления изоляции $Z_{И}$ при постоянной длине $l_{РЛ}$ РЛ;

6) на основании полученных графиков установить максимальное значение длины $l_{РЛ}$ РЛ при нормативном значении сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ (1 Ом·км).

На рисунке 2.20 представлен алгоритм ИМ, позволяющей при одном эксперименте определять зависимость мощности сигнала $S_{И}$ в функции длины $l_{РЛ}$ и сопротивления изоляции $Z_{И}$ при конкретной частоте несущей сигнала $f_{Н}$.

Алгоритм ИМ (рисунок 2.20) функционирует следующим образом:

- в символах 2 и 3 реализуются ввод в программу исходных и дополнительных данных, соответственно;
- в символе 4 реализуется процедура выбора наличия изолирующих стыков на границах РЛ РЦ (четыре варианта: изолирующие стыки на передающем и приемном концах РЛ; изолирующие стыки на приемном конце РЛ; изолирующие стыки на передающем конце РЛ; изолирующие стыки отсутствуют);
- в символе 5 реализуется процедура выбора режима работы РЦ (четыре режима: нормальный, шунтовой, контрольный, короткого замыкания и автоматической локомотивной сигнализации);
- в символе 6 реализуются процедура расчета одного из режимов работы РЦ, выбранного – в символе 5 (производится расчет величин $S_{ИС}$ в функции $Z_{И}$ и $l_{РЛ}$);
- в символах 7 и 8 производятся показ на мониторе результатов расчетов и графиков зависимости $S_{ИС}$ от $Z_{И}$ и $l_{РЛ}$ соответственно;
- в символе 9 осуществляется выбор процедур печати;
- в символе 10 организуется процедура печати графиков зависимости $S_{ИС}$ от $Z_{И}$ и $l_{РЛ}$.

Фрагмент листинга программы «RELS» на языке Дельфи представлен в приложении А.

Реализация второго этапа аналитического исследования (зависимость $l_{РЛ}$ от $f_{Н}$).

Второй этап начинается с выбора частоты $f_{Н}$ несущей сигнала РЦ.

В РЛ присутствуют гармонические помехи от тягового тока кратные частоте промышленного тока (50 Гц), рабочие диапазоны частот РЦ расположены между этими гармониками. Учитывая это, несущая частота $f_{Н}$ сигналов РЦ может иметь только следующие значения: 25, 75, 125, 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц.

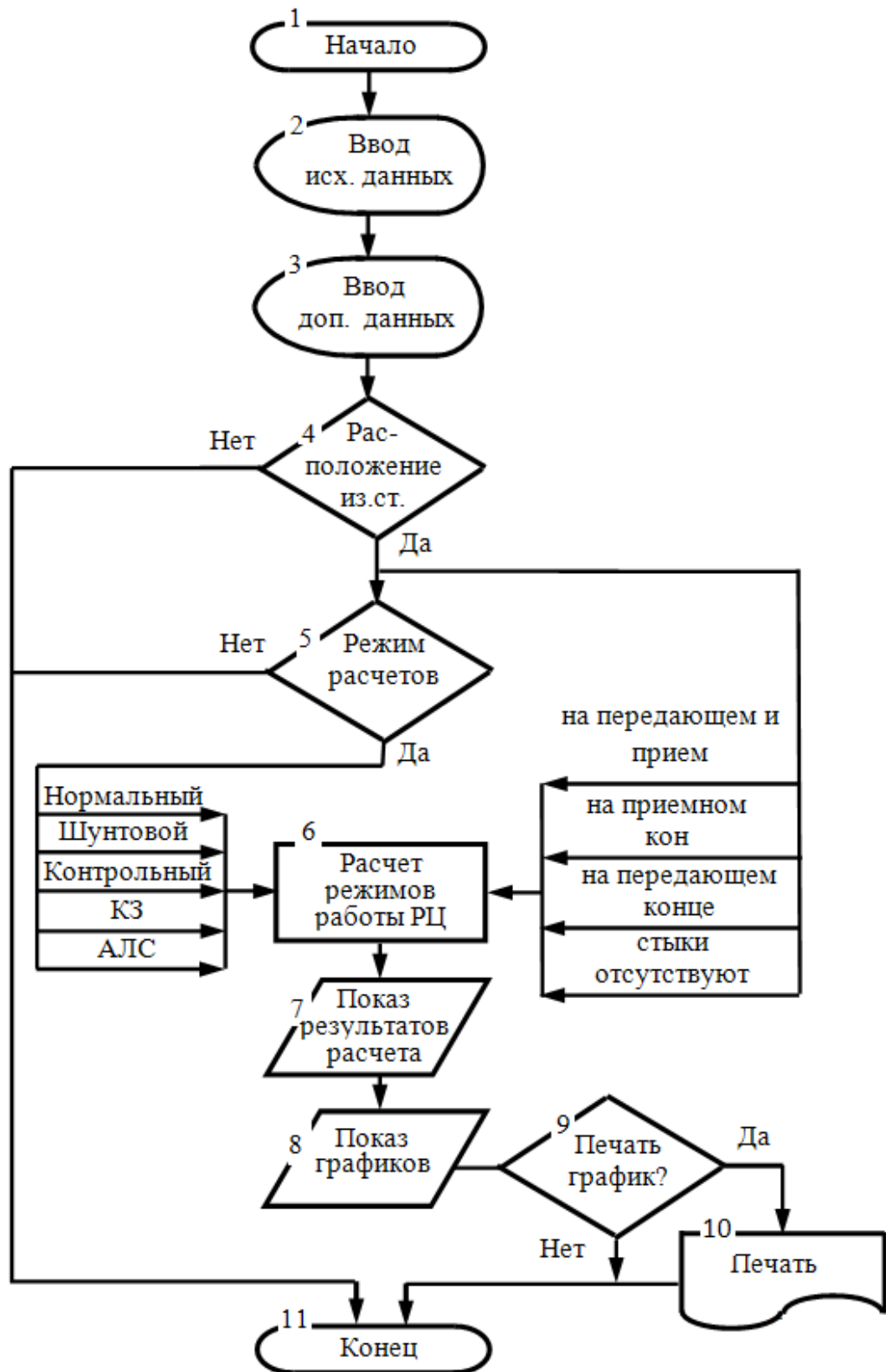


Рисунок 2.20 – Алгоритм функционирования программы «RELS»

Для определения зависимости $l_{рл}$ от частоты несущей сигнала f_H необходимо установить максимальную длину l_p (при нормативном значении $Z_{и}$ РЛ 1 Ом·км)

при номинальной мощности ПГ нормального и короткого режимов работы РЦ и на основе полученных результатов установить максимальное значение $l_{рл}$.

Затем повторить расчеты для всех остальных значений f_H .

2.6 Выводы по главе

Основные результаты, полученные в данной главе:

1. Сформулированы задачи исследования для достижения поставленной основной цели – разработка алгоритма функционирования согласованных РЦ;

2. Разработан алгоритм определения состояния смежных участков рельсового пути согласованными РЦ при изменении сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ;

3. Предложена методика исследования помехоустойчивости ПП согласованных РЦ на базе ИМ посредством установления вероятности ошибок при приеме элементарных дискретных символов:

– помехоустойчивость ПП АМ-сигналов определяется на основе оценки вероятностей ошибки вида «ложная тревога» $P_{л}$, вида «пропуск цели» $P_{проп}$ и средней по всем символам вероятности ошибки $P_{ош}$;

– помехоустойчивость ПП сигнала с ФРМ-2 определяется на основе оценки вероятности ошибки $P_{ош}$ средней по всем символам КК.

4. Сформулированы требования к имитационным моделям ПГ РЦ, отвечающим следующим требованиям:

– ПГ должны формировать сигналы РЦ, применяемые в СИРДП железных дорог РФ;

– несущая сигналов РЦ должна соответствовать рабочим диапазонам частот, расположенным между гармониками, кратными частоте промышленного тока;

– манипулирующая АМ-сигнала принимается в виде прямоугольных однополярных импульсов с частотой следования 8 или 12 Гц и скважностью два;

– для РЦ с относительной фазоразностной манипуляцией сигнала принимается ФРМ-2, которая позволяет организовать два подканала (подканал СГ и подканал КК).

5. Выполнен анализ алгоритма функционирования ПП РЦ на основе обзора существующих способов защиты от воздействия помех в РЛ;

6. Разработаны имитационные модели ПП РЦ АМ-сигналов и сигналов ФРМ-2, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации;

7. Разработана имитационная модель РЛ;

8. Предложена методика определения зависимости длины $l_{РЛ}$ от частоты несущей сигнального тока f_H РЦ при нормативном значении сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОМЕХ В РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЯХ

3.1 Общие положения

Для проведения аналитических исследований помех в РЛ необходимо математически описать ЭДС помехи на входе ПП РЦ, как функцию всех известных факторов, влияющих на характеристики помех.

Уровень и форма ЭДС помехи от тягового тока на входе ПП РЦ зависят от уровня и формы тягового тока в рельсовой сети, а именно, в той её части, где находятся РН конкретной РЛ и от условий распространения электромагнитной энергии по РЛ. Таким образом, в общем случае эти условия определяются уровнем и формой тягового тока в РН, параметрами РЛ и свойствами окружающей среды. Уровень и форма тягового тока в РН зависят от вида нагрузки на тяговую сеть.

Таким образом, для проведения аналитических исследований необходимо проанализировать особенности характеристик помех от тягового тока и на основе этого разработать математические модели этих помех.

Исследования, выполненные в работах [45, 76-78, 80-83, 86, 87], показали, что в РЛ СИРДП самыми мощными и интенсивными являются помехи от постоянного тягового тока.

Учитывая это, помехи от постоянного тягового тока будут определяющими при оценке помехоустойчивости ПП РЦ.

На основе данных, полученных в работах [45, 46-48], составлена классификация помех от постоянного тягового тока в РЛ (рисунке 3.1) по следующим признакам [20]:

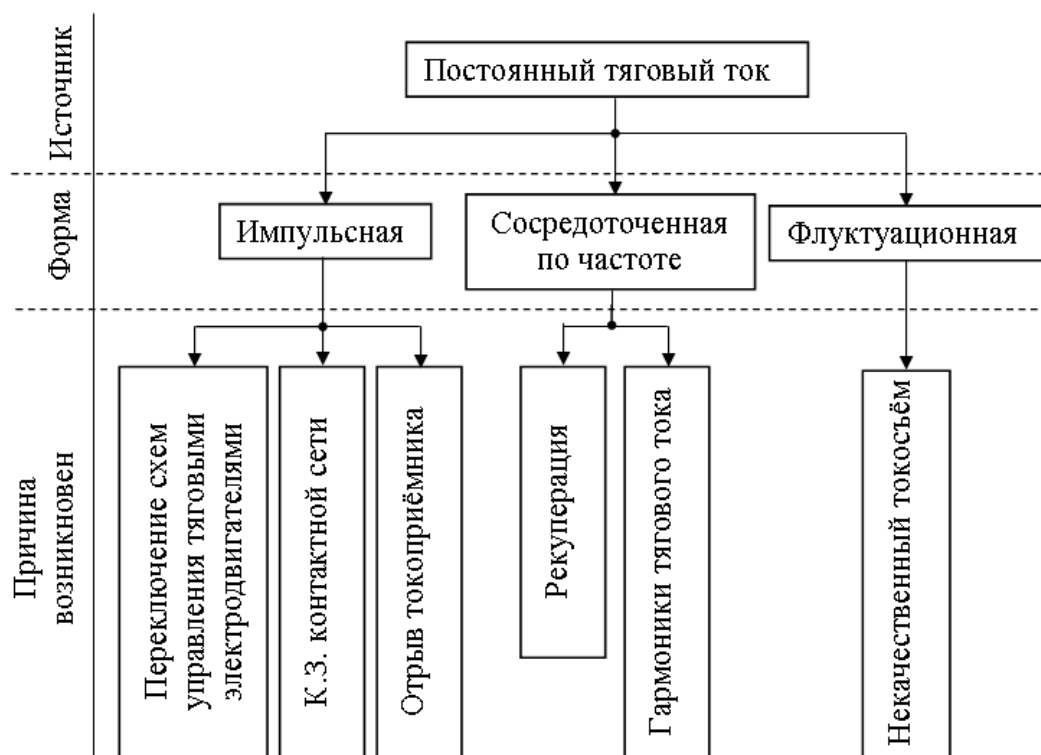


Рисунок 3.1 – Классификация помех от постоянного тягового тока в рельсовых линиях

- источник энергии;
- форма;
- причины возникновения.

По форме помехи подразделяются на импульсные, сосредоточенные по частоте и флуктуационные.

Причинами возникновения в РЛ импульсных помех от тягового тока являются:

- переключение схем управления тяговыми электродвигателями (изменение режима работы тяговых электродвигателей);
- короткое замыкание контактной сети;
- отрыв токоприёмника от контактного провода во время движения локомотива.

Основной причиной появления сосредоточенных по частоте помех в РЛ является формирование постоянного тягового тока выпрямителями на тяговых подстанциях. Причём, частота гармонических составляющих в тяговом токе

кратна количеству пар полюсов выпрямителей. При асимметрии параметров выпрямительных элементов появляются гармонические составляющие, кратные частоте промышленного тока. Появление гармонических составляющих может быть также обусловлено работой тяговых двигателей в режиме рекуперации.

Флуктуационные помехи в РЛ возникают при изменении переходного сопротивления в контакте «полз токоприёмника - контактный провод» [49].

3.2 Общие требования к моделям внешних воздействий

В имитационном моделировании с целью исследования помехоустойчивости ПП РЦ важную роль играет корректное описание совокупности внешних воздействий (СВВ), оказывающих влияние на качество обработки сигналов ПП РЦ [52].

Описание СВВ является сложной задачей, которое учитывает влияние большого количества различных факторов, в том числе и случайных. Появляется необходимость в разработке специальной имитационной модели СВВ, в нашем случае – имитационных моделей сигналов и помех в РЛ.

Имитационные модели СВВ должны обладать следующими свойствами:

- совместимостью с моделями ПП РЦ;
- представительностью;
- управляемостью;
- системной независимостью.

В свою очередь для обеспечения совместимости моделей СВВ с моделями ПП РЦ первые должны отвечать следующим требованиям:

- степень детализации описания СВВ должна соответствовать детализации ПП РЦ;

– модели СВВ должны быть сформулированы в тех же категориях предметной области, что и исследуемые модели ПП РЦ.

Представительность моделей СВВ выражается их адекватностью целям исследования.

Управляемость моделей СВВ – способность изменения их параметров в диапазоне, который обусловлен целями исследования.

Системная независимость позволяет применять модели СВВ при анализе помехоустойчивости различных ПП РЦ с сохранением их представительности. Поэтому системная независимость особенно важна при решении поставленной в данной работе задачи: определение помехоустойчивости ПП РЦ при двух различных видах модуляции – АМ и ФРМ-2.

При разработке моделей СВВ предварительно составляется и уточняется перечень таких параметров, которые можно оперативно и безошибочно изменять. Модели СВВ реализуются посредством одних и тех же программных средств, на базе которых разработаны модели исследуемых устройств.

К выбору моделей сигналов и помех предъявляются следующие требования [52]:

– максимальное приближение к реальным процессам в тракте преобразования;

– возможность получения характеристик случайных процессов экспериментально или на основании априорного анализа свойств объекта, генерирующего сигнал;

– наличие необходимой информации для анализа методов аналогово-цифрового преобразования.

В соответствии с задачами исследования в данной работе, СВВ – модели полезных сигналов и аддитивных помех двух видов: флуктуационных и импульсных.

3.3 Имитационная модель помех от тягового тока

3.3.1 Имитационная модель флуктуационной помехи

В работе [45] установлено, что флуктуационные помехи в РЛ от тягового тока в интервалах между переключениями схем управления тяговыми двигателями являются эргодическим процессом, мгновенные значения которого распределены по нормальному закону.

В качестве примера на рисунке 3.2 представлена осциллограмма напряжения реальной флуктуационной помехи в РЛ, а на рисунках 3.3 и 3.4 – модуль спектральной плотности и гистограмма вероятности мгновенных значений напряжения этой помехи соответственно.

График модуля спектральной плотности демонстрирует, что основная энергия этого процесса сконцентрирована в диапазоне от 2 до 70 Гц, и что кроме флуктуационной составляющей, помеха содержит гармоники на частотах 200 и 400 Гц.

Анализ амплитудных спектров флуктуационных помех показал [45, 52], что энергия помех распределена относительно равномерно в диапазоне частот до 1000 Гц. Исключением является часть диапазона от 0 до 70 Гц. В этой части диапазона наблюдается значительное (до 8 раз) увеличение модулей спектров. Кроме того, флуктуационные помехи содержат гармонические составляющие тягового тока с частотами, кратными промышленной частоте, источниками которых являются выпрямительные установки тяговых подстанций.

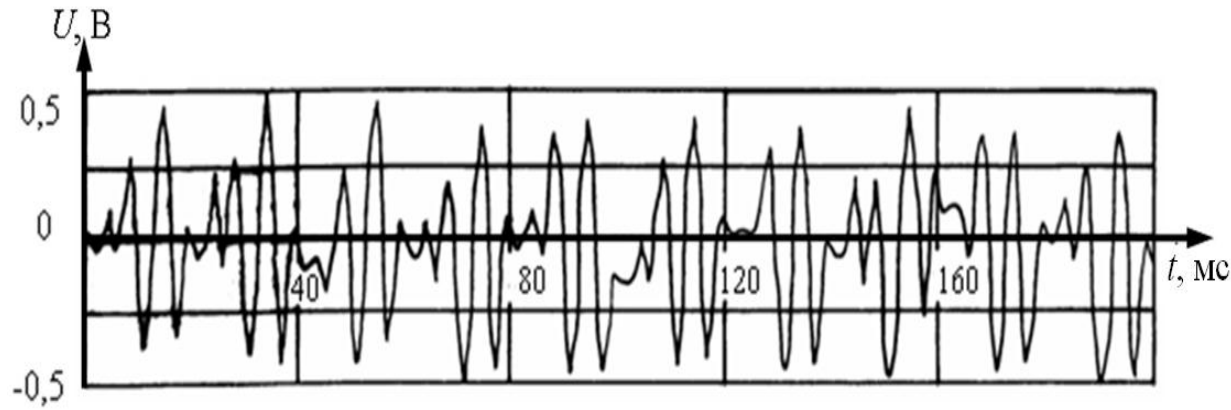


Рисунок 3.2 – Осциллограмма напряжения реальной флуктуационной помехи

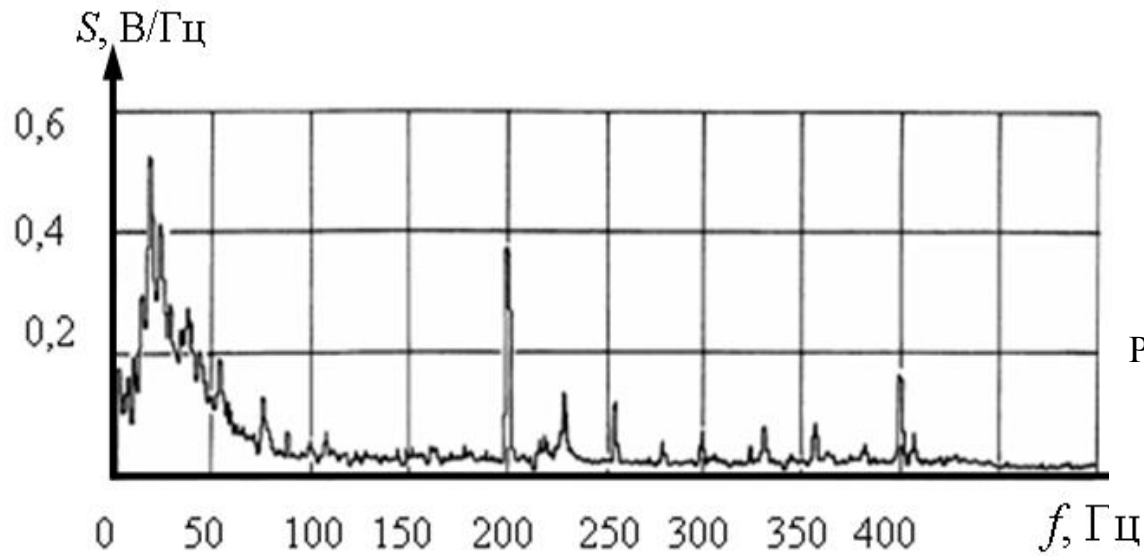


Рисунок 3.3 – Модуль спектральной плотности помехи, осциллограмма которой представлена на рисунке 3.2

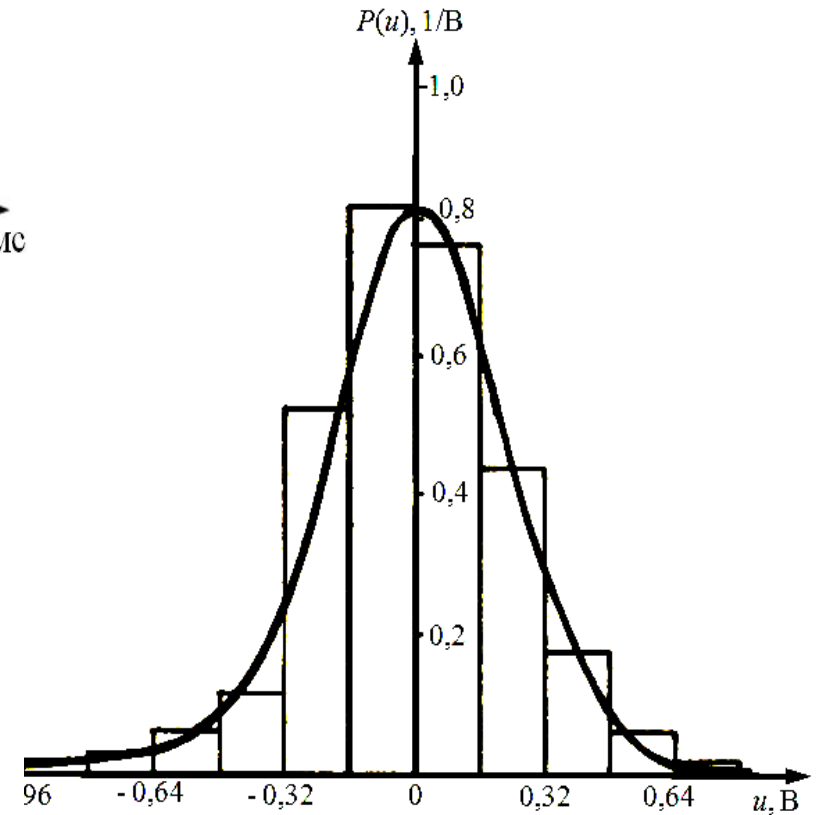


Рисунок 3.4 – Гистограмма вероятности мгновенных значений напряжения помехи, осциллограмма которой представлена на рисунке 3.2

Таким образом, флуктуационная помеха представляет собой сложный процесс, трудновоспроизводимый в лабораторных условиях. Вместе с тем, с учетом исследуемого диапазона частот (75-975 Гц), флуктуационная помеха довольно близка к процессу с нормальным распределением мгновенных значений и равномерной спектральной плотностью мощности во всем диапазоне частот (белому шуму), легко воспроизводимому. Поэтому в данных исследованиях в качестве флуктуационной помехи применён нормальный белый шум.

Источником флуктуационной помехи служит генератор нормального белого шума с задаваемыми значениями характеристик помехи – математического ожидания и дисперсии. Дополнительным управляемым параметром генератора является начальное условие формирования последовательности мгновенных значений помехи. При одинаковых значениях этого параметра формируются идентичные последовательности.

На рисунке 3.5 в качестве примера представлена осциллограмма модели реализации помехи длительностью 0,2 секунды с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

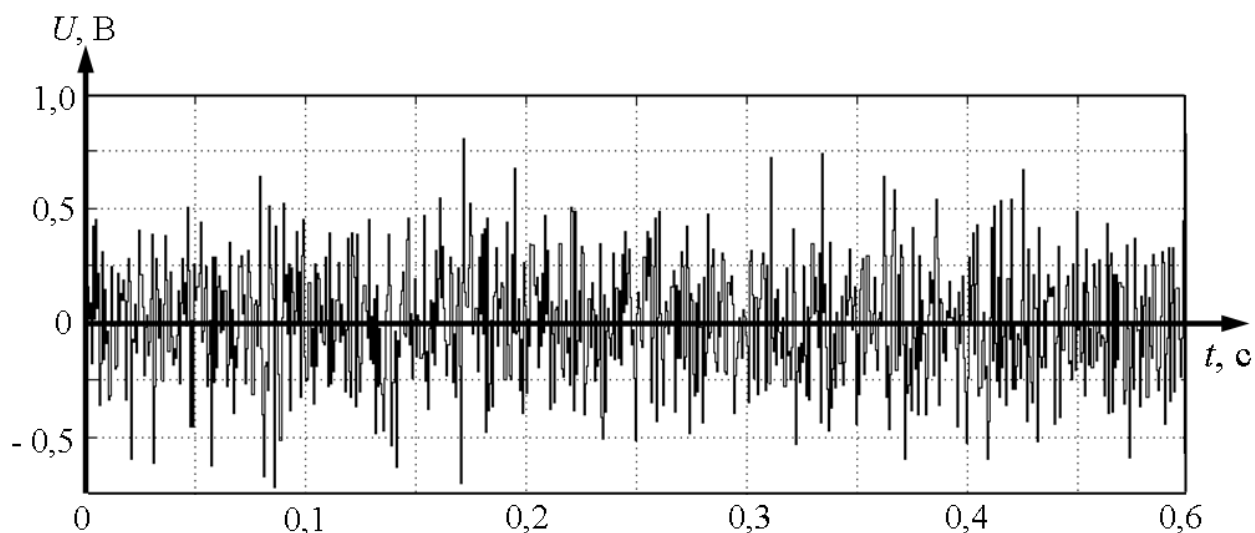


Рисунок 3.5 – Осциллограмма модели реализации флуктуационной помехи

3.3.2 Имитационная модель импульсных помех

Как было отмечено в п. 3.1, основной причиной возникновения импульсных помех в РЛ от тягового тока является изменение его по абсолютной величине.

Известно, что импульсные помехи от постоянного тягового тока трудно поддаются теоретическим исследованиям [17, 45, 54]. В связи с этим при разработке имитационной модели этого вида помех, единственным методом получения параметров помех является экспериментальный метод, который предполагает регистрацию, обработку и анализ исследуемого полученных данных: амплитуды и длительности импульсов, длительности межимпульсных интервалов и т. д.

Регистрация помех, параметры которых анализировались при разработке имитационной модели, осуществлялась на участках Куйбышевской и Московской железных дорог с электротягой постоянного тока на локомотивах серии ВЛ-10^У, ведущих составы массой от 1 тыс. до 5 тыс. т. Запись реализаций помех осуществлялась по схеме, представленной на рис. Б.1. В качестве датчика помех использовалась измерительная катушка, ЭДС на выходе которой изменяется практически линейно во всем диапазоне изменения величин тягового тока электродвигателей локомотивов серии ВЛ-10^У тяжелых поездов (весом более 5000 тонн). Регистрация и последующая обработка полученных реализаций помех производилась согласно методикам, предложенным в [45-48, 51, 59, 96, 97].

В базе данных, полученных в результате регистрации, имеются реализации помех, охватывающие все характерные режимы работы тяговых двигателей электровоза (переключения схем управления тяговыми двигателями локомотива, в том числе в режим рекуперации; набор и сброс позиций контроллера машиниста; боксование локомотива; движение по стрелкам и боковые колебания кузова локомотива; проезд изолирующих стыков) во всём диапазоне изменений величины тягового тока от 0 до 2000 А.

Уровень помех пересчитывался с помощью известных коэффициентов масштабирования к уровню помех на выходе РЛ (на входе путевого приёмника РЦ) при наличии нормативной асимметрии тягового тока в рельсовых нитях РЛ.

На рисунке Б.2 изображены принципиальные схемы управления тяговыми двигателями электровоза ВЛ-10У [53]:

а) – последовательное включение (сириесное – С);

б) – последовательно-параллельное включение (СП);

в) – параллельное включение (П).

Для экономии электрической энергии применяется электродинамическое торможение посредством режима «рекуперация» – Р.

Переключение схем управления машинист производит посредством контроллера машиниста, который имеет следующие положения:

– 0 (тяговые двигатели отключены от тяговой сети);

– С (все восемь тяговых двигателей соединены между собой последовательно);

– СП (две группы по четыре тяговых двигателей соединены внутри каждой группы между собой последовательно, а сами группы между собой – параллельно);

– П (четыре группы по два тяговых двигателей соединены внутри каждой группы между собой последовательно, а сами группы между собой – параллельно);

– Р (тяговые двигатели подключаются к тяговой сети в качестве генераторов).

При трогании электровоза тяговый ток I_n ограничивается последовательным включением в цепь двигателей сопротивления R

$$I_n = \frac{U_\delta}{R_\delta + R},$$

где U_δ – напряжение на зажимах двигателя;

R_δ – внутреннее сопротивление двигателя;

R – сопротивление путевого реостата.

Для поддержания постоянства тягового тока в каждом электродвигателе с ростом скорости, уменьшают величину R .

На рисунках Б.3-Б.7 представлены осциллограммы помех на входе путевого приёмника РЦ, зафиксированных при скачкообразном изменении величины тягового тока, вызванного переключением схем управления тяговыми двигателями электровоза ВЛ-10^У.

На рисунке Б.3, *а* представлена осциллограмма помех, зафиксированных при переключении схемы управления тяговыми двигателями локомотива контроллером машиниста из позиции 0 в позицию С и из позиции С в позицию СП соответственно.

На рисунке Б.3, *б* представлен модуль спектральной плотности помех, осциллограмма которых представлены на рисунке Б.3, *а*.

На рисунках Б.4-Б.7 представлены осциллограммы импульсных помех, зафиксированных при следующих переключениях контроллера машиниста:

- переключение СП – П (рисунок Б.4);
- переключение П – 0 (рисунок Б.5);
- переключение П – СП – 0 (рисунок Б.6);
- переключение 0 – СП (рисунок Б.7).

На рисунке Б.8, *а* представлена осциллограмма пачки импульсов помех в РЛ различной амплитуды и длительности, вызывающие появление откликов на выходе полосовых фильтров ПП РЦ с рабочей полосой пропускания 15 Гц:

а) рисунок Б.8 *б, в, г, д, е* – отклики помех на выходе полосовых фильтров ПП со средней частотой полосы пропускания 25, 50, 75, 125 и 175 Гц соответственно;

б) рисунок Б.9 *а, б, в, г, д, е* – отклики помех на выходе полосовых фильтров ПП со средней частотой частота полосы пропускания 225, 275, 325, 375, 425 и 475 Гц соответственно.

В работах [53-55] для оценки помехоустойчивости приёмника канала автоматической локомотивной сигнализации впервые была применена

Марковская модель импульсных помех от постоянного тягового тока, в основу которой положены следующие параметры:

- длительности импульсов;
- длительности интервалов;
- амплитуды импульсов.

Для каждой из записанных реализаций определялся выборочный эксцесс распределения мгновенного значения помехи по формуле [58]:

$$\bar{e}_{u_{\text{инп}}} = \frac{1}{(n-1)\bar{D}_{u_{\text{инп}}}^2} \sum_{i=1}^n (u_{\text{инп}i} - \bar{u}_{\text{инп}})^4 - 3,$$

где $\bar{u}_{\text{инп}}$ – выборочное среднее,

$\bar{D}_{u_{\text{инп}}}$ – выборочная дисперсия;

n – количество отсчетов в реализации.

Установлено, что эксцесс меняется в зависимости от условий движения от $-2,6$ до $153,8$.

Для измеренных значений длительностей импульсов помехи определены выборочные среднее $\bar{\tau}_{\text{им}}$, дисперсия $\bar{D}_{\tau_{\text{им}}}$, среднеквадратичное отклонение $\bar{\sigma}_{\tau_{\text{им}}}$, асимметрия $\bar{a}_{\tau_{\text{им}}}$ и эксцесс $\bar{e}_{\tau_{\text{им}}}$, которые составили соответственно: $\bar{\tau}_{\text{им}} = 3,5$ мс; $\bar{D}_{\tau_{\text{им}}} = 17,01$ мс²; $\bar{\sigma}_{\tau_{\text{им}}} = 4,1$ мс; $\bar{a}_{\tau_{\text{им}}} = 3,4$; $\bar{e}_{\tau_{\text{им}}} = 23,2$.

Накопленные экспериментальные данные позволили построить гистограмму распределения длительности импульсов помехи $w(\tau_{\text{им}})$, представленную на рисунке 3.6, и по критерию максимума правдоподобия подобрать теоретическое распределение, которое подчиняется экспоненциальному закону

$$w_{\text{им}}(n) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot n}$$

с параметром $\lambda = \frac{1}{\bar{\tau}_{\text{им}}} = 284,06$.

Таким же образом для измеренных значений длительностей межимпульсных интервалов определены выборочные среднее, дисперсия,

среднеквадратичное отклонение, асимметрия и эксцесс: $\bar{\tau}_{\text{ин}} = 171,7$ мс; $\bar{D}_{\tau_{\text{ин}}} = 0,2$ с²; $\bar{\sigma}_{\tau_{\text{ин}}} = 0,45$ с; $\bar{a}_{\tau_{\text{ин}}} = 4,1$; $\bar{e}_{\tau_{\text{ин}}} = 18,9$.

По накопленным экспериментальным данным построена гистограмма распределения длительности интервалов помехи $w(\tau_{\text{ин}})$, представленная на рисунке 3.7, и по критерию максимума правдоподобия подобрано теоретическое распределение, подчиняющееся закону гамма-распределения

$$w_{\text{ин}}(n) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} n^{a-1} e^{-bn}$$

с параметрами $a = 0,0109$ и $b = 1,216$.

На рисунке 3.8 представлена гистограмма распределения амплитуд импульсов помехи $w(U_{\text{им}})$.

Для величин амплитуд импульсов $w(U_{\text{им}})$ определены выборочные среднее, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, асимметрия и эксцесс: $\bar{U}_{\text{им}} = -3,0$ В; $\bar{D}_{U_{\text{им}}} = 108,1$ В²; $\bar{\sigma}_{U_{\text{им}}} = 10,4$ В; $\bar{a}_{U_{\text{им}}} = 2,25$; $\bar{e}_{U_{\text{им}}} = 8,1$.

Гистограмма показывает, что по данному распределению, носящему полимодальный характер, нельзя поставить в однозначное соответствие ни один из известных теоретических законов распределения случайной величины.

Величины доверительных интервалов для этих параметров приведены в таблице 3.1.

Гистограмма распределения амплитуд импульсов помехи, представленная на рисунке 3.8 показывает, что данное распределение носит полимодальный характер и поэтому нельзя поставить в однозначное соответствие ни один из известных теоретических законов распределения случайной величины.

Анализ временных реализаций импульсных помех позволил предположить о существовании вероятностных связей в пачке между амплитудами следующих друг за другом импульсов помехи, а также между амплитудами импульсов и длительностями импульсов и межимпульсных интервалов.

