

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



БАТРАЕВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ
СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ**

2.9.4. Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Розенберг Ефим Наумович

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ЕЕ РАЗВИТИЯ.....	13
1.1 Отказы технических средств	15
1.2 Инновационная деятельность	18
1.3 Проблемы европейской системы ERTMS	20
1.4 Решение задач в рамках концепции «Цифровая железная дорога»	22
1.5 Постановка задачи научного исследования	46
Выводы по главе 1	49
ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БОРТОВЫХ И НАПОЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ.....	51
2.1 Совершенствование инфраструктуры.....	53
2.2 Экономическая оценка уменьшения тормозного пути при приеме грузовых поездов на станции	71
2.3 Режим пропуска поездов по участку при предоставлении «окон» большой длительности.....	77
2.4 Совершенствование инфраструктуры, как совокупности технических средств железнодорожной автоматики	80
2.5 Методика повышения надежности работы ЖАТ путем функционального замещения и диагностики сигналов рельсовых цепей.....	92

Выводы по главе 2	97
ГЛАВА 3. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БОРТОВЫХ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	98
3.1 Программно-аппаратный комплекс регистрации сигналов из рельсовых цепей.....	99
3.2 Алгоритмы обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации бортовыми устройствами.....	109
3.3 Методы приема и синхронизации сигналов автоматической локомотивной сигнализации.....	116
3.4 Метод уточнения координаты поезда по данным от напольных устройств автоматики.....	129
Выводы по главе 3	139
ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ	140
4.1 Алгоритм проследования подвижным составом сигналов ограничения от систем обеспечения безопасности движения поездов с большей скоростью и оценка его рисков.....	142
4.2 Анализ импортнезависимости в бортовых приборах обеспечения безопасности и системах интервального регулирования	164
4.3 Анализ стоимостных показателей для устройств железнодорожной автоматики различного уровня полноты безопасности.....	170
Выводы по главе 4	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	184

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	186
ПРИЛОЖЕНИЕ А РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАЛИЧНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕГОНА.....	206
ПРИЛОЖЕНИЕ Б РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ПОЕЗДОК ПО МЦК (ПЕРВЫЙ ПУТЬ).....	209
ПРИЛОЖЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ПОЕЗДОК ПО МЦК (ВТОРОЙ ПУТЬ).....	237
ПРИЛОЖЕНИЕ Г АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	256

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Вопросы повышения эффективности использования пропускной способности, обеспечения безопасности движения, повышения надежности функционирования технических средств были и остаются важнейшими для железных дорог.

Безопасное функционирование железнодорожного транспорта, как сложной технико-технологической системы, требует обеспечения согласованной политики в области эксплуатации, разработки новых принципов построения, для совершенствования существующих локомотивных и стационарных технических средств обеспечения безопасности движения поездов, а также разработки новых нормативных технических документов с учетом минимизации влияния человеческого фактора на процесс организации движения поездов. Сбои и отказы технических средств и несовершенство алгоритмов обработки в бортовых системах сигналов локомотивной сигнализации (АЛС), их недостаточная функциональность, являются существенным ограничителем эффективного использования пропускной способности железнодорожных линий.

В связи с этим особенно важно сформировать новый комплекс научных и практических методов по организации движения и функционированию технических средств обеспечения безопасности, которые позволят качественно увеличить показатели использования пропускной способности линий при минимизации затрат в инфраструктуру.

Степень разработанности темы исследования. В основе предложенных методик и способов лежит развитие теории систем интервального регулирования, многоуровневой системы управления процессом движения поездов и теории надежности. Существенный вклад в исследования по данным тематикам внесли Абрамов В.В., Абрамов В.М., Баранов Л.А., Бестемьянов П.Ф., Брылеев А.М., Гавзов Д.В., Горелик А.В., Дмитриев В.С., Дмитренко И.Е., Долгий И.Д., Ерофеев Е.В., Козлов П.А., Кравцов Ю.А., Лисенков В.М., Никитин А.Б.,

Никифоров Б.Д., Розенберг Е.Н., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шалягин, Д.В., Шаманов В.И., Шубинский И.Б., и др.

Для железных дорог задача эффективного использования пропускной способности является актуальной, несмотря на стремительное развитие бортовых и инфраструктурных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов.

Относительно европейских стран, за счет сложности и высокой стоимости технических средств, внедрение системы ERTMS второго уровня не подтвердило заложенные в нее возможности по обеспечению максимальной эффективности использования пропускной способности, а более эффективная система ERTMS третьего уровня пока не нашла широкого применения. Связано это в первую очередь с сложностью доказательства ее безопасности.

Применительно к российским железным дорогам, повышение эффективности использования пропускной способности, с учетом критерия минимизации затрат в инфраструктуру и технические средства, может быть достигнуто путем совершенствования алгоритмов работы устройств железнодорожной автоматики и методик обработки информации.

Объект исследования - автоматизированные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов, методы организации движения поездов с применением технических средств с расширенными функциональными возможностями.

Предмет исследования - инфраструктурные и локомотивные технические средства обеспечения безопасности движения поездов, методики, алгоритмы и модели оценки рисков, способы и инструменты эффективного использования пропускной способности железнодорожных линий.

Цель и задачи. Целью работы является обеспечение надежного функционирования системы управления и обеспечения безопасности на основе технических и технологических решений в области эффективного использования пропускной способности железнодорожных линий.

В соответствии с этой целью были поставлены следующие теоретические и практические задачи:

— Анализ существующих технических средств управления и обеспечения безопасности движения поездов.

— Разработка методики эффективного использования пропускной способности при функциональном резервировании систем обеспечения безопасности движения поездов.

— Анализ эффективности использования пропускной способности в нештатных ситуациях, связанных с закрытием одного из путей перегона при ремонтах и отказах отдельных рельсовых цепей в системе автоблокировки.

– Разработка принципов повышения достоверности приема информации в канале передачи данных локомотивной сигнализации, обеспечивающей минимизацию времени принятия решения в системе обеспечения безопасности движения поездов и использование полученной информации из рельсовых цепей для решения задачи позиционирования подвижного состава.

— Разработка принципов повышения скорости проследования напольных сигналов в системе обеспечения безопасности движения поездов и разработка алгоритма, позволяющего их реализовать с требуемым уровнем интенсивности опасных отказов.

— Разработка методики выбора элементной базы с учетом функциональной полноты и импортонезависимости.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Предложена и обоснована методика повышения эффективности использования пропускной способности за счет функционального резервирования систем обеспечения безопасности движения поездов, отличающаяся возможностью повышения надежности работы систем интервального регулирования при ограниченности аппаратных средств.

2. Разработана и обоснована методика эффективного использования пропускной способности в нештатных ситуациях, связанных с закрытием одного из путей перегона при ремонтах и отказах отдельных рельсовых цепей в системе автоблокировки.

3. Предложены и обоснованы новые технические решения и способ, реализующие повышение достоверности приема информации в канале локомотивной сигнализации, а также методика позиционирования местоположения подвижной единицы на основе данной информации, которая в отличие от аналогичных методик обеспечивает более высокую точность полученных результатов.

4. Разработан и апробирован технологический алгоритм проследования железнодорожным подвижным составом напольных сигналов с повышением скорости при гарантированной безопасности.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость исследования:

1. Обоснован новый способ эффективного использования пропускной способности, учитывающий локомотивные системы как дополнительный элемент диагностики и резервирования инфраструктурных систем обеспечения безопасности движения поездов.

2. Исследованы и предложены новые технико-технологические решения, позволяющие эффективно использовать пропускную способность в нештатных ситуациях, связанных с ремонтом инфраструктуры, обеспечивая необходимые межпоездные интервалы.

3. Сформулированы новые принципы и методика обработки фазоманипулированных сигналов с целью повышения достоверности и обеспечения минимизации времени принятия решения в системах обеспечения безопасности движения поездов, а также комплексные методы использования сигналов из рельсовых цепей.

Практическое значение результатов, полученных в ходе работы над диссертационным исследованием:

1. Разработанные технические и технологические решения были использованы в нормативных документах ОАО «РЖД»: Технических требованиях на локомотивные устройства безопасности нового поколения, утвержденных распоряжением №2995/р от 30.12.2020, а также Концепции развития локомотивных устройств безопасности, утвержденной распоряжением №123/р от 28.01.2020.

2. Использование предложенных в диссертации технико-технологических решений и способов эффективного использования пропускной способности позволяет сократить инвестиционные затраты, связанные с модернизацией и обновлением объектов инфраструктуры, а также обеспечить сокращение межпоездного интервала и времени хода подвижного состава как по станции, так и по перегону. Рассчитан экономический эффект от внедрения: более 235 млн.руб. в год, в случае движения по станции, а также четырехкратное сокращение времени следования по участку с неисправной рельсовой цепью. Данные результаты были включены в отчеты АО «НИИАС» по соответствующим разделам при внедрении новых технических средств.

3. Предложенные технологические методы обработки сигналов из рельсовых цепей бортовыми приборами обеспечения безопасности позволили сократить количество сбоев приема кодов более чем на 25%, времени принятия решения более чем на 30% и сформировать дополнительный источник навигационных данных с точностью до 1 метра.

4. Практически подтверждены показатели надежности отечественной элементной базы для ее использования в ответственных системах.

Методология и методы исследования. Для получения результатов исследования использовались: экспериментальные исследования на полигонах ОАО «РЖД», теория надежности, методы частотного анализа, математический анализ, методы имитационного моделирования, теория связи.

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ использования функционального резервирования систем обеспечения безопасности движения поездов при критерии минимизации затрат в инфраструктуру;
2. Методика повышения эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий в нештатных ситуациях, отличающаяся от известных развитием функциональных возможностей систем интервального регулирования;
3. Способ приема сигналов из рельсовых цепей, отличающийся от стандартного декодирования установлением точки выборки по синхросигналу, формируемому изменением фазы.
4. Методика и программно-аппаратный комплекс позиционирования подвижного состава на основе информации из рельсовых цепей;
5. Алгоритм формирования кривой торможения, отличающийся от существующего переходом к ее упреждающему расчету вместо записанной в память кривой торможения для различных уклонов, обеспечивающий проследования подвижным составом напольного сигнала с большей скоростью.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается результатами их успешных испытаний на сети железных дорог, соответствием результатов эксплуатации технических средств обеспечения безопасности движения результатам, полученным в ходе теоретических исследований и имитационного моделирования, обоснованностью принятых допущений, корректностью использования математического аппарата. Полученные результаты не противоречат исследованиям других авторов.

Основные положения диссертационной работы обсуждены на следующих международных и всероссийских научно-практических конференциях и симпозиумах: XIV Научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов» 2013 г.; XV Научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов» 2014 г.; XVI Научно-практическая конференция «Безопасность движения

поездов» 2015 г.; НТС ОАО «РЖД» заседание секции «Комплексные проблемы транспорта» 2015г.; Заседание кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» РУТ МИИТ 2016 г.; IX Международная Конференция «Системы безопасности на транспорте» г. Будва (Черногория) 2017; XIX Всемирный фестиваль молодежи и студентов. Международная научно-практическая конференция «XXI Век: Молодость интеллекта» 2017; XI Международная Конференция «Системы безопасности на транспорте» г. Любляна (Словения), 12-14 апреля 2018 г.; НТС АО «НИИАС» по теме «Задача применения сертифицированных операционных систем в продукции отделения СУ и ОБДП» 2018 г.; НТС ОАО «РЖД» заседание секции «Автоматика и телемеханика» 2018 г.; XII Международная Конференция «Системы безопасности на транспорте» г. Блед (Словения); IV Международная научно-техническая конференция «Транспортное строительство в холодных регионах» (TRANSOILCOLD 2019), 20-23 мая 2019 г.; НТС ОАО «РЖД» по безопасности движения заседание секции «Локомотивное хозяйство» 2020 г.; НТС АО «НИИАС» по теме «Организация беспилотной системы управления движением поездов на Московском центральном кольце (МЦК)» 2020г.; X Национальная научно-техническая конференция Союза машиностроителей России 2020 г.; Заседание кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» РУТ МИИТ 2021 г.

Результаты диссертации внедрены:

1. При разработке технических требований к локомотивным устройствам безопасности нового поколения, утверждены Главным инженером ОАО «РЖД» Кобзевым С.А. распоряжением № 2995/р от 30.12.2020 и концепции развития локомотивных устройств безопасности, утверждена Главным инженером ОАО «РЖД» Кобзевым С.А. распоряжением №123/р от 28.01.2020.

2. При разработке АО «НИИАС» принципов построения технических средств для режимов автоведения («Виртуальная сцепка»).

3. При разработке АО «НИИАС» технических средств бортовых систем обеспечения безопасности, комплексов регистрации и диагностики автоматической локомотивной сигнализации, а также автоблокировки.

4. При внедрении АО «НИИАС» отечественных вычислителей в структуру бортовых приборов обеспечения безопасности и автоблокировки.

Акты внедрения приведены в приложении диссертационной работы.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы с приложениями – 263 страницы. Диссертация содержит 87 рисунков, 16 таблиц, 4 приложения и 160 источников.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И ПЕРСПЕКТИВА ЕЕ РАЗВИТИЯ

Для железных дорог вопросы повышения эффективности использования пропускной способности и обеспечения безопасности движения были и остаются актуальными и высокоприоритетными. Решение данных вопросов обеспечит качественную и своевременную перевозку пассажиров и грузов, снижение эксплуатационных расходов ОАО «РЖД» [1, 2], построение объектов инфраструктуры при использовании современных технологий, сохранение высочайшего уровня полноты безопасности, в том числе и экологической [3, 4], в едином технологическом процессе.

Быстрый рост промышленного комплекса и экономики Российской Федерации в ближайшие десятилетия будет обеспечен за счет повсеместного внедрения цифровой экономики. В рамках цифровизации, железные дороги определены как ключевой элемент стратегии национального развития. Они должны решать сложные социально-экономические проблемы обеспечения качественных услуг для населения страны, оказывать существенное влияние на развитие промышленного производства, разрабатывать и водить в эксплуатацию новые надежные транспортно-логистические маршруты для нужд мировой экономики.

В настоящее время ОАО «РЖД» располагает достаточной информацией и средствами реализации технологических процессов, в то время как автоматизация все еще недостаточна из-за отсутствия необходимой координации между инфраструктурными техническими средствами (информационными системами) и элементами управления в рамках единого информационного кластера. Отсутствие многоуровневого взаимодействия всего комплекса управления движением,

фактически, делает невозможной реализацию комплексных технологий не только организации движения, но и диагностики (BigData), а также ремонта [5].

Наиболее эффективным методом развития железной дороги, как это признано в отечественной и мировой практике, является в большей степени не объем капитальных вложений, а совершенствование систем управления движением поездов и в первую очередь обеспечение их безопасности и повышенной надежности [5].

Для реализации вышеописанного создаются инновационные технические средства, технологии, интеллектуальные системы управления, при глубокой интеграции спутниковых технологий и при использовании современных цифровых сетей связи. «Решение задачи интеллектуализации систем управления движением поездов возможно на основе достоверной оценки показателей надежности и безопасности технических средств инфраструктуры, прогноза изменения данных показателей и путем сведения к минимуму влияния человеческого фактора на систему управления, что достигается методами автоматизации процесса принятия решений» [6].