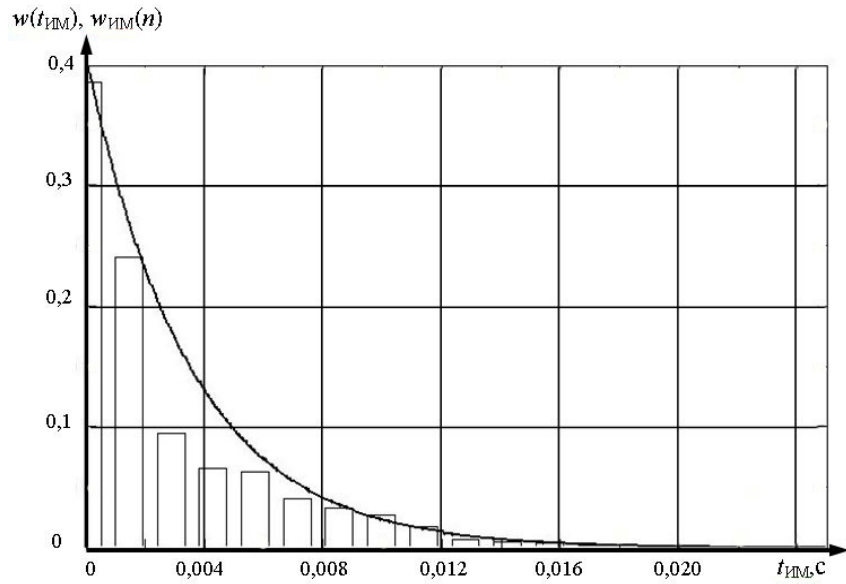


Рисунок 3.6 – Гистограмма распределения длительностей импульсов и график экспоненциального распределения

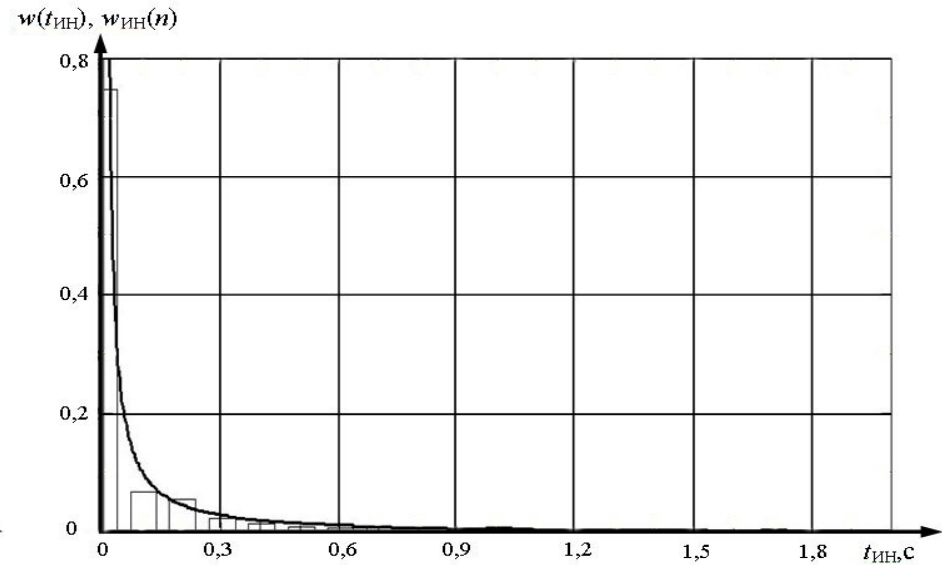


Рисунок 3.7 – Гистограмма распределения длительностей интервалов и график гамма-распределения $w(t_{ИМ})$

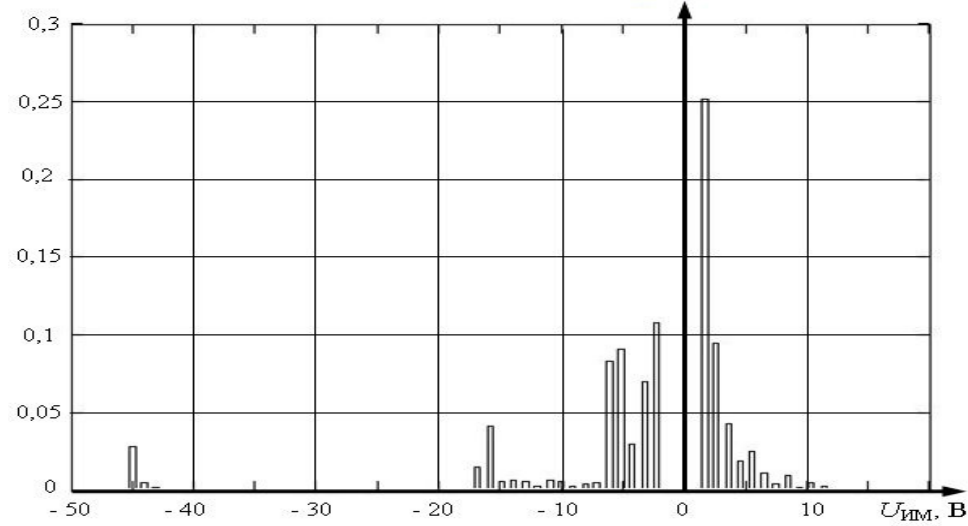


Рисунок 3.8 – Гистограмма распределения амплитуд импульсов помехи

Таблица 3.1 – Доверительные интервалы параметров распределения амплитуд импульсов

Параметры распределения	Доверительные интервалы		
	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
$\mu_{U_{им}}$	-3,4 ... -2,5	-3,7 ... -2,25	-3,9 ... -2,05
$D_{U_{им}}$	101,6 ... 115,3	98,1 ... 119,6	95,5 ... 123,1
$a_{U_{им}}$	-2,5 ... -2,04	-2,9 ... -1,6	-4,4 ... -0,14
$e_{U_{им}}$	7,6 ... 8,5	6,7 ... 9,4	3,9 ... 12,3

Например, за импульсами большой амплитуды часто непосредственно следуют импульсы противоположной полярности с меньшей амплитудой и длительностью; импульсы с высокой амплитудой следуют на примерно одинаковом интервале друг от друга по оси времени.

На гистограмме распределения амплитуд импульсов помехи можно выделить области часто встречающихся значений амплитуд. Если выделить в области значений амплитуд N подобластей, то импульсную помеху можно представить как систему с N дискретными состояниями, где каждому из состояний соответствует наличие импульса, амплитуда которого попадает в ту или иную подобласть. Последовательность переходов системы из одного состояния в другое в первом приближении может быть представлена однородной односвязной марковской цепью, дискретной по состояниям и по времени [56-58, 60]. В качестве параметров, характеризующих n -ое состояние, будут выступать амплитуда импульса $U_{им n}$, его длительность $\tau_{им n}$ и длительность интервала $\tau_{ин n}$, следующего за данным импульсом до следующего импульса.

Исследованиями установлено, что импульсы помехи от тягового тока в РЛ имеют форму близкую к треугольной. Поэтому в марковской модели форма импульсов, соответствующих состояниям системы, принята треугольной.

Фрагмент модели импульсной помехи, соответствующий n -му состоянию системы, представлен на рисунке 3.9.

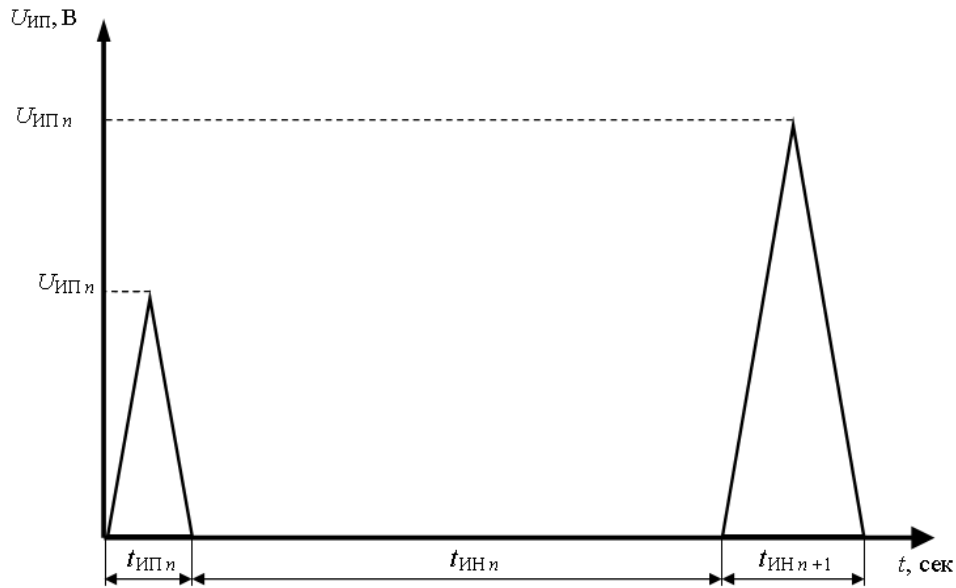


Рисунок 3.9 – Фрагмент модели импульсных помех

Марковская цепь характеризуется вектором начальных состояний \mathbf{P}_0 и матрицей перехода \mathbf{P} [57, 58]:

$$\mathbf{P}_0 = (p_1^{(0)} \quad p_2^{(0)} \quad \dots \quad p_N^{(0)});$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{pmatrix},$$

где $p_i^{(0)}$ – безусловная вероятность нахождения системы в i -ом начальном состоянии;

p_{ij} – условные вероятности перехода системы из i -го состояния в j -ое состояние (для однородной цепи Маркова вероятности p_{ij} не зависят от времени).

Анализ гистограммы (рисунок 2.12) показывает, что область значений амплитуд импульсов можно разбить на $N = 5$ подобластей, границы которых представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Границы подобластей распределения амплитуд импульсов

Подобласть	Границы подобласти, В
1	от -1,7 до -4,0
2	от -4,0 до -7,0
3	от -13,0 до -17,0
4	от 1,7 до 3,5
5	от 3,5 до 9,0

Соответственно система будет иметь пять состояний. В таблице 3.3 указаны количество импульсов, попавших в n -ое состояние ($n = 1, 2, \dots, 5$), и их доля от общего количества участвовавших в анализе импульсов.

Таблица 3.3 – Распределение количества импульсов по состояниям

Состояние, s_n	Количество импульсов в n -ом состоянии	Доля от общего количества импульсов, %
1	269	21,9
2	250	20,4
3	94	7,7
4	469	38,1
5	146	11,9

Всего в определенные выше пять состояний попали 1228 импульсов, или 91,2 % от их общего количества. Количество импульсов с амплитудой менее – 17 В составило 57, или 4,2 % от общего количества. Из таблицы 3.3 видно, что появление импульсов, попадающих в третье состояние, являются относительно редким событием.

В каждом из состояний определены средние значения амплитуд импульсов $\bar{U}_{имn}$, длительностей импульсов $\bar{\tau}_{имn}$ и длительностей интервалов $\bar{\tau}_{инn}$, следующих за импульсами. Их величины приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние значения параметров импульсной помехи

Состояние, s_n	$\bar{U}_{имп}$, В	$\bar{\tau}_{имп}$, мс	$\bar{\tau}_{инп}$, мс
1	-2,45	1,62	227,0
2	-5,29	5,95	265,8
3	-15,56	6,57	15,8
4	2,29	1,67	175,1
5	5,37	4,50	73,1

Из таблицы 3.4 можно сделать следующие выводы. Средняя длительность импульсов имеет величину порядка нескольких миллисекунд и прямо пропорционально связана с амплитудой. Самые короткие интервалы следуют за импульсами с наибольшей по абсолютному значению амплитудой. Это объясняется тем, что амплитуды обратных выбросов ЭДС помехи, следующих за этими импульсами, превышают порог анализа и выбросы регистрируются как импульсы.

Анализ полученных экспериментально реализаций импульсной помехи установил, что вектор начальных состояний системы и матрица перехода имеют вид:

$$\mathbf{P}_0 = (0,13 \quad 0,36 \quad 0,10 \quad 0,30 \quad 0,11);$$

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0,43 & 0,19 & 0,06 & 0,26 & 0,06 \\ 0,22 & 0,36 & 0,04 & 0,30 & 0,08 \\ 0,14 & 0,02 & 0,09 & 0,54 & 0,21 \\ 0,14 & 0,18 & 0,11 & 0,46 & 0,11 \\ 0,14 & 0,16 & 0,06 & 0,37 & 0,27 \end{pmatrix}.$$

Приведенные данные полностью задают характеристики простой марковской цепи, а описанная выше система позволяет сформировать имитационную модель импульсной помехи от постоянного тягового тока в РЛ, пригодную для постановки имитационных экспериментов.

На рисунке 3.10 представлен осциллограмма модели импульсных помех, синтезированных на ЭВМ с помощью ИМ помехи.

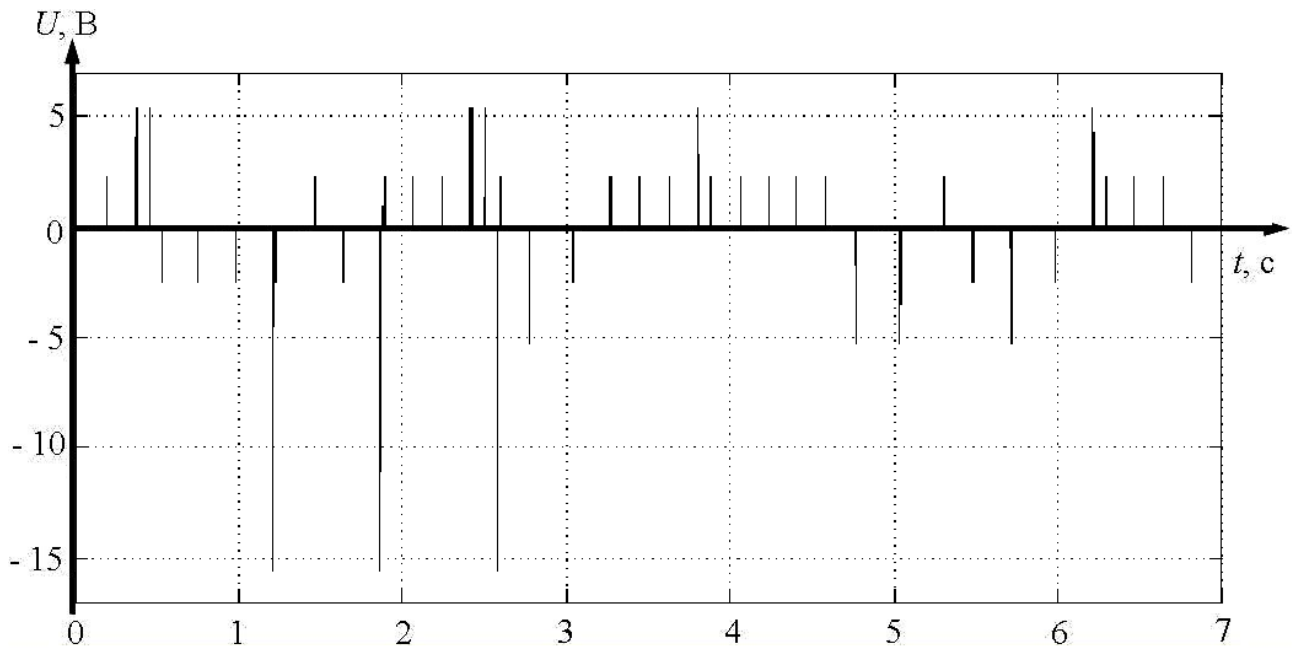


Рисунок 3.10 – Осциллограмма модели импульсной помехи, синтезированной посредством ИМ помехи

Модель разработана на основе математической модели импульсной помехи от постоянного тягового тока в канале АЛСН. Импульсные помехи следуют пачками без учета интервалов между пачками.

Из графика видно, что за импульсами с амплитудой $-15,56$ В следуют импульсы с амплитудой $2,29$ В, чего и следовало ожидать исходя из матрицы.

3.3.3 Помехи от тягового тока при коммутации тяговых двигателей электровоза и некачественном токосъеме

Для проведения аналитических исследований помехоустойчивости приёмников РЦ в условиях, максимально приближенных к реальным

условиям, необходима ИМ, которая будет представлять импульсные помехи на фоне флуктуационных помех.

В данном пункте представлена ИМ помех от тягового тока возникающих при коммутации тяговых двигателей электровоза и некачественном токосъеме, разработанная на базе ИМ флуктуационных и импульсных помех, представленных в п.п. 3.4.1 и 3.4.2 соответственно.

Как показали исследования [45, 47, 48, 52], в моменты переключения схем управления тяговыми двигателями электровоза импульсные помехи следуют пачками. Поэтому для формирования модели необходимо в моменты времени, соответствующие конкретной коммутации, формировать пачки импульсных помех, характерные для данной коммутации.

Учитывая изложенное, в данной работе для моделирования помех посредством генерации пачек импульсов в моменты переключений контроллера машиниста применяются следующие параметры:

- вид переключения контроллером схем управления тяговыми двигателями;
- количество импульсов в пачке $N_{им}$;
- длительность импульсов, соответствующих i -му состоянию импульсной помехи $t_{им i}$;
- длительность последующих межимпульсных интервалов, соответствующих i -му состоянию импульсной помехи $t_{им i}$.

Данные параметры являются случайными величинами с различными законами распределения, и поэтому с целью упрощения разрабатываемой модели на начальном этапе примем за значения этих параметров их математические ожидания в анализируемых выборках записей реальных помех, соответствующих различным видам переключений контроллера машиниста.

В таблице 3.5 представлены результаты анализа параметров импульсных помех, на основании записей, выполненных в рамках исследований [45, 47, 48, 52] на электровозах грузовых поездов, вес которых был не менее 5000 тонн,

Таблица 3.5 – Параметры помех при различных видах переключений контроллера машиниста

Вид переключения контроллера	$N_{\text{ИМ}}$	Параметры состояний импульсной помехи									
		$t_{\text{ИМ 1, мс}}$	$t_{\text{ИН 1, мс}}$	$t_{\text{ИМ 2, мс}}$	$t_{\text{ИН 2, мс}}$	$t_{\text{ИМ 3, мс}}$	$t_{\text{ИН 3, мс}}$	$t_{\text{ИМ 4, мс}}$	$t_{\text{ИН 4, мс}}$	$t_{\text{ИМ 5, мс}}$	$t_{\text{ИН 5, мс}}$
«0» – «С»	6	1,15	290	4,28	323	5,04	19,7	1,34	223	3,18	94,2
«0» – «СП»	6	1,65	213	6,22	224	6,51	16,1	1,79	200	4,22	74,8
«0» – «Р»	7	1,31	254	5,43	311	4,90	17,6	1,40	215	3,41	93,6
«С» – «0»	8	1,24	262	4,83	337	5,22	20,4	1,17	216	3,29	89,7
«С» – «СП»	7	1,77	222	6,45	238	6,25	14,4	1,89	202	3,96	79,1
«С» – «Р»	9	1,53	229	5,77	284	6,47	14,9	1,62	204	3,93	84,4
«СП» – «0»	11	1,89	200	6,81	221	6,73	13,6	1,93	160	4,41	69,0
«СП» – «С»	6	1,78	210	6,70	222	7,66	13,6	1,97	180	4,36	69,3
«СП» – «П»	15	1,94	197	6,97	208	7,77	14,1	1,99	158	5,36	63,7
«СП» – «Р»	12	1,93	190	6,82	216	8,18	13,9	2,00	171	4,94	68,2
«П» – «0»	17	2,10	162	7,73	198	8,38	11,9	2,16	147	5,70	52,4
«П» – «С»	15	1,99	174	7,66	188	8,26	12,7	2,06	135	5,61	60,9
«П» – «СП»	16	1,95	186	7,41	203	8,09	14,0	2,04	152	5,60	63,1
«Р» – «0»	4	1,32	255	5,44	315	5,78	20,5	1,41	220	3,68	93,5
«Р» – «С»	8	1,48	252	6,04	271	6,23	17,1	1,78	205	3,78	88,1

при этом использованы следующие условные обозначения:

– положения контроллера машиниста: «0» – выбег; «С» – сириесное (последовательное) соединение тяговых электродвигателей; «СП» – последовательно-параллельное соединение; «П» – параллельное соединение; «Р» – рекуперация.

– вид переключения контроллера машиниста, например, «0»–«С» соответствует переводу контроллера из положения «0» в положение «С».

Поскольку пакки импульсов генерируются в моменты переключения контроллера машиниста, то длительности интервалов между пакками соответствуют длительностям интервалов между переключениями контроллера. Значения интервалов были определены на основе статистического анализа данных, полученных при хронометраже переключений контроллера машиниста во время реальных поездок на участках Московской и Куйбышевской железных дорог [61, 62].

В интервалах между переключениями контроллера машиниста постоянный тяговый ток вследствие некачественного токосъёма является источником флуктуационных помех, имеющих нормальное (гауссово) распределение с нулевым средним значением [45, 48]. Поэтому, в качестве модели этого вида помех принят нормальный процесс с нулевым средним и дисперсией, которая зависит от текущей схемы управления тяговыми двигателями.

Соответствующие значения дисперсии флуктуационной помехи определены на основе анализа указанных выше записей помех. Таким образом, в качестве параметра флуктуационной модели, выбраны средние значения дисперсии флуктуационной помехи $D_{фп}$, приведенные в таблице 3.6.

На основе полученных результатов разработана имитационная модель помех от постоянного тягового тока в РЛ [61], блок-схема которой представлена на рисунке 3.11.

Имитационная модель содержит: блок 1 – модель переключений схем управления тяговыми электродвигателями электровоза; блоки 2 и 3 – моделируют импульсную и флуктуационную помехи соответственно; блок 4 – суммирует

сигналы с выхода блоков 2 и 3; блоки 5 и 6 – выводят сгенерированные сигналы с выхода блоков 1 и 4 соответственно.

Таблица 3.6 – Зависимость средней дисперсии флуктуационной помехи $D_{\text{фп}}$ от вида схемы управления тяговыми двигателями локомотива

Вид схемы управления тяговыми двигателями				
«0»	«С»	«СП»	«П»	«Р»
Средняя дисперсия флуктуационной помехи $D_{\text{фп}}$, В ²				
0.00392	0.0137	0.0491	0.0882	0.00403

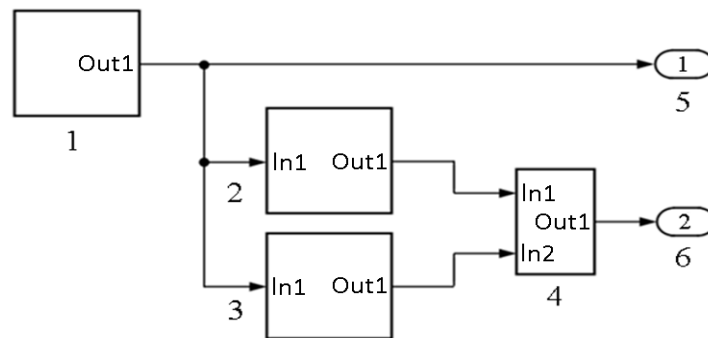


Рисунок 3.11 – Блок-схема ИМ помех от постоянного тягового тока в Simulink

Имитационная модель помех от постоянного тягового тока генерирует импульсные и флуктуационные помехи, возникающие в РЛ и ИРЛ при движении электровозов. Процесс функционирования модели следующий: блок 1 генерирует случайный Марковский процесс – модель переключений схем управления тяговыми электродвигателями электровоза (на выходе блока появляется сигнал, содержащий информацию о текущей схеме управления тяговыми электродвигателями и ее переключении в случайные моменты времени); блок 2 формирует импульсную помеху, возникающую в моменты переключения схем управления тяговыми электродвигателями электровоза и характеризующуюся значениями параметров, специфическими для каждого вида переключений (на выходе блока появляется сигнал, представляющий собой, генерируемый случайный Марковский процесс в виде пачки импульсов определенной

длительности, амплитуды и количества); блок 3 формирует флуктуационную помеху от постоянного тягового тока, действующую непрерывно, мощность которой зависит от текущей схемы управления тяговыми электродвигателями.

В качестве примера на рисунке 3.12 представлены осциллограммы сигналов на выходах блоков 1 и 4 (рисунок 3.11).

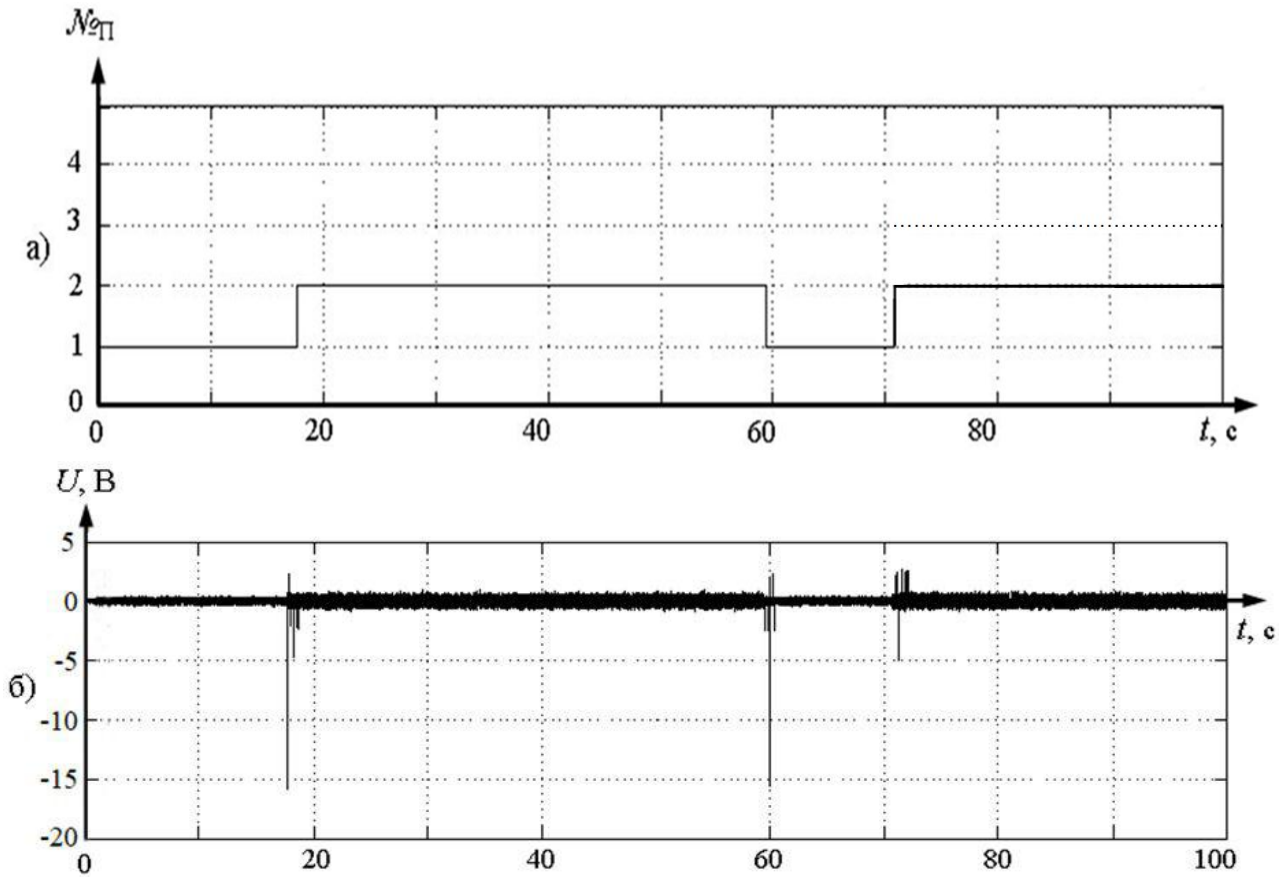


Рисунок 3.12 – Осциллограммы сигналов на выходах блоков 1 и 4 (рисунок 3.10) при движении поездного локомотива последовательно в режимах «0», «С», «0» и «С»: а – сигнал на выходе блока 1; б – сигнал на выходе блока 4

Осциллограмма на рисунке 3.12, а представляет сигнал, несущий информацию о моменте переключения контроллера машиниста для коммутации различных схем соединения тяговых электродвигателей ($N_{2П}$ – номер позиции контроллера машиниста). В данном примере моделируется последовательность переключения контроллера машиниста из схемы «0» в схему «С», затем, в схему «СП».

Осциллограмма «б» представляет ЭДС сигнала, отображающего модель аддитивной смеси флуктуационной и импульсной помехи от постоянного

тягового тока электроподвижного состава, сгенерированной разработанной имитационной моделью.

Адекватность представленной реализации подтверждает осциллограмма фрагмента записи реальной помехи, соответствующая последовательному переключению контроллера в положения «0» – «С» – «0» – «СП» – «0» и набору позиций, представленная на рисунке 3.13.

Следует отметить, что амплитуда помех, в данном случае, определяется видом канала передачи полезного сигнала с РЛ.

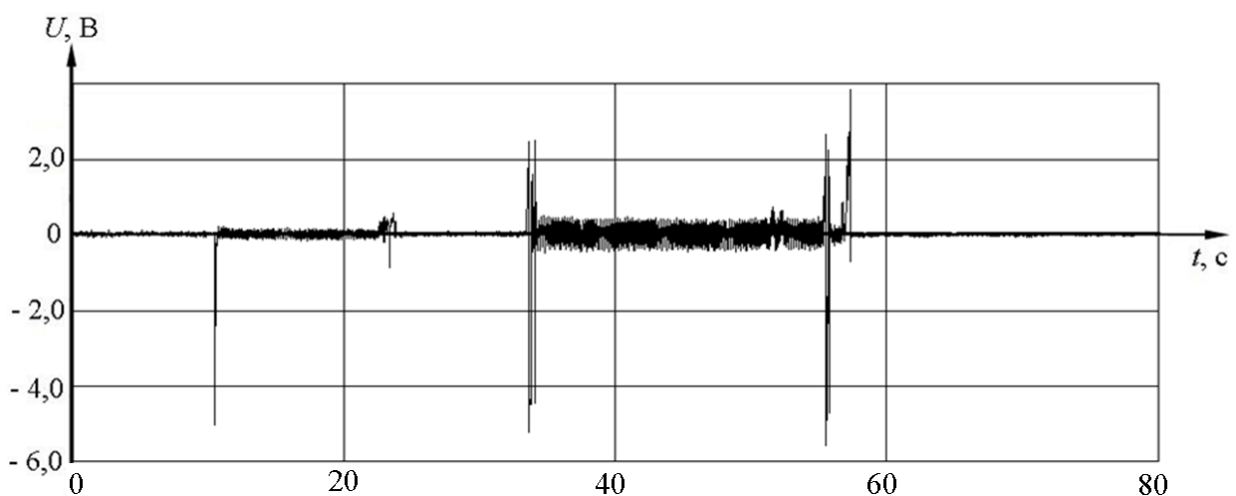


Рисунок 3.13 – Осциллограмма фрагмента записи реальной помехи от постоянного тягового тока при движении поездного локомотива последовательно в режимах «0», «С», «0», «СП» и «0»

Разработанная ИМ помех от постоянного тягового тока в РЛ, возникающих во время движения электровоза при некачественном токосъеме и коммутации тяговых двигателей, наиболее полно представляет параметры импульсных и флуктуационных помех:

1. Импульсные помехи:

- длительность импульсов и межимпульсных интервалов;
- амплитуда импульсов;

– чередование пачек импульсов при переключении схем управления тяговыми двигателями электровоза; длительность интервалов между пачками импульсов;

– длительность интервалов между пачками импульсов.

2. Флуктуационные помехи: средние значения дисперсии флуктуационной помехи $D_{фп}$ при движении поездного локомотива в интервалах между изменениями режима работы тяговых двигателей.

Анализируя изложенное, можно сделать вывод о том, что данная ИМ в настоящее время является наиболее адекватной реальным помехам и поэтому её можно применять при совершенствовании существующих и разработке новых систем, где в качестве линий связи применяются РЛ.

Во время выполнения конкретных исследований посредством этой модели необходимо корректировать амплитуду импульсных и дисперсию флуктуационных помех в соответствии с коэффициентом передачи конкретного тракта распространения.

Разработанная ИМ использована в статистических экспериментах в главе 4 при решении задач исследования помехоустойчивости ПП РЦ.

3.4 Выводы по главе

Анализируя проделанную работу в данной главе, можно сделать следующие выводы:

1. Учитывая значительные сложности в получении данных по параметрам помех от тягового тока в РЛ, так как в реальных условиях эксплуатации РЦ получить необходимые данные для масштабных исследований помехоустойчивости ПП РЦ практически невозможно, предложен способ

регистрации помех, исключая влияние полезных сигналов на процесс регистрации.

2. Произведен анализ источников помех от тягового тока, формы помех и причин их возникновения с целью выявления наиболее «опасных» в смысле влияния их на помехоустойчивость ПП РЦ.

3. Для проведения исследований выбраны флуктуационные помехи, вызванные некачественным токосъемом и импульсные помехи, вызванные коммутацией тяговых двигателей электровозов постоянного тока, как наиболее существенные по влиянию на искажение сигналов РЦ.

4. Разработана ИМ помех от постоянного тягового тока, возникающих в процессе движения электровозов на основе анализа реальных помех, зарегистрированных на участке Кинель – Октябрьск филиала ОАО «РЖД» Куйбышевской железной дороги и участке Москва-Сортировочная – Черусти – Рыбное – Москва-Сортировочная филиала ОАО «РЖД» Московской железной дороги.

5. ИМ помех от постоянного тягового тока позволяет аналитически исследовать любые каналы связи, где в качестве линии связи применяются РЛ.

4 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОГЛАСОВАННЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

4.1 Стратегическое и тактическое планирование экспериментов

При разработке РЦ, устойчиво функционирующих в эксплуатации, важное значение имеет выбор частоты несущей сигнала, что в свою очередь требует знания зависимости помехоустойчивости ПП РЦ от этой частоты. В данной работе предложен метод имитационного моделирования, позволяющий с минимальными материальными и временными затратами наиболее оптимально реализовать процесс получения новых данных. Однако, реализация этого метода, возможна только при наличии тактического и стратегического планирования экспериментов [50, 75].

Стратегическое планирование позволяет выбрать оптимальный метод сбора исходных данных, которые содержат необходимую информацию, позволяющую сделать важные выводы о помехоустойчивости ПП РЦ.

Показатели помехоустойчивости должны отвечать следующим требованиям:

- определять степень помехоустойчивости ПП РЦ;
- быть количественными, чтобы сравнение РЦ было обоснованным;
- быть статистически устойчивыми, т. е. иметь малый разброс относительно среднего значения.

В данном исследовании выбраны следующие показатели:

- для ПП АМ-сигнала: вероятность ошибки вида «ложная тревога» $P_{л}$, вероятность ошибки вида «пропуск цели» $P_{проп}$ и средняя по всем символам

вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$, относящиеся к обработке элементарного дискретного символа;

– для ПП сигнала с ФРМ-2: средняя по всем символам кодовой комбинации (в подканале КК) вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$.

Вероятности ошибок при приеме ПП АМ-сигнала, относящиеся к элементарному символу, определяются по формулам:

$$P_{\text{л}} = \frac{N_{\text{л}}}{N_{\text{с}}}; P_{\text{проп}} = \frac{N_{\text{проп}}}{N_{\text{с}}}; P_{\text{ош}} = \frac{N_{\text{ош}}}{N_{\text{с}}},$$

где $N_{\text{л}}$ – число ложных символов «1», зафиксированных ПП;

$N_{\text{проп}}$ – число незафиксированных ПП обработки символов «1»;

$N_{\text{ош}}$ – число неправильно принятых элементарных символов;

$N_{\text{с}}$ – общее число переданных символов.

Вероятность ошибки при приеме ПП сигнала с ФРМ-2 для подканала КК определяются по формуле:

$$P_{\text{ошКК}} = \frac{N_{\text{ошКК}}}{N_{\text{сКК}}},$$

где $N_{\text{ошКК}}$ – число неправильно принятых элементарных символов в КК сигнала с ФРМ-2;

$N_{\text{сКК}}$ – общее число переданных символов в подканале КК.

Это связано с тем, что для полноты эксперимента в сигнале с ФРМ-2 должны присутствовать все возможные значения разности фаз соседних посылок (0° , 90° , 180° , 270°), что имеет место при значениях символов СГ «11001100» и КК «10101010». Особенностью использованной схемы обнаружения ошибок является необходимость в чередовании значений соседних символов, что обеспечивается в подканале КК.

Моделирование состоит в обработке устройствами ПП аддитивной смеси полезного сигнала и помехи (флуктуационной, импульсной, синусоидальной) при различных значениях отношения сигнал/помеха на входе блоков РУ ПП РЦ.

При стратегическом планировании необходимо установить, что является фактором эксперимента (входной переменной модели), а что реакцией (выходной переменной). Анализ помехоустойчивости ПП РЦ производится посредством

сравнения реакции ПП на действие помех при одинаковых значениях факторов, при этом каждый фактор является управляемым, чтобы можно было устанавливать требуемые его значения.

Тактическое планирование связано с решением следующих задач:

- выбор количества уровней и значений факторов;
- выбор начальных условий и изменяемость условий;
- определение продолжительности имитационного прогона и числа повторных прогонов.

В связи с ограничением вычислительных возможностей ЭВМ, на которой осуществлялось моделирование, в экспериментах с флуктуационными и импульсными помехами продолжительность каждого прогона составляла 10000 элементарных символов полезного сигнала, что позволило при протоколировании хода экспериментов фиксировать величины $P_{л}$, $P_{проп}$ и $P_{ош}$ с тремя значащими цифрами после запятой.

Исследование помехоустойчивости ПП РЦ выполнялось в наиболее неблагоприятных, но допустимых по существующим нормам условиях, при этом во всех экспериментах амплитуда полезного сигнала на входе ПП РЦ была принята равной:

- АМ-сигналов – 0,35 В;
- ФРМ-2 сигналов – 0,2 В.

Эти значения амплитуды сигналов приняты в связи с тем, что они соответствуют порогу чувствительности РУ в современных ПП РЦ, построенных на микроэлектронной базе. Поэтому данные значения позволяют получить верхние оценки критериев помехоустойчивости.

Уменьшение смещения оценок характеристик в установившемся режиме работы моделей, вызванного воздействием начальных условий, осуществляется с помощью метода, при котором начало сбора статистических данных задерживается до момента завершения переходного периода. Переходной период для исследуемых ПП РЦ обусловлен необходимостью затрат времени (около 1,5 с) для фильтрации и детектирования сигнала, а также для выхода в

установившийся режим используемой модели помех и схемы обнаружения ошибок. Поэтому результаты имитирования в течение первых полутора секунд не учитываются. Соответственно, продолжительность одного прогона увеличивается на эту величину.

Важным моментом планирования имитационного эксперимента является определение числа повторных прогонов моделей, необходимых для обеспечения точности и достоверности результатов моделирования. Оценки значений $P_{л}$, $P_{проп}$, $P_{ош}$ и $P_{ош\text{ КК}}$ вычисляются как средние значения по некоторому количеству прогонов. Выбор числа повторных прогонов производится с помощью доверительных интервалов [63, 65-67].

Если некоторая величина x имеет математическое ожидание m_x и дисперсию D_x , то в качестве ее оценки принимается выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I x_i,$$

где I – объем выборки значений x .

При оценке дисперсии D_x с помощью повторных прогонов в предположении нормального распределения x (для выборочного среднего это вполне справедливо) число независимых повторных прогонов, которое необходимо осуществлять для достижения заданного доверительного интервала для \bar{x} , будет равно [65]

$$I = \frac{t_{I-1; \frac{\alpha}{2}}^2 D_x}{\xi^2}, \quad (4.1)$$

где $t_{I-1; \frac{\alpha}{2}}$ – 100($\alpha/2$)-процентная точка t -распределения Стьюдента с $I-1$ степенями

свободы, соответствующая уровню значимости α (табличное значение);

ξ – половина длины заданного доверительного интервала (точность оценки \bar{x}).

Применение формулы (4.1) требует информации о t -статистике с $I-1$ степенями свободы и D_x . Обойти это затруднение можно следующим образом.

Установим значение $I = 4$ и проведем четыре повторных прогона моделей ПП АМ-сигнала и сигнала с ФРМ-2 с флуктуационными и импульсными помехами. Вычислим дисперсии выборочных средних $D_{\bar{P}_л}$, $D_{\bar{P}_{\text{проп}}}$, $D_{\bar{P}_{\text{ош}}}$ и $D_{\bar{P}_{\text{ошКК}}}$.

Получаем максимальную дисперсию $D_{\bar{P}_{\text{ош}}} = 71,2$.

Для получения $\bar{P}_л$, $\bar{P}_{\text{проп}}$, $\bar{P}_{\text{ош}}$ и $\bar{P}_{\text{ошКК}}$ с тремя значащими цифрами принимаем $\xi = 5$.

Расчет критического уровня значимости удобно осуществить по формуле:

$$\alpha = (1 - 0,1e)^{4,3},$$

где $e \in (0,10)$ – экспертная оценка уровня ответственности за вывод по десятибалльной шкале.

Принимая средний уровень ответственности $e = 4$, получаем $\alpha = 0,1$ и, соответственно, $t_{\frac{\alpha}{2}, I-1} = 1,64$.

Подстановка в (4.1) необходимых значений позволяет установить, что для достижения требуемой точности число прогонов моделей нужно увеличить до $I = 5$. При повторе прогонов моделей для нового значения числа I , получаем новое значение максимальной дисперсии $D_{\bar{P}_{\text{ош}}} = 64,8$.

Как видим, это значение меньше первоначального, следовательно, пяти прогонов моделей достаточно для получения выборочных средних с требуемой точностью.

Приведенные в данном разделе сведения являются достаточными, чтобы можно было приступить к экспериментальным исследованиям устройств обработки сигналов РЦ, будучи уверенным в объективной значимости всех полученных в результате сведений и сделанных на их основе выводов.

4.2 Исследование особенностей функционирования согласованных рельсовых цепей

Для анализа особенности функционирования согласованных РЦ в данной работе применены ИМ, блок-схемы которых представлены на рисунках 2.18 и 2.19. ИМ позволяют осуществить аналитическое исследование функционирования совмещенных РЦ в условиях изменения величины сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ и действия помех $n(t)$, в частности, от тягового тока.

Учитывая то, что предлагаемый алгоритм работы согласованных РЦ позволяет автоматически исключать влияние на процесс контроля за состоянием участка рельсового пути изменение во время сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ, в блок 1 ИМ согласованных РЦ встроена ИМ, реализующая процесс изменения величины $Z_{И}$ в функции временного окна T (блок 2, рисунок 2.6).

В качестве примера максимальный уровень величины $Z_{И}$ принят равным 4,7 Ом·км, а временное окно – длительностью 30 с.

На рисунке 4.1 представлен график изменения величины сопротивления изоляции $Z_{И}$, полученный в результате расчетов, выполненных ИМ за время 30 с. График показывает, что в данных условиях величина $Z_{И}$ изменяется от 4,7 до 0,4 Ом·км.

Изменение величины $Z_{И}$, в свою очередь, вызывает изменение затухания α сигнала в РЛ.

На рисунке 4.2 график представляет зависимость изменения величины затухания сигнала α в РЛ в функции изменения сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ, полученный посредством ИМ (рисунок 2.18).

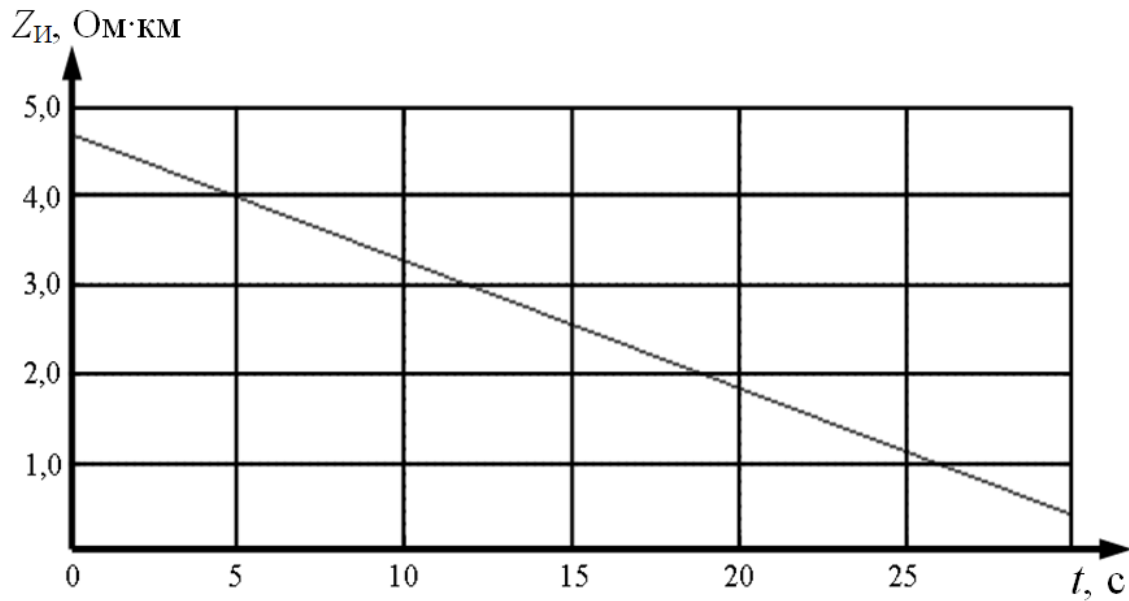


Рисунок 4.1 – График изменения величины сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ в функции временного окна T

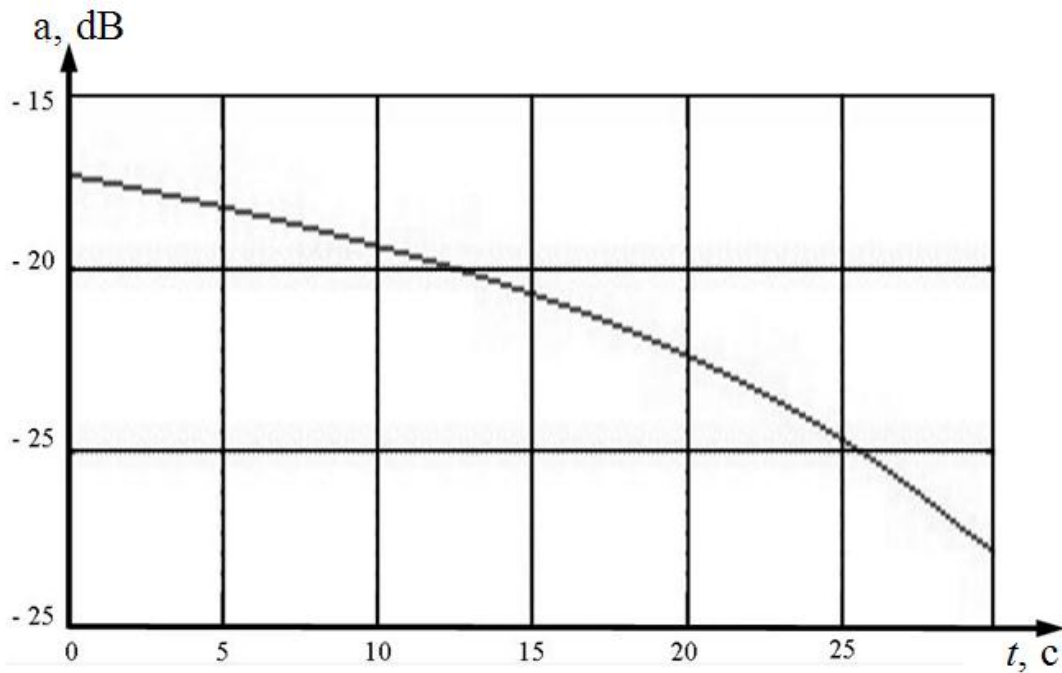


Рисунок 4.2 – Зависимость затухания сигнала в РЛ от величины $Z_{И}$ РЛ во временном окне T

На рисунках 4.3 и В.1 представлены осциллограммы, отображающие сигналы на выходе устройств ИМ согласованных РЦ (рисунок 2.18):

– осциллограмма «а» отображает сигнал на выходе ПГ;

– осциллограмма «б» отображает флуктуационную помеху на выходе генератора помех;

– осциллограмма «в» отображает сигнал на выходе первой РЛ;

– осциллограмма «г» отображает сигнал на выходе второй РЛ.

На рисунках 4.4, а, и В.2, а и рисунках 4.5, а и В.3, а представлены осциллограммы, отображающие процесс изменения амплитуды сигнала на выходе входного полосового фильтра ПП первой и второй РЦ соответственно.

Осциллограммы показывают, что амплитуда сигнала изменяется в зависимости от изменения сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ от 1,5 до 0,01 В.

На 4.4, б, в и В.2, б, в и рисунках 4.5, б, в и В.3, б, в представлены осциллограммы демонстрирующие процесс обработки сигналов ПП (рисунок 2.18) первой и второй РЦ соответственно:

– осциллограмма (рисунок 4.4, б) отображает сигнал на выходе демодулятора;

– осциллограмма (рисунок 4.4, в) отображает сигнал на выходе демодулятора;

– осциллограммы (рисунках 4.4, в и 4.5, в) отображающие сигнал на выходе РУ показывают, что при уменьшении уровня сигнала на выходе входного полосового фильтра до величины 0,1 В (в данном эксперименте установлен такой порог чувствительности РУ ПП) прекращается процесс обнаружения сигнала.

На рисунках 4.6 и В.4, представлены осциллограммы, демонстрирующие процесс определения состояния смежных с ПГ РЛ, посредством ИМ согласованных РЦ (рисунок 2.19):

– осциллограммы (рисунок 4.6, а) отображают сигнал на выходе демодулятора ПП первой РЦ;

– осциллограммы (рисунок 4.6, б) отображают сигнал на выходе демодулятора ПП второй РЦ;

– на графике (рисунок 4.6, в) представлен логический сигнал, поясняющий процесс, реализованный символом 3 алгоритма принятия решения (рисунок 2.1).

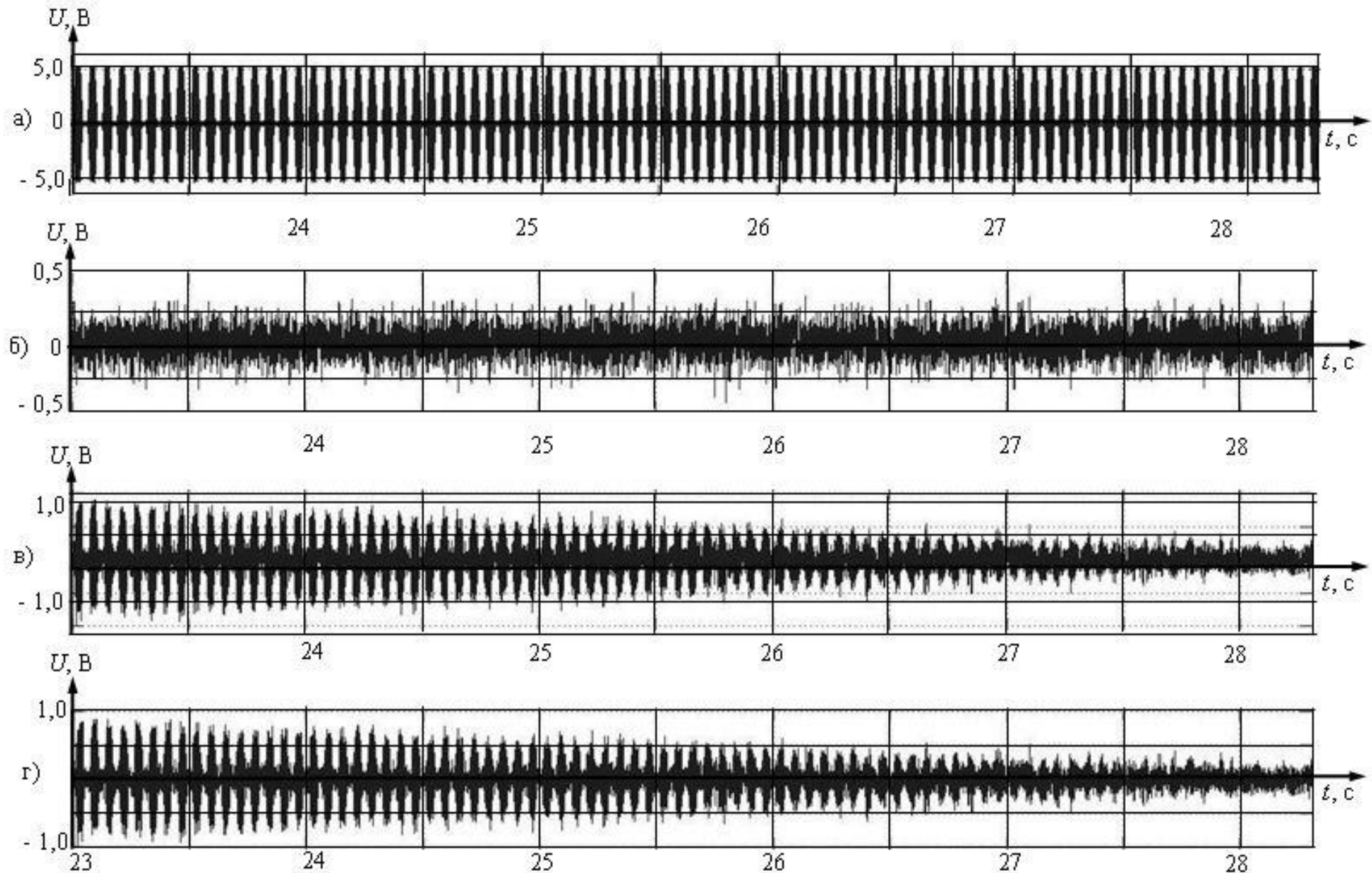


Рисунок 4.3 – Фрагмент осциллограмм сигналов на выходе устройств ИМ согласованных РЦ (рисунок 2.18), представленных на рисунке В.1

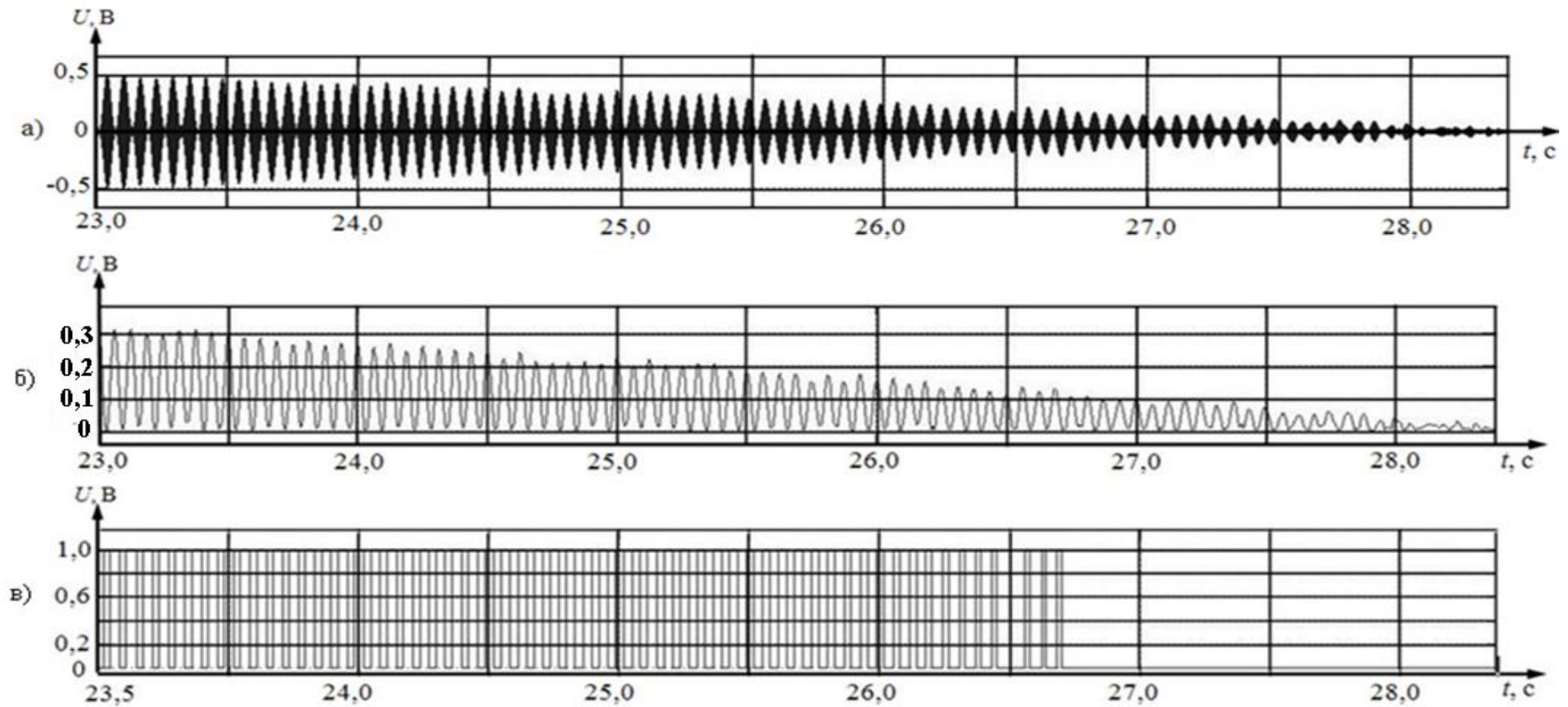


Рисунок 4.4 – Фрагмент осциллограмм сигналов на выходе ПП первой РЦ (рисунок 2.18), представленных на рисунке В.2

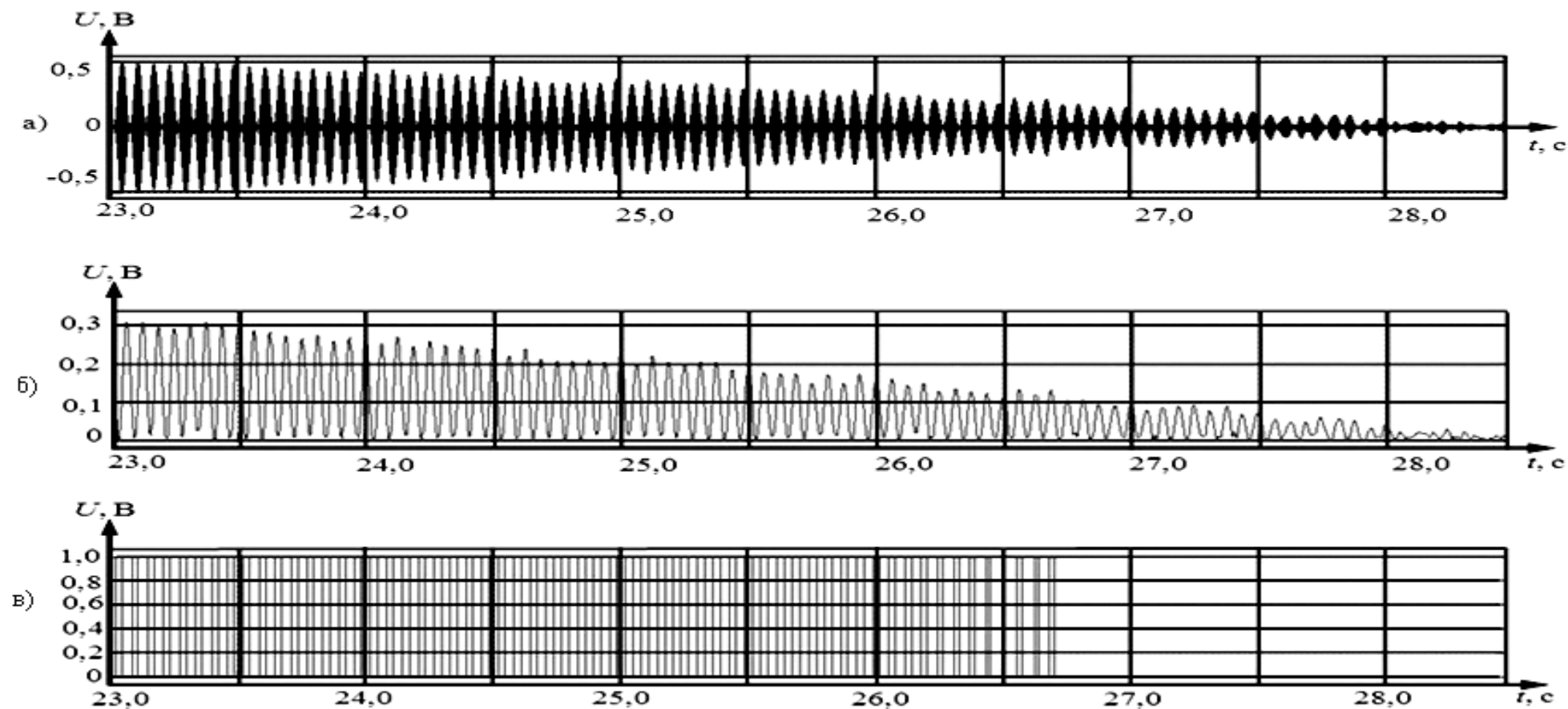


Рисунок 4.5 – Фрагмент осциллограмм сигналов на выходе ПП первой РЦ (рисунок 2.18), представленных на рисунке В.3

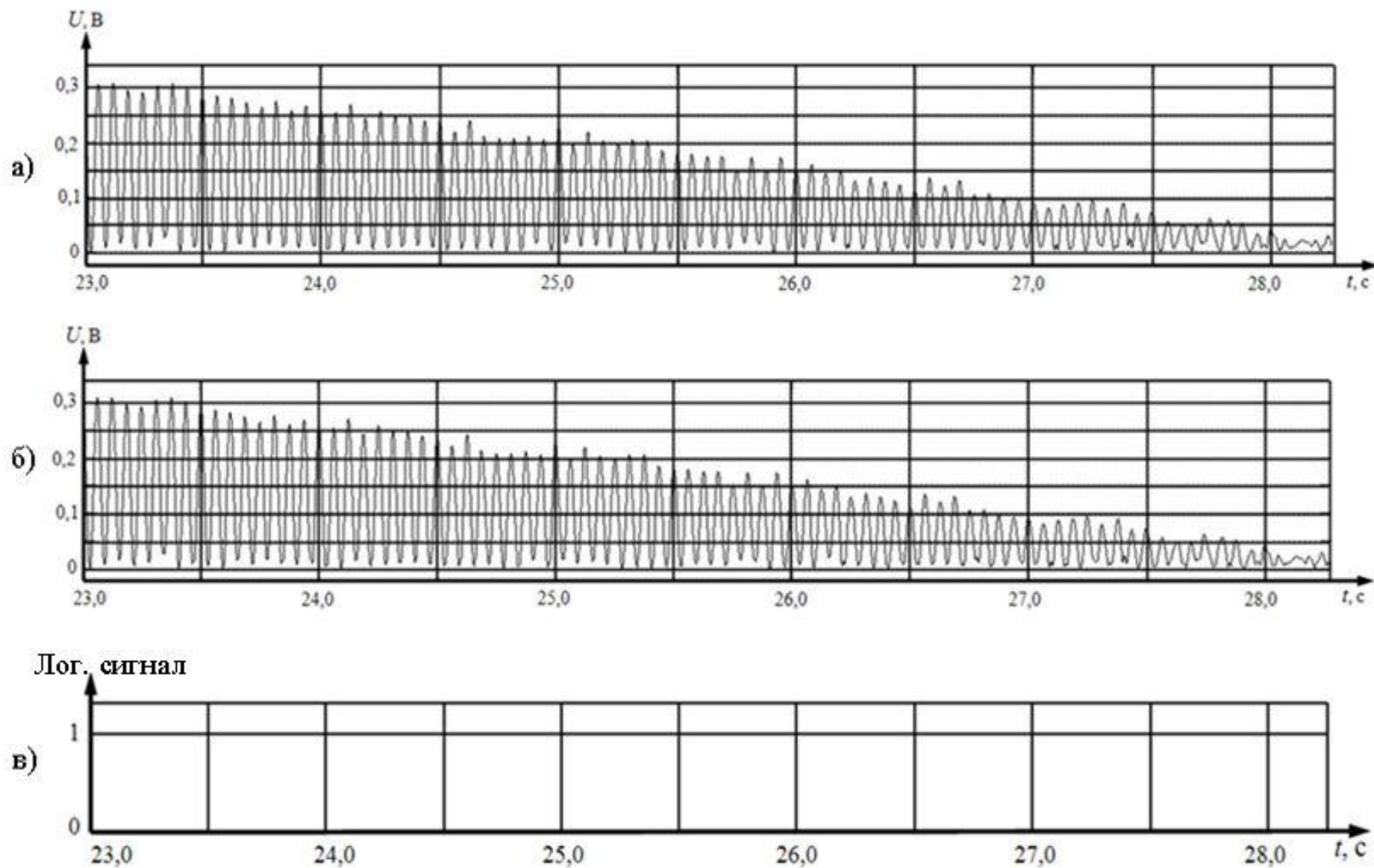


Рисунок 4.6 – Фрагмент графиков, представленных на рисунке В.4, поясняющих алгоритм функционирования процедуры $U_1 - U_2 = 0$

Символ 3 алгоритма (рисунок 2.1) реализует процедуру сравнения значений величин напряжений U_1 и U_2 сигналов на выходе демодуляторов ПП первой и второй РЦ посредством разностной аппроксимации: если логический сигнал Δ_t (см. пп. 2.2) – поездной шунт отсутствует на первой и второй РЛ (первый и второй участки рельсового пути свободны), если логический сигнал не равна Δ_t , то поездной шунт на одной из двух или сразу на двух РЛ (один или два рельсового участка пути заняты).

Таким образом, если амплитуда сигналов на выходе демодуляторов ПП первой и второй РЦ будут равны Δ_t (с учетом естественного разброса), то участки рельсового пути свободны от подвижного состава и рельсы целы (нормальный режим работы РЦ).

Однако, такое положение может возникнуть и тогда, когда подвижной состав займет два смежных участка пути. Для определения этого состояния, алгоритм функционирования совмещенных РЦ предусматривает сравнение амплитуды напряжения сигналов на выходе РЛ с порогом чувствительности РУ в шунтовом режиме работы $U_{\text{ПШ}}$.

Таким образом, если $U_1(U_2) > U_{\text{ПШ}}$ при $U_1 - U_2 = 0$, то оба участка рельсового пути свободны и рельсы на этих участках целы, если нет, то заняты.

Осциллограммами, представленные на рисунке В.6, представляют процесс проезда поездом по участкам рельсового пути, контролируемые согласованными РЦ:

– осциллограммы (рисунок В.6, а и в) представляют сигналы на выходе РЛ первой и второй РЦ соответственно;

– графики (рисунок В.6, б и г) представляют логические сигналы, сформированные устройством, функционирующим согласно символов 6 и 7 алгоритма (рисунок 2.1) соответственно.

Сигналы, представленные на осциллограммах (рисунок В.6, а и в) демонстрируют проезд поезда по первому и второму участкам пути соответственно.

Логические сигналы «1» и «0» демонстрируют процесс принятия решения о состоянии участков пути при проезде подвижного состава.

На рисунке 4.7 (В.5) представлены осциллограммы сигналов, отображающих процесс фиксации зависимости $U_{1(2)}$ от $U_{\text{ПШ}}$:

– осциллограммы (рисунок 4.7, а и в) представляют сигналы на выходе демодулятора ПП первой и второй РЦ соответственно;

– осциллограммы (рисунок 4.7, б и г) представляют логический сигнал, полученный в результате функционирования символа 4 алгоритма (рисунок 2.1), который производит оценку величины напряжения сигнала на выходе демодуляторов ПП согласованных РЦ, контролирующих первый и второй рельсовый участок пути, при этом, если величины U_1 и U_2 превышают некоторый наперед заданный порог $U_{\text{ПШ}}$ (устанавливается с учетом пороговой величины напряжения сигнала в шунтовом режиме работы РЦ), то участки рельсового пути, контролируемые первой и второй РЦ, свободны от подвижного состава, если нет – то заняты.

На рисунке 4.8 представлен фрагмент осциллограмм, изображенных на рисунке В.6 (значения осциллограмм одинаковы).

Таким образом, осциллограммы, представленные на рисунках В.6 и 4.8, наглядно отображают процесс фиксации проезда подвижным составом участков рельсового пути, контролируемых смежными РЦ.