1.1 Отказы технических средств

В настоящий момент проводится системная работа по повышению надежности работы технических средств. В среднем в течение года в границах сети железных дорог учитывается порядка 2-2,5 тыс. отказов технических средств 1 и 2 категории [7], оказывающих влияния на перевозочный процесс.

Учету подлежат отказы технических средств не только подразделений ОАО «РЖД», осуществляющих деятельность в границах дороги, но и сторонних организаций, в том числе сервисных, осуществляющих обслуживание и ремонт локомотивов на всем его жизненном цикле.

Среди подразделений ОАО «РЖД» (на которые приходится примерно треть от всех учтенных отказов) наибольшее количество отказов допускается подразделениями хозяйства пути и хозяйства автоматики и телемеханики, порядка 35% отказов учитывается за сервисной компанией ООО «ЛокоТех-Сервис», 30% отказов – за сторонними организациями с наибольшим их количеством – по ответственности частных вагоноремонтных компаний [8].

В настоящее время учет отказов технических средств в ОАО «РЖД» построен на анализе нарушений графика движения поездов в системе «ГИД-Урал» и пометок, проставляемых диспетчерским персоналом. Незначительная часть информации поступает из других автоматизированных систем, однако ее первоисточником является человек, вручную осуществляющий ввод информации (АСУ-ВОП, АСУ-Ш и т.п.). Таким образом, осуществляется учет вручную введенной персоналом информации, которая получена им из различных источников. Это не обеспечивает достоверность информации, допускает неверное толкование, ошибки и неточности.

Кроме того, в существующей системе учета категория отказа зависит не от вида оборудования и тяжести выхода его из строя, а от количества задержанных поездов и продолжительности задержек. Такая система позволяет учитывать

отказы, оказавшие наибольшее влияние на перевозочный процесс, но абсолютно не учитывает технические аспекты отказов. В условиях плотного поездопотока даже несущественные отказы приводят к массовой задержке поездов. Также необходимо отметить, что классификатор отказов в системе КАСАНТ не в полной мере позволяет детализировать отказавшие узлы и элементы технических средств [9].

Все вышесказанное не позволяет проводить достоверный и качественный анализ причин выхода из строя оборудования и, как следствие, оценку надежности технических средств.

Мероприятия, разрабатываемые по повышению надежности технических средств, в большинстве своем направлены на снижение количества отказов в целом за счет замены устаревших и низконадежных элементов и устройств. При этом практически не уделяется внимание повышению эксплуатационной надежности существующих устройств за счет эффективных и малозатратных технических решений. В связи с этим на фоне небольшого количества вновь поставляемых устройств эффект от их внедрения незначительный.

Для минимизации влияния отказов технических средств на перевозочный процесс необходимо достигнуть ожидаемого уровня надежности технических систем, при котором отказы эксплуатационного и деградационного характера должны быть сведены к минимуму, исключены отказы по влиянию персонала, а отказы конструкционного характера не превышать заявленного производителем уровня безотказности конкретно взятого элемента или оборудования.

Для повышения достоверности учета отказов технических средств, в том числе по первопричине их возникновения, необходимо минимизировать влияние человеческого фактора при получении информации об отказе, осуществив поэтапный переход от систем ручного ввода информации к системам автоматического мониторинга, онлайн-диагностики и удаленного контроля состояния технических средств с фиксацией предельных отклонений и интеграцией с КАСАНТ (АПК ДК, компьютеризированные мобильные средства

диагностики инфраструктуры, системы самодиагностики подвижного состава с передачей информации по сетям сотовой связи [9].

1.2 Инновационная деятельность

На период до 2025 года основные направления научно-технического развития холдинга изложены в Стратегии научно-технического развития ОАО «РЖД», также известной как «Белая книга» [10]. В Стратегии выделены основные направления научно-технического развития для исследования в рамках плана научно-технического развития ОАО «РЖД» (НТР ОАО «РЖД»). План НТР ОАО «РЖД» формируется на основе инновационных предложений, подаваемых как отраслевыми, так и общенаучными исследовательскими организациями, отраслевыми ВУЗами и другими организациями, в том числе и региональными и центральными подразделениями холдинга «РЖД». Процесс формирования плана НТР ОАО «РЖД» определён Регламентом формирования, реализации и контроля исполнения, утверждённым распоряжением ОАО «РЖД» от 19 января 2016 г. № 79р (далее – Регламент). Регламентом предусмотрены следующие основные этапы:

1. Формирование инициаторами инвестиционных предложений, передача предложений в профильные центральные дирекции и департаменты.
2. Рассмотрение предложений с оценкой их полезности, потенциала, реализуемости и тиражирования, формирование плана НТР ОАО «РЖД».
3. Проведение конкурсной кампании на выполнение работ плана НТР ОАО «РЖД», уточнение целевых параметров, заключение договоров с подрядчиками.
4. Выполнение работ, мониторинг полноты и качества выполняемых работ, соблюдения календарного графика.
5. Завершение работ, приёмка результатов, определение механизма тиражирования результатов.
6. Оценка эффективности результатов, тиражирование.

5. На текущий момент отсутствует обратная связь между центральными дирекциями и их региональными подразделениями, а также между Департаментом технической политики и железными дорогами при рассмотрении заявок на выполнение работ в рамках плана НТР ОАО «РЖД». После передачи

инновационных заявок инициаторы отстранены от участия в дальнейших процессах формирования окончательной редакции плана НТР ОАО «РЖД». Такая ситуация порождает две взаимосвязанные проблемы:

1. Отсутствие сведений о недостатках в заявочных материалах.
2. Отстранённость коллективов железных дорог и региональных дирекций от процессов формирования и реализации плана НТР ОАО «РЖД».

Железные дороги не контролируют выполнение, приёмку и использование результатов НИОКР, поскольку договоры на выполнение работ и отчётные документы дорогам не передаются, а исполнители не информируют о ходе выполнения работ и не предоставляют отчётные документы, ссылаясь на коммерческую тайну.

Центральные дирекции и управления имеют определённое видение о целевом состоянии уровня развития техники, технологий и состояния основных фондов подведомственных хозяйств в целом, которое не доводится до железных дорог, что приводит к дезориентации потенциальных исполнителей НИОКР в важности направлений исследований. В результате исследовательские коллективы, способные решить важные научно-технические задачи, отстраняются от этой работы.

1.3 Проблемы европейской системы ERTMS

Для железных дорог задача эффективного использования пропускной способности является актуальной, несмотря на развитие бортовых и инфраструктурных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. В европейских странах внедрение системы ERTMS второго уровня не подтвердило заложенные в нее возможности по обеспечению максимальной эффективности использования пропускной способности, за счет сложности и высокой стоимости технических средств, а более эффективная система ERTMS третьего уровня пока не нашла широкого применения из-за сложного доказательства ее безопасности.

ERTMS третьего уровня определяется в технической спецификации по интероперабельности систем сигнализации [11]. Изначально запланированная эффективность данной системы открывала перспективы эффективного использования пропускной способности, сокращения затрат, улучшения гибкости и повышения надежности. Уровень три не предусматривает использование напольного оборудования, для позиционирования поезда на железнодорожном полотне и отслеживания хвоста.

Существует ряд проблем внедрения уровня три [12]. Например, стандарт требуется оснащения поезда системой мониторинга целостности. Основная цель системы заключается в информировании центра автоблокировки данными о положении хвоста поезда, а также подтверждении физической его целостности. Использование контроля целостности состава на пассажирских поездах фиксированной длины может быть реализовано, в то время как для грузовых составов это остается проблемой.

До настоящего времени этот вопрос остается не решенным, поэтому поезда, не оборудованные контролем целостности, не могут быть использованы в инфраструктуре третьего уровня. Отдельно стоит отметить высокую стоимость центра автоблокировки и самих европейских бортовых систем.

Поезда могут не иметь соединения с центром радиоблокировки, как, например, в случае отключенного питания на стоянке или при потере связи. При отсутствии радиосвязи, движение поезда не может быть учтено самой системой. Даже если центр радиоблокировки запоминает последнее полученное сообщение о положении поезда и зону, в которой поезду было выдано разрешение на движение, нет гарантии того, что поезд останется в этой зоне, пока нет связи. Таким образом, без использования напольного оборудования задача определения положения поезда не может быть достоверно и надежно решена.

Возможен и другой сценарий, когда происходит перезапуск центра автоблокировки или его выход из строя, что может привести к потере всей информации о поездах, находящихся в зоне его действия. Восстановление после возникновения такой ситуации может быть достаточно сложным и занять длительное время, и непременно повлечет сбой процесса движения.

Отдельно проблемой является вопрос точности, а также возможная задержка получения сообщения. Возможна ситуация блокировки движения попутно следующего поезда, по причине невозможности задания нового маршрута, хотя по факту участок может быть свободен.

Все вышесказанное может резко сократить использование пропускной способности или даже полностью остановить движение на перегоне, так как при потере достоверной информации о положении поезда, ERTMS третьего уровня теряет его.

Таким образом, на основе разделов 1.1, 1.2 и 1.3, формулируется необходимость создания единой информационной инфраструктуры, обеспечивающей сквозное взаимодействие систем всех уровней. Именно таким проектом становится «Цифровая железная дорога». В рамках которой и выполнялось исследование.

1.4 Решение задач в рамках концепции «Цифровая железная дорога»

Концепция «Цифровая железная дорога» - реализация единого, непрерывного процесса организации движения поездов современными цифровыми методами и технологиями (Рисунок 1.1) [13].



Рисунок 1.1 – Непрерывный процесс организации движения поездов

Необходимо разделить задачу развития железной дороги на 2 части: техническую и технологическую. Именно комплекс мер позволит перейти на новый качественный уровень организации движения и парирования нештатных ситуаций, приводящих к неэффективному использованию пропускной способности.

Техническая часть включает в себя совершенствование систем автоматики и телемеханики, создание сквозной технологии взаимодействия систем, цифровые модели инфраструктуры и развитие цифровых каналов связи.

Технологическая часть включает организацию управления движением, системы и принципы интервального регулирования, организацию мониторинга состояния технического оборудования и автоматизацию отдельных технологических задач.

В настоящее время обеспечены все условия для внедрения многоуровневой системы инновационных технологий, связанных с концепцией цифровизации. Для функционирования в рамках единого комплекса, системы должны иметь доступ к глобальным компонентам единой системы [14]:

- Цифровым моделям инфраструктуры.
- Единому эталонному источнику синхронизации времени.
- Цифровым сетям связи.
- Системе высокоточного позиционирования.
- Системе непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры (система должна обеспечивать передачу диагностической информации, в том числе и об ограничениях скорости).
- Системе непрерывного мониторинга подвижного состава (система должна обеспечивать передачу диагностической информации, в том числе и об остаточном сроке службы).
- Средствам удаленного управления (удаленный оператор).
- Глобальной системе режима движения.
- Единой системе учета топливно-энергетических ресурсов.
- Локальным системам автоматизации технико-технологических операций.
- Системам контроля местонахождения и психофизического состояния обслуживающего персонала.

Взаимосвязь вышеописанных систем в едином комплексе позволяет реализовывать единую технологию движения, учитывая все возможные факторы. Частично вопросы были решены в рамках Системы пространственных данных объединенных поездов (КСПД ИЖТ) [15] и в ряде разработок [16 - 27].

Применение данной концепции организации движения и взаимодействия, позволяет резко сократить время принятия решения от момента поступления первичной информации, обеспечивая необходимые показатели достоверности и

ожидаемого эффекта, поэтому необходимо использовать именно цифровые технологии (Рисунок 1.2).

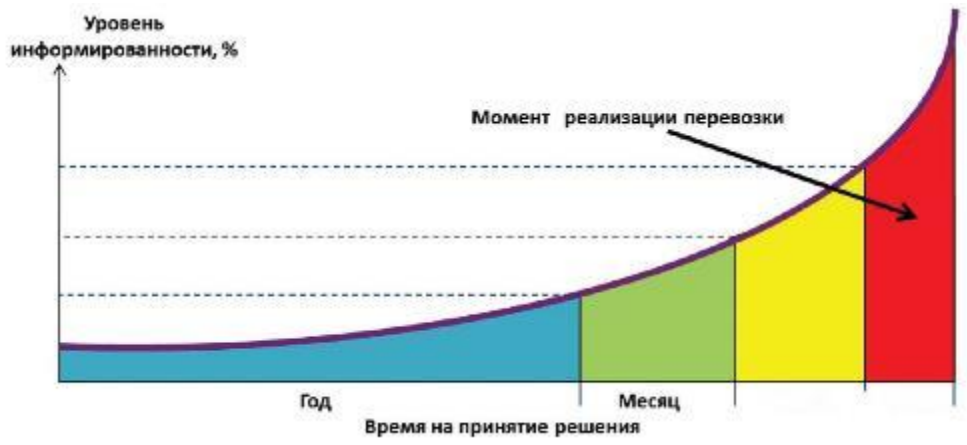


Рисунок 1.2 – Процесс накопления информации о состоянии систем

1.4.1 Технологические средства

Формулируются приоритетные направления применения новых технологий в организацию железнодорожных перевозок:

- создание сквозного технологического процесса грузовых перевозок согласно расписанию, с планированием «окон», резервированием локомотивов и бригад на глубину до 7 суток;
- повышение маршрутной скорости движения;
- оптимизация работ на станциях;
- обеспечение высокоскоростных перевозок;
- повышение коэффициента готовности объектов инфраструктуры;
- увеличение достоверности расследования и определения типов отказов;
- создание интеллектуальных систем имитационного моделирования пропускной способности железнодорожных участков [28].

1.4.1.1 Имитационное моделирование и технологии автоматизации

Создание эффективных систем имитационного моделирования является ключевым элементом для перехода к «Цифровой железной дороге». В соответствии со стандартом ISO 55000 (Asset Management), выпущенным Международным союзом железных дорог, имеется возможность с позиции риск-менеджмента оценить инфраструктуру в целом, а также данные о ней. Для использования данного подхода необходимо использовать современные имитационные модели, что формирует необходимость разделения и выделения двух ключевых составляющих процесса перевозки, а именно эффективность работы инфраструктуры и эффективность работы станций. При создании качественных моделей участков и отдельных станций имеется возможность качественно и большей долей вероятности оценить прогнозируемые параметры процесса перевозки.

Если представить современную потребность технологического обеспечения [29, 30], то следует отметить достаточную проработанность самого технологического процесса, с точки зрения развития систем идентификации и учета, сетей передачи данных и использования спутниковой навигации. Однако, если рассмотреть технологии регламентирования самих технологических процессов (разработка типовых процессов, разработка регламентов взаимодействия и их базы), их контроль (формирование ситуационных центров, контроль местоположения подвижного состава, формирование центров комплексной диагностики, взаимная интеграция различных систем управления и автоматизации [31]) и автоматизацию (создание технологии автомашинист и автодиспетчер, моделирование процессов перевозки в реальном времени, предиктивная и прескриптивная диагностика [32, 33]), картина становится совсем другой. Проработанность этих областей остается еще на достаточно низком уровне, не позволяя осуществить качественный скачок в развитии.

Данные для имитационных моделей являются большим массивом информации, однако проблемой их получения является отсутствие массового

внедрения диагностических технических средств, которые позволяли бы их получить. Фактически на современном этапе практически отсутствует разработанная технология внедрения и анализа данных о процессе перевозки не только с самого подвижного состава, но и с инфраструктурных средств автоматики. Применительно к каждому случаю выполняются научные изыскания и исследовательские работы, хотя создание сенсоров, как бортовых, так и инфраструктурных позволило бы осуществить качественное формирование актуальных аналитических данных, как самого главного критерия. Наличие таких данных в распоряжении научных институтов, а также интеграция автоматики, ее диагностика, при поддержке средствами информатизации, также формирует фундамент для перехода к концепции «Цифровой железной дороги».

На Рисунке 1.3 представлен пример реализации единой системы логистики на станции Лужская (Октябрьской ж.д.), на базе которой была реализована технология единого окна.

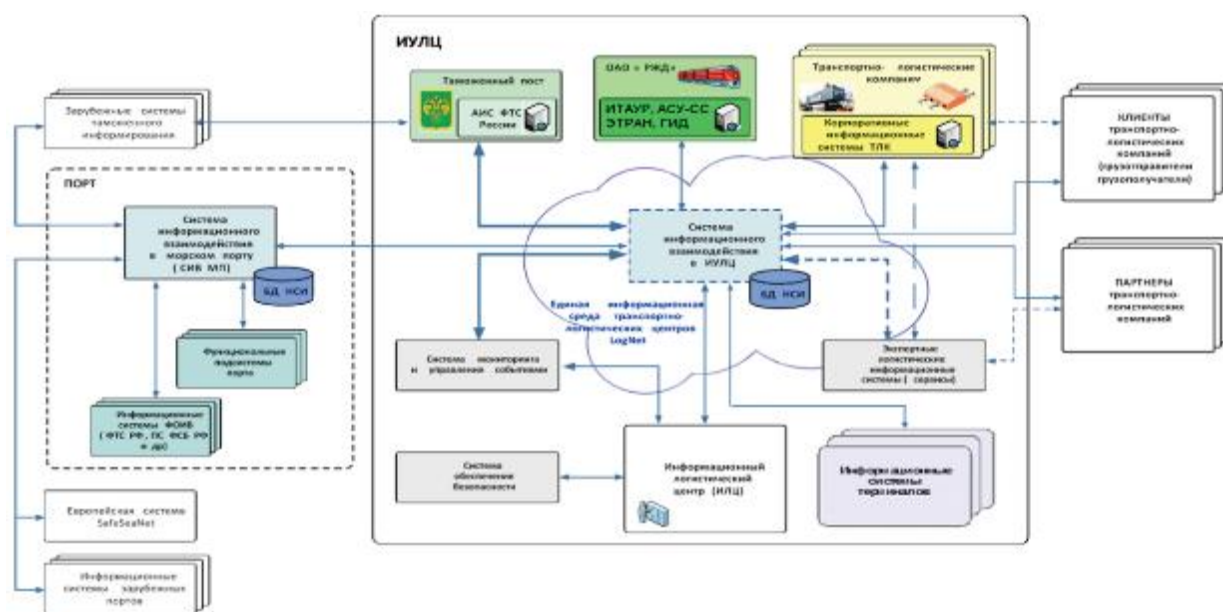


Рисунок 1.3 – Единая технология перевозок

Формируется необходимость координации проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с точки зрения развития и интеллектуализации железнодорожного транспорта. Важно выделить

отдельные направления и проводить комплексную работу по каждому из них, определяя на каждом этапе целесообразность разработки направления и насколько другие направления готовы к цифровизации. ОАО «РЖД» разработало Комплексную программу инновационного развития, которая соответствует, в том числе и мировым тенденциям [34-38] (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Мировые тренды технологического развития.

Развиваемые научно-технические и инновационные решения	КПИР-2020	Белая книга ЕС	Shift2Rail	Стратегический план ФЖА США
Повышение безопасности на базе интеллектуальных систем	•	•	•	
Снижение рисков, связанных с «человеческим фактором»	•			•
Повышение эффективности деятельности и рационализация логистики	•	•	•	•
Развитие мультимодальности перевозок	•	•	•	
Гармонизация требований при оказании услуг, «Единое окно»	•	•		
Развитие виртуальных и облачных клиентских сервисов	•	•	•	
Информатизация и цифровизация процессов управления движением	•	•	•	•
Развитие высокоскоростного движения	•	•	•	•
Новый подвижной состав	•	•	•	•
Повышение энергоэффективности	•	•	•	•
Новые двигатели Новые виды энергоресурсов	•	•	•	•
Усиление рационального природопользования	•	•		
Развитие инфраструктуры	•	•		•
Безлюдные технологии	•		•	•

Станции (Рисунок 1.4) — ключевой элемент организации управления движением. Создание достоверных моделей станций, как и отсутствие механизмов

контроля автоматизации технологических процессов, является большой проблемой.



Рисунок 1.4 – Станция как ключевой элемент

Станционная цифровая модель дает возможность определить основные характеристики, оказывающие большее влияние на эффективность процесса перевозок (Рисунок 1.5).

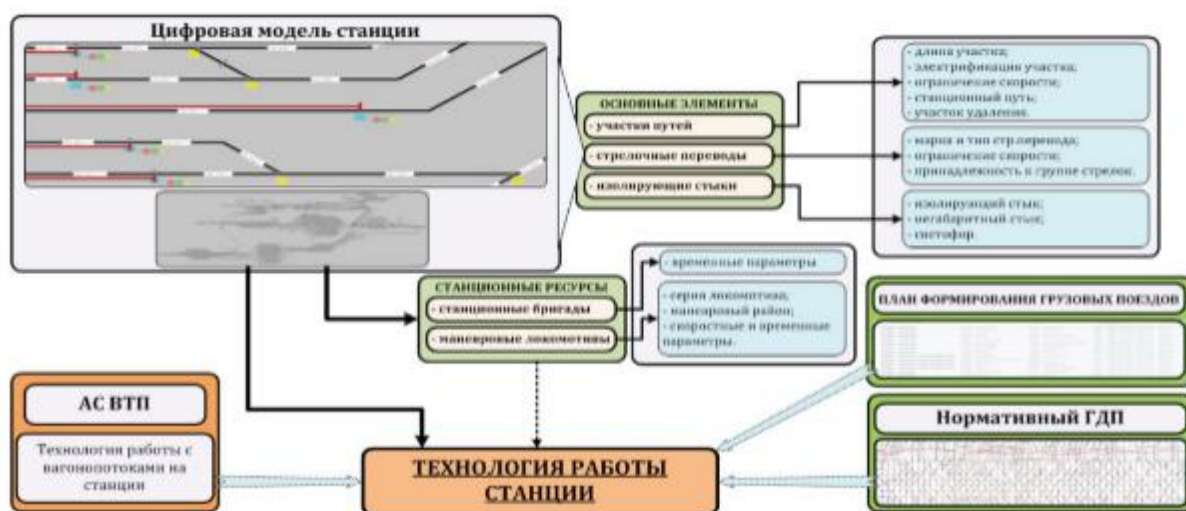


Рисунок 1.5 – Формирование цифровой модели станции

Образцом может выступить станция Лужская, где объединены отечественные и зарубежные технологические процессы. Требуется отметить, что отечественные технологические процессы не только никак не отстают с иностранных, но опережают их по отдельным параметрам [39]. На примере станции Лужская возможно отметить основные узлы построения модульной станции:

- Систему горочной автоматизации.
- Горочное оборудование (Подтягивающие приборы и замедлители).
- Систему позиционирования на станции.
- Систему автоматического управления станцией.
- Автоматику закрепления состава.
- Комплекс диагностики состава.
- Автоматизированные системы коммерческого осмотра и инвентаризации номеров.
- Микропроцессорную централизацию.
- Системы контроля освещения и оповещения.
- Введение цифровой подписи для автоматизации выдачи документов.
- Систему контроля целостности тормозной магистрали.
- Систему управления транспортным узлом.
- Бортовую систему управления для горочных локомотивов.

Данные научно-технические решения были презентованы президенту ОАО «РЖД» Белозёрову О.В. в том числе и на полигоне Челябинск-Главный. Важно отметить, что данные разработки дешевле западных аналогов, хотя частично используют импортные системы в своем составе. Данные технологии позволяют в большей степени обеспечить исключение человека из процесса, что не только снижает эксплуатационные расходы, но и повышает скорость работы и снижает влияние человеческого фактора. Данный пример является наиболее показательным

объектом цифровизации, где автоматические системы диагностики повышают эффективность работы (Рисунок 1.6).

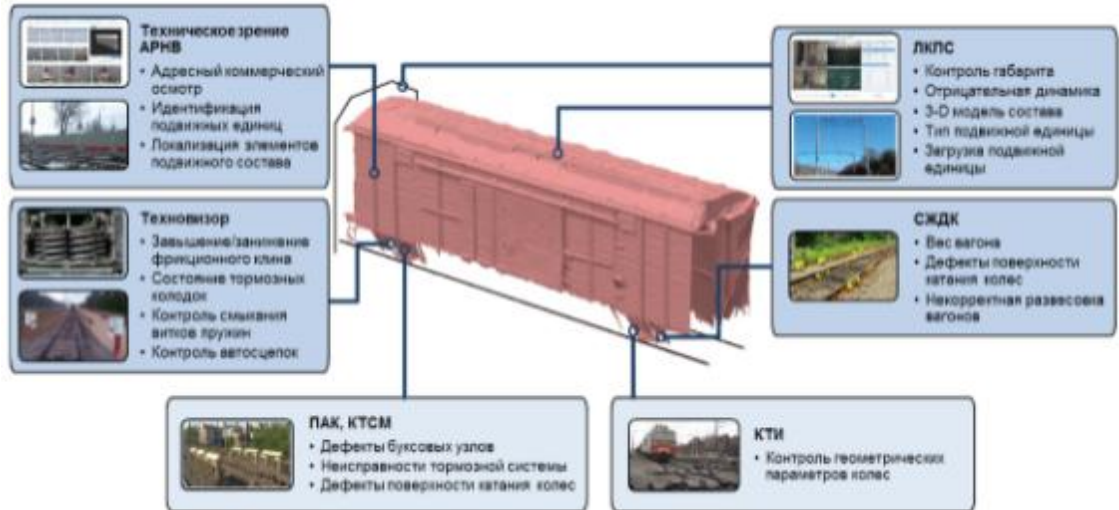


Рисунок 1.6 – Функциональность автоматических систем

Дополнительным компонентом новой технологии (Рисунок 1.7) считаются безбумажные технологические процессы, чья эффективность применения показана на практике [40]. В настоящее время созданы удостоверяющие центры, позволяющие операторам использовать электронную подпись как средство идентификации, аутентифицированное в общем пространстве доверия.



Рисунок 1.7 – Информационное взаимодействие с применением технологии

На МЦК и на полигоне Москва-Узуново (Рисунок 1.8) реализована и массово внедряется безбумажная технология выдачи предупреждений о временно действующих ограничениях скорости (Рисунок 1.9) [41 - 44].



Рисунок 1.8 –Безбумажные технологии



Рисунок 1.9 – Технология выдачи и отмены временных предупреждений

1.4.1.2 Многоуровневая система управления движением

Современную систему управления движением необходимо рассматривать в виде взаимосвязанной структуры с тремя уровнями (Рисунок 1.10).

На первом уровне (Верхнем) рассматривается прогнозирование и производится расчет рисков на основе разработанных моделей с учетом требований Asset Management [45]. На данном уровне в автоматическом режиме решаются конфликтные ситуации вызванные отказами оборудования или его ремонтом. Уровень позволяет в реальном времени выдавать решения по организации движения, на основе информации полученной из других уровней.

На втором уровне (Среднем) осуществляется автоматическое управление движением, получение информации из автоматизированных систем и учет параметров для передачи в верхний аналитический уровень.

На третьем уровне (Низовом) осуществляется выполнение необходимых операций непосредственно техническими средствами автоматики и диагностики. Перспективой является именно сокращение оборудования на данном уровне, унификация и стандартизация устройств. Это вызвано тем, что необходимо осуществить перевод устройств во второй уровень, сделать их более интеллектуальными [46].

В ходе формирования концепций развития особый интерес представляют управляюще-аналитические комплексы и системы, так как они составляют основу центров управления движением и должны принимать оперативные решения в зависимости от поездной ситуации [47-49].

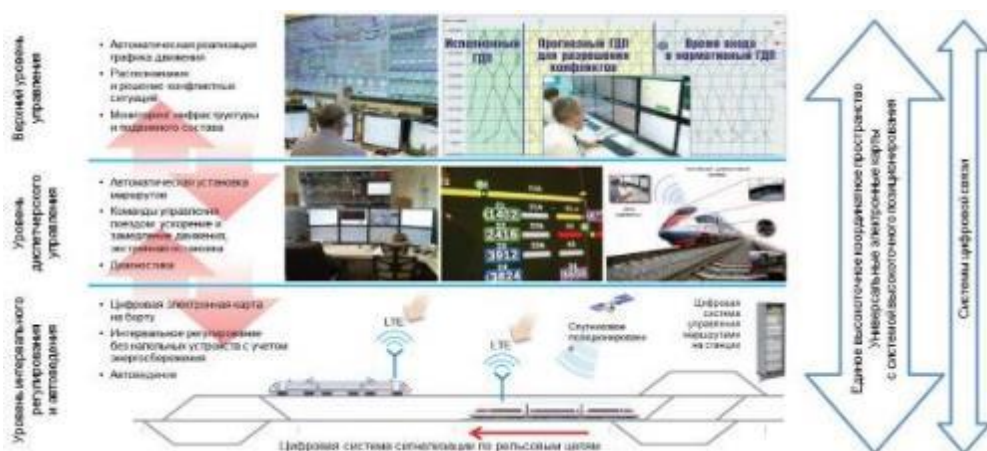


Рисунок 1.10 – Система комплексного автоматического управления движением поездов

Многоуровневые комплексные системы автоматизации уже сегодня активно используются на сети железных дорог. Например, комплекс управления движением «Автодиспетчер», используется на МЦК, хотя прорабатывался для автоматизации сообщения линии Москва – Санкт-Петербург (Рисунок 1.11).