4.3 Исследование зависимости помехоустойчивости приемника АМ-сигнала от частоты несущей сигнала

В соответствии с разработанными ИМ сигналов РЦ и помех в РЛ (глава 2), ПП РЦ (глава 3), в исследовании управляемыми факторами являются

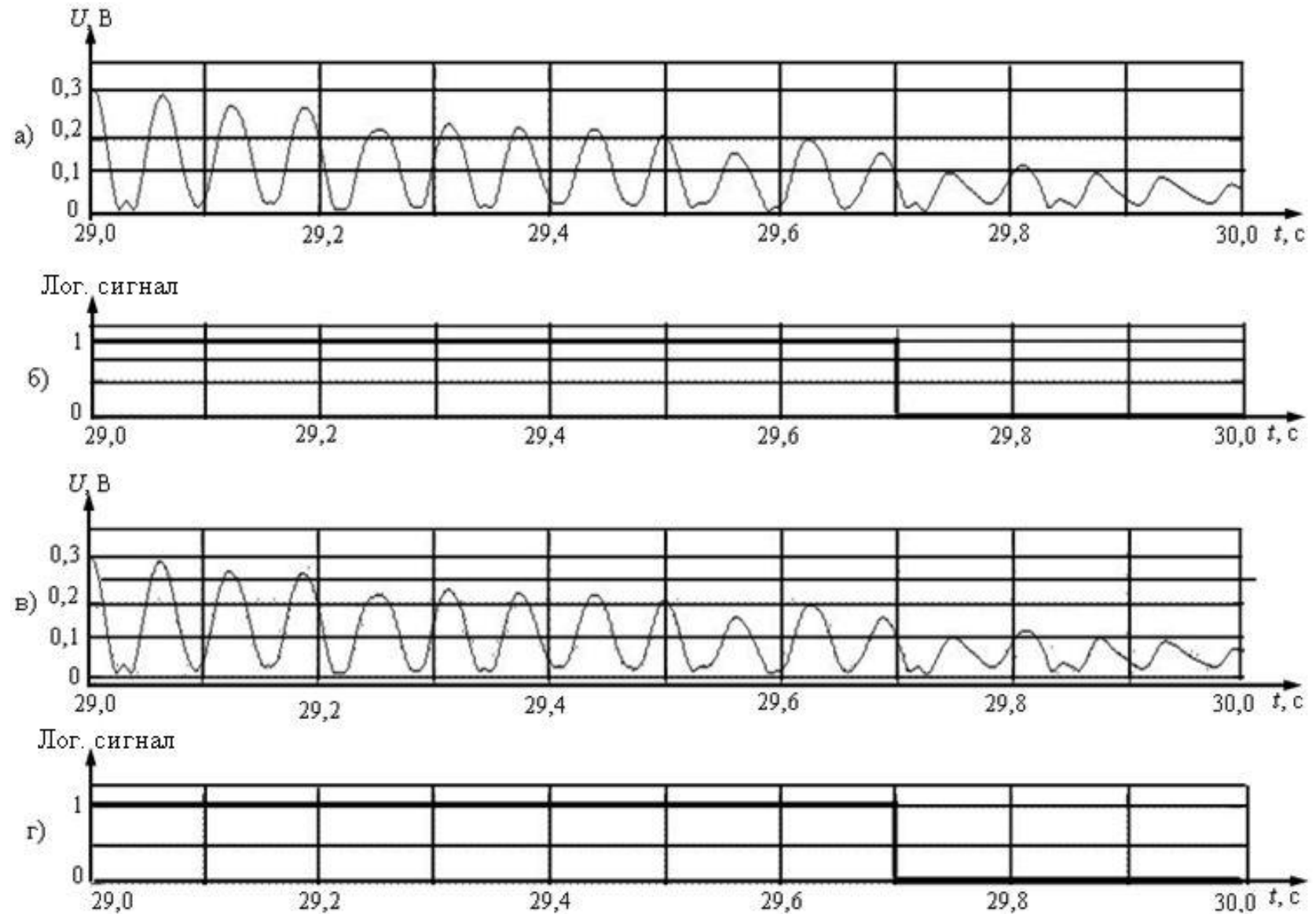


Рисунок 4.7 – Фрагмент графиков сигналов, поясняющих алгоритм фиксации зависимости $U_{1(2)}$ от $U_{ПШ}$, представленных на рисунке В.5

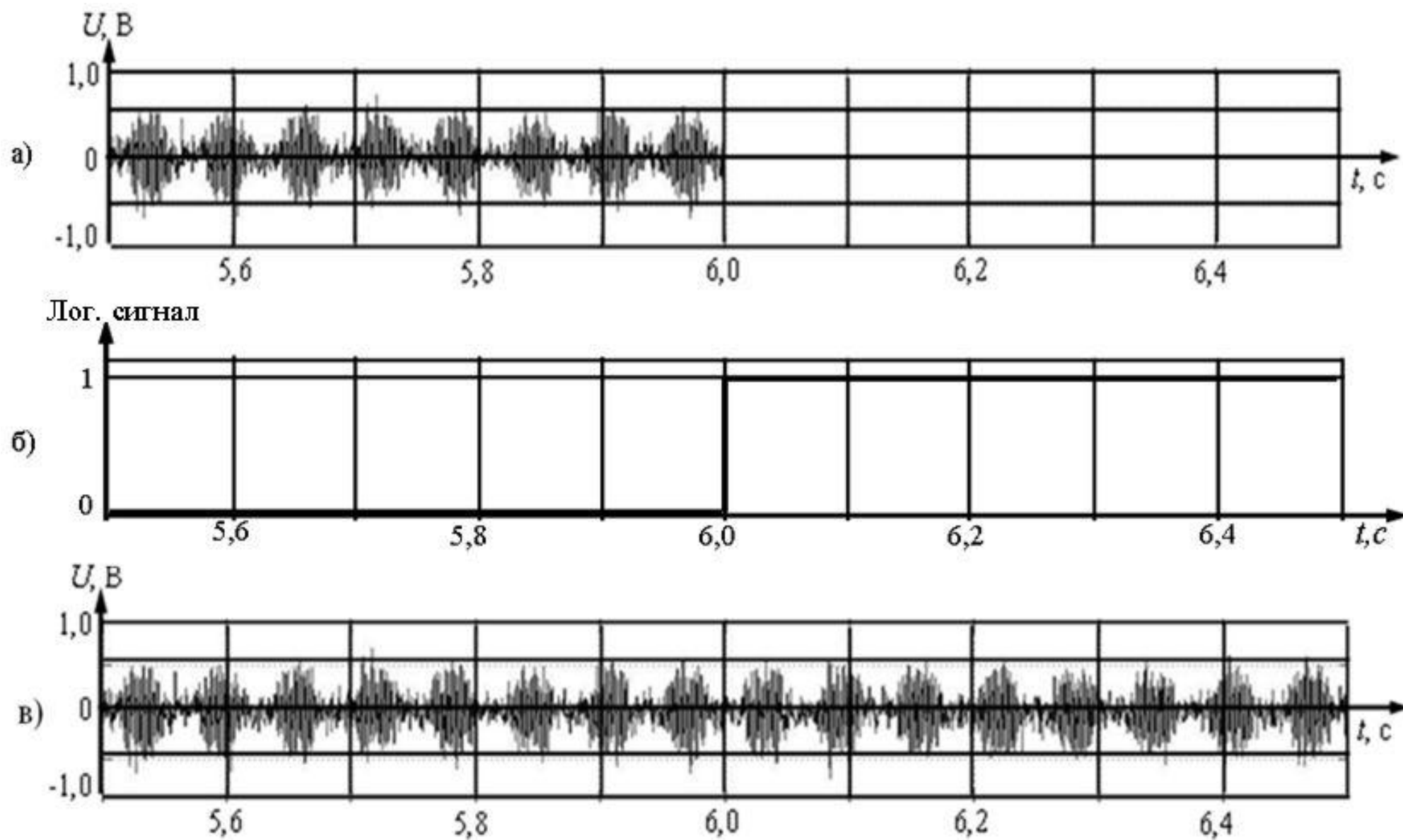


Рисунок 4.8 – Фрагмент графиков, демонстрирующих процесс проследования поезда по контролируемым участкам пути, представленных на рисунке В.6

амплитуда несущей $U_{c\text{ AM}}$ и частота манипулирующей $f_{m\text{ AM}}$ сигнала, а также относительный уровень помехи от постоянного тягового тока на входе полосового фильтра ПП (коэффициент усиления помехи), значение которого подобрано экспериментально для охвата всего исследуемого диапазона частот и равно восьми. Реакцией в эксперименте является напряжение на выходе блока РУ модели ПП АМ-сигнала

Для проведения исследований помехоустойчивости ПП АМ-сигнала применена ИМ, в которой заданы следующие параметры:

- 1) частота манипуляции постоянная на всех частотах несущей сигнала: $f_m = 12$ Гц;
- 2) амплитуда сигнала на входе полосового фильтра ПП – 0,35 В;
- 3) размер буфера АД (в отсчётах) соответствует 1 периоду несущей с округлением до ближайшего большего целого значения;
- 4) порог принятия решения соответствует половине амплитуды сигнала – 0,175 В;
- 5) порог чувствительности ПП – 0,1 В;
- 6) относительный уровень импульсной помехи на входе полосового фильтра (коэффициент усиления помехи) – 8.

На рисунке 4.9 в качестве примера представлено окно «Blok Parameters» настройки блока проектирования цифрового фильтра из библиотеки системы моделирования Simulink [95, 101], отображающее параметры входного полосового фильтра (рисунок 3.10) в ИМПП ТРЦЗ:

- 1) тип фильтра – полосовой не рекурсивный;
- 2) критерий проектирования – минимальный порядок (Minimum order);
- 3) вид весовой функции – временное окно Кайзера;
- 4) ширина полосы пропускания – 24 Гц;
- 5) затухание соседних гармоник тягового тока, кратных 50 Гц – не менее 40 дБ.

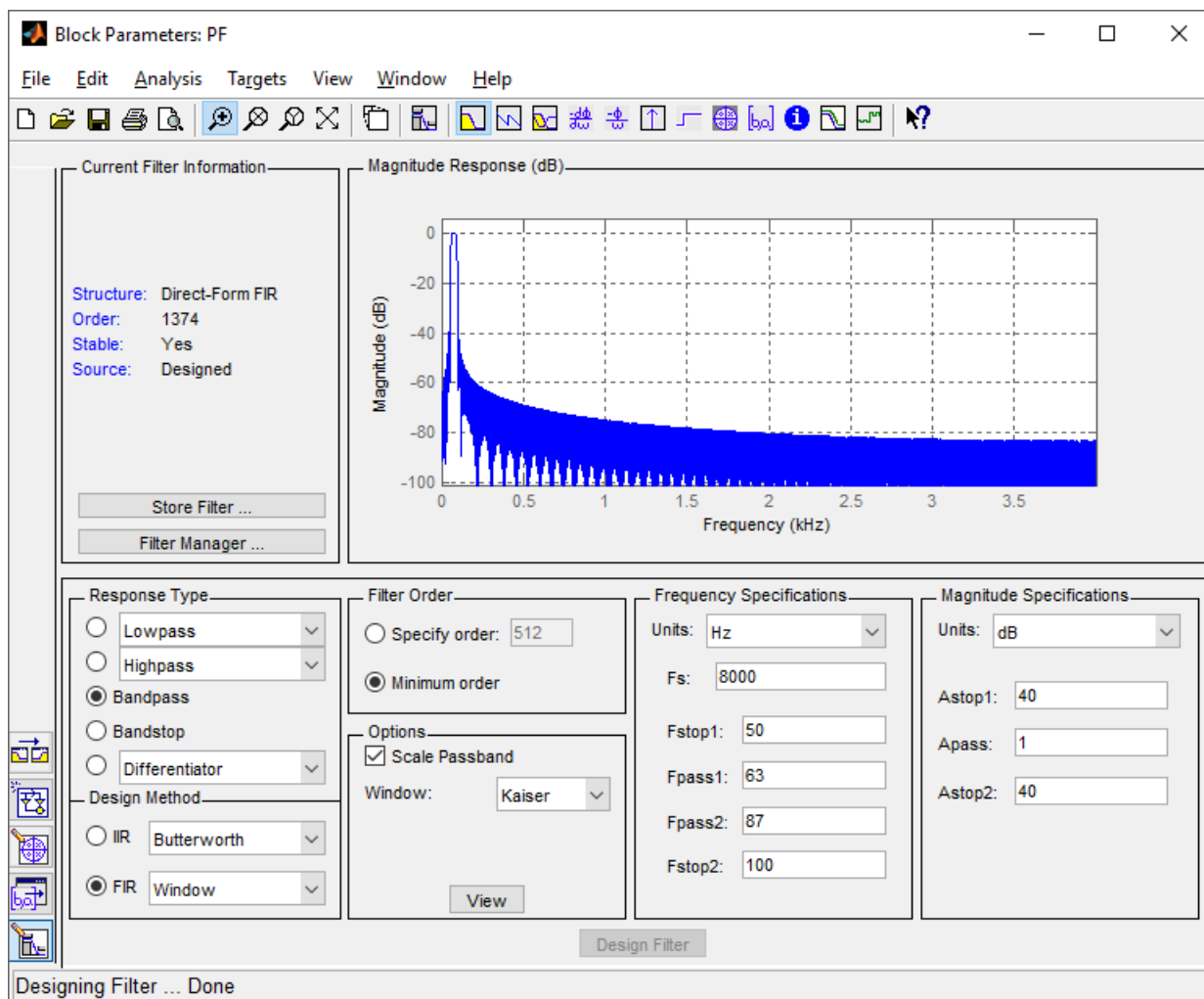


Рисунок 4.9 – Параметры полосового входного фильтра в ПП АМ-сигнала

Время моделирования – соответствует передаче 10000 символов.

На рисунке 4.10 представлены осциллограммы, поясняющие процесс определения помехоустойчивости ПП АМ-сигнала:

- осциллограмма (рисунок 4.10, а) отображает информационные отметки на входе блока определения ошибок (блок 9, рисунок 2.18);
- осциллограмма (рисунок 4.10, б) отображает сигнал на выходе манипулятора ПГ (блок 3, рисунок 2.7);
- осциллограмма (рисунок 4.10, в) отображает аддитивную смесь сигнала и помехи на входе ППАМ-сигнала (блок 1, рисунок 2.12);
- осциллограмма (рисунок 4.10, г) отображает сигнала на выходе первого РУ ПП (блок 5, рисунок 2.12);

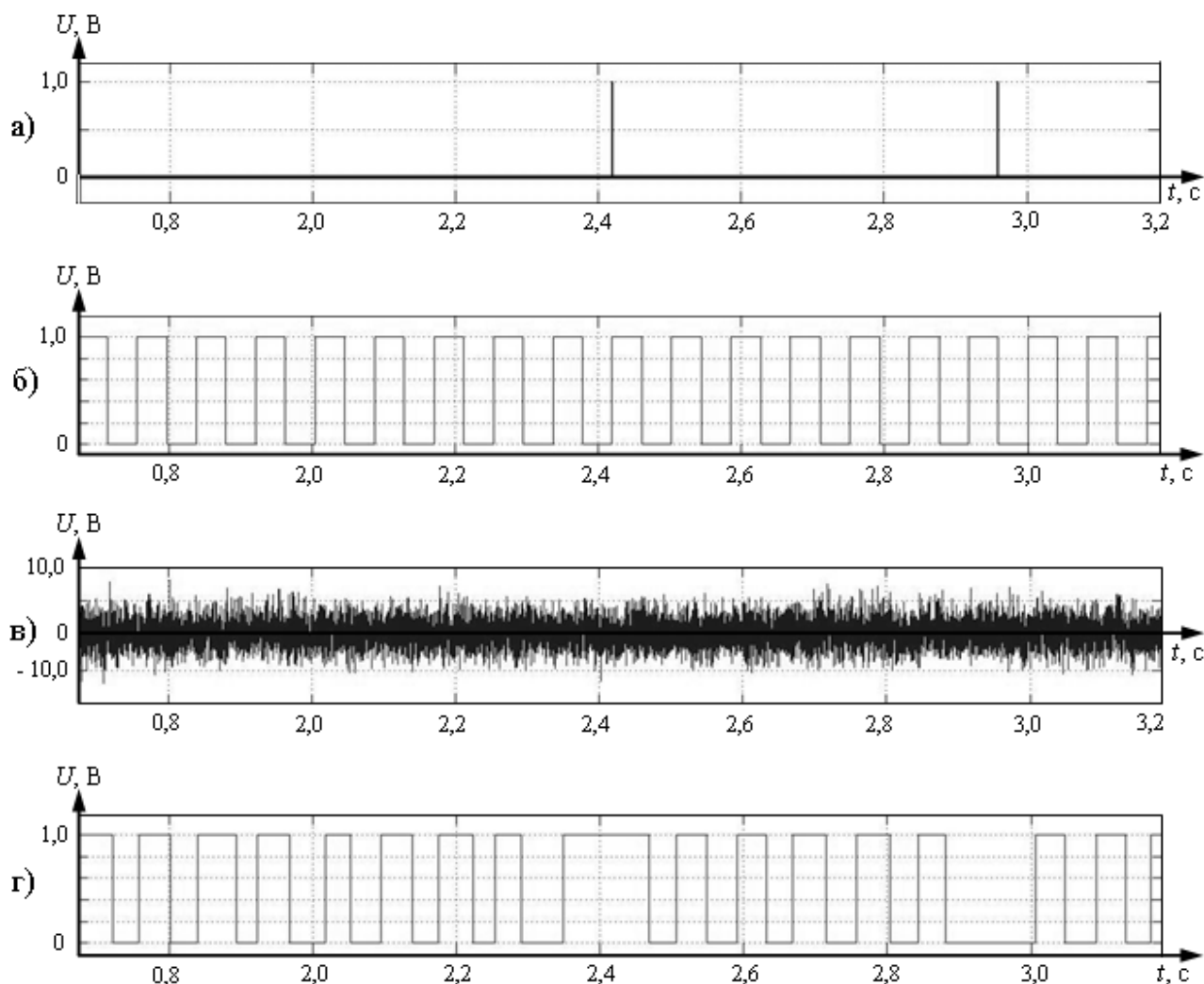


Рисунок 4.10 – Осциллограммы сигналов, демонстрирующие принцип оценки помехоустойчивости ПП АМ-сигнала: а) – информационные отметки; б) – сигнал на выходе манипулятора ПГ; в) – сигнал на входе ПП; г) – на выходе первого РУ ПП.

– осциллограммы (рисунок 4.10, а и г) показывают, что воздействие помехи вызывает появление ошибки вида «ложная тревога» (первая информационная отметка) и ошибки вида «попуск цели» (вторая информационная отметка).

Исследование помехоустойчивости проводилось с учетом наличия гармонических составляющих в постоянном тягового тока, кратных частоте промышленного тока (50 Гц), в рабочих диапазонах частот со следующей средней частотой полосы пропускания: 75, 125, 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц.

В таблице 4.1 представлены результаты аналитических экспериментов выполненных с целью определения помехоустойчивости ПП АМ-сигнала.

Как было отмечено выше, было проведено пять «прогонов» имитационной модели с целью установления количества ошибок вида «пропуск цели», «ложная цель» и общее количество ошибок.

Полученные результаты позволили установить вероятность всех представленных видов ошибок (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Зависимость помехоустойчивости приемника АМ-сигнала от частоты несущей сигнала

№№ / п.п.	Частота несущей сигнала f_n , Гц	Вероятность ошибки		
		Ошибка «ложная цель» $\bar{P}_л$	Ошибка «пропуск цели» $\bar{P}_{проп}$	Общее кол-во ошибок $\bar{P}_{ош}$
1	75	0,131	0,053	0,184
2	125	0,146	0,065	0,211
3	175	0,126	0,066	0,193
4	225	0,093	0,050	0,143
5	275	0,050	0,036	0,086
6	325	0,032	0,026	0,058
7	375	0,026	0,023	0,049
8	425	0,031	0,025	0,055
9	475	0,026	0,025	0,052
10	525	0,029	0,022	0,052
11	575	0,029	0,018	0,047
12	625	0,021	0,017	0,038
13	675	0,028	0,012	0,040
14	725	0,029	0,007	0,036
15	775	0,026	0,005	0,031
16	825	0,019	0,001	0,020
17	875	0,009	< 0,001	0,009
18	925	0,006	< 0,001	0,006
19	975	0,003	< 0,001	0,004

На основании полученных данных построены гистограммы зависимости вероятности ошибки при приеме АМ-сигнала при наличии в РЛ флуктуационных и импульсных помех от постоянного тягового тока.

Гистограмма, представленная на рисунке В.7, показывает, что в рабочих диапазонах со средней частотой полосы пропускания 375, 475, 625, 875 и 925 Гц

Таблица 4.1 – Зависимость количества ошибок при приеме АМ-сигнала от частоты несущей сигнала

№№ / п.п.	Частота несущей сигнала $f_{н}, \text{Гц}$	Результаты прогнозов					
		Ложная тревога		Пропуск цели		Общее кол-во ошибок	
		Количество ошибок по прогонам	Среднее значение	Количество ошибок по прогонам	Среднее значение	Количество ошибок по прогонам	Среднее значение
1	75	1336,1312,1297,1315,1277	1307,4	512,529,510,510,584	529	1848,1841,1807,1825,1861	1836,4
2	125	1463,1462,1448,1491,1427	1458,2	656,670,615,641,657	647,8	2119,2132,2063,2132,2084	2106
3	175	1261,1320,1230,1297,1203	1262,2	677,660,668,629,688	664,4	1938,1980,1898,1926,1891	1926,6
4	225	910,953,946,939,898	929,2	501,520,508,488,476	498,6	1411,1473,1454,1427,1374	1427,8
5	275	483,487,503,531,495	499,8	350,339,365,375,357	357,2	833,826,868,906,852	857
6	325	341,315,320,329,303	321,6	255,268,255,252,248	255,6	596,583,575,581,551	577,2
7	375	283,251,243,258,284	263,8	237,237,225,196,231	225,2	520,488,468,454,515	489
8	425	305,299,321,309,296	306	235,248,238,290,224	247	540,547,559,599,520	553
9	475	248,261,265,261,283	263,6	259,247,274,236,251	253,4	507,508,539,497,534	517
10	525	310,294,305,268,287	292,8	228,208,208,228,239	222,2	538,502,513,496,526	515
11	575	295,291,290,306,283	293	194,173,185,168,178	179,6	489,464,475,474,461	472,6
12	625	189,221,207,219,217	210,6	169,162,164,179,169	168,6	358,383,371,398,386	379,2
13	675	296,281,273,259,271	276	120,120,106,114,135	119	416,401,379,373,406	395
14	725	315,288,289,268,307	293,4	67,78,54,57,81	67,4	382,366,343,325,388	360,8
15	775	206,282,247,291,284	262	39,40,60,55,64	51,6	245,322,307,346,348	313,6
16	825	194,189,202,199,181	193	5,6,11,11,7	8	199,195,213,210,188	201
17	875	106,76,97,94,86	91,8	0,0,0,0,0	0	106,76,97,94,86	91,8
18	925	52,73,60,60,74	63,8	1,0,1,1,0	0,6	53,73,61,61,74	64,4
19	975	34,39,39,18,44	34,8	9,0,0,1,2	2,4	43,39,39,19,46	37,2

наблюдается относительно высокая помехоустойчивость по ошибке типа «ложная цель».

Гистограмма, представленная на рисунке В.8, отображающая зависимость вероятности ошибки типа «ложная тревога» от частоты рабочего диапазона показывает, что в рабочих диапазонах со средней частотой полосы пропускания 375 и 625 Гц помехоустойчивость выше, чем в других диапазонах частот, расположенных ниже по частоте.

Гистограмма, представленная на рисунке В.9 показывает зависимость вероятности возникновения общего количества ошибок от рабочего диапазона частот.

Гистограмма показывает, что рабочие диапазоны со средней частотой полосы пропускания 75, 125, 175, 225, 275 и 425 Гц обладают самой низкой помехоустойчивостью.

4.4 Исследование зависимости помехоустойчивости приёмника сигнала с ФРМ-2 от частоты несущей сигнала

Аналитические исследования помехоустойчивости ПП сигнала с ФРМ-2 выполнены посредством ИМ, в которой заданы следующие параметры:

- 1) амплитуда сигнала на входе полосового фильтра – 0,2 В;
- 2) длительность элементарного символа – 0,1 с;
- 3) длительность переходных процессов в начале и конце символа принятая равная 20 % от длительности символа;
- 4) количество решающих периодов несущей – половина от количества полных периодов в символе;
- 5) порог чувствительности приемника – 0,036 В;

б) относительный уровень импульсной помехи на входе полосового фильтра (коэффициент усиления помехи) – 8.

На рисунке 4.11 в качестве примера представлено окно «Block Parameters» из библиотеки системы моделирования Simulink, отображающее параметры входного фильтра (блок 2, рисунок 2.16) в ИМ ПП:

- 1) тип фильтра – полосовой нерекурсивный;
- 2) критерий проектирования – минимальный порядок (Minimum order);
- 3) вид весовой функции – временное окно Кайзера;
- 4) ширина полосы пропускания – 24 Гц;
- 5) затухание соседних гармоник тягового тока, кратных 50 Гц – не менее 40 дБ.

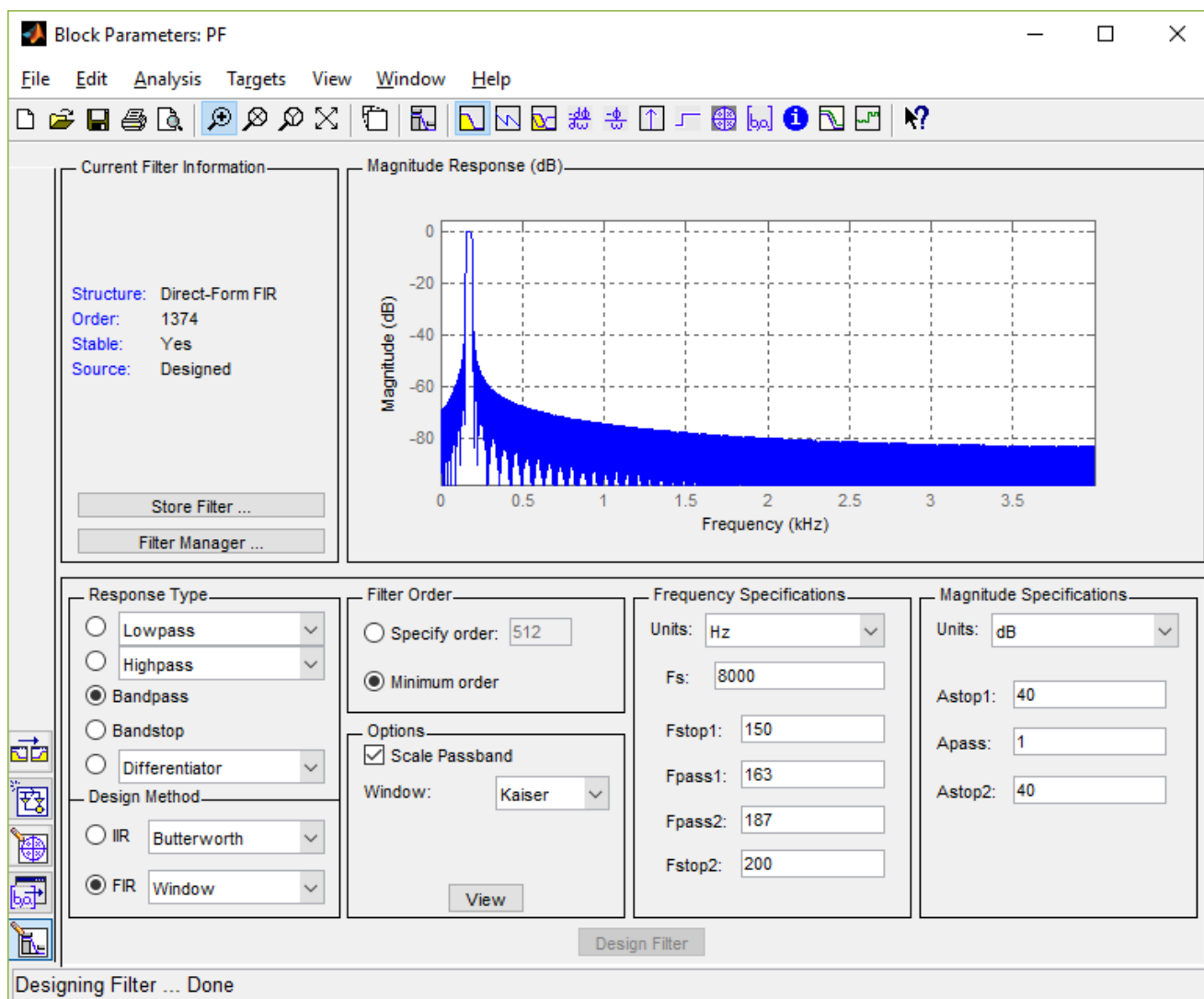


Рисунок 4.11 – Параметры входного фильтра ПП сигнала с ФРМ-2

Время моделирования – соответствует передаче 10000 символов в подканале КК.

Ошибки учитываются только в подканале КК.

На рисунке 4.12 представлены осциллограммы, поясняющие процесс обработки ПП сигнала с ФРМ-2 (рисунок 2.16):

– осциллограмма на рис. 4.12, *а* отображает напряжение аддитивной смеси сигнала и помехи (п.п. 2.3.4.2 и п.3.4.3) на входе полосового фильтра (блок 2);

– осциллограмма на рисунке 4.12, *б* отображает напряжение сигнала на выходе полосового фильтра (блок 2);

– осциллограмма на рисунке 4.12, *в* отображает напряжение сигнала на выходе блок 4 (измеритель фазы посылок принимаемого сигнала) – измеренные значения фаз (в градусах) посылок принимаемого сигнала;

– осциллограмма на рисунке 4.12, *г* отображает напряжение сигнала на выходе блок 5 (демодулятор сигнала) – логические значения принятых символов кодовой комбинации.

Осциллограммы, представленные на рисунке 4.12, *в*, *г* показывают, что для фильтрации и детектирования сигнала, а также для выхода в установившийся режим, ИМ необходимо затратить около 1,5 с времени (п. 4.1). Поэтому ИМ начинает оценку помехоустойчивости только через 1,5 с после начала работы модели.

Представленные осциллограммы показывают, что воздействие импульсов помехи вызвало искажение фазы несущей отдельных посылок сигнала, что привело к множественным ошибкам в определении значений символов КК.

Исследование зависимости помехоустойчивости ПП сигнала с ФРМ-2 от частоты несущей сигнала проводилось с учетом тех же условий, что и ПП АМ-сигналов.

В таблице 4.3 представлены результаты аналитических экспериментов выполненных с целью определения помехоустойчивости ПП РЦ сигналов с ФРМ-2. Было проведено пять «прогонов» имитационной модели с целью

определения количества ошибок при приеме сигнала по подканалу, несущему КК.

Таблица 4.3 – Зависимость количества ошибок при приеме ФРМ2-сигнала от частоты несущей сигнала

NN / п.п.	Частота несущей сигнала <i>f</i> , Гц	Параметры настройки демодулятора				Результаты прогонов	
		N периодов несущей	N пер. переходн. процесса	Nрешающ. периодов	N пер. до сброса	Ошибки КК	Среднее значение
	1	75	7,5	3	3	7+3=10	1895,1894,1894,1861,1900
2	125	12,5	5	6	12+6=18	2284,2232,2226,2265,2236	2248,6
3	175	17,5	7	8	17+7=24	2339,2338,2374,2378,2401	2366
4	225	22,5	9	11	22+9=31	2258,2226,2183,2190,2225	2216,4
5	275	27,5	11	13	27+11=38	1479,1572,1491,1527,1512	1516,2
6	325	32,5	13	16	32+13=45	939,1046,979,1015,980	991,8
7	375	37,5	15	18	37+15=52	978,1129,995,1038,1105	1049
8	425	42,5	17	21	42+17=59	1685,1674,1696,1616,1618	1657,8
9	475	47,5	19	23	47+19=66	1076,1011,977,985,1002	1010,2
10	525	52,5	21	26	52+21=73	945,921,853,958,958	927
11	575	57,5	23	28	57+23=80	571,567,585,604,588	583
12	625	62,5	25	31	62+25=87	522,595,538,604,560	563,8
13	675	67,5	27	33	67+27=94	481,482,478,463,474	475,6
14	725	72,5	29	36	72+29=101	293,302,332,294,317	307,6
15	775	77,5	31	38	77+31=108	252,254,231,255,237	245,8
16	825	82,5	33	41	82+33=115	59,64,63,49,64	59,8
17	875	87,5	35	43	87+35=122	15,9,17,21,13	15
18	925	92,5	37	46	92+37=129		< 0,001
19	975	97,5	39	48	97+39=136		< 0,001

Полученные результаты позволили установить среднее значение количества ошибок в подканале КК. На основе этих данных установлена вероятность ошибок, представленная в таблице 4.4, при приеме сигнала с ФРМ-2 в зависимости от частоты несущей сигнала.

На основании полученных данных построена гистограмма (рисунок В.7) зависимости вероятности ошибки при приеме сигнала с ФРМ-2 по подканалу КК при наличии в РЛ флуктуационных и импульсных помех от постоянного тягового тока. Гистограмма показывает, что рабочие диапазоны со средней

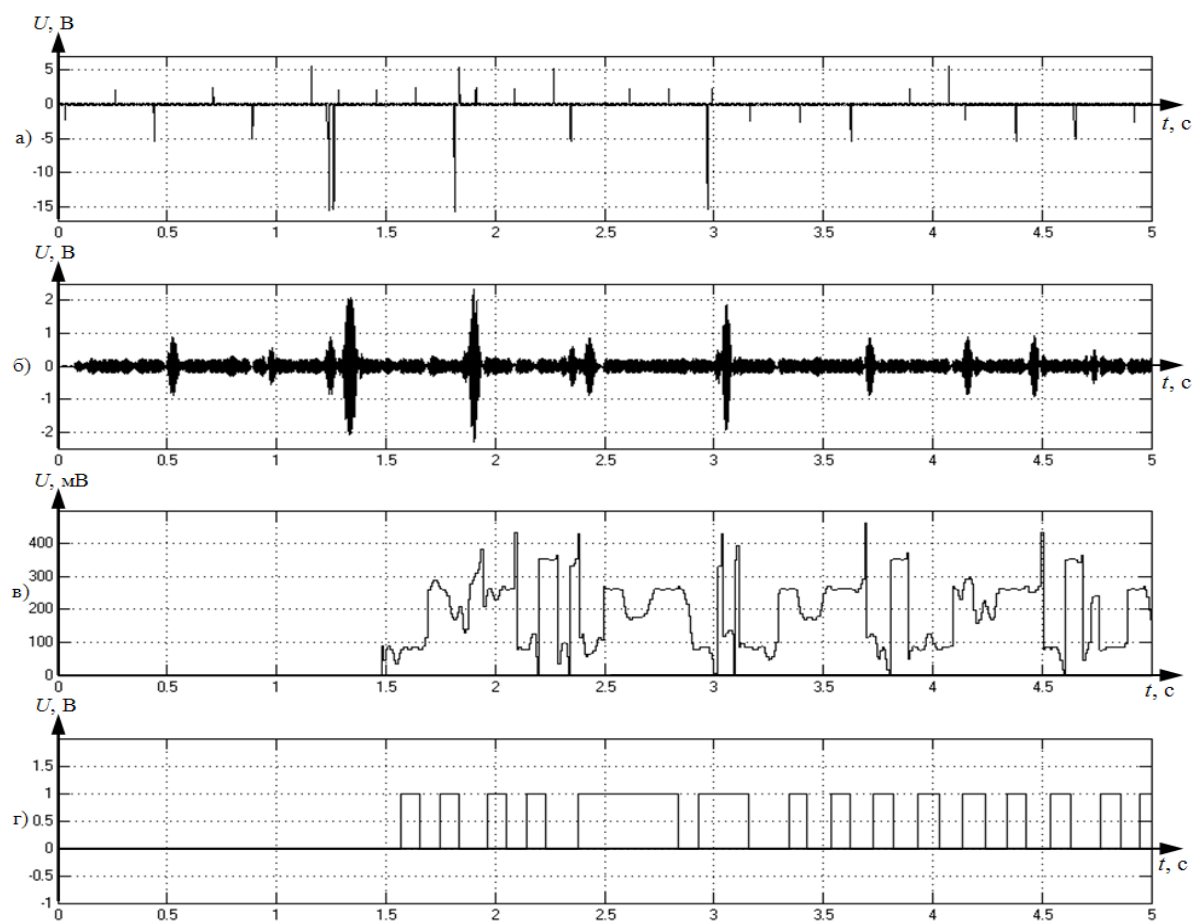


Рисунок 4.12 – Осциллограммы сигналов на выходе элементов приёмника сигнала с ФРМ-2

Таблица 4.4 – Зависимость помехоустойчивости ПП сигнала с ФРМ-2 от частоты несущей сигнала

№№ / п.п	Частота несущей сигнала $f_H, \text{Гц}$	Средняя вероятность ошибки $\bar{P}_{\text{ош}}$
1	75	0,189
2	125	0,225
3	175	0,234
4	225	0,222
5	275	0,152
6	325	0,099
7	375	0,105
8	425	0,166
9	475	0,101
10	525	0,093
11	575	0,058
12	625	0,056
13	675	0,048
14	725	0,031
15	775	0,025
16	825	0,006
17	875	0,002
18	925	< 0,001
19	975	< 0,001

частотой полосы пропускания 375, 475 Гц и выше, обладают более высокой помехоустойчивостью ПП сигналов с ФРМ-2.

4.5 Исследование зависимости длины рельсовой линии от частоты несущей сигнала рельсовой цепи

При проектировании АБ на участках железных дорог с цельносварными РЛ возникает проблема определения количества РЦ на перегоне. От этого зависит не только пропускная способность перегонов, но и экономические затраты на строительство.

Учитывая это, при проектировании АБ необходимо предварительно определять зависимости длины $l_{РЛ}$ РЦ от сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ и частоты несущей сигнала $f_{Н}$. Знание этих зависимостей позволят установить максимальную длину РЛ в зависимости от нормативного значения сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ и частоты несущей сигнала при условии соблюдения основных требований к ОТП.

В данной работе предложена методика определения зависимости длины $l_{РЛ}$ от частоты несущей сигнала $f_{Н}$ РЦ при нормативном значении величины $Z_{И}$ РЛ, которую можно применять при проектировании АБ, реализующей максимальную пропускную способность перегонов при выполнении условий безопасности движения поездов.

В настоящее время максимальную длину РЛ РЦ определяют, как правило, экспериментальными методами [74]. Однако эти методы требуют больших экономических (материальных и временных) затрат.

Развитие ИМ позволяют снизить эти затраты, так как открывает возможности применять аналитические методы для проведения практически

любые исследования с максимальным приближением к реальным условиям эксплуатации.

В п.п. 2.5 представлена ИМ, позволяющая на примере ТРЦЗ с несущей сигнала на частоте 420 Гц, показать особенность применения методики определение зависимости длины $l_{\text{РЛ}}$ от частоты несущей сигнала $f_{\text{Н}}$ РЦ при нормативном значении величины $Z_{\text{И}}$ РЛ.

Предложенная методика реализуется следующим образом:

1. На основе электрической принципиальной схемы ТРЦЗ (рисунок 4.13) [33, 34], необходимо построить схему замещения, которая должна согласно алгоритма программы «RELS» содержать по четыре четырёхполюсника на передающем и на приёмном концах РЛ (рисунок 4.14) [69, 70, 72].

2. Определить параметры РЛ, сигнала, порога срабатывания РУ ПП, коэффициентов четырёхполюсников схемы замещения и т.д. и т.п.

3. Посредством окон программы «RELS» [70], представленных на рисунках 4.15 и 4.16, ввести параметры коэффициентов четырёхполюсников схемы замещения и параметры РЛ ТРЦЗ соответственно.

4. Четырёхполюсники (рисунок 4.14) замещают элемент или группу элементов ТРЦЗ: 1 и 9 – конденсаторы $C_{\text{К}}$, реализующие СЭПДУ сигнала АЛСН и устройств РЦ на приёмном и передающем концах соответственно; 2 и 8 – сопротивление кабельной линии СЦБ; 3 и 7 – согласующие трансформаторы ПТ на приёмном и передающем концах РЛ соответственно; 4 и 6 – сопротивления резисторов R_3 и соединительных перемычек $R_{\text{П}}$; 5 – РЛ.