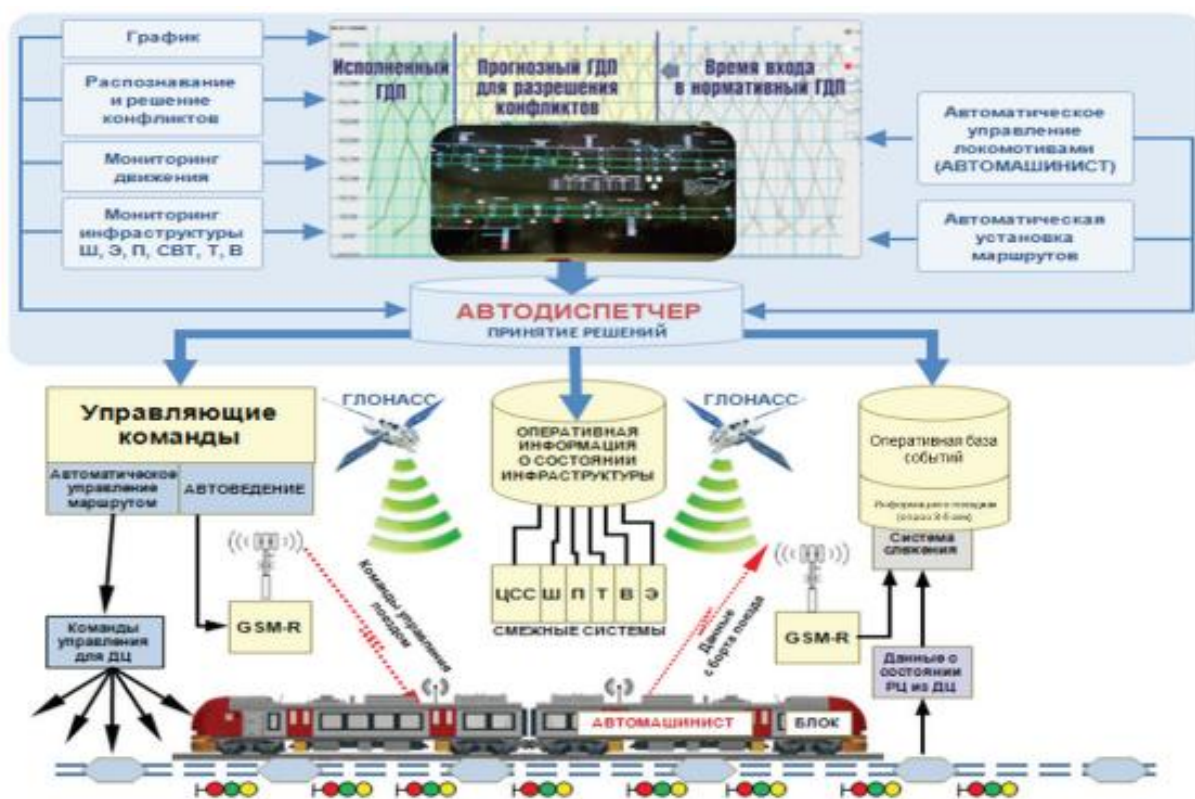


Рисунок 1.11 – Комплекс автоматизированного управления движением «Автодиспетчер»

Система позволяет исключить влияние человеческого фактора при формировании маршрутов, отправляя управляющие воздействия в аппаратуру низового уровня [50].

Аналогичные технологические системы разрабатываются и за рубежом (Таблица 1.2). Однако возникающие вопросы кибербезопасности, при применении данных технологий, требуют дополнительных исследований перед подтверждением возможности их использования. Решение данных вопросов, с

учетом подхода импортонезависимости, поможет сформировать преимущество для отечественных разработок.

Таблица 1.2 – Зарубежные системы управления движением.

Система	Верхний уровень	Нижний уровень	Борт
PTC (магистральные пассажирские и грузовые линии США)	ДЦ, интегрированная с центром радиоблокировки RBC, расчет графика движения, разрешение конфликтов, энергосберегающее движение	В зависимости от дороги – сеть радиосвязи 220 МГц, Wi-Fi и др., бализы + счетчики осей или рельсовые цепи, устройства передачи данных и управления стрелками и сигналами	Информационная система, безопасный компьютер, автоведение, спутниковая навигация
CBTC (метро и пригородное сообщение – Канада, Евросоюз, Гонконг и т. д.)	ДЦ, интегрированная с центром радиоблокировки RBC, расчет графика движения, разрешение конфликтов, энергосберегающее движение	Сеть радиосвязи WLAN, бализа + счетчик осей или рельсовая цепь, устройство передачи данных и управления стрелками и сигналами	Безопасный компьютер, автоведение
ARAMIS (от метро до магистральных линий – Германия, Австрия и др.)	ДЦ, интегрированная с центром радиоблокировки RBC, расчет графика движения, разрешение конфликтов, энергосберегающее движение	Сеть GSM-R, бализы, счетчики осей, рельсовые цепи	Безопасный компьютер FVC, автоведение

1.4.1.3 Построение графиков движения при ограничениях инфраструктуры

Значимым компонентом единого технологического процесса является создание графика поездов с учетом энергоэффективности и ограничений, вызванных ремонтом или неисправностью инфраструктуры или технических средств автоматики (Рисунок 1.12). Данные компоненты обрабатываются в системе «Эльбрус», что формирует необходимость ее интеграции в ИСУЖТ [51].



Рисунок 1.12 –Построение графика движения при учете энергоэффективности и ремонтных работах

Следует отметить, что устройства сигнализации, централизации и блокировки являются средством реализации технологий верхнего уровня. Они предоставляют надежный источник данных о работоспособности и диагностических параметрах. Их применение позволяет снизить влияние человеческого фактора, обеспечив необходимые параметры надежности и безопасности. Так, на примере инновационной концепции управления станциями (ИРПЦ) (Рисунок 1.13), они могут быть применены для:

- управления движением поездов на станциях;
- организации централизованного контроля и диагностики состояния систем, что позволит обеспечить увеличение показателей надежности и периодичности их обслуживания;
- снижения затрат при проектировании и постройке ЭЦ, позволяя уменьшить размер помещений, а также повышения безопасности благодаря расширению функционала при реализации подхода технологического суверенитета.

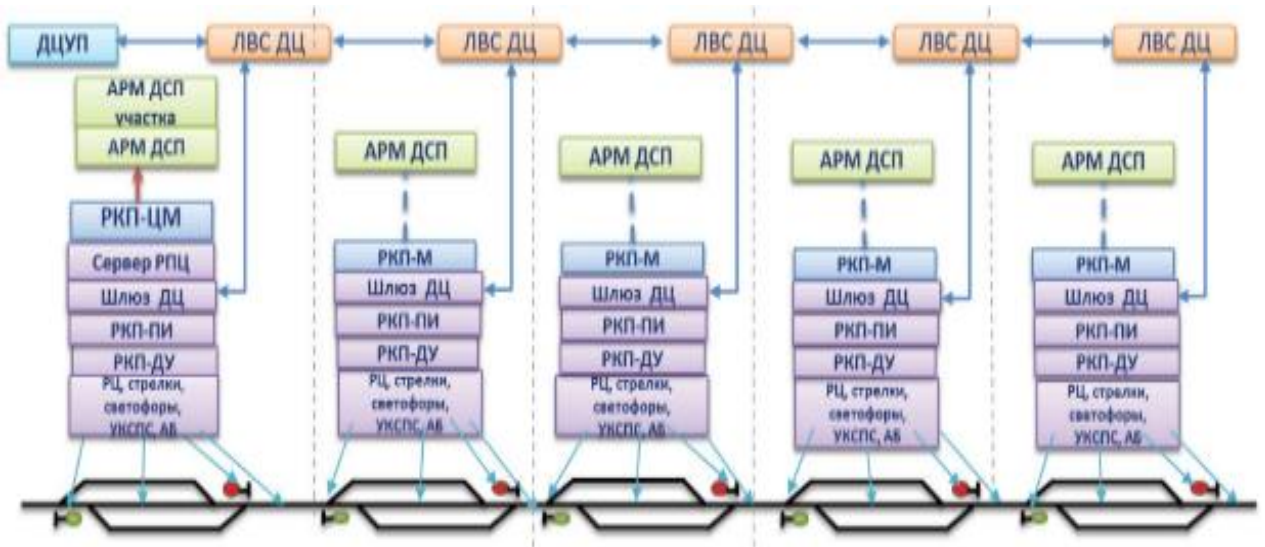


Рисунок 1.13 – Распределенная интегрированная релейно-процессорная система электрической централизации (ИРПЦ)

Проектирование устройств СЦБ при современной цифровой технологии должно включать в себя этап моделирования. На МЦК (Рисунок 1.14) создана модель для каждого элемента управления.

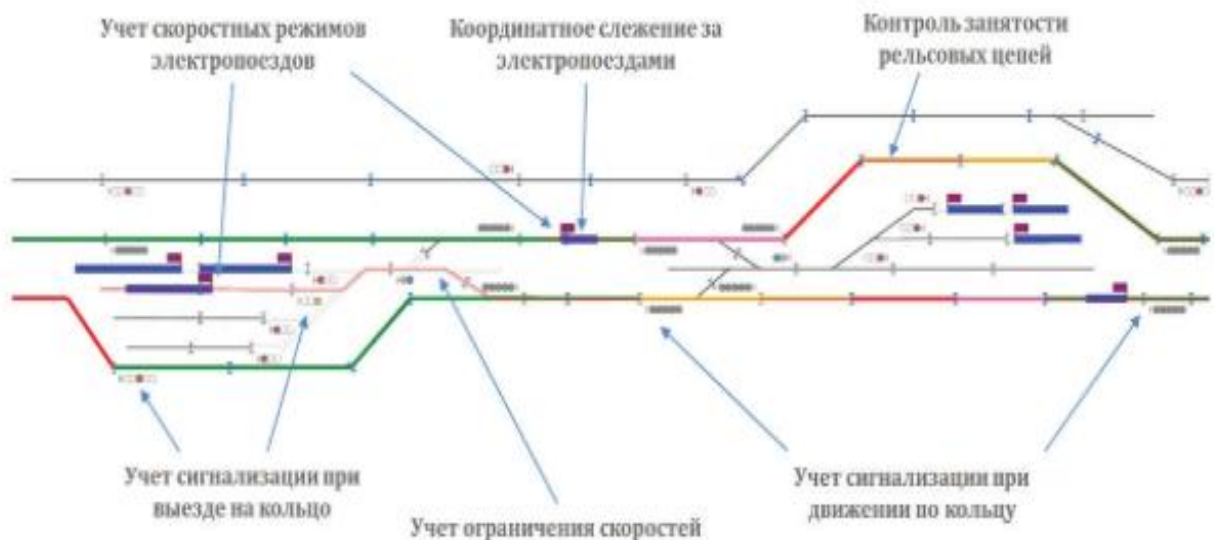


Рисунок 1.14 – Учет параметров при имитационном моделировании работы МЦК

1.4.1.4 Применение новых алгоритмов и технологий при организации движения

За счет применения инновационных технологий моделирования на МЦК удалось осуществить переход на пятиминутный интервал с шестиминутного. Однако, следует отметить, что использование новых технологических и алгоритмических технологий движения, в том числе и на борту локомотива сегодня позволяет обеспечить и четырехминутный интервал движения (Рисунок 1.15), а за счет расширенных средств математического моделирования формируется возможность комплексной интеграции данной технологии для всего комплекса организации движения на участке [52] с минимальными затратами.

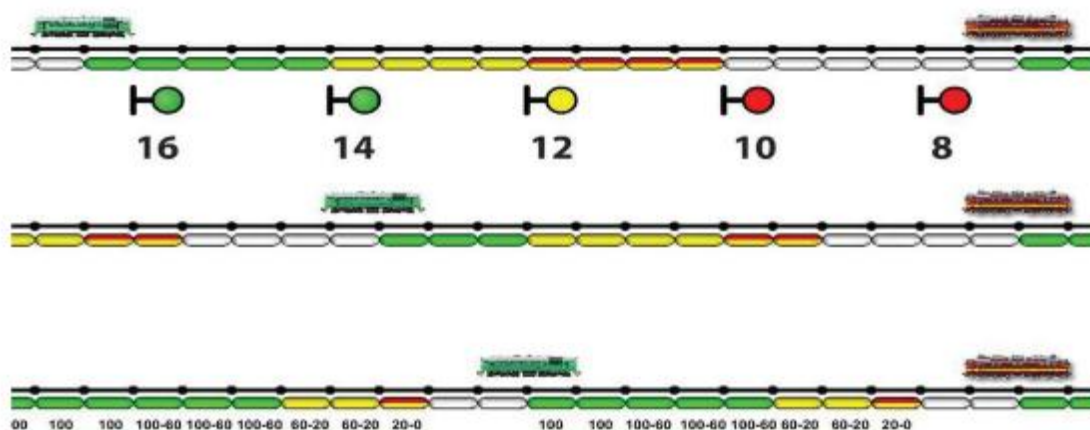


Рисунок 1.15 – Сравнение интервалов при различных технологиях сигнализации

Важным элементом реализации технологии является локомотивная сигнализация. Переход на бесцветную технологию (Рисунок 1.16) и подвижные блок-участки, на базе коротких рельсовых цепей, позволил на полигоне МЦК реализовать и доказать эффективность использования данного подхода.

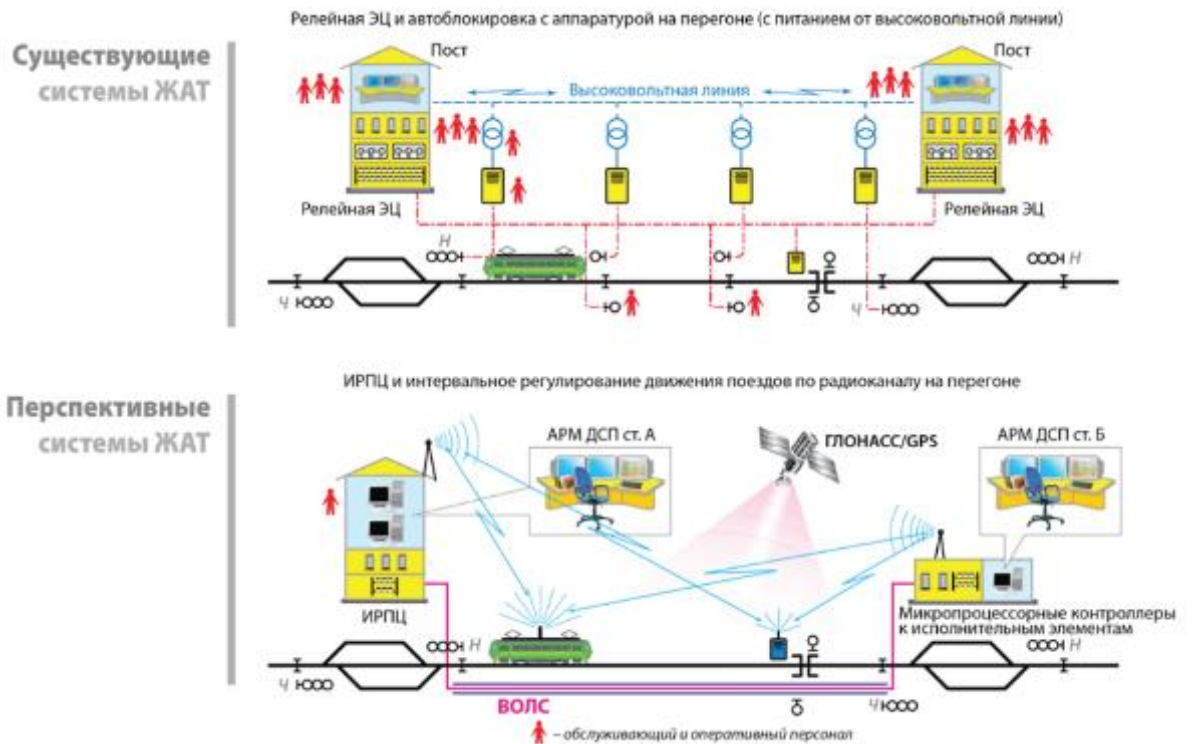


Рисунок 1.16 – Развитие систем интервального регулирования с переходом к бессветофорной сигнализации

Внедрение данной технологии на ответственных участках позволит в перспективе сократить количество напольного оборудования СЦБ на перегонах, включая сами проходные светофоры. Использование автоблокировки с передачей данных по цифровому радиоканалу и подвижными блок-участками позволит не только увеличить использование пропускной способности, но и сократить эксплуатационные затраты и обеспечить данные участки надежным радиоканалом, а также технологической связью. Также дополнительно решаются вопросы кибербезопасности, при использовании данной технологии за счет дублирования передаваемых показаний и от центра радиоблокировки и от рельсовых цепей.

На Рисунке 1.17 показано, что использование технологии позволяет сократить не только потребление электроэнергии на перегоне, но и персонал, а также оборудование, а частности светофоры [53].

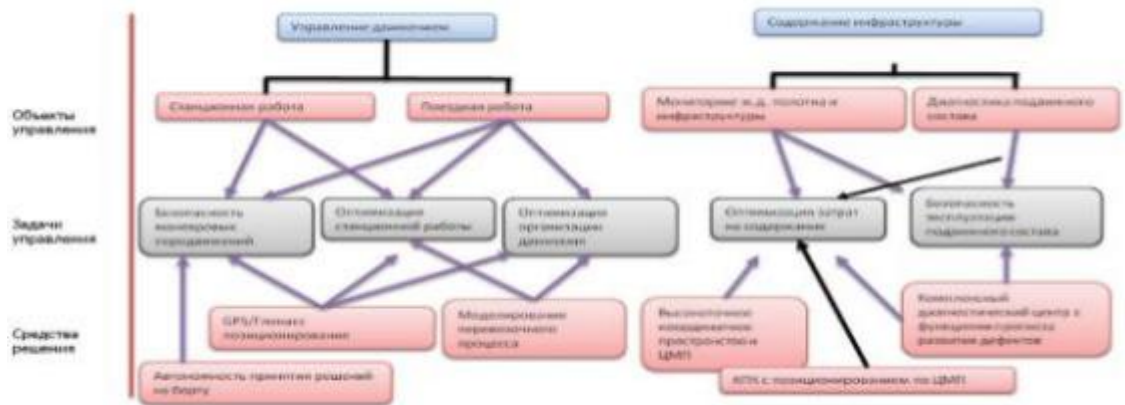


Рисунок 1.17 – Применение технологий в интеллектуальных системах на железнодорожном транспорте

При формировании цифровых моделей объектов, как инфраструктурных, так и подвижного состава подвижного состава необходимо решение комплексного вопроса координатной привязки. Его решением является применение высокоточных спутниковых технологий.

Благодаря вышесказанному, создается единая цифровая модель, которая может быть использована для решения задач организации движения поездов (Рисунок 1.18), проведения ремонтных работ, применения вспомогательных систем с единой базой данных с контролем обеспечения безопасности [54].

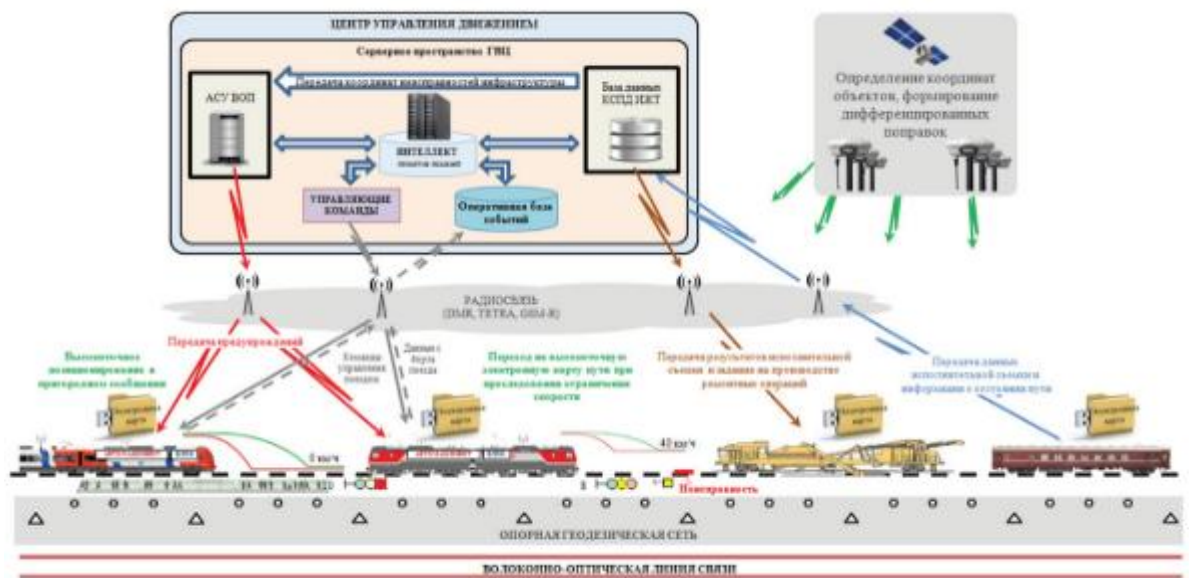


Рисунок 1.18 – Реализация высокоточных координатных технологий

Уже сегодня создаются полностью автоматизированные системы управления (Рисунок 1.19). В этом случае, при обнаружении мобильным средством неисправности на подвижном составе, автоматически включается ограничение скорости для всех подвижных единиц, выдается задание работающим на пути и контролируется завершение работ. На МЦК эта технология уже реализуется, это основа аналогичных моделей для любых замкнутых технологических ситуаций.

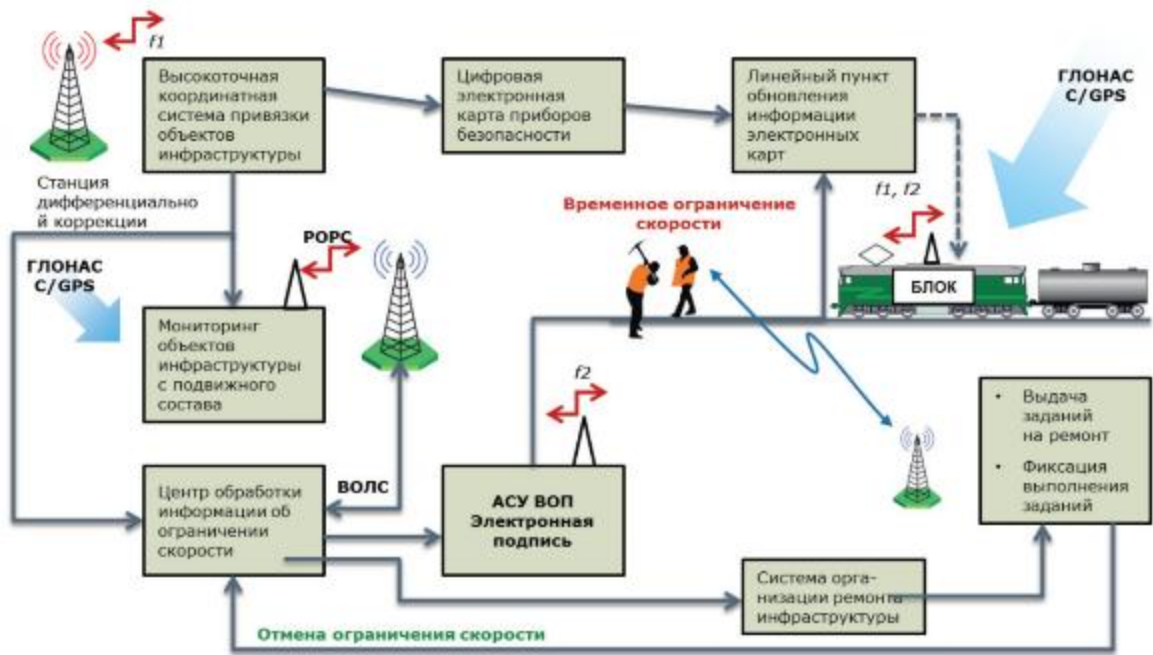


Рисунок 1.19 – Автоматизация технологического процесса ограничения скорости движения поездов

1.4.1.5 Радиоканал

Цифровая связь на железной дороге (Рисунок 1.20), не должна быть представлена только одним видом связи, так как объемы данных о технологическом процессе неуклонно растут, а вместе с ними и необходимость защиты информации. Использование новых каналов передачи данных не подразумевает исключение существующих, однако требует добавления технологии интернета вещей. Необходимо также учитывать сферы применения, четко отслеживая финансовые и технические затраты при реализации конкретных задач [55, 56].



Рисунок 1.20 – Системы связи

Благодаря современным технологиям радиосвязи с меньшими затратами реализуются задачи обнаружения и позиционирования работника на железнодорожном полотне и на станции с заданной точностью и при необходимом взаимодействии инфраструктурных объектов (Рисунок 1.21) [57, 58].

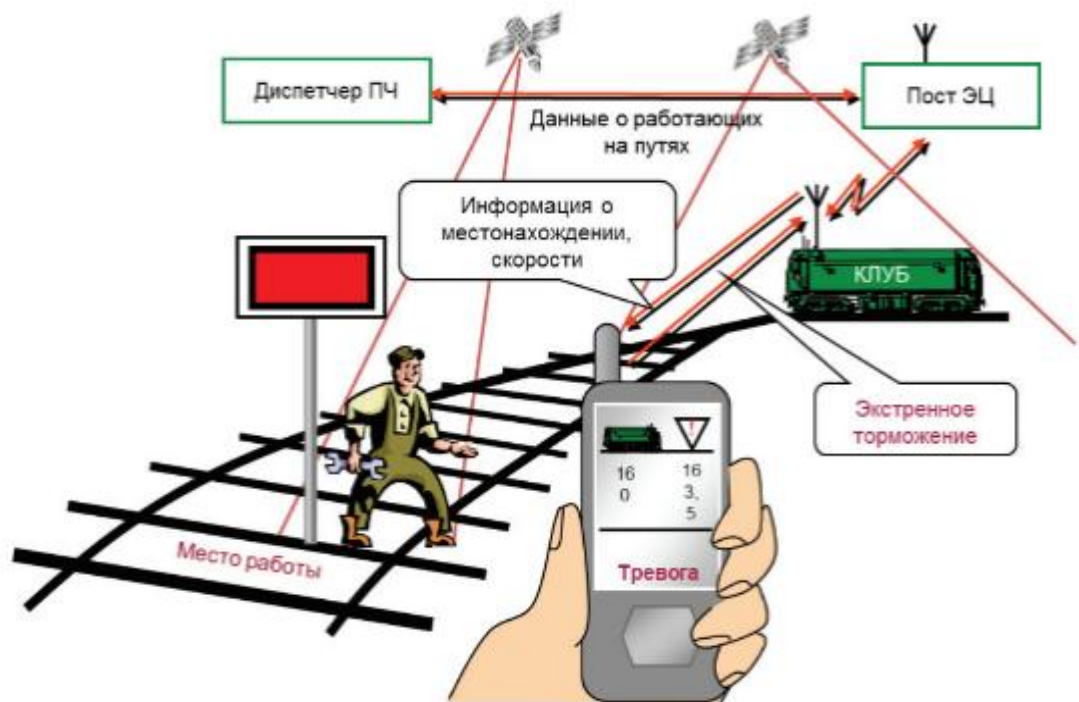


Рисунок 1.21 – Система оповещения приближения поезда

Применительно к переездам данная задача особенно актуальна и поможет сохранять жизни. Например, для автоматизации неохранных переездов (Рисунок 1.22) и парирования влияния человеческого фактора на охраняемых, системы связи уже отработаны и повышают безопасность движения. Отдельно стоит отметить, что если такие системы и не предотвратят столкновение локомотива с препятствием, то позволят начать осуществлять торможение поезду заранее, без прямой видимости препятствия машинистом. В основном машинист начинает торможение после зрительного контакта с препятствием на путях, что в случае грузового поезда уже мало играет роль. Системы удаленного оповещения могут позволить снизить скорость движения до приемлемых значений и если не избежать столкновения полностью, то обойтись травмами или меньшим количеством жертв [59].

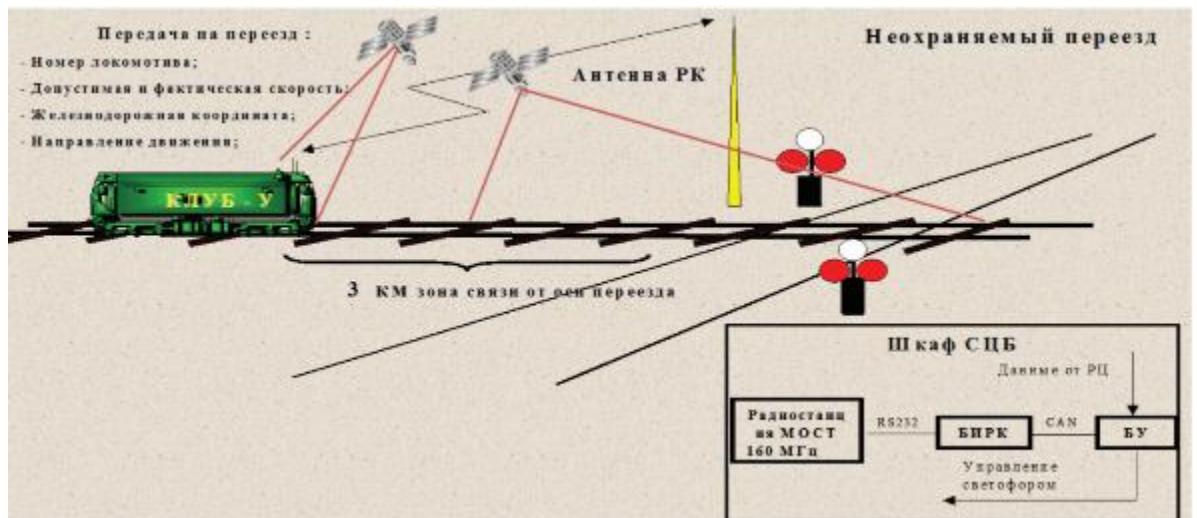


Рисунок 1.22 –Переездная сигнализация на базе радиоканала

Бортовые системы управления и обеспечения безопасности движения в настоящее время также переходят к идеологии единого информационного комплекса, благодаря интеграции в систему управления (Рисунок 1.23). Унификация датчиков различных систем позволяет осуществить переход к системам различного уровня полноты безопасности программным способом. Головные предприятия отрасли, в частности холдинги «Трансмашхолдинг» и

«Синара – Транспортные машины», уже готовы создавать такие комплексные решения [60].



Рисунок 1.23 – Развитие бортовых микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения

1.4.1.6 Беспилотные технологии

Наиболее сложным из перспективных направлений «Цифровой железной дороги» является переход к беспилотным системам. Применительно к железной дороге он должен осуществиться раньше, чем в автомобилях (Рисунок 1.24), так как инфраструктура и технологии перевозок лучше адаптированы к решению данной задачи. В настоящее время беспилотные технологии массово внедряются на МЦК и станции Лужская.

Важно ориентироваться на стандарт МЭК-62290, в рамках которого необходимо интегрировать все элементы управления движением.

Для беспилотного движения требуется выделить следующие направления:

- Обеспечение интероперабельности, взаимозаменяемости и сочетаемости техники и технологий;
- Модернизацию существующих систем СЦБ;
- Проведение анализа угроз и рисков по каждой подсистеме.