Окна программы «RELS» представлены на рисунках 4.15 и 4.16 соответственно.

Результаты расчётов отображены в виде графиков на рисунках 4.17-4.20.

На графиках кривые пронумерованы в соответствии с длиной $l_{\text{РЛ}}$ РЛ: 1 – 0,2 км; 2 – 0,4 км; 3 – 0,8 км; 4 – 1,0 км; 5 – 1,2 км; 6 – 1,4 км; 7 – 1,6 км; 8 – 1,8 км и 2 – 2,0 км.

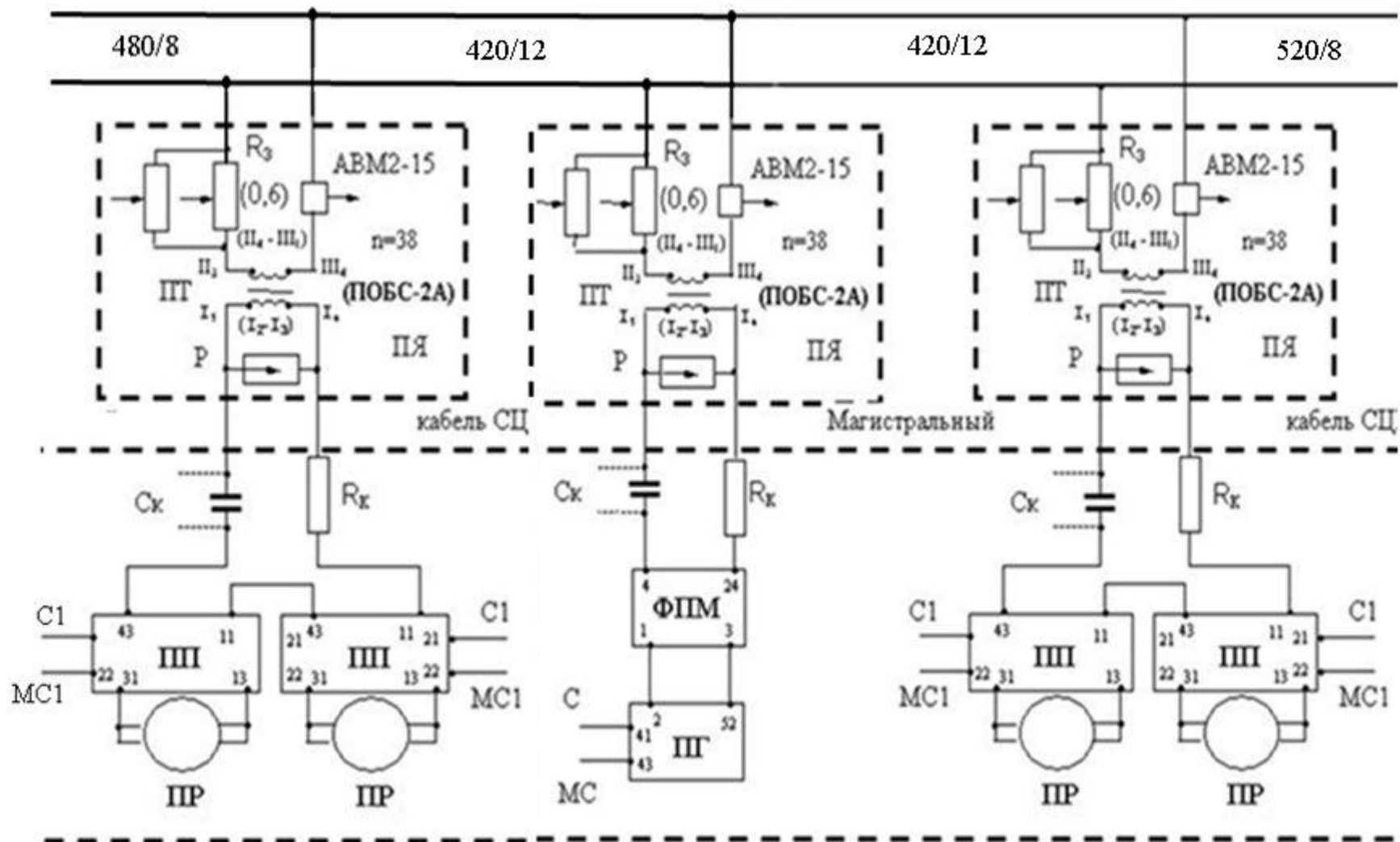


Рисунок 4.13 – Электрическая принципиальная схема ТРЦЗ

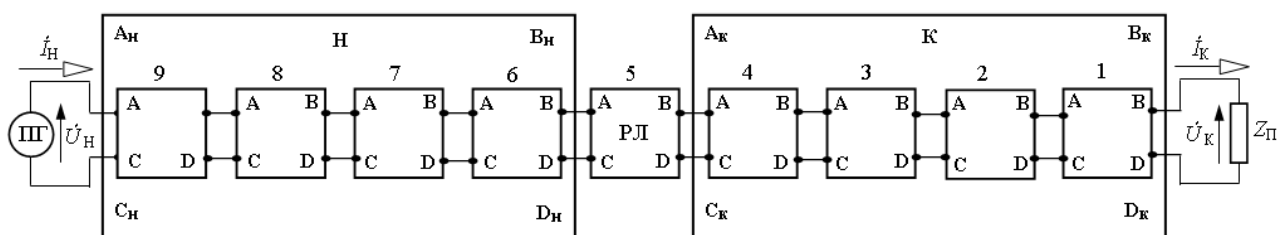


Рисунок 4.14 – Схема замещения ТРЦЗ

Расчёт режимов работы рельсовых цепей

С чего начать расчет? Таблица исходных данных Дополнительные данные Результаты расчета Графики

Таблица параметров четырехполюсников

Четырехполюсники	А		В		С		D	
	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.	Мод.	Арг.
1	1	0	94.8	-90	0	0	1	0
2	1	0	100	0	0	0	1	0
3	0.036	-9.3	1.06	24	0.007	-51.4	28.25	9.2
4	1	0	0.9	0	0	0	1	0
5
6	1	0	0.9	0	0	0	1	0
7	28.25	9.2	1.06	24	0.007	-51.4	0.036	-9.3
8	1	0	100	0	0	0	1	0
9	1	0	94.8	-90	0	0	1	0

Рисунок 4.15 – Окно программы «RELS» – параметры четырехполюсников схемы замещения РЦ

Графики на рисунках 4.17, 4.19 и 4.20 отображают зависимость мощности сигнала $S_{ПГ}$ на выходе ПГ от сопротивления изоляции $Z_{И}$ РЛ при постоянной длине $l_{РЛ}$ РЛ.

График на рисунке 4.18 отображают зависимость мощности сигнала $S_{ПГ}$ на выходе ПГ от относительной ординаты P расположения на РЛ нормативного шунта (0,06 Ом) при постоянной длине $l_{РЛ}$ РЛ.

Графики (рисунки 4.17 и 4.20) представляют результаты расчёта работы ТРЦЗ в режимах соответственно: нормальном и короткого замыкания.

Расчёт режимов работы рельсовых цепей

С чего начать расчет? | Таблица исходных данных | **Дополнительные данные** | Результаты расчета | Графики

Введите дополнительные данные:

Удельное сопротивление РЛ, Ом/км (модуль): 3.84
 (аргумент): 78.45

Значение длины РЛ, км (минимальное): 0.4
 (максимальное): 2
 (шаг дискретизации): 0.2

Значение напряжения надежного срабатывания РЧ1 (путевого реле), В (модуль): 0.35
 (аргумент): 0

Значение тока надежного срабатывания РЧ1 (на путевом реле), А (модуль): 0.002
 (аргумент): 0

Сопротивление изоляции РЛ, Ом*км (минимальное): 0.5
 (максимальное): 5
 (шаг дискретизации): 0.5

Коэффициент поверхностной утечки: 9.1

Постоянная земляного тракта (модуль): 2.1
 (аргумент): 1.61

Вид тяги: Автономная Электрическая

Рисунок 4.16 – Окно программы «RELS» – параметры РЛ и порога чувствительности ПП

Графики (рисунки 4.18 и 4.19) представляют результаты расчёта шунтового и контрольного режимов работы ТРЦЗ соответственно.

Сравнение значений мощности сигнала $S_{\text{ПГ}}$ на выходе ПГ в нормальном режиме и режиме короткого замыкания при нормативном значении сопротивления изоляции РЛ $Z_{\text{И}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ с мощностью сигнала $S_{\text{ПГ}}$ на выходе ПГ в шунтовом и контрольном режимах показывает, что в данных условиях основание определить максимальную величину длины $l_{\text{РЛ}}$ РЛ при нормативном сопротивлении изоляции $Z_{\text{И}}$ РЛ.

На рисунке 4.21 представлены графики зависимости длины $l_{\text{РЛ}}$ РЛ от сопротивления изоляции $Z_{\text{И}}$ РЛ в нормальном режиме – график 1 и режиме КЗ – 2.

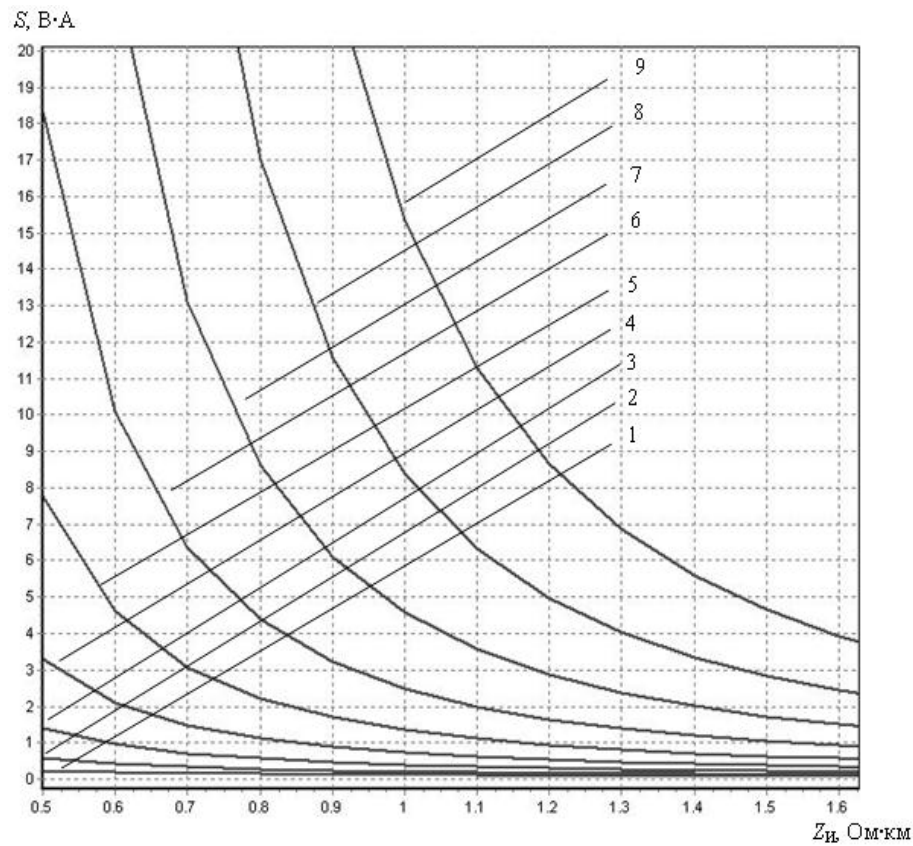


Рисунок 4.17 – Графики зависимости $S_{\text{ПГ}}$ от $l_{\text{рл}}$ и $Z_{и}$ в нормальном режиме работы РЦ

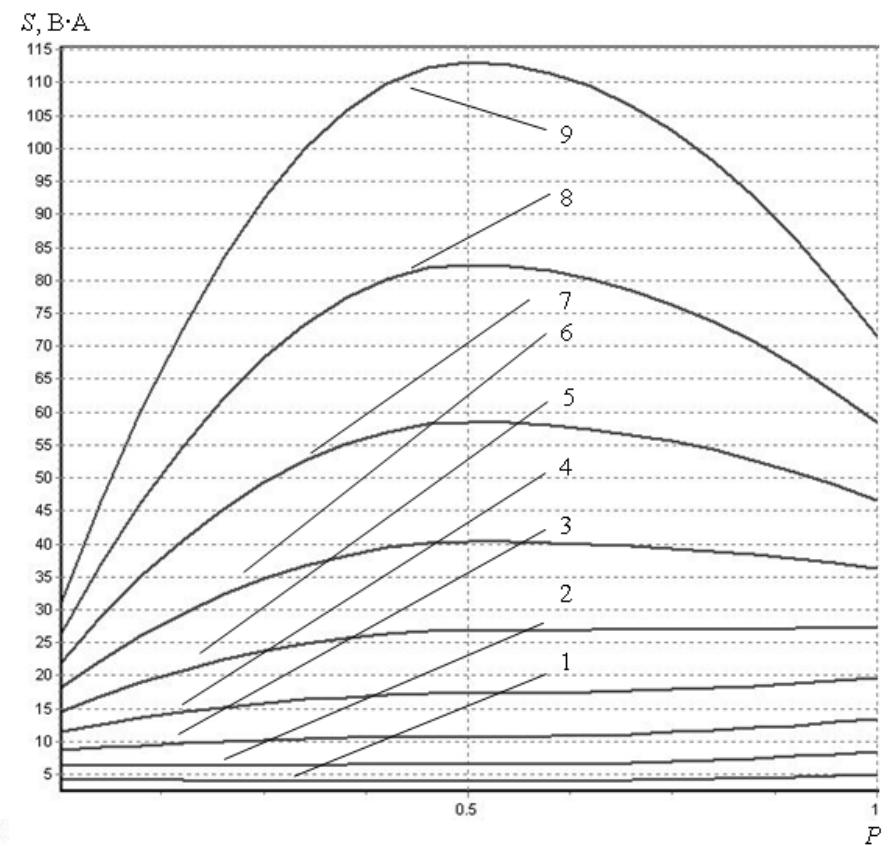


Рисунок 4.18 – Графики зависимости $S_{\text{ПГ}}$ от $l_{\text{рл}}$ и относительной ординаты нормативного шунта

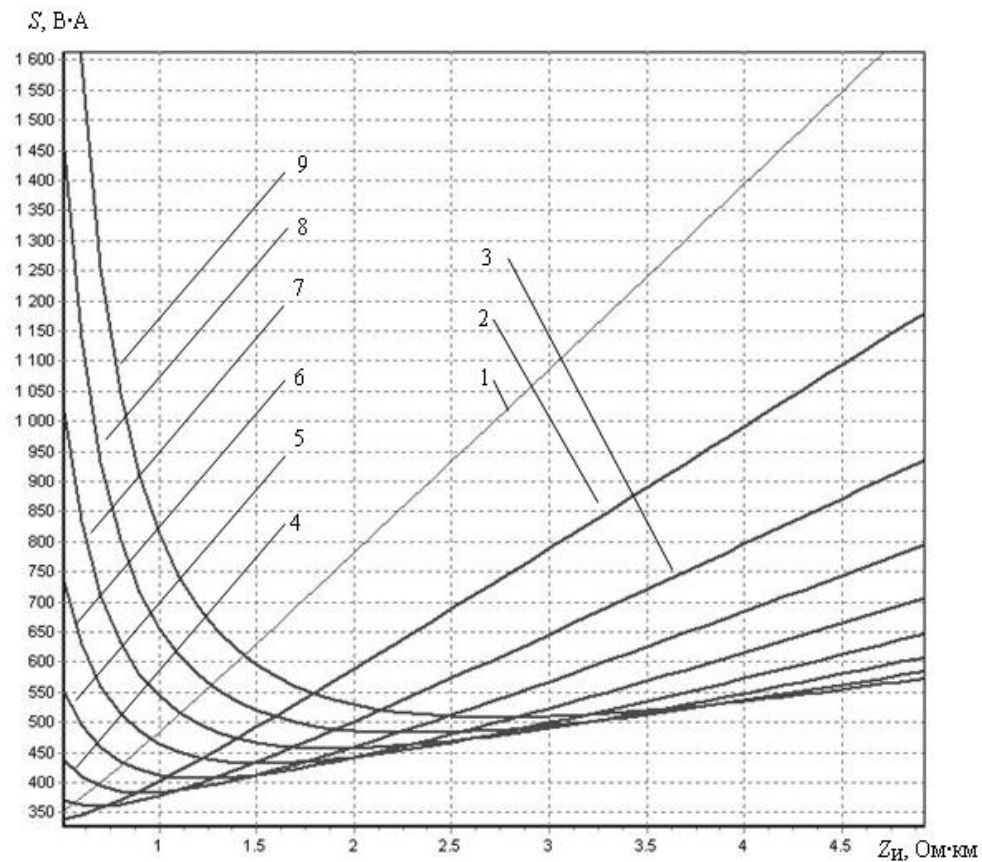


Рисунок 4.19 – Графики зависимости $S_{ПГ}$ от $l_{рл}$ и $Z_{И}$ в контрольном режиме работы РЦ

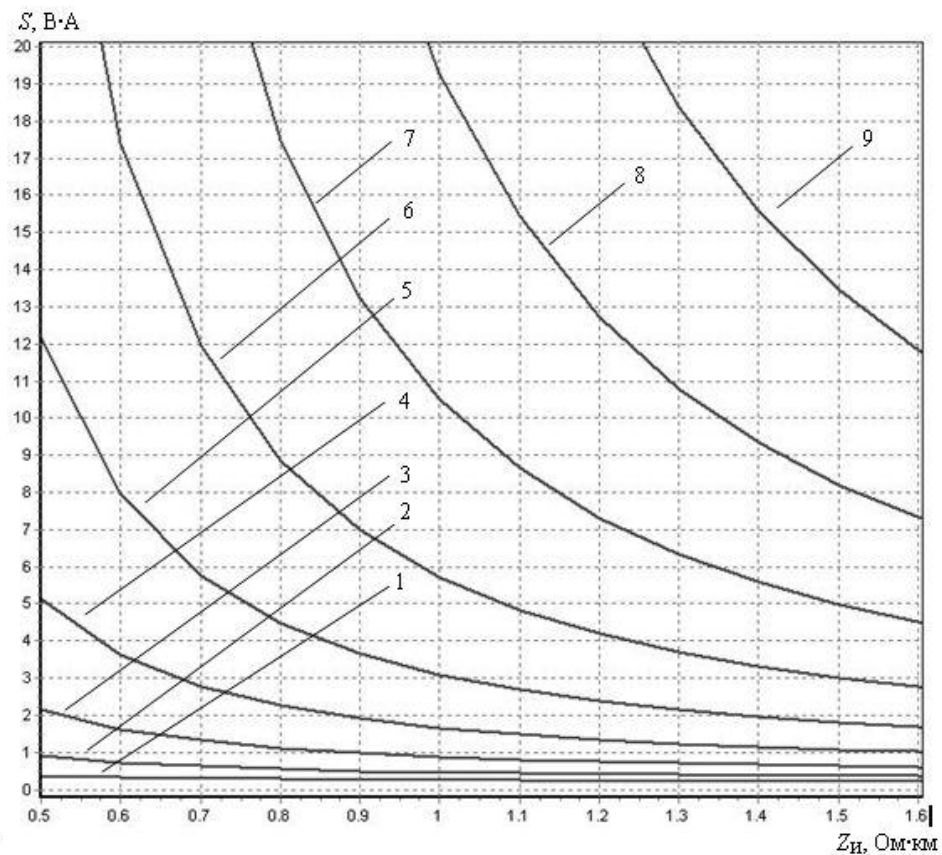


Рисунок 4.20 – Графики зависимости $S_{ПГ}$ от $l_{рл}$ и $Z_{И}$ в режиме КЗ работы РЦ

Эта зависимость установлена на основании анализа влияния на длину $l_{\text{РЛ}}$ сопротивления изоляции $Z_{\text{И}}$ при максимально допустимой мощности сигнала $S_{\text{ПГ}}$ на выходе ПГ (20 В·А) для ТРЦЗ.

Полученные графики позволили определить максимальную величину длины $l_{\text{РЛ}}$ при нормативном сопротивлении изоляции $Z_{\text{И}} = 1,0 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ (несущая сигнала 425 Гц), которая составляет 1,82 км.

В таблице 4.5 представлены величины максимальной длины $l_{\text{РЛ}}$ РЦ при нормативном значении $Z_{\text{И}} = 1,0 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ для РЦ с несущей сигнала на частотах 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 785, 825, 875, 925 и 975 Гц. Величина максимальной длины $l_{\text{РЛ}}$ РЦ получена посредством применения предложенной методики.

На рисунке 4.22 представлены графики зависимости $P_{\text{ОШ}}$ ПП АМ-сигнала и длины $l_{\text{РЛ}}$ от частоты несущей сигнала построенные на основании данных таблицы 4.2 (график 1) и таблицы 4.5 (график 2). Графики демонстрируют область (3) расположения рабочих диапазонов частот с учетом критерия максимальной помехоустойчивости и минимальной достаточной мощности ПП РЦ.

Результаты расчетов показывают, что несмотря на то, что РЦ с рабочими частотами выше 625 Гц обладают высокой помехоустойчивостью, применение их нежелательно, так как при этом требуется относительно высокая мощность сигнала, а значит высокий уровень потребления электроэнергии.

Рабочий диапазон со средней частотой полосы пропускания 375 Гц является самым приемлемым по критерию максимальной помехоустойчивости ПП и минимальной достаточной мощности ПГ, в котором согласованные РЦ обладают повышенной устойчивостью и относительно низким потреблением электроэнергии.

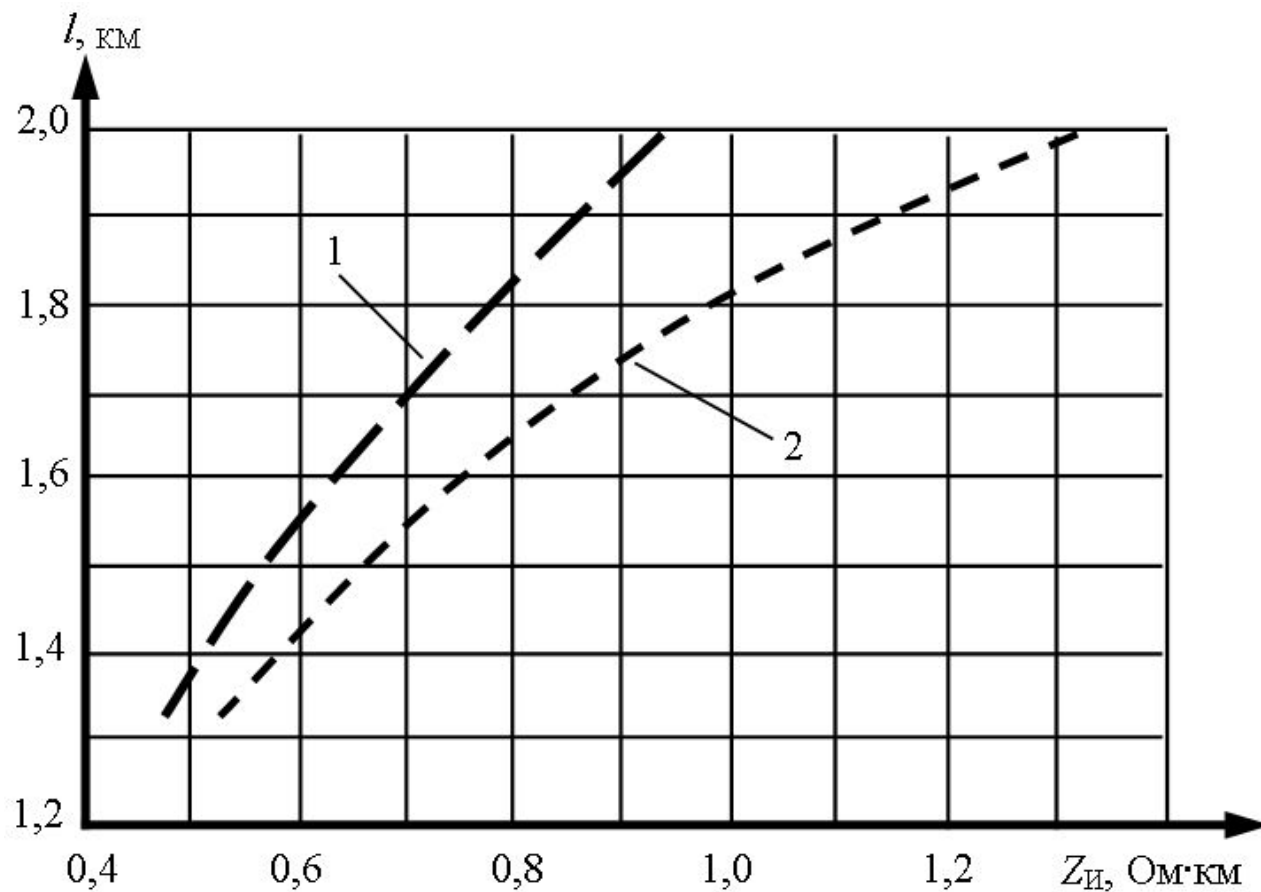


Рисунок 4.21 – Графики зависимости длины $l_{рц}$ РЦ от сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ: 1 – зависимость в нормальном режиме; 2 – зависимость в режиме КЗ

Таблица 4.5 – Зависимость максимальной $l_{рл}$ от f_H при $Z_{и}$ РЛ, равной 1 Ом·км

№№ / п.п.	Частота несущей сигнала f_H , Гц	Длина РЛ $l_{рл}$, км
1	225	2,35
2	275	2,22
3	325	2,16
4	375	1,87
5	425	1,82
6	475	1,65
7	525	1,55
8	575	1,48
9	625	1,4
10	675	1,32
11	725	1,26
12	775	1,2
13	825	1,13
14	875	1,08
15	925	1,04
16	975	1,0

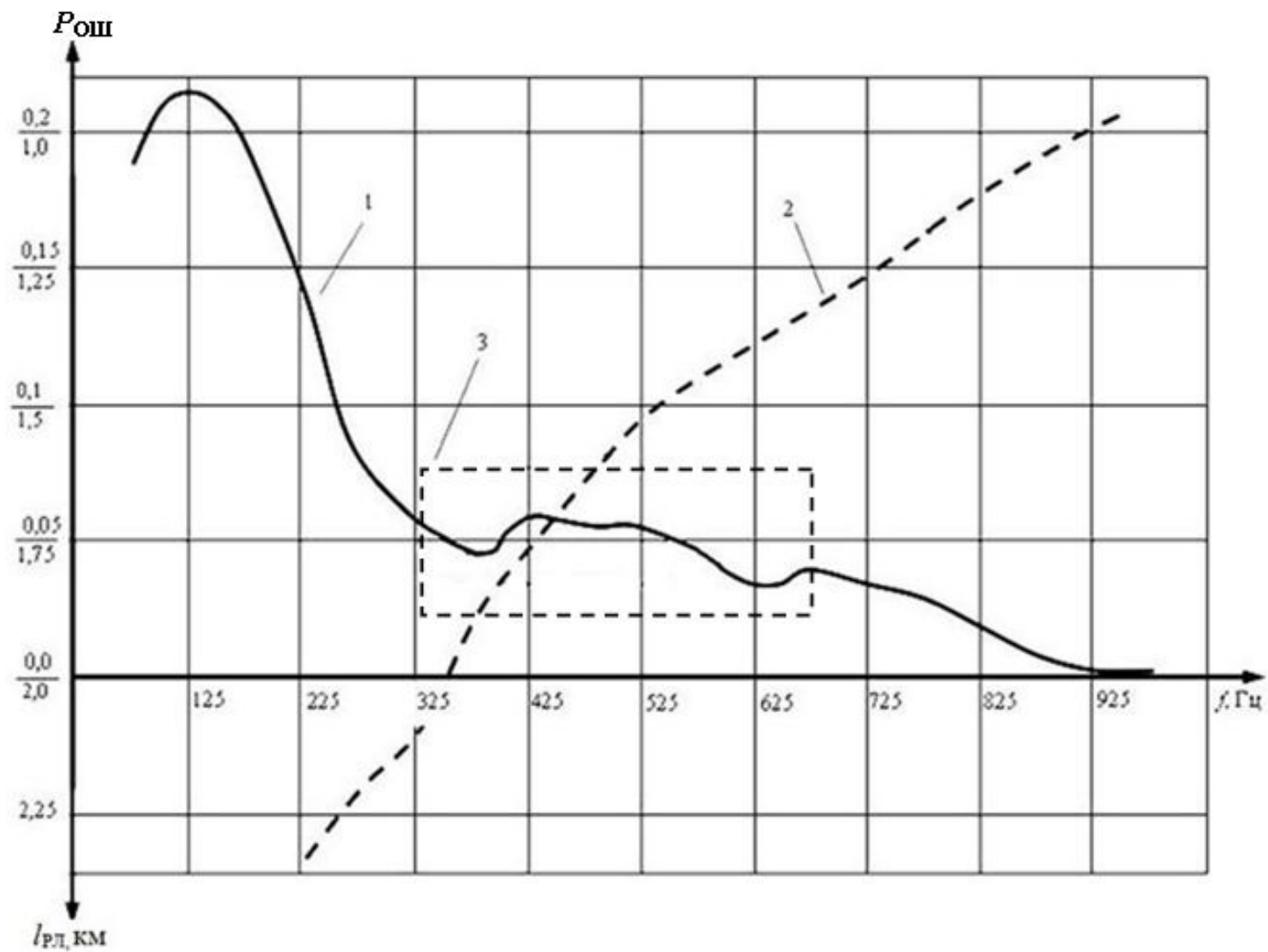


Рисунок 4.22 – Графики зависимости $P_{\text{ОШ}}$ ПП АМ-сигнала и длины $l_{\text{рл}}$ от частоты несущей сигнала $f_{\text{н}}$:
 1 – графики зависимости $P_{\text{ОШ}}$ ПП АМ-сигнала; 2 – графики зависимости $l_{\text{рл}}$; 3 – область расположения рабочих диапазонов частот с учетом минимальной достаточной мощности ПП РЦ

4.6 Оценка результатов работы и рекомендации по их использованию

Для проведения достаточно компетентных и экономически обоснованных исследований необходимо предварительно определить основную цель исследований и оценить весь объем предполагаемых работ.

В этой связи в данной главе произведено стратегическое и тактическое планирование экспериментов, которое позволило выбрать оптимальный метод сбора исходных данных, содержащих необходимую информацию, позволяющую сделать важные выводы о возможности применения согласованных РЦ для контроля занятости смежных участков рельсового пути на основе оценки их функционирования в условиях изменяющегося во времени сопротивления изоляции $Z_{и}$ РЛ и помехоустойчивости ПП в результате действия помех от тягового тока.

Исследование помехоустойчивости ПП РЦ выполнено на частоте несущей сигнала, которая соответствует средней частоте полосы пропускания рабочих диапазонов (полоса пропускания 24 Гц), расположенной между гармониками кратными частоте промышленного тока (50 Гц): 75, 125, 175, 225, 275, 325, 375, 425, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц.

Установлено, что ПП РЦ при приеме АМ-сигналов в рабочих диапазонах со средней частотой полосы пропускания 375 и 625 Гц обладают относительно высокой помехоустойчивостью, а в рабочих диапазонах со средней частотой полосы пропускания 75, 125, 175, 225, 275 Гц ПП – самой низкой помехоустойчивостью.

Анализ результатов помехоустойчивости ПП сигналов с ФРМ-2 показал, что рабочие диапазоны со средней частотой полосы пропускания 75, 125, 225, 275 и 425 Гц обладают самой низкой помехоустойчивостью, а рабочие диапазоны со средней частотой полосы пропускания 325, 375, 475 Гц и выше, обладают более высокой помехоустойчивостью.

Анализ зависимости максимальной длины РЛ РЦ от частоты несущей сигнала при нормативном значении сопротивления изоляции $Z_{\text{И}}$ РЛ показывает, что на частоте несущей сигнала выше 525 Гц максимальная длина $l_{\text{РЛ}}$ РЦ при нормативном значении сопротивления изоляции $Z_{\text{И}}$ РЛ значительно снижается и поэтому для увеличения длины на этих частотах необходимо увеличивать мощность ПГ.

Подводя общие итоги выполненным исследованиям помехоустойчивости ПП РЦ и зависимости длины $l_{\text{РЛ}}$ РЛ от частоты несущей сигнала, можно сделать следующие выводы:

1. ПП с АМ-сигналами при рабочих диапазонах со средней частотой полосы пропускания 325, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц обладают повышенной помехоустойчивостью.

2. ПП с сигналами с ФРМ-2 на рабочих диапазонах со средне частотой полосы пропускания 375, 475, 525, 575, 625, 675, 725, 775, 825, 875, 925 и 975 Гц обладают повышенной помехоустойчивостью.

3. Для повышения уровня ЭМС смежных и параллельно расположенных РЦ необходимо применять одновременно два способа ЭМС: частотный и кодовый.

4. Применение совместно частотного и кодового способов ЭМС РЦ позволяет уменьшить количество рабочих диапазонов частот в РЦ с АМ и ФРМ-2 до одной – со средней частотой полосы пропускания 375 Гц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ особенностей применения, построения и тенденций по совершенствованию РЦ и статистики их отказов, показывающий необходимость в дальнейшем проведении научно-исследовательских работ по совершенствованию устройств контроля свободности участков рельсового пути и излома рельсов с целью повышения их устойчивости.

2. Определены основные направления исследований по разработке и реализации согласованных РЦ, устойчиво функционирующих при изменении сопротивления изоляции РЛ в условиях действия помех от тягового тока.

3. Разработана методика аналитических исследований согласованных РЦ с целью: анализа особенности функционирования РЦ при изменении сопротивления изоляции РЛ; оценки помехоустойчивости ПП; определения рабочих диапазонов частот по критерию максимальной помехоустойчивости ПП и минимальной достаточной мощности ПГ.

4. Разработана алгоритмическая реализация согласованных РЦ, устойчиво функционирующих при изменении сопротивления изоляции РЛ.

5. Разработана ИМ согласованных РЦ, позволяющая выполнять исследования особенности их функционирования при изменении сопротивления изоляции РЛ.

6. Выполнен анализ механизма появления помех от постоянного тягового тока в РЛ при движении электровозов.

7. Разработана ИМ помех от тягового тока, возникающих во время движения электровоза при некачественном токосъеме и переключении схем управления тяговыми двигателями электровоза, позволяющая производить исследования помехоустойчивости приемников каналов с РЛ.

8. Проведены исследования особенностей функционирования согласованных РЦ, в результате которых установлено следующее:

– способность устойчиво контролировать согласованными РЦ занятость (свободность) участков рельсового пути и излом рельсов при изменении сопротивления изоляции РЛ;

– рабочие диапазоны частот, позволяющие РЦ функционировать с максимальным уровнем помехоустойчивости ПП при минимальной достаточной мощности ПГ.