Степень автоматизации	Тип управления поездом	Управление поездом при движении	Остановка поезда	Закрытие дверей	Управление при нештатных ситуациях
 1	Ведение машинистом	Машинист	Машинист	Машинист	Машинист
 2	Ведение машинистом с функцией автоведения	Автоматическое	Автоматическая	Машинист	Машинист
 3	Автоведение без машиниста	Автоматическое	Автоматическая	Проводник	Проводник
 4	Полностью беспилотное	Автоматическое	Автоматическая	Автоматическое	Автоматическое

Рисунок 1.24 – Классификация беспилотных систем

Осуществление беспилотного движения невозможно без доработки системы управления локомотивом. К новым функциям системы управления в соответствии с МЭК-62290 следует отнести:

- Обеспечение безопасного движения локомотива;
- Автоматическое ведение поезда;
- Контроль посадки/высадки пассажиров;
- Осуществление управления поездом;
- Обеспечение выявления нештатных ситуаций.

Технологию необходимо рассматривать не как автоматическую, т.е. полностью безлюдную, а как технологию дистанционного и безопасного управления, с обеспечением функции прогнозирования нештатных ситуаций и алгоритмом поведения системы при их наступлении. Также, для полнофункционального применения технологии, необходима передача достоверных и безопасных данных со стационарных датчиков и объектов инфраструктуры (стационарные комплексы обнаружения препятствий) в центр

управления движением, ввиду функциональной полноты информации на подвижном составе (Рисунок 1.25).

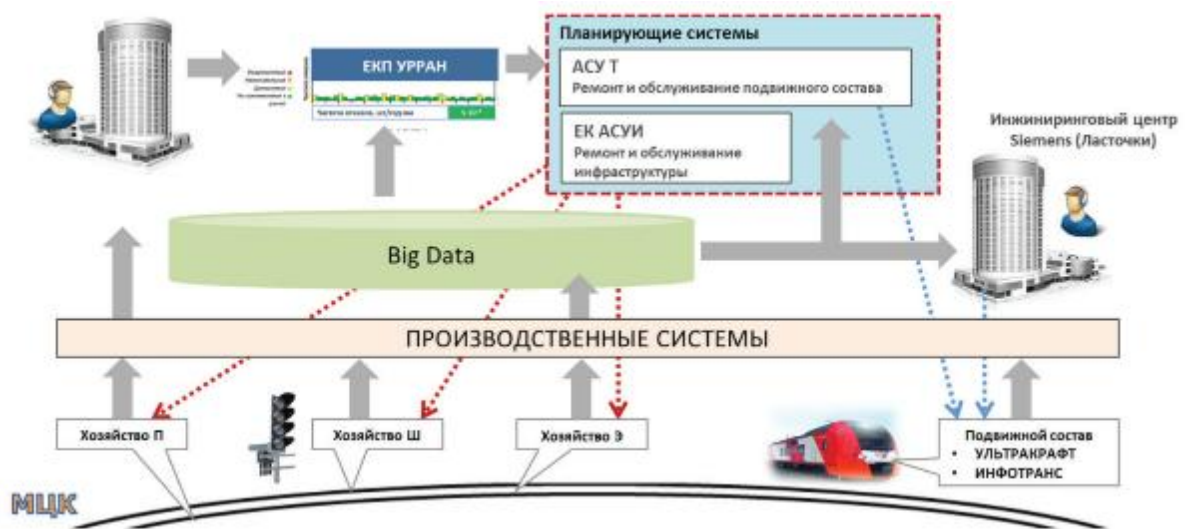


Рисунок 1.25 – Архитектура управления состоянием подвижного состава и инфраструктуры на МЦК

Таким образом, весь перечисленный комплект технологических задач и реализующих их систем еще раз подтвердил необходимость рассматривать в комплексе системы автоматизации, телемеханики и информатизации как взаимосвязанную структуру управления и обеспечения безопасности.

1.5 Постановка задачи научного исследования

Железнодорожный транспорт имеет жизненно важное значение для России не только в плане экономического аспекта, но и в плане реализации социальных услуг, реализуя более 40% пассажирских и более 75% грузовых перевозок. Такое положение вещей требует не только перманентного развития самой транспортной инфраструктуры, но и технических средств организации движения и обеспечения безопасности.

Решить данные вопросы необходимо компании ОАО «РЖД» и ее отраслевым научным институтам. Однако существует объективное разделение сфер ответственности внутри холдинга. Различные дирекции рассматривают комплекс проблем применительно к своей области, не производя комплексное взаимодействие с другими подразделениями, занимаясь исключительно локомотивами, ремонтом или устройствами СЦБ. Отчеты составляются экспертами, внося человеческий фактор в систему оценки и не учитывая ряд важных параметров работоспособности и условий эксплуатации. Несмотря на обладание систематизированной информацией о фактическом положении вещей на конкретных участках, не существует органа, способного комплексно обеспечивать повышение использования пропускной способности за счет введения новых технических средств и технологического обеспечения. Данная работа проводится научными институтами, часто исключительно в рамках договорных работ на отдельных полигонах. Таким образом, одной из задач научного исследования является анализ существующих технических средств управления и обеспечения безопасности в комплексе их взаимодействия [61]. Это позволит определить основные пути решения вопроса повышения использования пропускной способности не только на существующей инфраструктуре, но и на новых участках.

На современном этапе развития инновационные технологии обеспечивают не только создание сложных многоуровневых комплексов обеспечения безопасности движения, обладающих интеграцией “инфраструктура-борт”, но и модернизацию

оборудования перегонов, представляющее собой в большей степени устаревшие системы.

Инновационные решения позволяют модернизировать их, формируя современные комплексы, при относительно небольшом финансировании. Задача модернизации существующих технических средств, для обеспечения эффективного использования пропускной способности, при сохранении высокого уровня полноты безопасности также является задачей научного исследования, а именно разработка методики эффективного использования пропускной способности при функциональном резервировании систем обеспечения безопасности движения поездов.

На эффективность обеспечения перевозочного процесса влияют не только технические средства, но и принципы организации движения. Повышение эффективности использования пропускной способности, особенно в условиях ремонтных работ или в случае отказа отдельных устройств автоматики является актуальной задачей. Данная проблема является одной из задач научного исследования.

Система автоматической локомотивной сигнализации является центральным элементом во взаимодействии бортовых и напольных устройств обеспечения безопасности движения. Вопрос анализа и расследования причин сбоев до сих пор является одним самых проблемных. Вопрос человеческого фактора при данном анализе также актуален [62]. Дирекции и подразделения ОАО «РЖД» периодически расследуют сбои без комплексного анализа, ввиду чего проблема не решается полностью. Для проверки состояния кодирования используются вагон-лаборатории, которые позволяют оценить состояние в конкретный момент времени, а прием сигналов локомотивными устройствами безопасности часто осуществляется по принципам, применимым к элементной базе десятилетней давности. Задача научного исследования состоит в разработке новых принципов приема и обработки информации автоматической локомотивной сигнализации на борту, обеспечивающих минимизацию времени принятия решения.

Анализом, проведенным в главе, подтверждается, что следует четко разделить понятия технологии и технических средств. Технологические алгоритмы и принципы организации движения позволяют значительно увеличить использование пропускной способности путем сокращения интервала попутного следования и повышения скорости движения поездов. Необходима разработка принципиально новых алгоритмов локомотивных устройств обеспечения безопасности движения с требуемым уровнем интенсивности опасных отказов, что является еще одной из задач научного исследования.

Работы по модернизации технических и технологических аспектов работы железной дороги должны максимально применять отечественную элементную базу, что повысит их привлекательность для отечественных инвесторов и надежность в условиях киберугроз. Риски, связанные с применением импортных вычислительных средств, хорошо известны. Наличие аппаратных «закладок» может привести к катастрофическим последствиям. Однако отрасль отечественной электроники не может предложить потребителю широкий выбор вычислителей, что за счет их малой серийности не всегда позволяет обеспечить их применение с точки зрения надежности. Финальной целью научного исследования является проведение анализа надежности отечественных вычислительных средств и разработка комплексной методики обеспечения импортонезависимости технических средств железнодорожной автоматики.

В итоге формулированы цели и задачи исследования, приведенные во Введении.

Выводы по главе 1

1. Существующие бортовые и инфраструктурные технические средства управления и обеспечения безопасности, по причине их отказов, могут являться объективным ограничителем эффективного использования пропускной способности на участках железнодорожных линий. Необходимо учитывать влияние человеческого фактора при расследовании причин отказов технических средств. При модернизации технических средств и алгоритмов, можно будет добиться сокращения количества сбоев, а как следствие, повышения эффективности использования пропускной способности.

2. Установлено, что анализ существующих технических средств управления и обеспечения безопасности в комплексе их взаимодействия и создание методик повышения эксплуатационной надежности существующих устройств за счет эффективных и малозатратных технических решений, при снижении человеческого фактора, позволит не только существенно увеличить коэффициент готовности технических средств, но и обеспечить эффективное использование пропускной способности.

3. Установлено отсутствие полноценной перманентной обратной связи между объектами внедрения и органом инновационной деятельности холдинга, а также научными институтами. Отмечен недостаток комплексных программ развития и организации работ, направленных на постепенное внедрение и этапное улучшение параметров и эксплуатационных характеристик объектов внедрения.

4. Отмечена необходимость сохранения курса на внедрение концепции «Цифровой железной дороги», как единого, непрерывного процесса организации движения поездов современными цифровыми методами и технологиями. Данная концепция в настоящее время уже показывает свою эффективность. Реализация подхода возможна исключительно при учете многоуровневой сквозной технологии организации взаимодействия всех систем. Введены понятия трехуровневой структуры, «Верхнего», «Среднего» и «Низового» уровней. «Верхний» уровень дает возможность прогнозирования, комплексного управления и расчета рисков на

базе стандарта ISO 55000 (Asset Management). «Средний» - уровень автоматического управления движением, где осуществляется получение информации из автоматизированных систем и учет параметров для передачи в верхний аналитический уровень. «Низовой» уровень – непосредственно уровень оборудования автоматики и телемеханики. Сокращение оборудования на данном уровне и повышение надежности работы устройств является одной из основных целей.

5. Применение системы ERTMS третьего уровня, т.е. использование исключительно радиоканала для организации движения без данных от наземной инфраструктуры, при движении пассажирских поездов фиксированной длины, формирует дополнительные риски снижения показателей использования пропускной способности, а при осуществлении грузового движения, полностью исключается.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БОРТОВЫХ И НАПОЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

В главе рассматривается интервальное регулирование движения поездов при использовании автоблокировки на базе многозначной локомотивной сигнализации, бортовых приборов безопасности и цифрового радиоканала.

Эффективным методом использования пропускной способности железнодорожных линий является интервальное регулирование. Интервальное регулирование, согласно ГОСТ Р 53431-2009 – «способы регулирования интервалов попутного следования и направления движения железнодорожных поездов по железнодорожным перегонам». В большинстве случаев под этим понятием подразумевается разделение двух поездов попутного направления межпоездным промежутком, обеспечивающим безопасность движения. Современные подходы интервального регулирования [63], а также способы его реализации, имеют своей целью уменьшение данного промежутка до минимальных значений, при обязательном обеспечении безопасности, для повышения наличной пропускной способности линий.

В качестве основного перспективного элемента развития рассматривается интервальное регулирование на базе автоблокировки с цифровым радиоканалом, отказом от проходных светофоров и информационным обменом с подвижным составом, включающим данные о его координате, длине, скорости и других характеристик. Это данные необходимы при расчете межпоездного промежутка, размер которого зависит от скорости попутно следующих поездов и профиля пути. Также безопасное сближение не может быть выполнено без достоверных данных о хвосте впередиидущего поезда и его целостности. Достоверное определение положения состава на железнодорожном полотне возможно только при едином применении существующих источников навигационных данных, таких как датчики

пути и скорости, навигационных данных ГЛОНАСС/GPS, точечные каналы передачи данных, рельсовые цепи и механические системы измерения ускорения, а также данных о длине состава. В этом случае возможно формирование виртуальных проходных светофоров и данных о целевой скорости, которые можно передать по цифровому радиоканалу.

В основе вышесказанного формулируются две тенденции решения данных задач:

- Совершенствование инфраструктуры, как путевого развития;
- Совершенствование инфраструктуры, как совокупности технических средств железнодорожной автоматики;

Основными техническими и технологическими средствами интервального регулирования, рассматриваемыми в главе, являются:

- Многозначная автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС-ЕН) - Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа, как совокупность средств передачи на борт локомотива данных о путевых светофорах [64].

- Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛСО) - Автоматическая локомотивная сигнализация, применяемая как самостоятельное средство сигнализации, при которой движение поездов на перегоне осуществляется по сигналам локомотивных светофоров, а отдельными пунктами являются границы блок-участков [65];

- Автоблокировка с подвижными блок-участками, работающая по принципу подвижных блок-участков [66].

2.1 Совершенствование инфраструктуры

Увеличение наличной пропускной способности железнодорожных линий должно производиться за счет уменьшения межпоездного интервала путем модернизации инфраструктурного обеспечения. Рассмотрим известные ограничители использования пропускной способности вызванные несовершенством инфраструктуры [67, 68].

2.1.1 Ограничение межпоездного интервала по состоянию электроснабжения

На электрифицированных линиях межпоездной интервал может лимитироваться мощностью устройств электроснабжения. Поэтому его сокращение должно сопровождаться строительством дополнительных тяговых подстанций. Данное ограничение отсутствует на участках, где применяются тепловозы или газотурбовозы [69].

2.1.2 Ограничение межпоездного интервала при приеме поездов на станции

Объективным ограничителем межпоездного интервала являются технические станции [70]. Согласно ПТЭ, поезд при приеме на станцию должен осуществлять движение по горловине со скоростью не более 40 км/ч (Рисунок 2.1).

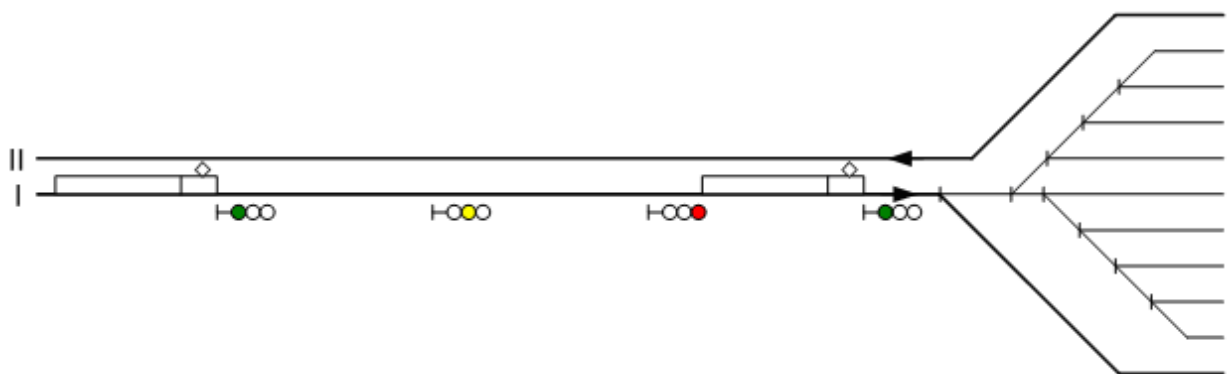


Рисунок 2.1 – Прием поездов на техническую станцию

Возникновение «волнового эффекта» при приеме поездов на станцию возникает при сокращении межпоездного интервала, например с десяти до шести минут. Результатом становится общее движение поездов со скоростью 40 км/ч, что

резко снижает показатели пропускной способности. В рассматриваемой ситуации, если станция уже осуществляет прием поезда, то попутно следующий грузовой поезд, должен осуществить торможение ранее расчетной точки, для обеспечения необходимого безопасного расстояния. Третий поезд также выполняет торможение раньше.

Можно решить данную проблему путем полной реконструкции горловины станции, осуществив замену стрелочных переводов на стрелки более пологих марок, обеспечивая прием поездов с большей скоростью. Однако высокая стоимость модернизации ограничивает массовое внедрение данного решения и может быть применена только к новым станциям.

Необходимо также учитывать расположение самих технических станций, которые не имеют достаточного пространства для развития, а также то, что оборудование стрелочными переводами пологих марок приведет к удлинению горловины и как следствие удлинит маршрут приема, снизив эффект от увеличения скорости.

В 80-х годах прошлого века была разработана схема горловины, позволяющая избежать «волнового эффекта» (Рисунок 2.2).

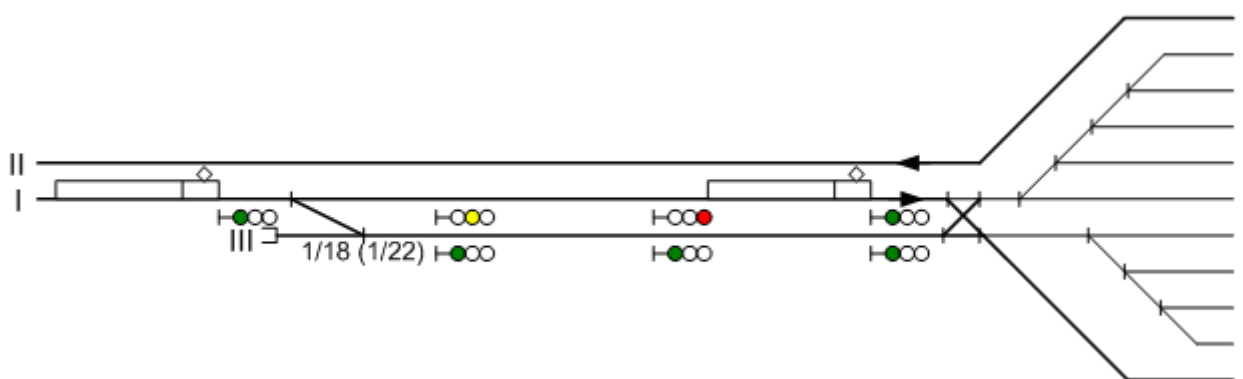


Рисунок 2.2 – Схема приема поездов на техническую станцию при удлинении одного из приемоотправочных путей в сторону перегона

Было описано требование удлинения одного из приемоотправочных путей на расчетную величину в сторону перегона, образуя укороченный третий главный

путь с пологой маркой крестовины (1/18 или 1/22). Таким образом технология приема приобретает следующий алгоритм:

1) Прием первого грузового поезда на станцию осуществляется по первому главному пути.

2) Прием второго поезда осуществляется по третьему пути.

3) Прием других нечетных поездов далее по первому, а четных по третьему.

Поезда в этом случае могут следовать с расчетными скоростями до стрелочной горловины без влияния со стороны впереди идущего поезда.

2.1.3 Ограничение межпоездного интервала по числу приемоотправочных путей на станции

Для наглядности на примере введем допущение, что прием грузовых поездов в транзитный парк осуществляется с интервалом 10 мин, а время смены локомотивных бригад равно 25 мин (Рисунок 2.3).

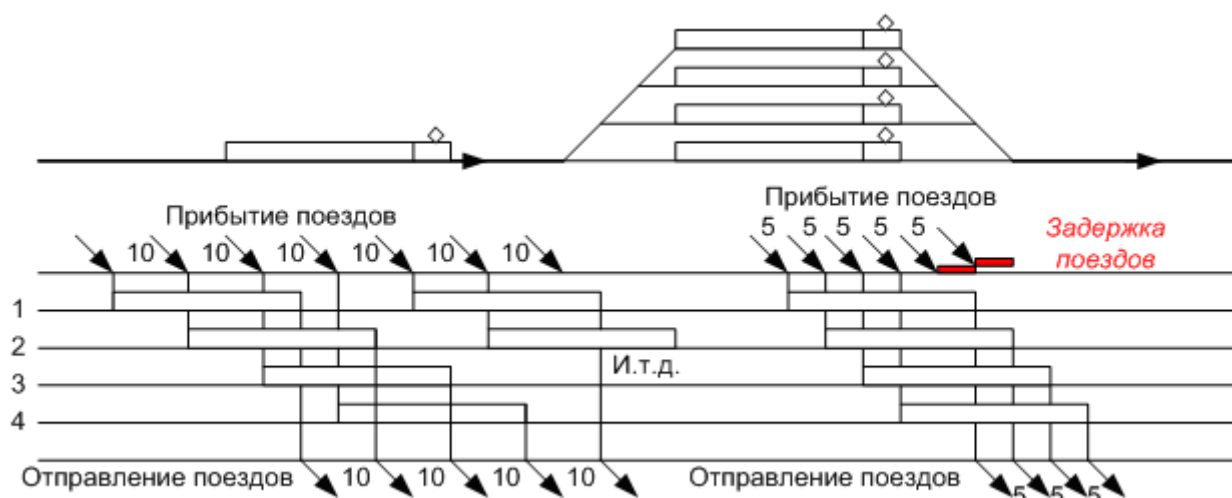


Рисунок 2.3 – График прибытия, обработки и отправления транзитных поездов

На рассматриваемой в примере станции имеется 4 приемоотправочных пути. В соответствии с графиком на Рисунке 2.3:

- 1) Первый поезд принимается на первый путь;
- 2) Второй поезд принимается на второй путь;
- 3) Третий поезд принимается на третий путь;

4) Четвертый поезд принимается на четвертый путь;

5) Пятый же поезд принимается на первый путь, так как первый поезд уже был выпущен со станции.

Важно отметить, что при сокращении межпоездного интервала следования, например до 5 минут, после приема четырех поездов на станцию начнут возникать задержки перед входным сигналом светофора, так как пятый поезд не может быть принят. Будет возникать описанный выше «волновой эффект».

В данном случае решением проблемы может стать сокращение продолжительности технологических операций для грузовых поездов, как альтернативы постройке новых приемоотправочных путей. Например, если на станции выполняется технический и коммерческий осмотр составов, выполняемый двумя группами специалистов, то можно допустимо увеличить численность персонала до четырех и более групп, что повлечет дополнительные расходы на персонал.

Современное развитие технических средств, позволяющих обеспечить интервальное регулирование движения поездов, имеет своей первоочередной целью повышение использования пропускной способности железнодорожных участков при гарантии 100% обеспечения безопасности перевозок.

В мировой практике выделяют следующие возможные варианты разграничения поездов в процессе их пропуска по перегонам:

- по длине абсолютного тормозного пути при использовании экстренного торможения;
- по длине абсолютного тормозного пути при использовании служебного торможения;
- по длине относительного тормозного пути при экстренном торможении впередиидущего и служебном торможении последующего поезда;
- по длине относительного тормозного пути при служебном торможении поездов;
- по длине относительного тормозного пути при экстренном

торможении поездов.

Анализируя перечисленные варианты, следует отметить, что наименьшее расстояние между поездами (а, следовательно, наименьший межпоездной интервал и наибольшая пропускная способность железнодорожного участка) имеет место в четвертом и пятом случаях. Однако, они обладают и наименьшей безопасностью движения, т.к. даже при экстренном торможении первого поезда в четвертом варианте будет иметь место его нагон вторым, т.е. будет наблюдаться «эффект домино» при котором каждый последующий поезд будет нагонять впереди идущий.

Третий вариант имеет более высокий уровень безопасности движения поездов по сравнению с четвертым. Однако и он не гарантирует полного уровня безопасности движения.

Практически 100% обеспечение безопасности при интервальном регулировании движения поездов наблюдается в первом и втором вариантах. Только эти варианты обеспечивают безопасную остановку поездов при неожиданном возникновении препятствий на пути их следования. Их взаимное отличие заключается в том, что в первом варианте имеет место экстренное торможение, а во втором – служебное (Рисунок 2.4).

Таким образом, при интервальном регулировании движение поездов должно основываться на первом или втором вариантах, в которых расчетные межпоездные расстояния определяются суммой длин трех защитных расстояний и длины тормозного пути при служебном или экстренном торможении поезда. Описаны структурные схемы технических средств.

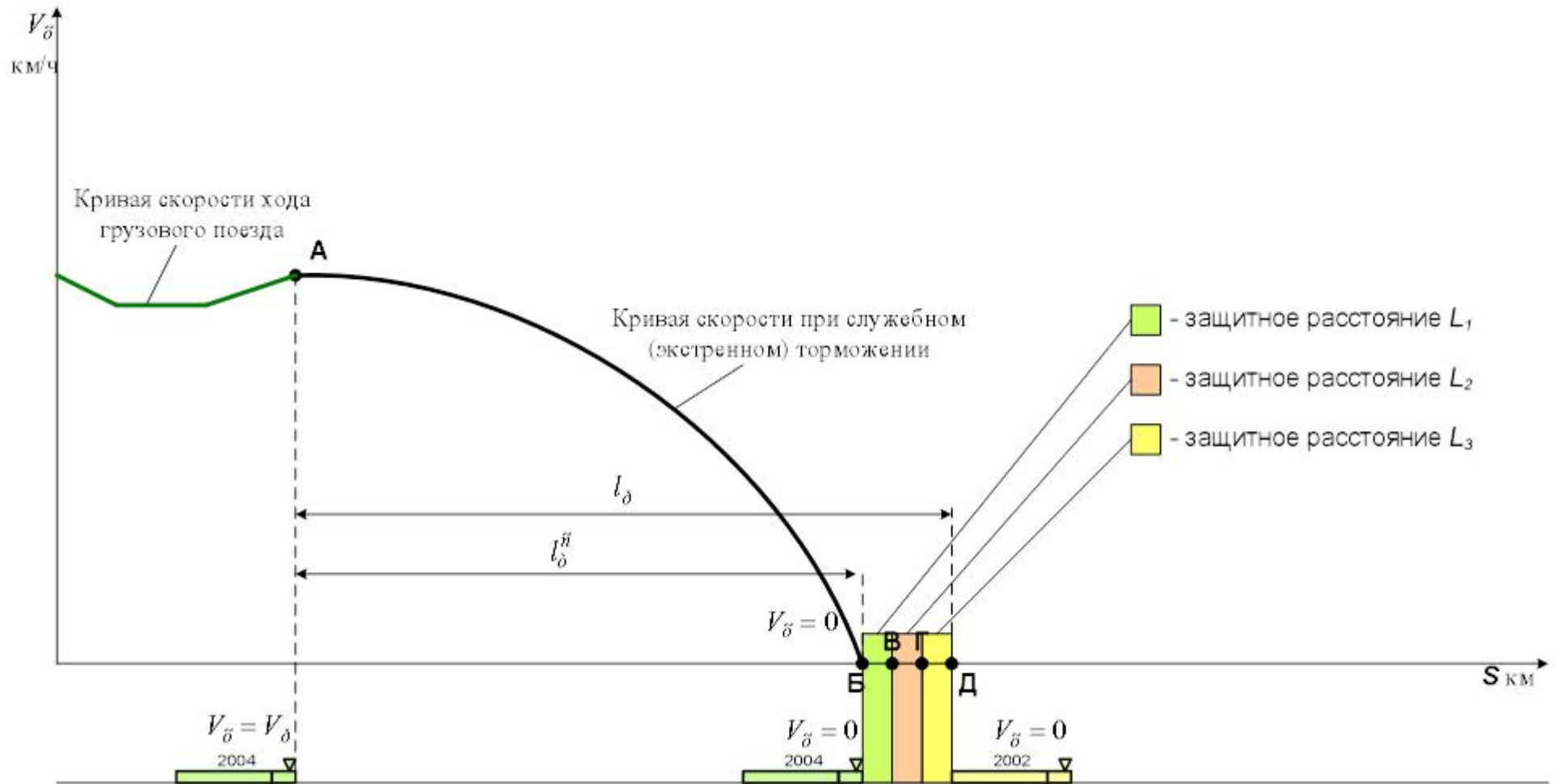


Рисунок 2.4 - Графическая оценка расчетного расстояния между поездами при неожиданной остановке впереди идущего и применении служебного (экстренного) торможения последующим поездом

Очевидно и то, что переход на технологии интервального регулирования движения поездов вызовет опасения со стороны большого числа работников, прежде всего связанных с их пропуском. Вероятно, что наибольшее психологическое напряжение будет наблюдаться в первую очередь у машинистов и их помощников. В этой связи целесообразно на начальной стадии применение промежуточного варианта технологии пропуска поездов по участку, который позволит, во-первых, адаптироваться работникам, связанным с организацией движения поездов, и, во-вторых, апробировать новые технические средства (в том числе их надежность) и технологию интервального регулирования.

Суть промежуточного варианта состоит в переходе от трехблочного на двухблочное разграничение поездов во время их пропуска по железнодорожному участку (Рисунок 2.5).

Такая мера позволит существенно повысить наличную пропускную способность железнодорожных участков (хотя и в меньшей степени, чем при первых двух вариантах) при одновременной апробации системы интервального регулирования.

При промежуточном варианте с одной стороны машинист, пользуясь показаниями проходных светофоров, будет знать, что впереди свободен хотя бы один блок-участок, с другой стороны зная о параметрах (прежде всего скорости) впередиидущего поезда быть психологически готовым проехать на желтый огонь светофора, не снижая скорости своего поезда.

К достоинствам промежуточного варианта относится и то, что в случае каких-либо сбоев в системе интервального регулирования машинисты поездов могут продолжать свое движение, руководствуясь показаниями проходных светофоров.

При двухблочном разграничении поездов нормальной считается езда на желтый огонь проходного светофора. При этом расстояние между поездами (между локомотивами, следующими в голове поездов) расчетной пары равно сумме длин двух последовательно занимаемых блок-участков:

$$L_{p.2} = l_{\text{бл. I}} + l_{\text{бл. II}}. \quad (2.1)$$

Данное условие справедливо для случая, когда длина поезда не превышает длины самого короткого блок-участка на рассматриваемом направлении. При этом, расчетное расстояние между хвостом впередиидущего поезда и локомотивом последующего будет равно:

$$L_{p.2}^{x_2} = l_{\text{бл. I}} + l_{\text{бл. II}} - l'_n. \quad (2.2)$$

При графическом методе расчета интервалов I используют кривую времени хода поезда, построенную по тяговым расчетам (Рисунок 2.6). В момент отправления второго поезда №2004 с начальной станции участка после остановки требуется, чтобы хвост ранее отправленного первого поезда №2002 расчетной пары находился за осью проходного светофора 2.