9. Полученных в данной работе результаты позволяют выработать рекомендации по разработке новых и совершенствовании существующих РЦ, обладающих повышенной устойчивостью в условиях изменения сопротивления изоляции РЛ и воздействия помех от тягового тока.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АБ – автоматическая блокировка;
- АД – амплитудный детектор;
- АКС – алгоритм кумулятивных сумм;
- АЛС – автоматическая локомотивная сигнализация;
- АЛСН – автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа;
- АМ – абсолютная амплитудная манипуляция;
- АО – амплитудный обнаружитель сигнала;
- АС – амплитудно-синхронный обнаружитель сигнала;
- АСУ-Ш-2 – автоматизированная система управления хозяйством автоматики и телемеханики;
- АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
- БВРФ – блок вычисления разности фаз;
- БК – буферный каскад;
- БТС – блок тактовой синхронизации;
- ВАО – входной амплитудный ограничитель;
- ВУ – выходной усилитель;
- ВФ – входной полосовой фильтр;
- Γ_n – генератор несущей;
- Γ_m – генератор манипулирующей;
- ГС – гетеродинный способ ЭМС РЦ;
- ДАБ – автоматическая блокировка с децентрализованным размещением аппаратуры;
- ДР – двухэлементное секторное реле;
- ЖАТ – железнодорожная автоматика и телемеханика;
- ЗУ – запоминающее устройство;
- ИИ – источник информации;
- ИЛИ – источник ложной информации;
- ИМ – Имитационная модель;

ИР – импульсное реле;
ИРЛ – индуктивно-рельсовая линия;
ИС – изолирующий стык;
ИФ – измеритель фазы;
СИРДП – система интервального регулирования движения поездов;
К – кодер;
К⁻¹ – декодер;
КАБ – кодовая автоматическая блокировка;
КАЛС – канал связи между АБ и кабиной поездного локомотива;
КАС АНТ – комплексная автоматизированная система учёта, контроля и устранения отказов технических средств и анализа надёжности;
КЗ – короткое замыкание;
КК – кодовая комбинация;
КР – контрольный режим;
КРЛ – контроль рельсовой линии;
Кс – кодовый способ ЭМС РЦ;
КС – канал связи;
ЛС – линия связи;
М – модулятор;
М⁻¹ – демодулятор;
МГ – местный генератор;
МК – многоканальный ключ;
МП – микропроцессор;
НПД – непрерывный путевой датчик;
НО – неограниченная рельсовая линия;
НР – нормальный режим;
НТ – несимметричный электронный триггер;
ОТП – ответственный технологический процесс;
ПГ – путевой генератор;
ПД – путевой датчик;

ПДУ – передающее устройство;

ПП – путевой приемник;

ПрФ – промежуточный полосовой фильтр;

ПФ – полосовой фильтр;

Р_н – регулятор напряжения;

РК – рельсовая колея;

РЛ – рельсовая линия;

РН – рельсовая нить;

РЦ – рельсовая цепь;

РУ – решающее устройство;

СВВ – совокупности внешних воздействий;

СГ – синхрогруппа;

СЦБ – сигнализация, централизация и блокировка;

ТПС – тракт передачи сигналов;

ТРЦ – тональная рельсовая цепь;

У_п – предварительный усилитель;

УЗС – устройство согласования и защиты;

УПР – устройство принятия решения;

ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты;

ФРМ-2 – двукратная фазоразностная манипуляция;

ФС – фазовый способ ЭМС РЦ;

ФУ – формирующее устройств;

ЦАБ – автоматическая блокировка с централизованным размещением аппаратуры;

ЧД – частотное детектирование;

ЧМ – частотная манипуляция;

ЧС – частотный способ ЭМС РЦ;

ШОУ – схема «широкая полоса-ограничение-узкая полоса»;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭМС – электромагнитная совместимость;

ЭЦ – электрическая централизация.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A, B, C, D – коэффициенты четырехполюсника;

A_H, B_H, C_H, D_H – коэффициенты четырехполюсника Н;

A_K, B_K, C_K, D_K – коэффициенты четырехполюсника К;

t – текущее время;

P_i – свободность i -ой РЛ ($P_i = 0$);

I_K – ток в конце РЛ;

I_H – ток в начале (питающего конца) РЛ;

I_n – тяговый ток;

$l_{РЛ}$ – длина рельсовой линии РЛ, км;

$r_{и}$ – удельное сопротивление изоляции;

$R_{и}$ – активное сопротивления изоляции РЛ;

$Z_{и}$ – полное сопротивления изоляции РЛ;

$R_{ш}$ – сопротивление поездного шунта;

$U_1(t)$ – напряжение сигнала на выходе демодулятора ПП первой согласованной РЦ;

$U_2(t)$ – напряжение сигнала на выходе демодулятора ПП второй согласованной РЦ;

$U_{ПШ}$ – напряжение порога шунтовой чувствительности первого решающего устройства ПП согласованных РЦ (величина постоянная);

Δ_t – величина естественного разброса величин $U_1(t)$ и $U_2(t)$ в реальных условиях эксплуатации;

$\Delta_{тдоп}$ – допустимый верхний уровень величины Δ_t ;

U_K – напряжение в конце РЛ;

U_H – напряжение в начале РЛ;

Z_B – волновое сопротивление РЛ;

$Z_{\text{ПСЭ}}$ – сопротивление согласующих элементов СЭ и сопротивление передачи;
 $Z_{\text{РЛ}}$ – сопротивления РЛ;
 $Z_{\text{П}}$ – сопротивление передачи РЦ;
 λ – длина электромагнитной волны, км;
 $c(\lambda, t)$ – сообщение;
 $i(t)$ – несущая сигнала, которую вырабатывает генератор несущей Гн;
 $S(\lambda, t)$ – сигнал, формируемый полосовым фильтром ПФ;
 $n(t)$ – внешняя помеха в РЛ;
 x – информация;
 $S(x, \lambda, t)$ – сигнал, распространяющийся в РЛ с учетом изменения параметров РЛ;
 $V_{\text{Ф}}$ – фазовая скорость, км/с;
 β – километрический коэффициент фазы, рад/км;
 $f_{\text{Н}}$ – частота несущей сигнала, Гц;
 γ – коэффициент распространения;
 α – коэффициент ослабления (затухания);
 β – коэффициент фазы;
 $U_{0\text{с}}$ – амплитуда немодулированного колебания;
 m_a – коэффициент амплитудной модуляции;
 $\lambda(t)$ – нормированный информационный процесс;
 ω_c – круговая частота несущей сигнала;
 φ_c – начальная фаза;
 R – скорость передачи информации, дв. ед./с;
 $\Delta f_{\text{Э}}$ – эффективная полоса частот по входу приёмника, Гц;
 $K(j\omega)$ – частотной передаточной функции оптимального линейного фильтра;
 τ – длительность радиоимпульса и флуктуационной помехи, имеющую вид стационарного случайного процесса;
 a – амплитуда радиоимпульса;
 $x(t)$ и $y(t)$ – случайные независимые функции с нормальным распределением вероятностей, нулевым средним значением и дисперсией;
 δ – дисперсия;

v_0^2 – удельная интенсивность мощности помехи (спектральная плотность мощности);

h^2 – отношение сигнал помеха;

$S^*(j\omega)$ – функция, комплексно сопряжённая с функцией спектральной плотности сигнала $S(j\omega)$;

$G_N(\omega)$ – энергетический спектр помехи;

a_0 – амплитуда сигнала, постоянная в пределах τ ;

U_0 – уровень порога ограничителя;

Δt – длительность импульсной помехи;

$\Delta f_{\text{ЭШ}}$ – эффективная полоса пропускания широкополосного фильтра на входе ограничителя схемы ШОУ;

S_0 – спектральная плотность помехи;

$f_{\text{д}}$ – частоте дискретизации обрабатываемого сигнала;

$S_{\text{ПГ}}$ – мощность сигнала на выходе путевого генератора ПГ;

$S_{\text{ИС}}$ – мощность сигнала на выходе источника сигнала;

$P_{\text{л}}$ – вероятностей ошибки вида «ложная тревога»;

$P_{\text{проп}}$ – вероятностей ошибки вида «пропуск цели»;

$P_{\text{ош}}$ – средняя по всем символам вероятность ошибки;

$U_{\text{д}}$ – напряжение на зажимах двигателя;

$R_{\text{д}}$ – сопротивление регулирующего реостата;

R_0 – сопротивление путевого реостата;

$\bar{e}_{u_{\text{ин}}}$ – выборочный эксцесс распределения мгновенного значения помехи;

$\bar{u}_{\text{ип}}$ – выборочное среднее;

$\bar{D}_{u_{\text{ип}}}$ – выборочная дисперсия;

n – количество отсчетов в реализации;

$\bar{\sigma}_{\tau_{\text{им}}}$ – среднеквадратичное отклонение длительностей импульсов помехи;

$\bar{a}_{\tau_{\text{им}}}$ – асимметрия длительностей импульсов помехи;

$w(\tau_{\text{им}})$ – распределения длительности импульсов помехи;

$w_{\text{ин}}(n)$ – теоретическое распределение длительности импульсов помехи;

$w(U_{\text{им}})$ – распределения амплитуд импульсов помехи;

$p_i^{(0)}$ – безусловная вероятность нахождения системы в i -ом начальном состоянии;

p_{ij} – условные вероятности перехода системы из i -го состояния в j -ое состояние;

$\bar{U}_{\text{им}n}$ – среднее значение амплитуд импульсов;

$\bar{\tau}_{\text{им}n}$ – среднее значение длительностей импульсов;

$\bar{\tau}_{\text{ин}n}$ – среднее значение длительностей интервалов, следующих за импульсами;

$N_{\text{им}}$ – количество импульсов в пачке;

$t_{\text{им}i}$ – длительность импульсов, соответствующих i -му состоянию импульсной помехи;

$t_{\text{им}i}$ – длительность последующих межимпульсных интервалов, соответствующих i -му состоянию импульсной помехи;

$D_{\text{фп}}$ – среднее значение дисперсии флуктуационной помехи;

$N_{\text{л}}$ – число ложных символов «1», зафиксированных ПП;

$N_{\text{проп}}$ – число незафиксированных ПП обработки символов «1»;

$N_{\text{ош}}$ – число неправильно принятых элементарных символов;

$N_{\text{с}}$ – общее число переданных символов;

$P_{\text{ош КК}}$ – вероятность ошибки при приеме ПП сигнала с ФРМ-2 для подканала КК;

$N_{\text{ош КК}}$ – число неправильно принятых элементарных символов в КК сигнала с ФРМ-2;

$N_{\text{с КК}}$ – общее число переданных символов в подканале КК;

I – объем выборки значений x ;

m_x – математическое ожидание величины x ;

$t_{I-1; \frac{\alpha}{2}}$ – 100($\alpha/2$)-процентная точка t -распределения Стьюдента с $I-1$ степенями

свободы, соответствующая уровню значимости α (табличное значение);

ξ – половина длины заданного доверительного интервала (точность оценки \bar{x});

T – временное окно;

$U_{c\text{ AM}}$ – амплитуда несущей АМ сигнала;

$f_{m\text{ AM}}$ – частота манипулирующей АМ сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ состояния безопасности движения поездов, надежности работы систем и устройств ЖАТ в хозяйстве автоматики и телемеханики в 2010-2015 г.г. – М. : ОАО «РЖД», 2011-2016.
2. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики по итогам 2016 года. – М. : ОАО «РЖД», 2017. – 85 с.
3. Лисенков, В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов.: Учеб. для вузов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 322 с., ил.
4. Брылеев, А. М., Шишляков, В. А., Кравцов, Ю. А. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев, В. А. Шишляков, Ю. А. Кравцов. – М. : Транспорт, 1978. – 264 с.
5. Лисенков, В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1992. – 192 с.
6. Сапожников, В. В., Сапожников, Вл. В., Шаманов, В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
7. Брылеев, А. М., Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1970. – 256 с.
8. Брылеев, А. М. Рельсовые цепи на железнодорожном транспорте (конспект лекций) / А. М. Брылеев. – М. : Транспорт, 1963. – 155с.
9. Кравцов, Ю. А., Нестеров, В. Л., Лекута, Г. Ф. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учебник для вузов / Под ред. Кравцова Ю. А. – М. : Транспорт, 1996. – 400 с.
10. Аркатов, В. С., Кравцов, Ю. А., Степенский, Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

11. Переборов, А. С., Брылеев, А. М., Ефимов, В. Ю., Кондратенко, Н. Ф. Телеуправление стрелками и сигналами: учебник для вузов ж.д. транспорта / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. Ю. Ефимов, Л. Ф. Кондратенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1981. – 390 с.

12. Разгонов, А. П., Оводков, Л. В. Профилактическое обслуживание рельсовых цепей / А. П. Разгонов, Л. В. Оводков. – М. : Транспорт, 1980. – 324 с.

13. Дмитренко, И.Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.

14. Дмитренко, И. Е. и др. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики телемеханики и связи / И. Е. Дмитриенко, Д. В. Дьяков, В. В. Сапожников. – М. : Транспорт, 1994. – 264 с.

15. Блачев, К. Э. Метод построения помехозащищенного устройства контроля состояния участка пути системы управления движением поездов: дис. ... канд. техн. наук. : 05.13.05 / Блачев Константин Эдуардович. – Самара, 2009. – 144 с.

16. Беляков, И. В. Теория и методы реализации адаптивных систем контроля состояний рельсовых линий : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.22.08 / Беляков Игорь Васильевич. – Москва, 1996. – 48 с.

17. Лисенков, В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1987. – 150 с.

18. Лисенков, В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход) / В. М. Лисенков. – Москва: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2015. – 202 с.

19. Лисенков, В. М. Системы управления движением поездов на перегонах: в 3-х, ч. 2 : учебник для студентов вузов ж.-д. трансп. / В. М. Лисенков. – Москва: Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – 324 с.

20. Леушин, В. Б. Классификация источников электромагнитных мешающих сигналов [Текст] / В. Б. Леушин // Взаимодействие института и

предприятий транспорта в области подготовки специалистов и научных исследований: межвузовский сборник научных трудов № 12. – Самара: СамИИТ. – 1997 г. – С. 108-109.

21. Харкевич, А. А. Борьба с помехами / А. А. Харкевич. – М. : Наука, 1965. – 276 с.

22. Котляренко, Н. Ф., Маношин, Н. К., Цецура, И. А. Рельсовые цепи / Н. Ф. Котляренко, Н. К. Маношин, И. А. Цецура. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 144 с.

23. Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи / Н. Ф. Котляренко. – М. : Трансжелдориздат, 1961. – 328 с.

24. Аркатов, В. С., Баженов, А. И., Котляренко, Н. Ф. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: справочник / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1992. – 384 с.

25. Фомин, А. Ф., Ваванов, Ю. В. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи / А. Ф. Фомин, Ю. В. Ваванов. – М. : Транспорт, 1987. – 295 с.

26. Бененсон, З. М., Елистратов, М. Р., Ильин, Л. К. и др. Моделирование и оптимизация на ЭВМ радиоэлектронных устройств / Под ред. З. М. Бененсона. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.

27. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 420 с.

28. Прицкер, А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II / А. Прицкер; Перевод с англ. Н. В. Лукина и др.; Под ред. А. Д. Цвиркуна, В. А. Филиппова. – М. : Мир, 1987. – 644 с.

29. Максимей, И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

30. Павловский, Ю. Н. Имитационные модели и системы. М. : ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. – 134 с.

31. Советов, Б. Я., Яковлев, С. А. Моделирование систем: учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. Шк., 2001. – 343 с.

32. Тарасевич, Ю. М. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс / Ю. М. Тарасевич. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 152 с.
33. Дмитриев, В. С., Минин, В. А. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты / В. С. Дмитриев, В. А. Минин. – М. : Транспорт, 1992. – 182 с.
34. Автоблокировка с тональными рельсовыми цепями и централизованным размещением оборудования АБТЦ-03. Типовые материалы для проектирования 410306-ТМП: Альбом 3 «Принципиальные схемные решения для двухпутных участков». ОАО «РЖД». – М. : ГИПРОТРАНССИГНАЛСВЯЗЬ, 2004. – 133 с.
35. Гультаев, А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: Учебный курс / А. Гультаев. – СПб. : Питер, 2000. – 432 с.
36. Окунев, Ю. Б. Теория фазоразностной модуляции / Ю. Б. Окунев. – М. : Связь, 1979. – 216 с. ил.
37. Андриевский, Б., Фрадков, А. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB 5 и Scilab / Б. Андриевский, А. Фрадков. – СПб. : Наука, 2001. – 286 с.
38. Говорухин, В., Цибулин, В. Компьютер в математическом исследовании: Maple, MATLAB, LaTeX / В. Говорухин, В. Цибулин. – СПб. : Питер, 2001. – 624 с.
39. Дьяконов, В., Круглов, В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб. : Питер, 2001. – 448 с.
40. Коржик, В. И. и др. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: Справочник / В. И. Коржик, Л. М. Финк, К. Н. Щелкунов: Под ред. Л. М. Финка.– М. : Радио и связь, 1981. – 232 с.
41. Теплов, Н. Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации / Н. Л. Теплов.– М. : Связь, 1964. – 359 с.

42. Шварцман, В. О., Емельянов, Г. А. Теория передачи дискретной информации: учебник для вузов связи / В. О. Шварцман, Г. А. Емельянов. – М. : Связь, 1979. – 424 с.

43. Зюко, А. Г., Кловский, Д. Д., Назаров, М. В., Финк, Л. М. Теория передачи сигналов: учебник для ВУЗов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – М. : Связь, 1980. – 288 с.

44. Харкевич, А. А. Спекиры и анализ / А. А. Харкевич. – 3-е изд. – М. : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 236 с.

45. Леушин, В. Б. Автоматическая локомотивная сигнализация при наличии помех рельсовых линий: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Леушин Виталий Бениаминович. – М. : 1985. – 354 с.

46. Автоматическая локомотивная сигнализация частотного типа повышенной помехозащищенности и значности АЛС-ЕН: производственное издание/ В. М. Лисенков, Д. В. Шалягин, С. П. Шурыгин, И. В. Беляков, П. Ф. Бестемьянов, А. В. Вековищев; Под ред. Г. Г. Баюшкиной. – М. : Транспорт, 1990.– 48 с.

47. Леушин, В. Б., Попович, С. М. Исследование импульсных помех в каналах АЛС при изменении режима работы тяговых двигателей: III научно-техническая конференция молодых учёных и аспирантов Московского института инженеров железнодорожного тр-та [Текст] / В. Б. Леушин, С. М. Попович. – М. : МИИТ, 1982 г. – С. 13-15.

48. Леушин, В. Б., Беляков, И. В., Дудина, Н. Е. Об одном методе исследования параметров сигналов и помех в рельсовых каналах «За технический прогресс». Материалы межвузовской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 20-тилетию института. Часть II [Текст] / В. Б. Леушин, И. В. Беляков, Н. Е. Дудина. – Самара, КИИТ, 1993 г. – С. 32-35.

49. Купцов, Ю. Е. Увеличение срока службы контактного провода / Ю. Е. Купцов. – М. : Транспорт, 1872. – 160 с.

50. Адлер, Ю. П., Маркова, Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 279 с.

51. Баранов, Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления / Л. А. Баранов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с. : ил.

52. Юсупов, Р. Р. Цифровое устройство обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации повышенной помехозащищенности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / Юсупов Руслан Рифович. – Самара : СамГАПС, 2003. – 140 с.

53. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10^У. Руководство по эксплуатации / Под ред. О. А. Кикнадзе. – М. : Транспорт, 1981. – 519 с.

54. Юсупов Р. Р. Марковская модель импульсной помехи от постоянного тягового тока электроподвижного состава [Текст] / Р. Р. Юсупов // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта. Матер. науч.-техн. конф., посв. 125-летию Свердловской железной дороги, В 4-х т. Т. 4. – Екатеринбург : УрГУПС, 2003 г. – С. 31-37.

55. Леушин, В. Б., Юсупов, Р. Р. Марковская модель переключений контроллера машиниста [Текст] / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011 г. – № 4. – С. 12-15.

56. Бендат, Дж., Пирсол, А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989. – 540 с.

57. Казаков, В. А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые другие радиотехнические задачи / В. А. Казаков. – М. : Сов. радио, 1973. – 232 с.

58. Кемени, Дж., Снелл, Дж. Конечные цепи Маркова / Кемени Дж. и Снелл Дж. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1970. – 293 с.

59. Леушин, В. Б., Дудина, Н. Е., Смирнова, Л. Б. Статистическая модель электромагнитных мешающих сигналов в индуктивно-рельсовых линиях

[Текст] / В. Б. Леушин, Н. Е. Дудина, Л. Б. Смирнова // Межвузовский сборник научных трудов № 12. Взаимодействие института и предприятий транспорта в области подготовки специалистов и научных исследований. – Самара, СамИИТ, 1997 г. – С. 105-106.

60. Леушин, В. Б., Блачёв, К. Э., Юсупов, Р. Р. Статистический анализ некоторых параметров импульсных помех от тягового тока [Текст] / В. Б. Леушин, К. Э. Блачев, Р. Р. Юсупов // Труды Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции учёных транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки. – Хабаровск, ДВГУПС, 2004. – С. 43-47.

61. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017617846. Имитационная модель помех в рельсовых и индуктивно-рельсовых линиях от постоянного тягового тока / Ахмадуллин Ф. Р., Юсупов Р. Р., Леушин В. Б. Заявка № 201714688. Дата поступления 34 мая 2017 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13 июля 2017 г.

62. Ахмадуллин, Ф. Р., Леушин, В. Б., Юсупов, Р. Р. Имитационная модель помех в рельсовых и индуктивно-рельсовых линиях при электротяге постоянного тока [Текст] / Ф. Р. Ахмадуллин, В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – №4 (64). – С. 42-45.

63. Сосулин, Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов / Ю. Г. Сосулин. – М. : Сов. Радио, 1978. – 320 с.

64. Стафеев, А. В. Разработка и исследование помехоустойчивых адаптивно-робастных цифровых демодуляторов дискретных сигналов: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.17 / Стафеев Алексей Валерьевич. – М., 1992. – 254 с.

65. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Физ-мат., 1958. – 464с.

66. Миддлтон, Д. Введение в статистическую теорию связи. Т. 1 / Д. Миддлтон. – М. : Сов. радио, 1961. – 783 с.

67. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин.– 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1989. – 656 с.

68. Леушин, В. Б. Особенности структур рельсовых цепей автоблокировки: учебное пособие / В. Б. Леушин. – 2-е издание. – Самара: СамГУПС, 2008. – 96 с.

69. Леушин, В. Б., Юсупов, Р. Р. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Автоматика и телемеханика на перегонах» для студентов специальности 190402 дневной и заочной форм обучения / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов. – Самара: СамГАПС, 2005. – 32 с.

70. Леушин, В. Б., Фролагин, А. Г., Фролагина-Бирюкова, А. А. Анализ рельсовых цепей. Свид. об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2000610908. Зарегистрировано 14.09.2000 г.

71. Леушин, В. Б., Блачёв, К. Э., Юсупов, Р. Р. Имитационная установка для исследования приёмника сигналов АЛС-ЕН методом имитационного моделирования [Текст] / В. Б. Леушин, К. Э. Блачёв, Р. Р. Юсупов // Вестник СамГАПС. – 2005. – № 3. – С. 60-63.

72. Леушин, В. Б., Юсупов, Р. Р., Ахмадуллин, Ф. Р. Об одном методе определения области номинальной работы рельсовых цепей [Текст] / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов, Ф. Р. Ахмадуллин // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 3 (63). – С. 64-68.

73. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Г. В. Горелов, А. Ф. Фомин, А. А. Волков, В. К. Котов. – М. : Транспорт, 1999. – 415 с.

74. Беляков, И. В., Леушин, В. Б., Смирнова, Л. Б., Дудина, Н. Е. Результаты экспериментальных исследований параметров дестабилизирующих факторов в системах контроля состояний рельсовых линий [Текст] / И. В. Беляков, В. Б. Леушин, Л. Б. Смирнова, Н. Е. Дудина // Межвузовский сборник научных трудов № 7. Повышение эффективности систем железнодорожной автоматики, связи и вычислительной техники». – Самара: СамИИТ, 1993 г. – С. 35-41.

75. Новоселов, О. Н., Фомин, А. Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем / О. Н. Новоселов, А. Ф. Фомин. – М. : Машиностроение, 1991. – 336 с.

76. Пыров, А. Е. Исследование помех тягового тока в канале АЛС [Текст] / А. Е. Пыров. – М. : МИИТ, 1972. – Вып. 407.– С. 179-183.

77. Пыров, А. Е. Исследование источников помех в канале АЛСН [Текст] / А. Е. Пыров. – Свердловск: УЭМИИТ, 1974. – Вып. 42.– С. 95-97.

78. Шишляков, А. В. Влияние тягового тока на работу устройств АЛС [Текст] / А. В. Шишляков // Автоматика, телемеханика и связь. – 1960. – № 8. – С. 27-31.

79. Капитоненко, Н. Г. Влияние поездной энергосистемы на рельсовые цепи [Текст] / Н. Г. Капитоненко // Автоматика, телемеханика и связь. – 1972. – № 7. – С. 23-25.

80. Поздняков, Л. Г. и др. Исследование влияния электрической тяги постоянного тока с рекуперацией на линии связи и автоматики [Текст] / Л. Г. Поздняков. – Омск: ОмИИТ. Научные труды, 1972. – Вып. 2, т. 138. – С. 47-54.

81. Скороходов, В. И. и др. Экспериментальное исследование влияния на устройства СЦБ импульсно-тиристорного управления электрическим подвижным составом постоянного тока, в кн. : Системы и устройства интервального регулирования движения поездов [Текст] / В. И. Скороходов. – М. : Транспорт, 1976. – Вып. 560. – С. 55-67.

82. Шевердин, И. Н., Шаманов, В. И. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС [Текст] / И. Н. Шевердин, В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – №8. – С. 24-29.

83. Воротилкин, А. В., Хоменко, А. П., Шаманов, В. И. Влияние тяжеловесных поездов на работу приборов безопасности [Текст] / А. В. Воротилкин, А. П. Хоменко, В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – №10. – С. 17-21.

84. Венскаускас, К. К., Малахов, Л. М. Импульсные помехи и их воздействие на системы радиосвязи [Текст] / К. К. Венскаускас, Л. М. Малахов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1978. – № 1. – С. 95-125.

85. Леушин, В. Б., Юсупов, Р. Р. Особенности каналов автоматической локомотивной сигнализации магистральных железных дорог : учеб. пособие для студентов специальности «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов. – Самара : СамГУПС, 2007. – 115 с.

86. Евсеев, И. Г. Защита устройств связи и СЦБ / И. Г. Евсеев. – М. : Транспорт, 1982. – 176 с.

87. Котельников, А. В., Наумов, А. В., Слободняк, Л. П. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств / А. В. Котельников, А. В. Наумов, Л. П. Слободняк. – М. : Транспорт, 1990. – 216 с.

88. Евсюнин, В. И. Совершенствование эксплуатации тональных рельсовых цепей [Текст] / В. И. Евсюнин // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – №3. – С. 14-16.

89. Лисенков, В. М., Беляков, И. В., Ковалев, И. П., Грушка, В. А. Микропроцессорная система числовой кодовой автоблокировки [Текст] / В. М. Лисенков, И. В. Беляков, И. П. Ковалев, В. А. Грушка // Автоматика, телемеханика и связь. – 1995. – №8. – С. 7-9.

90. Дмитренко, И. Е., Устинский, А. А., Цыганков, В.И. Измерение в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитренко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков. – М. : Транспорт, 1975. – 112 с.

91. Ксюнин, В. И. Эксплуатация автоблокировки с централизованным размещением аппаратуры и рельсовыми цепями тональной частоты [Текст] / В. И. Ксюнин // Автоматика, связь, информатика. – 1999. – №1. – С. 35-38.

92. Моделирование и оптимизация на ЭВМ радиоэлектронных устройств / З. М. Бененсон, М. Р. Елистратов, Л. К. Ильин и др.; Под. ред. З. М. Бененсона. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.

93. Полляк, Ю. Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах / Ю. Г. Полляк. – М. : Сов. радио, 1971. – 273 с.

94. Рудаков, П., Сафонов, В. Обработка сигналов и изображений MATLAB 5.x / Под общ. ред. В.Г. Потемкина / П. Рудаков, В. Сафонов. – М. : Диалог-МИФИ, 2000. – 416 с.

95. Андреев, И. В., Ланнэ, А. А. MATLAB для DSP: SPTool – инструмент для расчёта цифровых фильтров и спектрального анализа сигналов [Текст] / И. В. Андреев, А. А. Ланнэ // Цифровая обработка сигналов. – 2000. – № 2. – С. 6-13.

96. Жовинский, А. Н., Жовинский, В. Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов / А. Н. Жовинский, В. Н. Жовинский. – М. : Энергия, 1979. – 112 с.

97. Мирский, Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов / Г. Я. Мирский. – М. : Энергия, 1967. – 432 с.

98. Обнаружение радиосигналов/ П. С. Акимов, Ф. Ф. Евстратов, С. И. Захаров и др. : Под ред. А. А. Колосова. – М. : Радио и связь, 1989. – 288 с.

99. Сороко, В. И., Розенберг, Е. Н. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник: в 2 кн. Кн. 2 / В. И. Сороко, Е. Н. Розенберг. – 3-е изд. – М. : НПФ «Планета», 2000. – 1008 с.

100. Харкевич, А. А. Очерки общей теории связи / А. А. Харкевич. – М. : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 268 с.

101. Юсупов, Р. Р. Имитационное моделирование в разработке и исследовании цифрового устройства обработки сигналов АЛСН [Текст] / Р. Р. Юсупов, К. Э. Блачев, В. Б. Леушин // Безопасность и логистика транспортных систем: Труды Международной научно-практической конференции. – Самара, 2004. – Ч. II. – С. 34-35.

102. Юсупов, Р. Р., Леушин, В. Б., Блачев, К. Э. Помехозащищенность приемников сигналов автоматической локомотивной сигнализации систем АЛСН и АЛС-ЕН [Текст] / В. Б. Леушин // Взаимодействие института и

предприятий транспорта в области подготовки специалистов и научных исследований: межвузовский сборник научных трудов № 12. – Самара: СамИИТ. – 1997. – С. 63-65.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Фрагмент листинга программы «RELS»

```

unit UtilR;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
Graphics, Controls, iniFiles,
Dialogs, ComCtrls, StdCtrls,
ExtCtrls, Grids,
Series, Chart, TeEngine,
ComObj;
type
TtypeSer = CLASS
pChart: Tchart;
  values : array of Double;
pSerV : array of TFastLineSeries;
pSerP : array of TPointSeries;
END;
Tmat9 = CLASS
MA : array[1..9] of array[1..8] of double;
END;
Tmat3 = CLASS
MA : array[1..3] of array[1..8] of double;
END;
procedure IniMat3(INIrels : TiniFile; SG : TStringGrid; varmt: Tmat3 );
procedure EditCR3(INIrels : TiniFile; ACol, ARow: Integer;
const Value: String; varmt: Tmat3);
procedure IniMat9(INIrels : TiniFile; SG : TStringGrid; varmt: Tmat9 );
procedure EditCR9(INIrels : TiniFile; ACol, ARow: Integer; const Value: String;
varmt: Tmat9);
  function doTOstr(consttps : string; varpo : double;
ms : string = ' <- Ошибка не число !' ):string ;

```

```

procedure EditPER(INIrels : TiniFile; Text : string;
var per :Double; NamePer: String);
procedure CalcUis( nc : integer; matPar : Tmat9; um5,ua5,im5,ia5 : double; var
um6,ua6 : double );
procedure Cal5Uis( nc : integer; am5,aa5,bm5,ba5: double;
um4,ua4,im4,ia4 : double;
var um5,ua5 : double );
procedure CalcIis( nc : integer; matPar : Tmat9; um5,ua5,im5,ia5 : double; var
Im6,Ia6 : double ); procedure Cal5Iis( nc : integer; cm5,ca5,dm5,da5: double;
um4,ua4,im4,ia4 : double;
var Im5,Ia5 : double );
procedure cal5ParNorm(ZRLm,ZRLa,tr,td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double );
procedure WriteSerOm(noms,RR : integer;
Rimin,Rmax,Ri,ZRLm,ZRLa,td,Um,Ua,Im,Ia,Em,Ea,m,RN : double; Tyga: integer;
matPar : Tmat9;
tser : TChartSeries );
procedure WriteSerM(noms,RR : integer;
Lmin,Lmax,L, ZRLm,ZRLa,tr,Um,Ua,Im,Ia,Em,Ea,m,RN : double; Tyga: integer;
matPar : Tmat9;
tser : TChartSeries );
procedure Cal5ParConAvt(ZRLm,ZRLa,tr,td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double;
Em,Ea,m : double);
procedure Cal5ParConELE(ZRLm,ZRLa,tr,td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double;
Em,Ea,m : double );
// K3
procedure Cal5ParKZ(ZRLm,ZRLa,tr,td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double);

```

```

// AJC
procedure Cal5ParALS(ZRLm,ZRLa,tr,td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double);
// ШyHT
procedure Cal5ParSHT(Tsh : integer ; ZRLm, ZRLa, tr, td : double;
var am5,aa5,bm5,ba5,cm5,ca5,dm5,da5 : double);
procedure Grshunt(serpar : TChartSeries ;
psh1 , psh2 , psh3 : double);
function FloatToStrP(Value: Extended; Precision : Integer = 10 ): string ;
procedure ConnectToExcel(vartheExcel: Variant);
procedure ExportToExcel(nfile : string ;
Sgr : TStringGrid;cs,rc : integer; sxcs,sxrc : integer;
theExcel: Variant;
smcs : integer = 0; smrc : integer =0; textName : string = "");
procedure ExpDDToExcel(nfile : string ;
Sgr : TStringGrid;
sxcs,sxrc : integer;
theExcel: Variant;
MDD : ARRAY OF DOUBLE );
procedure FormMS(niv : integer; value : Double; msa : TtypeSer );
var
pFloatPre : integer;
pRegNorm : integer;
implementation
procedure IniMat9(INIrels : TiniFile; SG :TStringGrid; varmt: Tmat9 );
var
i,j : integer;
s1,s2 : string;
begin
for i := 1 to 9 do begin

```

```
if i=5 THEN for j:= 1 to 8 do sg.Cells[j,i] := '-----'
ELSE for j:= 1 to 8 do
begin
s2 := 'P'+intTOstr(i)+intTOstr(j);
s1 := INIrels.readString('Rels', s2, ' 0.0'); // copy(s2,2,10); //
mt.MA[i,j] := strTOfloat(s1);
sg.Cells[j,i] := FloatToStr(mt.MA[i,j]);
end;
end;
end;
procedure EditCR9(INIrels : TiniFile; ACol, ARow: Integer; const Value: String;
varmt: Tmat9);
var
i,j : integer;
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Регистрация помех от тягового тока в рельсовых линиях

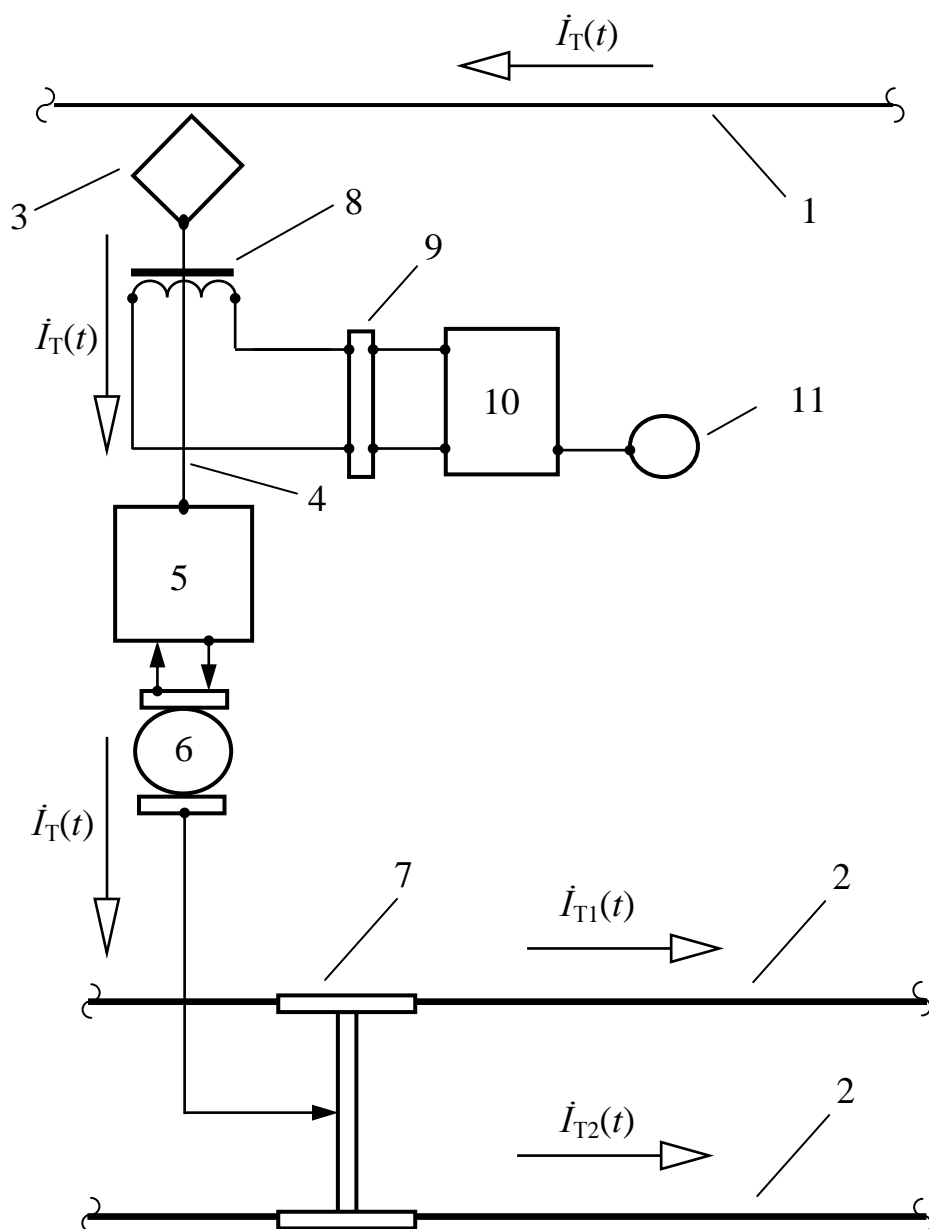


Рисунок Б.1 – Схема регистрации помехи от тягового тока в РЛ и ИРЛ:
 1 – контактный провод; 2 – рельсовые нити; 3 – токоприемник;
 4 – токоприёмная шина; 5 – устройства коммутации тяговых двигателей; 6 –
 тяговые двигатели; 7 – колесные пары; 8 – датчик;
 9 – аттенюатор; 10 – магнитограф; 11 – микрофон оператора.

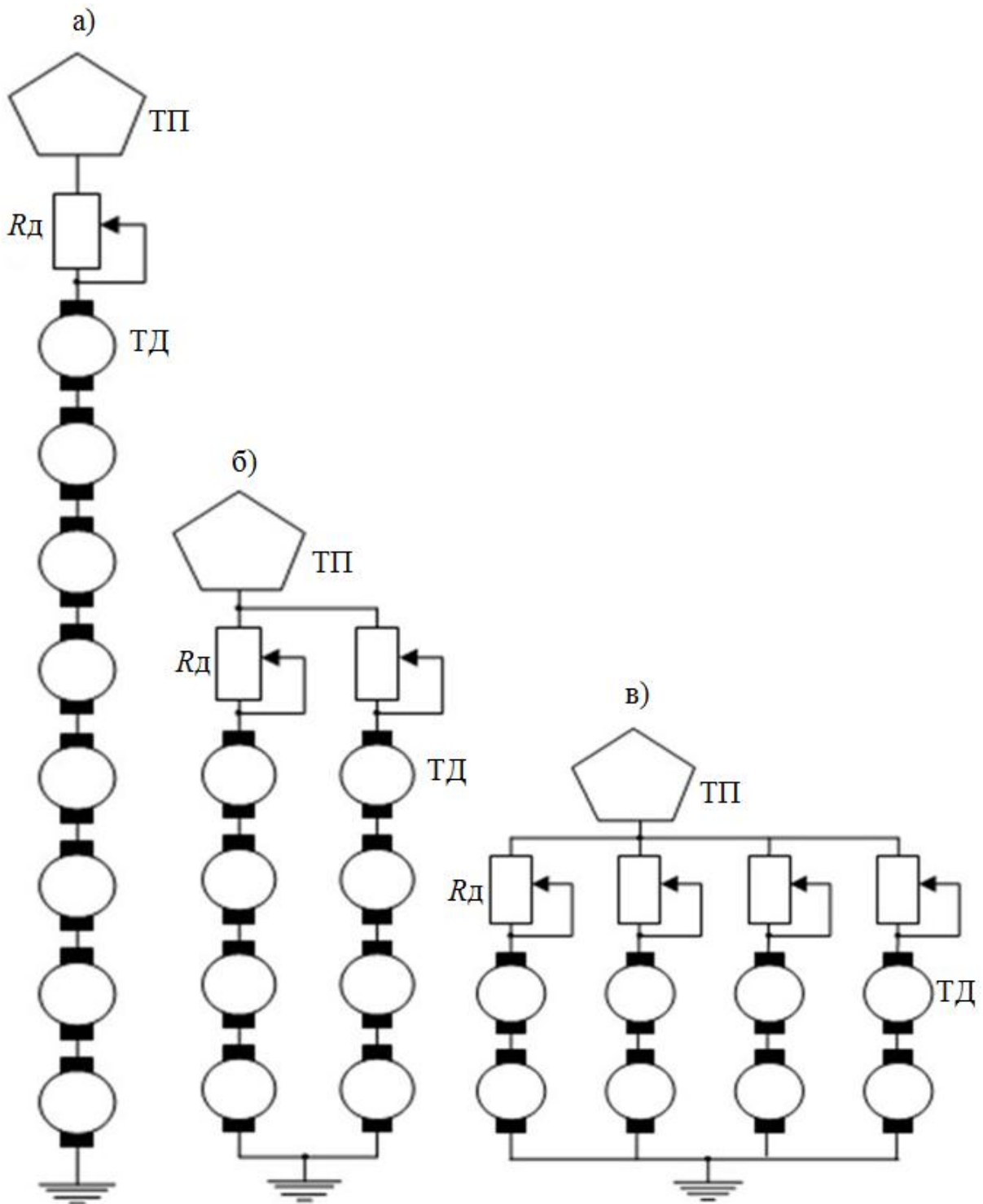


Рисунок Б.2 – Принципиальные схемы включения тяговых двигателей электровоза ВЛ-10У: а – последовательное (С); б – последовательно-параллельное (СП); в – параллельное (П).

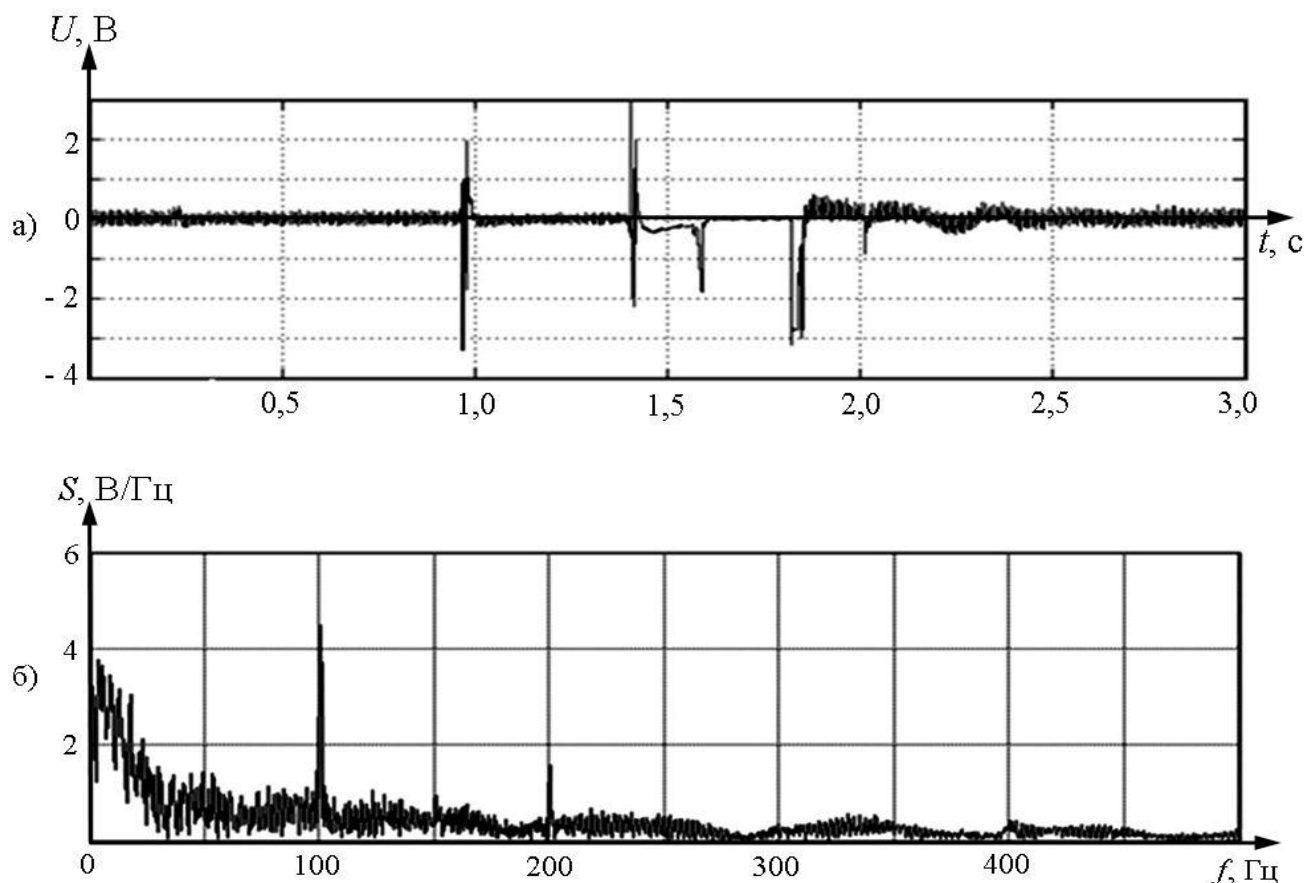


Рисунок Б.3 – *a*– осциллограмма помех, зафиксированных при переключении схемы управления тяговыми двигателями локомотива контроллером машиниста из позиции 0 в позицию С и из позиции С в позицию СП соответственно;

б – модуль спектральной плотности помех, осциллограмма которых представлен на рисунке Б.3, *a*

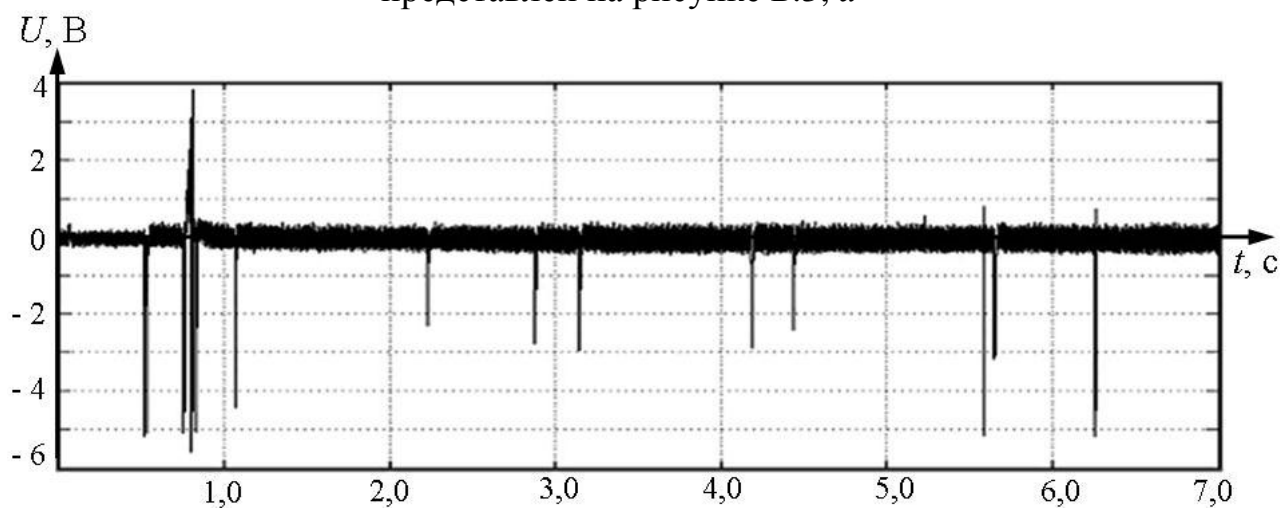


Рисунок Б.4 – Осциллограмма импульсных помех, зафиксированных при переключении контроллера машиниста СП – П

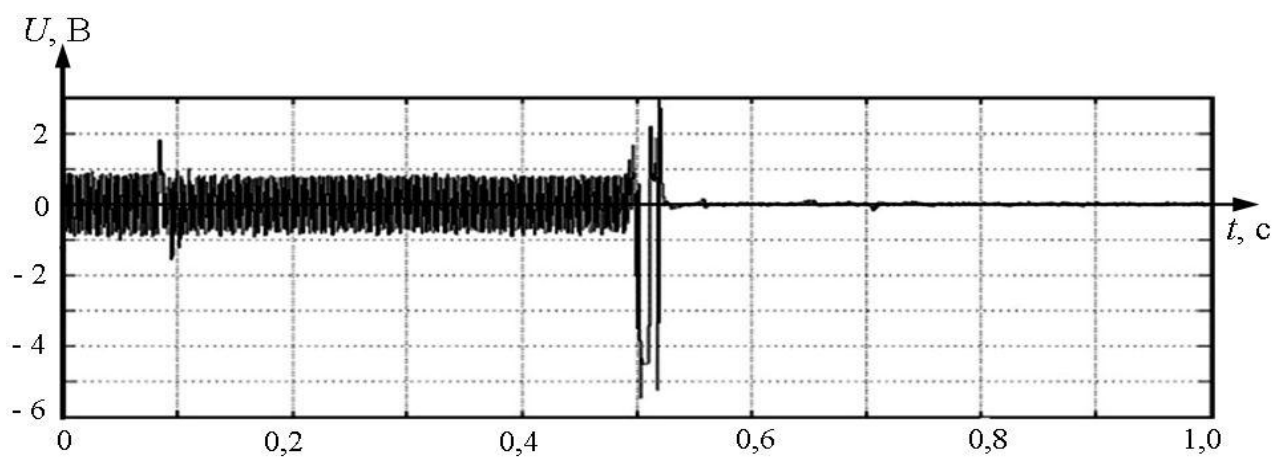


Рисунок Б.5 – Осциллограмма импульсных помех, зафиксированных при переключении контроллера машиниста П – 0

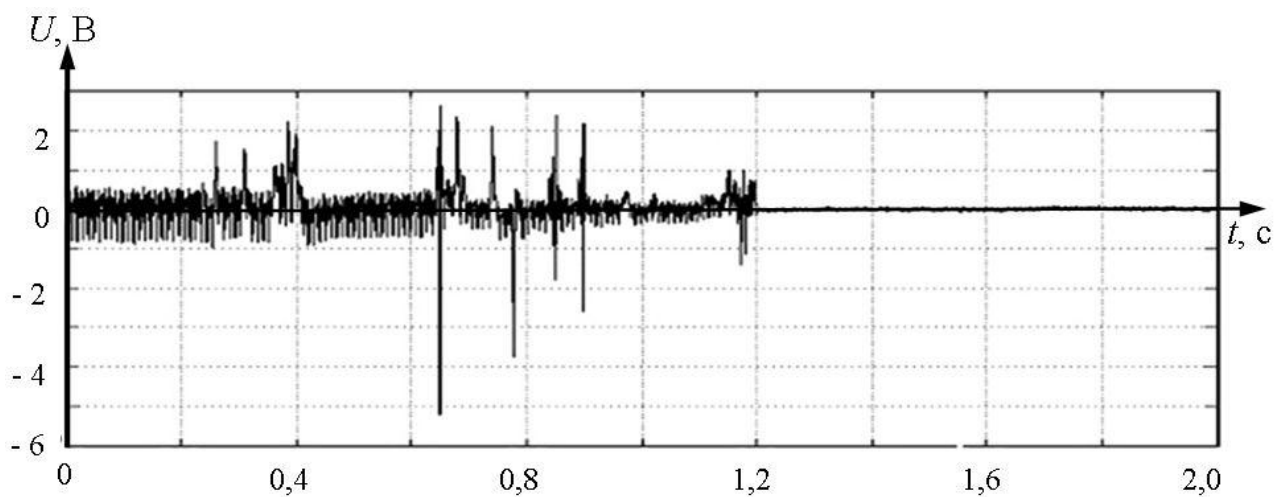


Рисунок Б.6 – Осциллограмма импульсных помех, зафиксированных при переключении контроллера машиниста П – СП – 0

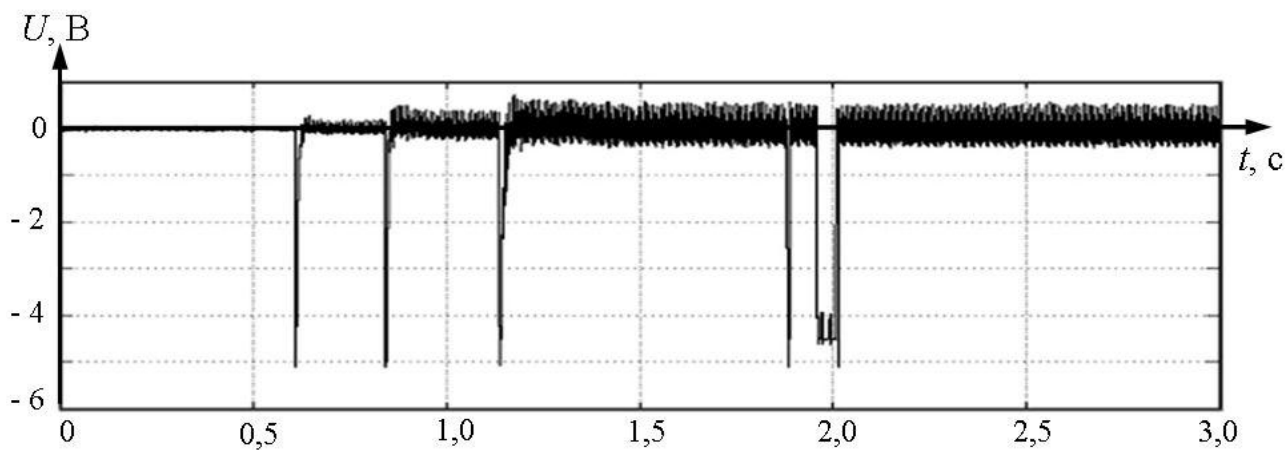


Рисунок Б.7 – Осциллограмма импульсных помех, зафиксированных при переключении контроллера машиниста 0 – СП

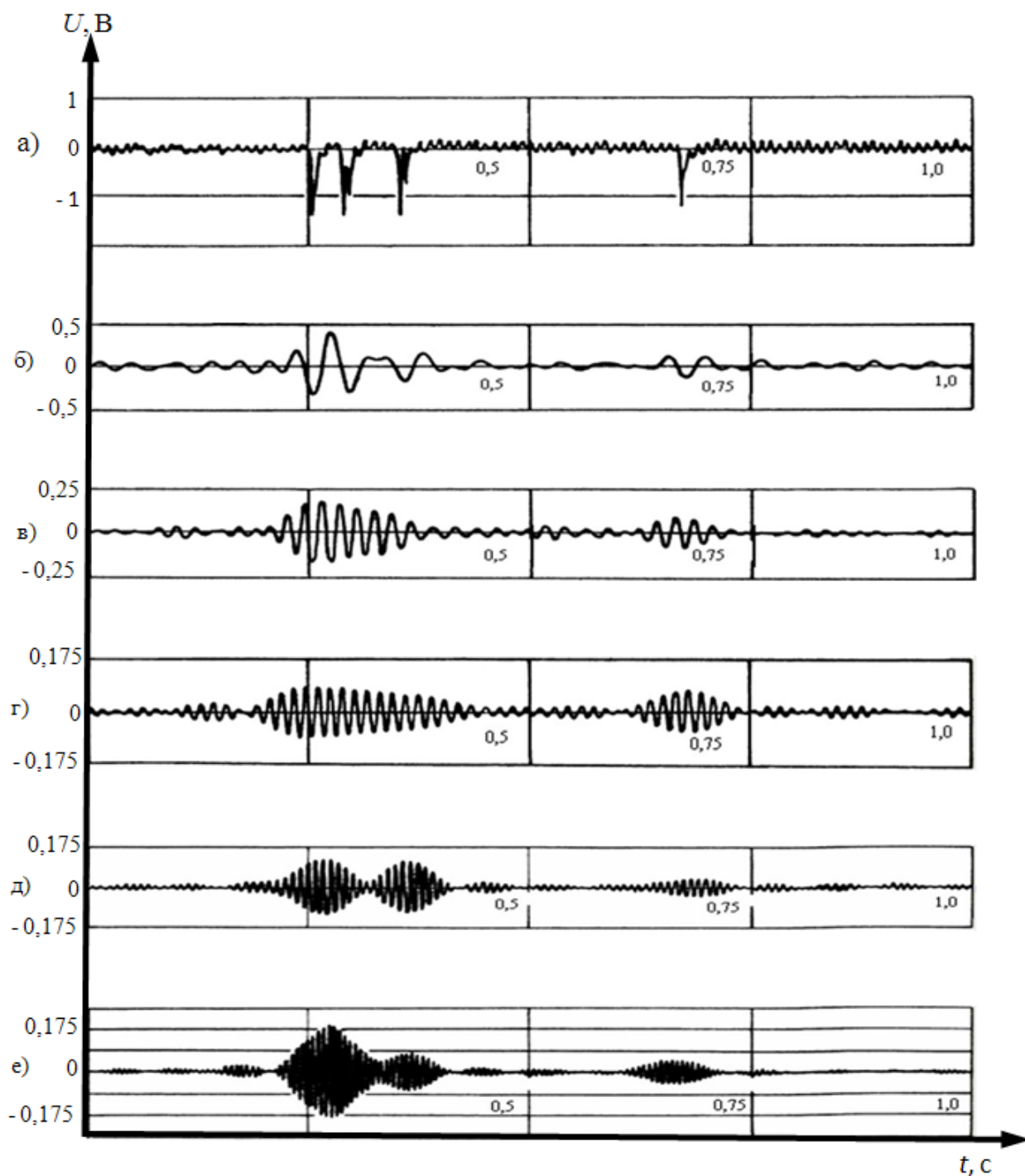


Рисунок Б.8 – Осциллограммы: а – пачки импульсов помех в РЛ различной амплитуды и длительности, вызывающие появление откликов на выходе полосовых фильтров ПП РЦ с рабочей полосой пропускания 15 Гц; б, в, г, д, е – отклики помех (рисунок Б.8, а) на выходе полосовых фильтров ПП со средней частотой полосы пропускания 25, 50, 75, 125 и 175 Гц соответственно

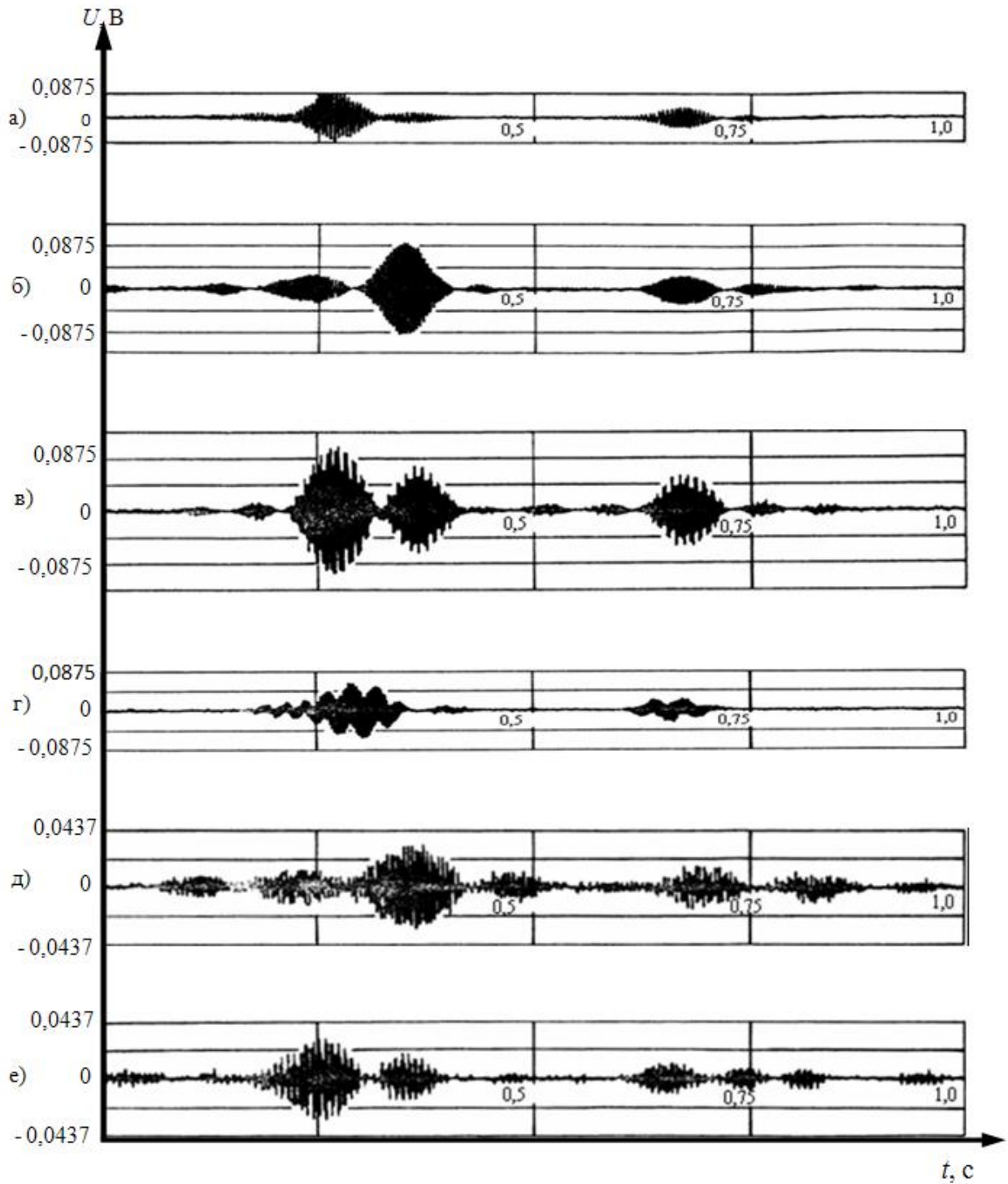


Рисунок Б.9 – Осциллограммы: *a, б, в, г, д, е* – отклики помех (рисунок Б.8, а) на выходе полосовых фильтров ПП со средней частотой полосы пропускания 225, 275, 325, 375, 425 и 475 Гц соответственно

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

**Осциллограммы и графики, поясняющие особенности
функционирования согласованных рельсовых цепей в условиях изменения
сопротивления изоляции и наличия помех от тягового тока**

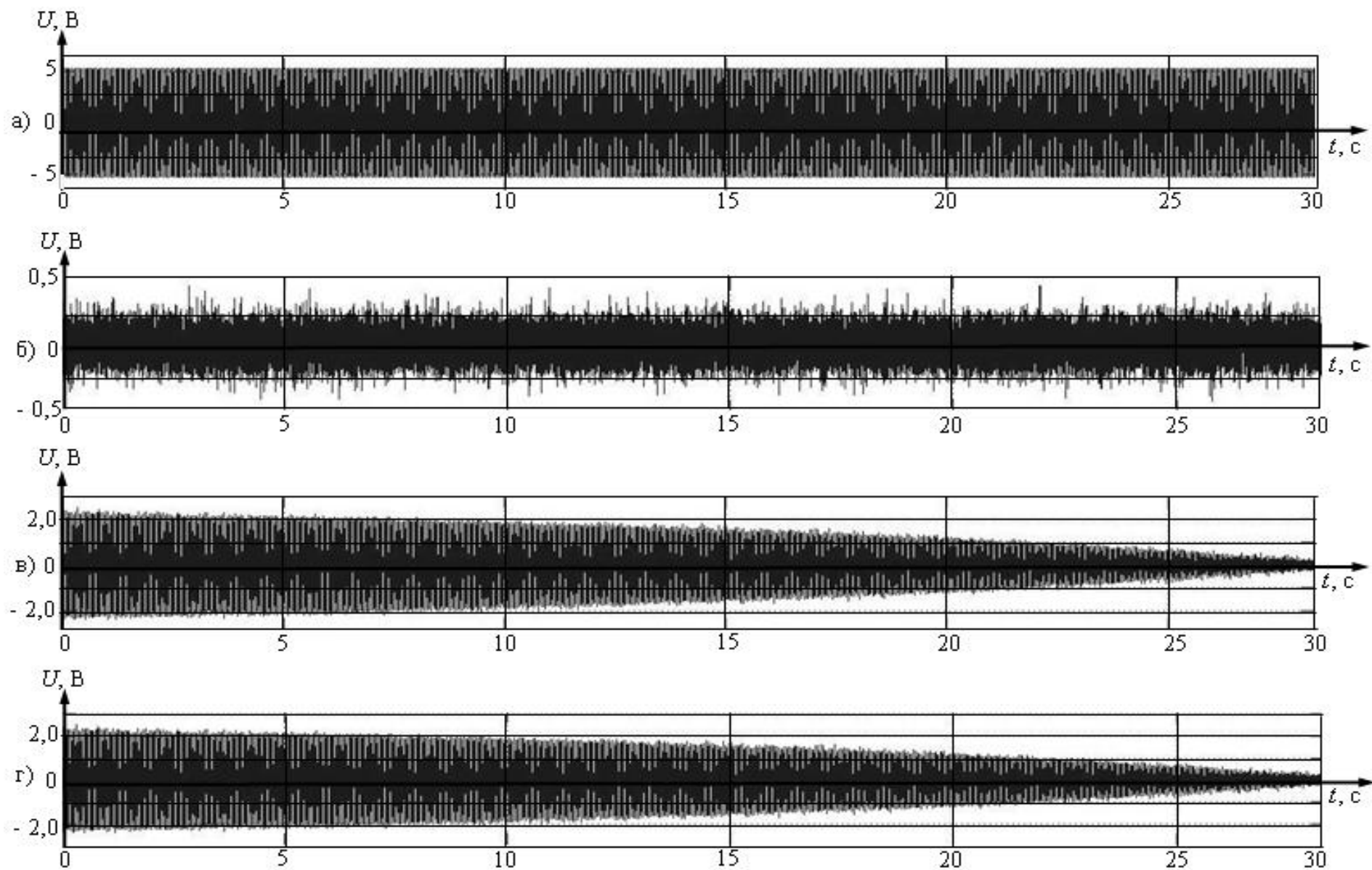


Рисунок В.1 – Осциллограммы сигналов на выходе устройств ИМ РЦ (рисунок 3.3)

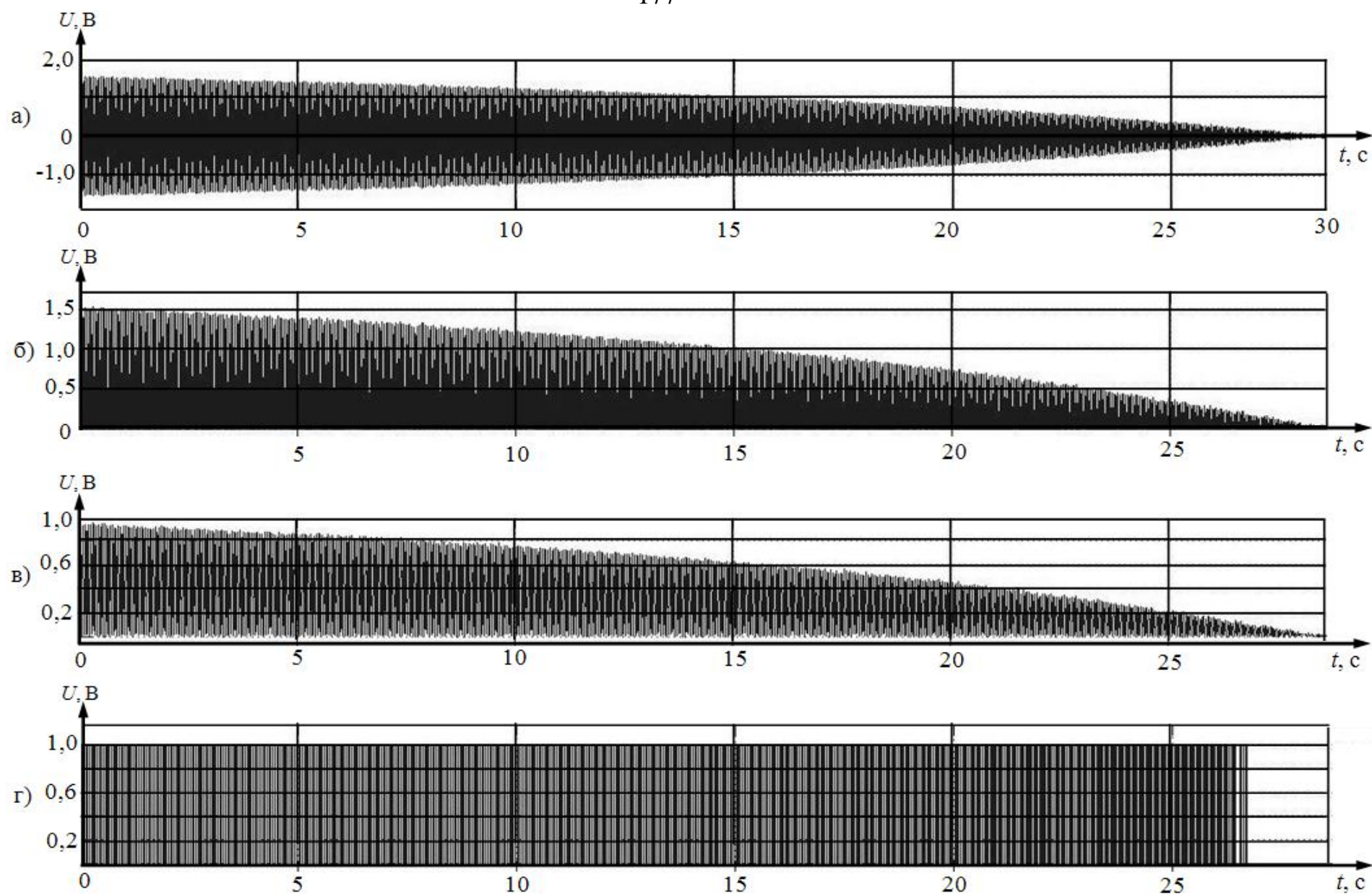


Рисунок В.2 – Осциллограммы сигналов на выходе элементов ПП первой РЦ (рисунок 3.3)

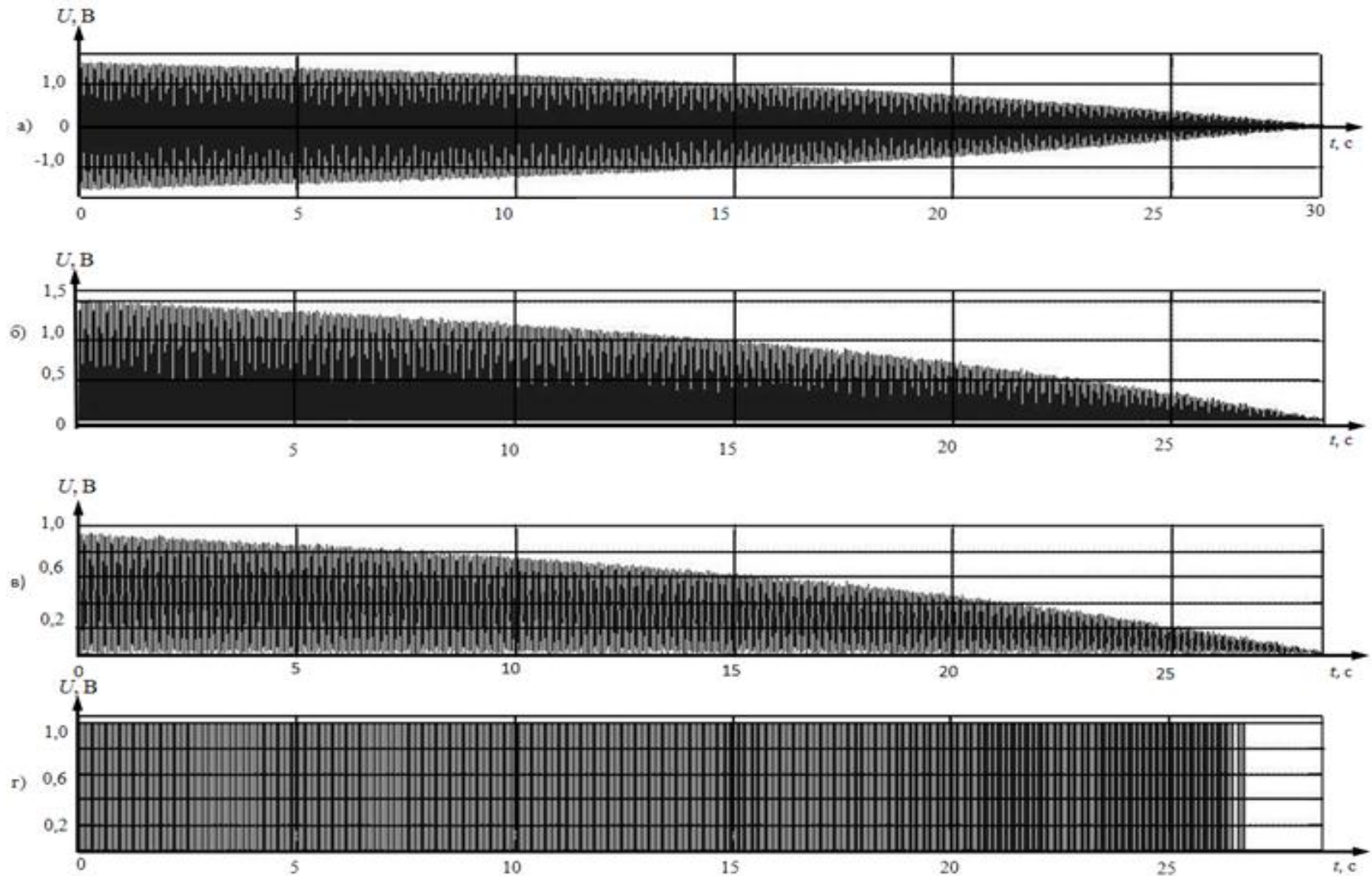


Рисунок В.3 – Осциллограммы сигналов на выходе элементов ПП второй РЦ (рисунок 3.3)

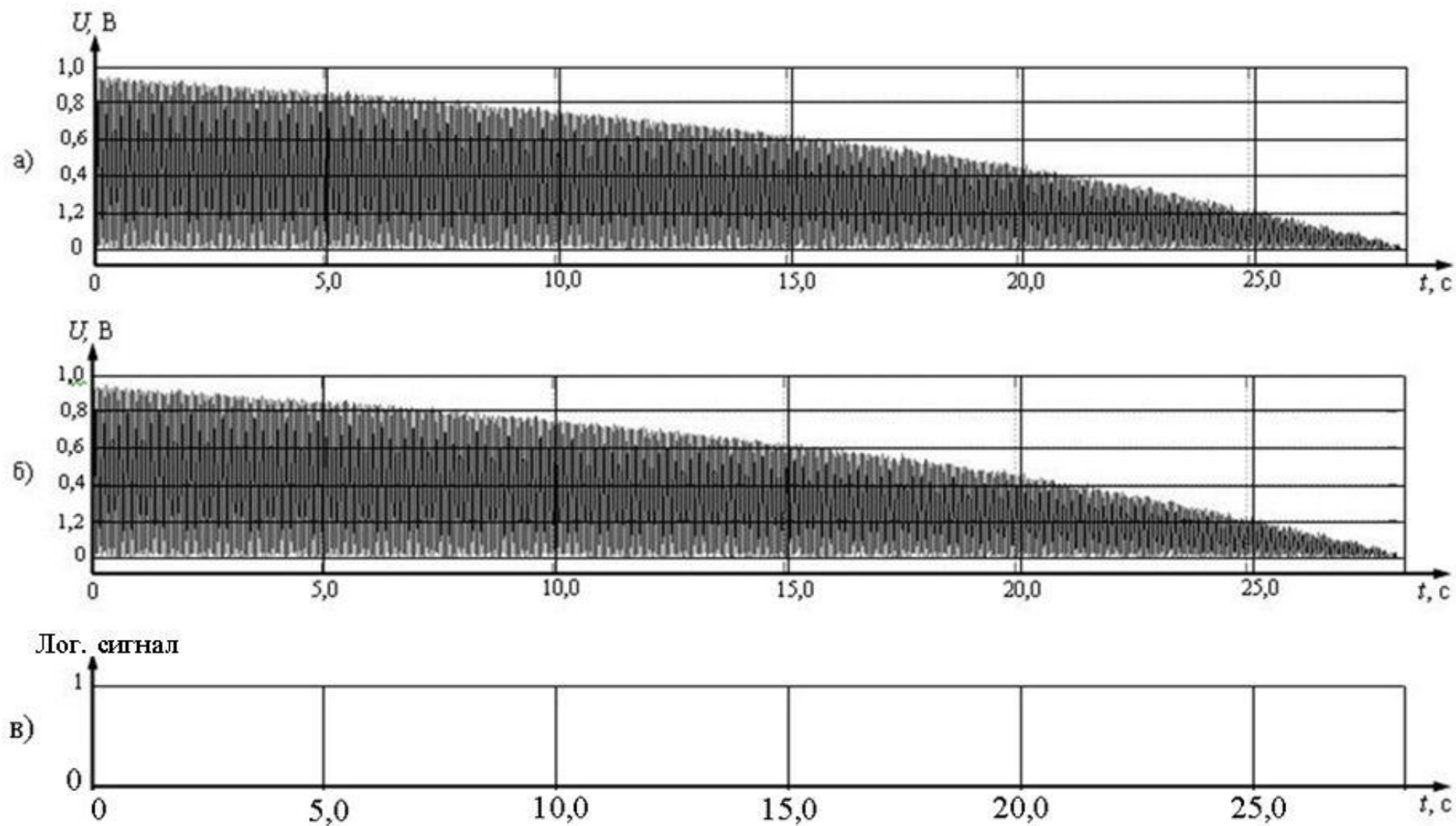


Рисунок В.4 – Графики, поясняющие алгоритм функционирования процедуры $U_1 - U_2 = 0$

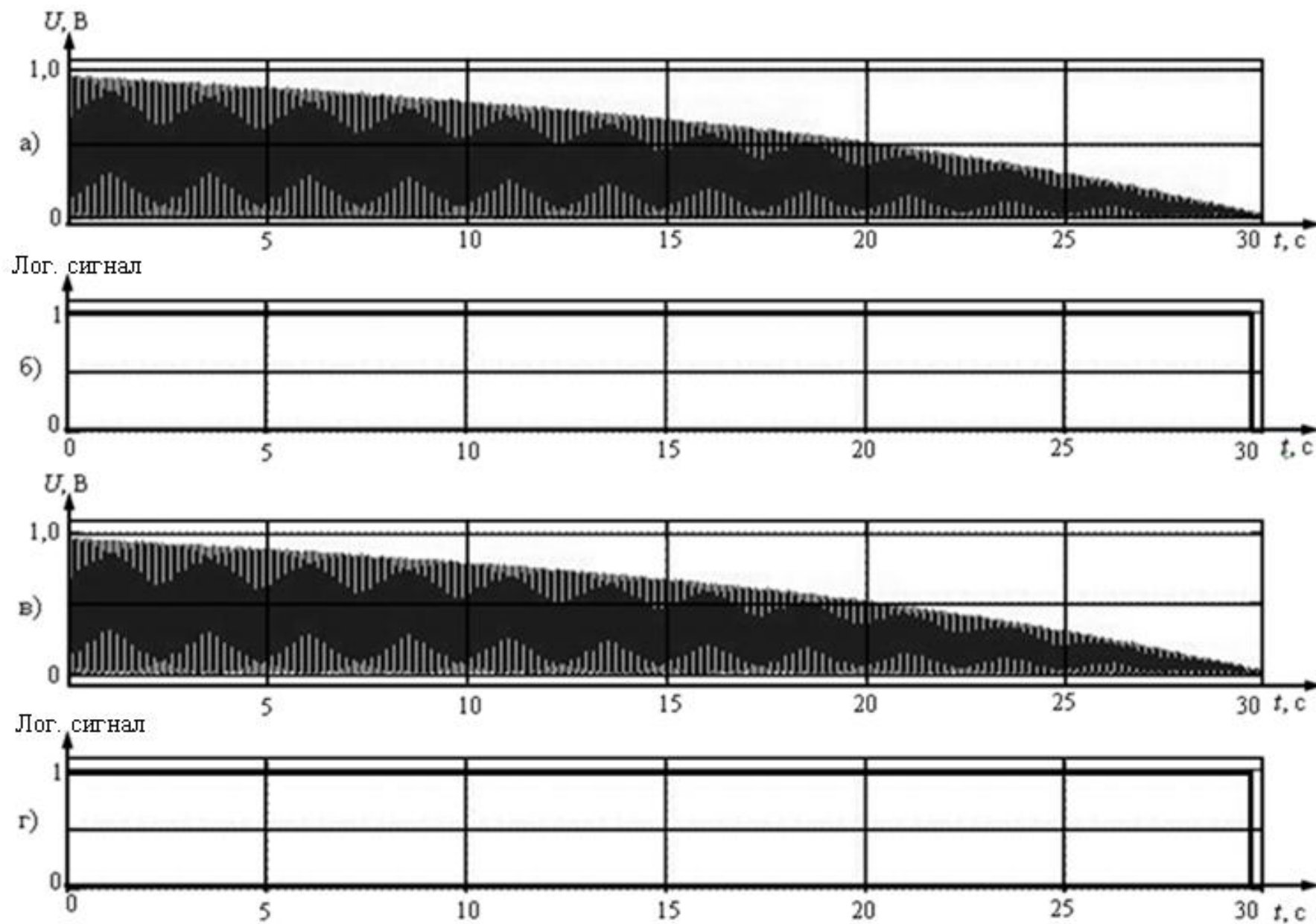


Рисунок В.5 – Графики сигналов, поясняющие алгоритм фиксации зависимости $U_{1(2)}$ от $U_{ПШ}$

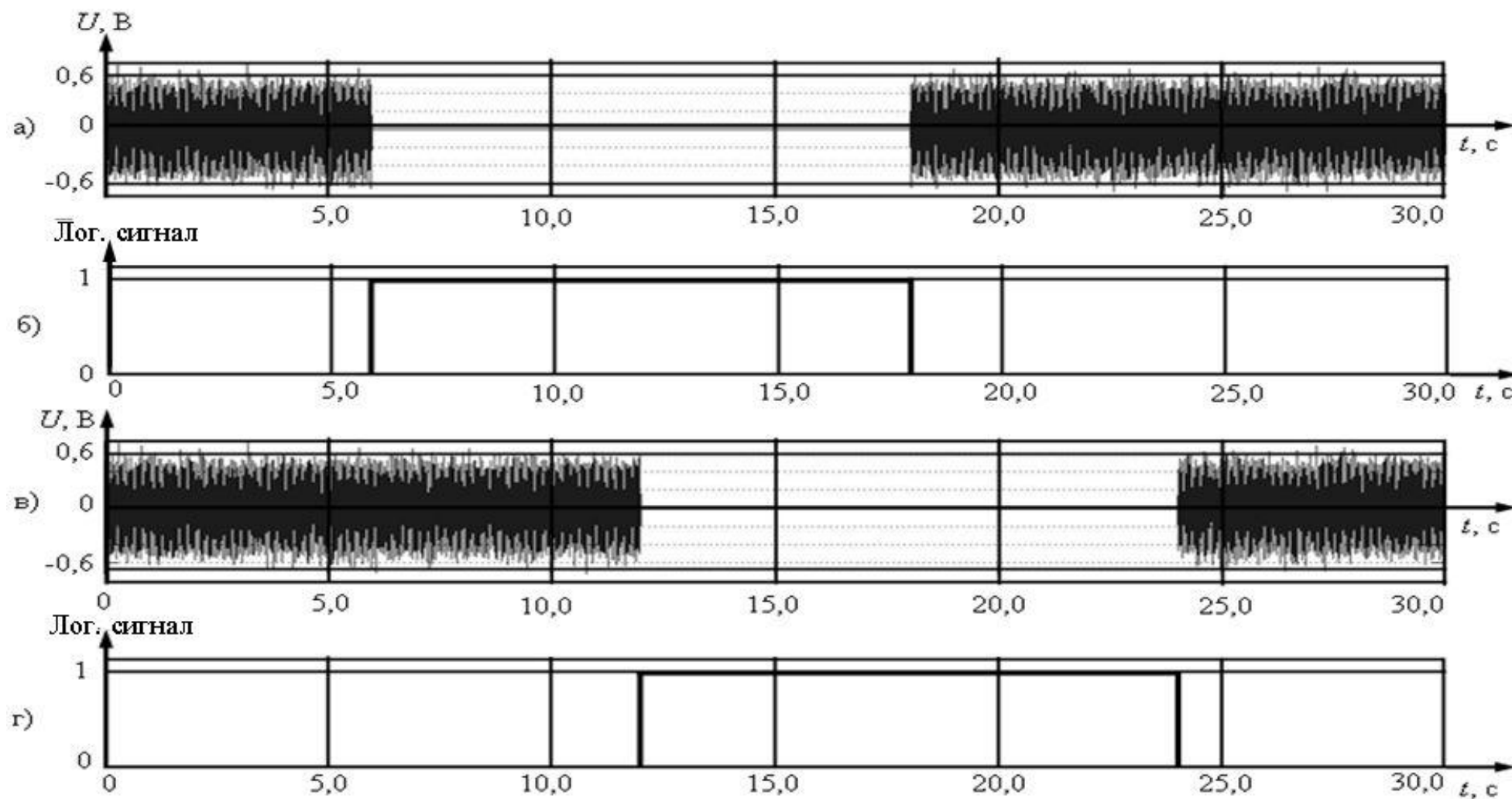


Рисунок В.6 – Графики, представляющие процесс проследования поезда по контролируемым участкам пути

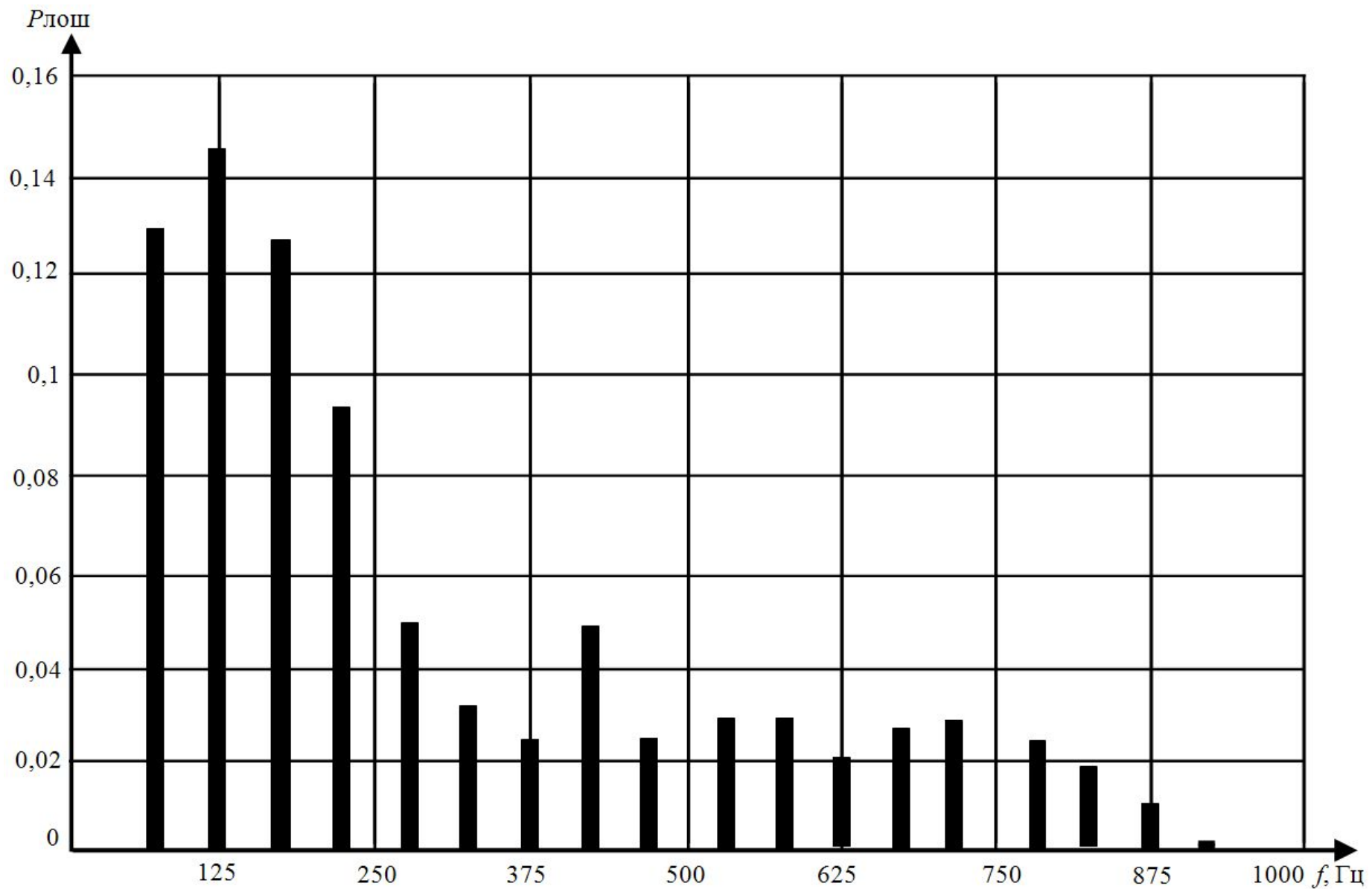


Рисунок В.7 – Гистограмма распределения средней вероятности ошибок «ложная цель» при приеме АМ-сигнала в функции частоты несущей сигнала РЦ

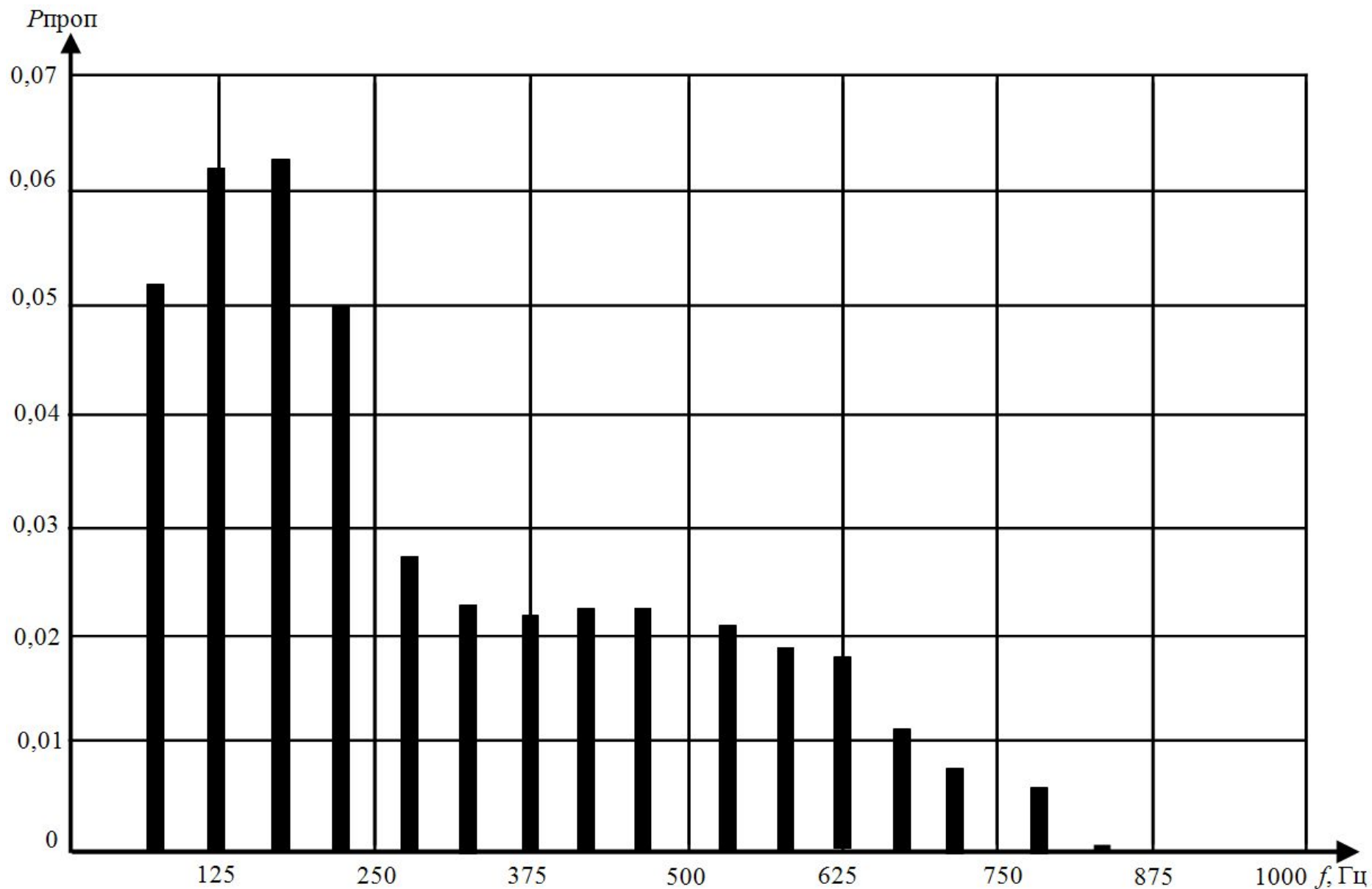


Рисунок В.8 – Гистограмма распределения средней вероятности ошибок «пропуск цели» при приеме АМ-сигнала в функции частоты несущей сигнала РЦ

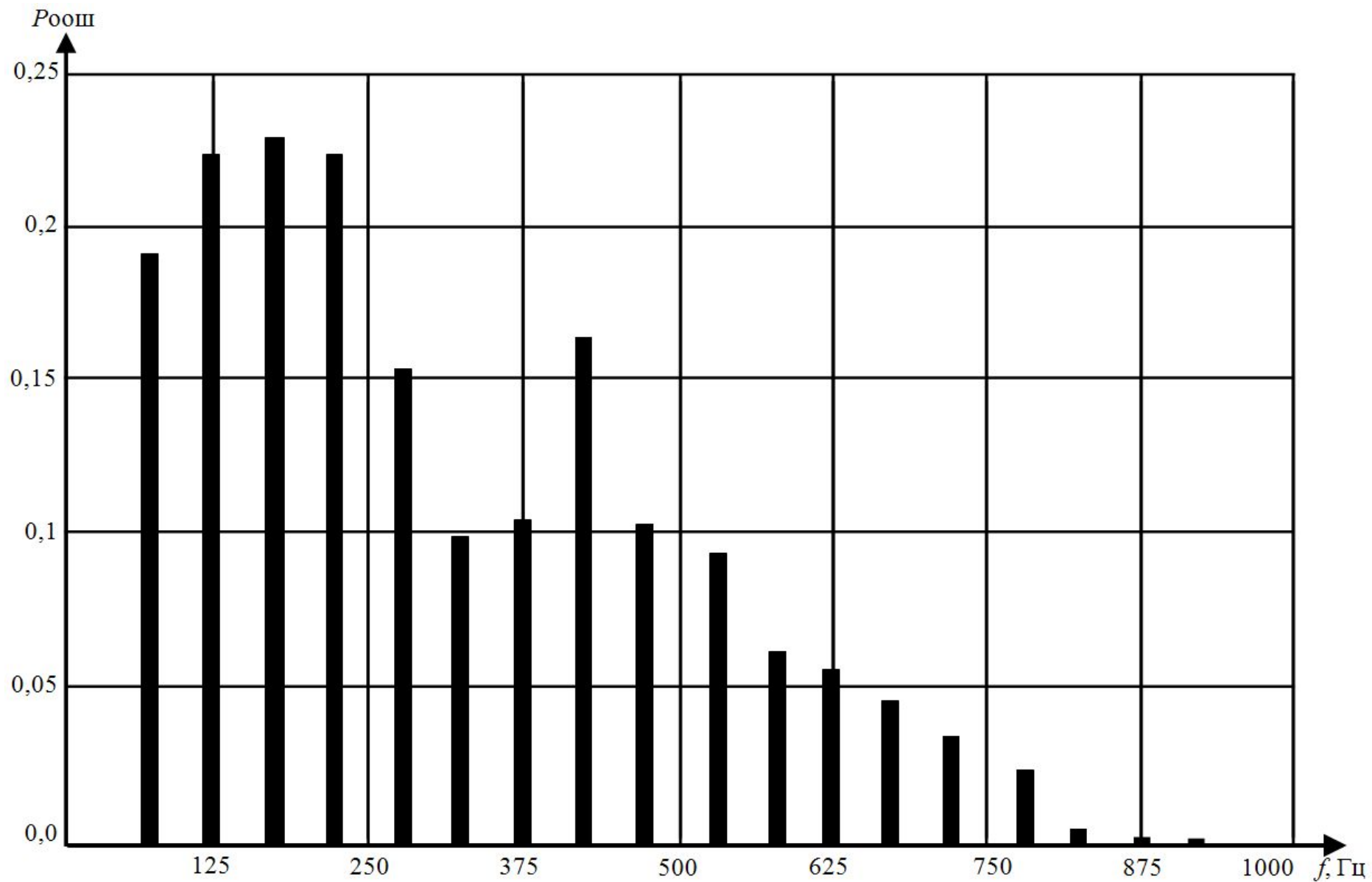


Рисунок В.9 – Гистограмма распределения средней вероятности общего количества ошибок при приеме АМ-сигнала в функции частоты несущей сигнала РЦ

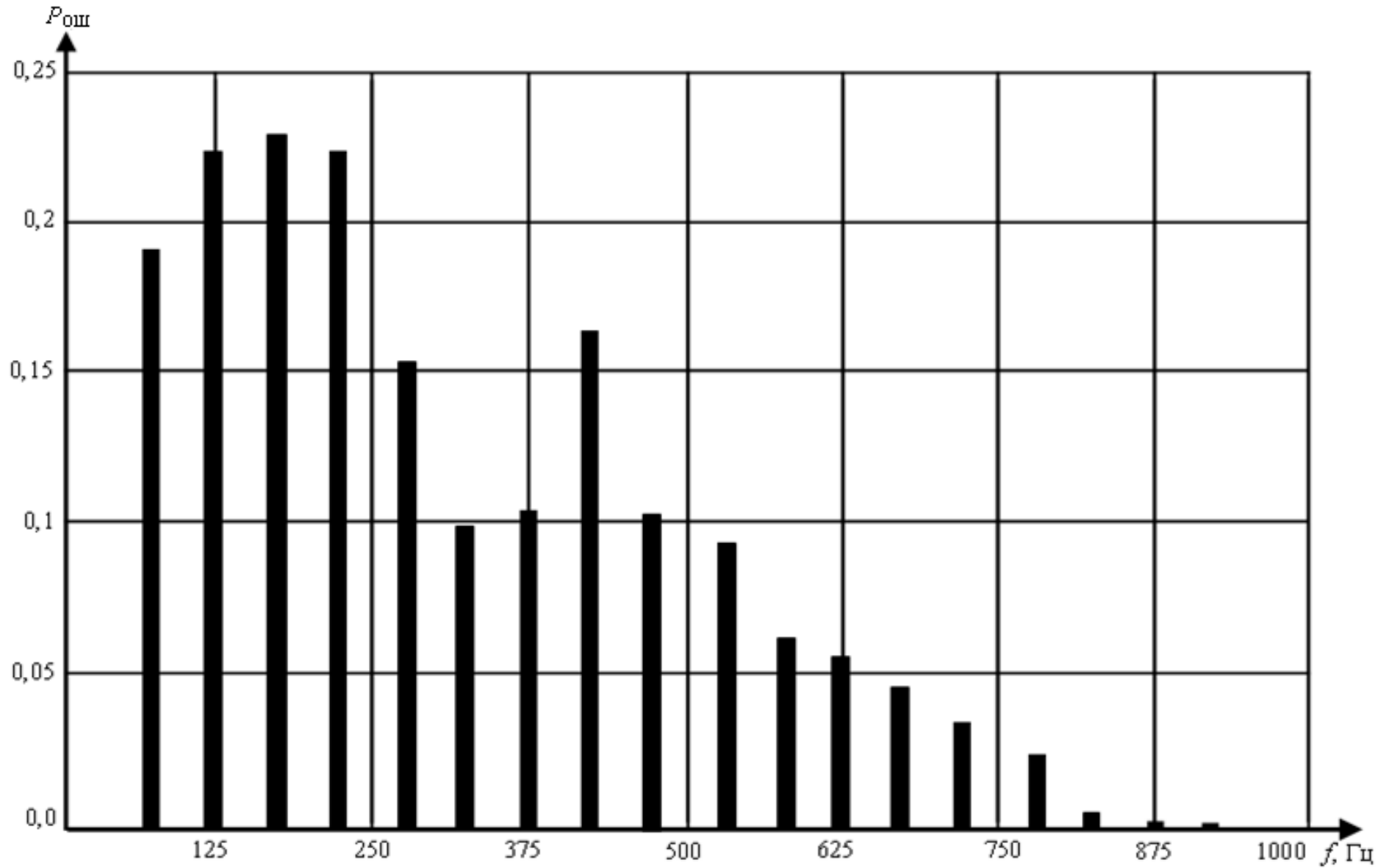


Рисунок В.10 – Гистограмма распределения вероятности ошибки при приеме сигнала с ФРМ-2 в функции частоты несущей сигнала

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Документы интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 162681

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
СИГНАЛОВ В РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ

Патентообладатель(ли): *Леушин Виталий Бениаминович (RU),
Черезов Григорий Анатольевич (RU), Ахмадуллин Фанис
Ринатович (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015141237

Приоритет полезной модели 28 сентября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 03 июня 2016 г.

Срок действия патента истекает 28 сентября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017614973

Имитационная модель установки для оценки помехоустойчивости канала с индуктивно-рельсовой линией в зависимости от частоты несущей сигнала

Правообладатель: *Леушин Виталий Бениаминович (RU)*

Авторы: *Леушин Виталий Бениаминович (RU), Жилыева Светлана Николаевна (RU), Вуколова Надежда Олеговна (RU), Сафиуллина Ильмира Саматовна (RU), Ахмадуллин Фанис Ринатович (RU)*

Заявка № 2017610454

Дата поступления 10 января 2017 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 02 мая 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017617846

**Имитационная модель помех в рельсовых и
индуктивно-рельсовых линиях от постоянного тягового тока**

Правообладатель: *Леушин Виталий Бениаминович (RU)*Авторы: *Ахмадуллин Фанис Ринатович (RU), Юсупов Руслан
Рифович (RU), Леушин Виталий Бениаминович (RU)*Заявка № **2017614688**Дата поступления **24 мая 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **13 июля 2017 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивлиев**



190
ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

Документы о внедрении результатов диссертационного исследования



**Общество с ограниченной ответственностью
«Бомбардье Транспортейшн Рейл Сигнал»**

ООО «Бомбардье Транспортейшн Рейл Сигнал»

Россия, 129344, Москва, ул. Енисейская, д.1, стр.2, комн.2218

Тел.: (499) 750-07-55, факс (499) 750-15-75

ОКПО 17400844, ОГРН 1137746312538,

ИНН 7701994466, КПП 771601001

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Ахмадуллина Фаниса Ринатовича на тему «Повышение устойчивости функционирования рельсовых цепей к изменению сопротивления изоляции рельсовой линии и воздействию помех от тягового тока»

Комиссия, назначенная генеральным директором ООО «Бомбардье Транспортейшн Рейл Сигнал» к.т.н. Романчиковым А.М. в составе первого заместителя генерального директора Болотского Д.Н.,

составила настоящий Акт в том, что результаты диссертационной работы Ахмадуллина Ф.Р. использованы в разработках ООО «Бомбардье Транспортейшн Рейл Сигнал», выполняемых в соответствии с планами ОАО «РЖД» по развитию и внедрению новой техники и прогрессивных технологий в системы управления движения поездов, в части:

– обоснования структуры и принципов построения помехоустойчивых каналов в системах электрической централизации, автоблокировки автоматической локомотивной сигнализации, использующих рельсовые цепи;

– оценки и прогнозирования на основе имитационного моделирования помехоустойчивости приемных устройств, в частности рельсовых цепей, в условиях пониженного сопротивления изоляции рельсовой линии и наличия аддитивных флуктуационных и импульсных помех от тягового тока;

Конкретно по работе внедрено:

– по теме «Повышение устойчивости функционирования рельсовых цепей к изменению сопротивления изоляции рельсовой линии и воздействию помех от тягового тока»

Использование результатов диссертационной работы позволило обеспечить конкурентоспособность разработок компании на мировом рынке.

Имитационная математическая модель аддитивных флуктуационных помех от тягового тока, разработанная в диссертационной работе, применяется при оценке помехоустойчивости каналов с рельсовыми линиями.

Генеральный директор

Романчиков А.М.

Первый заместитель
Генерального директора

Болотский Д.Н.




ИНФОТРАНС

 АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
 ИНФОРМАЦИОННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
 (АО НПЦ ИНФОТРАНС)

 443001, г. Самара, ул. Полевая, 47
 Тел. (846) 337-51-26, факс (846) 337-52-18, ж.д. 2-23-58
 E-mail: office@infotrans-logistic.ru
 www.infotrans-logistic.ru


6.10.2017 № 1518/1 на № _____ от _____

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
 Ахмадуллина Фаниса Ринатовича на тему «Повышение устойчивости
 функционирования рельсовых цепей к изменению сопротивления
 изоляции рельсовой линии и воздействию помех от тягового тока»

Комиссия, в составе:

Председателя:

Качура В.И. – исполнительного директора, кандидата технических наук,

Членов комиссии:

Урсова С.Н. – заведующего отделом, кандидата технических наук;

Привалова В.Д. – ведущего научного сотрудника, кандидата технических наук;

Белоусова Ю.В. – научного сотрудника,

назначенная приказом генерального директора от 04.10.2017 г. № 77/ОД,
 составила настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы
 Ахмадуллина Ф. Р. использованы в разработках АО НПЦ ИНФОТРАНС по
 созданию подвижных средств контроля параметров рельсовых цепей и
 сигналов в части:

– оптимизации параметров датчиковой аппаратуры и средств
 предварительной обработки сигналов рельсовых цепей;

– разработки программных средств представления информации о
 характеристиках сигналов и помех, а также состоянии изоляции рельсовых
 цепей.

Председатель комиссии

В.И. Качур

Члены комиссии:

Урсов С.Н.

Привалов В.Д.

Белоусов Ю.В.



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
 (СамГУПС)**

УТВЕРЖДАЮ»
 Ректор Самарского государственного
 университета путей сообщения
 Д.В. Железнов
 10 _____ 2017 г.



АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Ахмадуллина Ф.Р. на тему
 «Повышение устойчивости функционирования рельсовых цепей к изменению
 сопротивления изоляции рельсовой линии и воздействию помех от тягового тока»
 в учебном процессе Самарского государственного университета путей сообщения
 (СамГУПС)

Мы, нижеподписавшиеся, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» (АТС), к.т.н., доцент Гуменников В.Б., профессор кафедры «АТС», к.т.н., профессор Леушин В.Б., составили настоящий акт о том, что результаты кандидатской диссертации Ахмадуллина Ф.Р. внедрены в учебный процесс на кафедре «АТС», а именно:

1. В курсе дисциплины «Измерения в устройствах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте» (в лекциях, лабораторных и практических работах).
2. В курсе дисциплины «Автоматика и телемеханика на перегонах» (в лекциях, лабораторных и практических работах).
3. В дипломном и курсовом проектировании.

Заведующий кафедрой
 «АТС на ж.д. транспорте», к.т.н., доц.

проф. кафедры «АТС на ж.д. транспорте»,
 к.т.н., профессор




Гуменников В.Б.

Леушин В.Б.