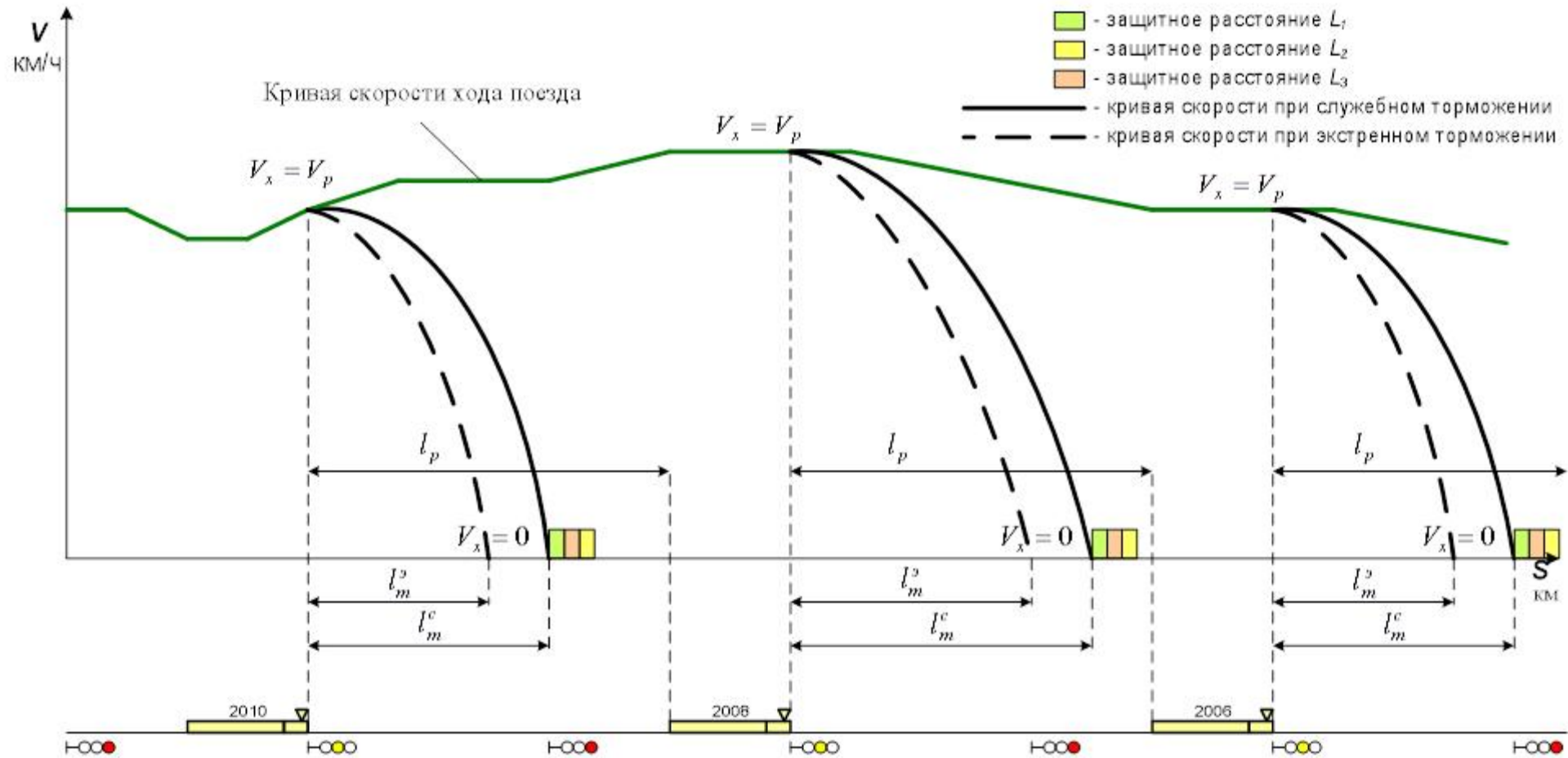


Рисунок 2.5 - Схема организации движения поездов на желтые огни светофоров при разграничении двумя блок-участками

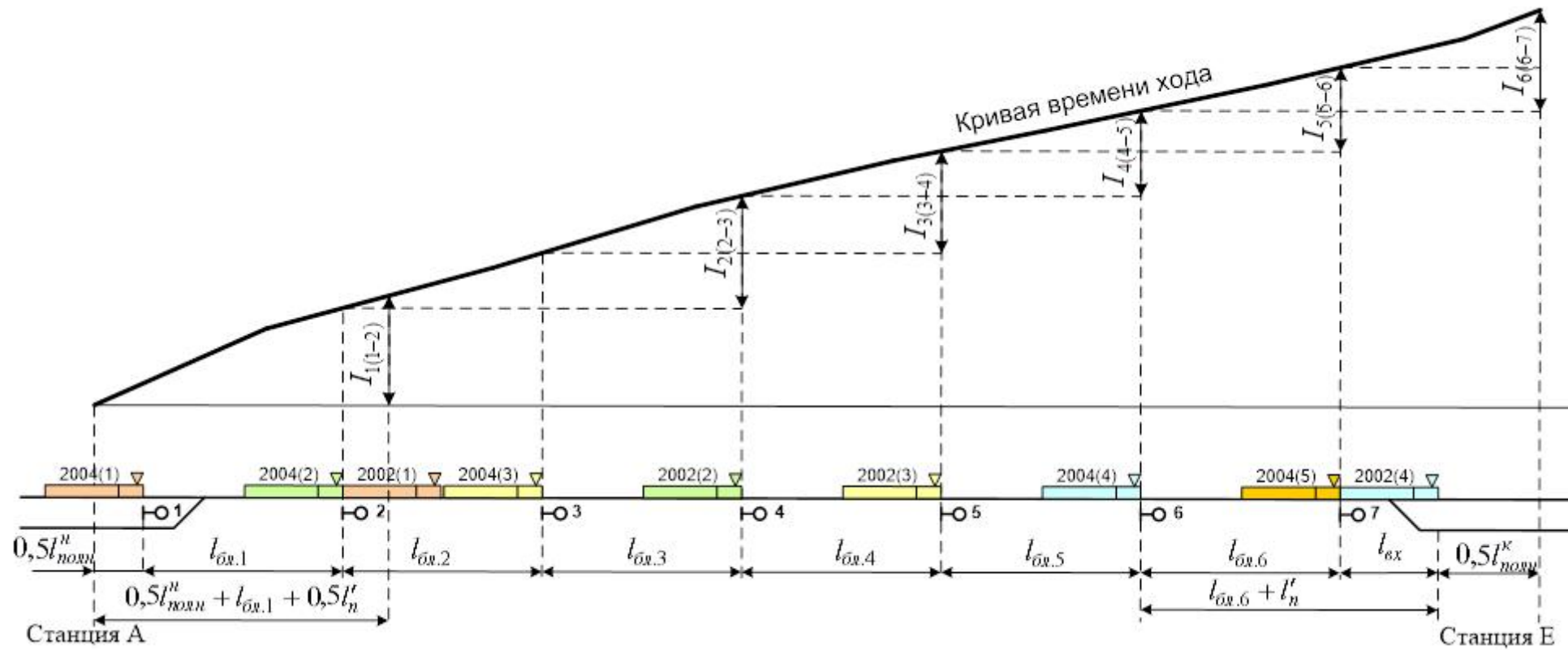


Рисунок 2.6 - Графический расчет межпоездных интервалов в пакете при автоблокировке на участке А-Е при двухблочном разграничении поездов

В этом случае на выходном светофоре 1 должен загореться желтый сигнал. Восстанавливая из точки, соответствующей середине первого поезда перпендикуляр до пересечения его с кривой времени хода, получают отрезок, который определяет минимальную величину интервала I при пакетном отправлении поездов с начальной станции участка.

Далее интервалы определяются по каждому проходному светофору (Рисунок 2.6). Так, для расчета величины интервала I при двухблочном разграничении поездов между светофорами 2 и 4, надо восстанавливать перпендикуляры из мест расположения этих светофоров до пересечения их с кривой времени хода. Разность отрезков перпендикуляров определяет величину интервала I между этими светофорами и т.д. Полученные интервалы I округляют до большего целого числа. За расчетный интервал I на рассматриваемом участке принимают больший из полученных.

Аналитически расчет интервалов I выполняют по следующим формулам.

Первый интервал с двухблочным разграничением:

$$I_1 = t_n + t_{\text{бл.1}} + t_{\text{бл.2}} \frac{t'_n}{t_{\text{бл.3}}}. \quad (2.3)$$

Промежуточный (i-й) интервал с двухблочным разграничением:

$$I_{i(2)} = t_{\text{бл.i}} + t_{\text{бл.(i+1)}}. \quad (2.4)$$

Последний интервал перед конечной станцией участка:

$$I_n = t_{\text{бл.n}} + t'_k, \quad (2.5)$$

где t'_k - проход хвоста первого поезда от входного светофора до момента остановки на конечной станции участка, мин.

Массовые расчеты показали, что при двухблочном разграничении расчетной пары поездов межпоездной интервал сокращается примерно на 25%, что позволяет повысить наличную пропускную способность железнодорожного участка на 50%.

Техническое обеспечение диспетчерского руководства при двухблочном разграничении предусматривает оборудование рабочего места поездного диспетчера плазменным экраном, на котором отображается схема диспетчерского участка и поездная ситуация на нем.

Как было отмечено выше, сокращение межпоездных интервалов за счет применения средств интервального регулирования не всегда может привести к увеличению наличной пропускной способности, если отсутствует готовность станции принять большее количество поездов. В этом случае станции требуют реконструкции горловин, обеспечивая одновременный прием поездов на станцию за счет удлинения одного из приемоотправочных путей. Иначе будет выполняться снижение скорости движения поезда в горловине при приеме на боковой путь. В результате чего, последующий поезд должен будет снижать скорость при большем удалении от станции, вызывая «волновой эффект», а фактический интервал следования становится больше, чем по участку с двухблочным разграничением.

Уже сегодня интервальное регулирование может иметь высокую эффективность при организации пропуска поездов по временно однопутному перегону [71] (в условиях «окон» большой длительности для ремонтных работ и связанного с этим закрытием одного из двух главных путей) [72-75].

Закрытие одного из двух главных путей на ремонтируемом перегоне приводит к резкому снижению наличной пропускной способности всего двухпутного участка [76]. Одним из главных мероприятий, направленных на повышение наличной пропускной способности временно однопутного перегона, является пакетный пропуск грузовых поездов (Рисунок 2.7).

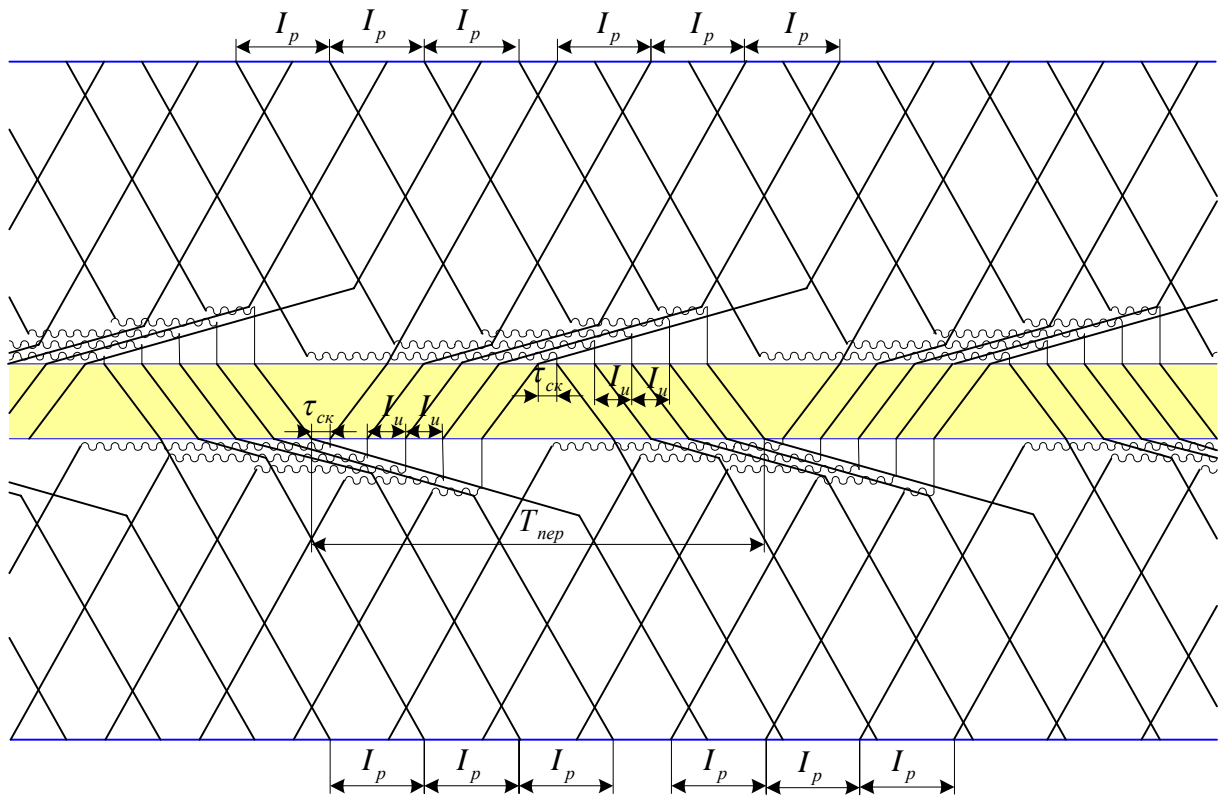


Рисунок 2.7 – Схема пропуска поездов через временно однопутный перегон

В этой ситуации пока идет пакетный пропуск поездов одного направления через временно однопутный перегон поезда встречного направления, прибывающие через расчетный или больший интервал I_{3-4} , накапливаются для формирования пакета. При освобождении временно однопутного перегона поездами одного направления, производится пропуск встречного пакета, в котором поезда разделены минимальным межпоездным интервалом I_2 .

На Рисунке 2.7 приняты следующие обозначения:

\approx - волнистой линией показан простой поездов в ожидании пропуска через временно однопутный перегон;

I_p - расчетный межпоездной интервал, мин;

I_u - межпоездной интервал при интервальном регулировании, мин;

$\tau_{ск}$ интервал скрещения, мин.

На Рисунке 2.7 показан поочередный пропуск пакетов из пяти поездов. В общем случае период графика на временно однопутном перегоне:

$$T_{пер} = t'_x + t''_x + 2 \cdot (K - 1) \cdot I + 2\tau_{ск} \text{ мин}, \quad (2.6)$$

- где K – число поездов, пропускаемых в пакете;
 t'_x – время хода поезда по временно однопутному перегону в нечетном направлении (с учетом разгона), мин;
 t''_x – время хода поезда по временно однопутному перегону в четном направлении (с учетом разгона), мин.

Тогда, наличная пропускная способность временно однопутного перегона:

$$N_{нал} = \frac{60 \cdot T_{ок} \cdot K}{T_{пер}} = \frac{60 \cdot T_{ок} \cdot K}{t'_x + t''_x + 2(K-1) \cdot I + 2\tau_{ск}} \text{ пар поездов}, \quad (2.7)$$

- где $T_{ок}$ – продолжительность «окна» для ремонтно-путевых работ, ч.

Согласно «Инструкции по определению станционных и межпоездных интервалов» интервал скрещения можно принимать равным 1 мин.

Из выражения (2.7) можно получить формулу, для определения минимального числа поездов в пакете, пропуск которых обеспечивает заданные размеры перевозок в период окна:

$$K = \frac{N_{ном} \cdot (t_x + \tau_{ск} - I)}{30 \cdot T_{ок} - N_{ном} \cdot I} \text{ число поездов в пакете}, \quad (2.8)$$

- где $N_{ном}$ – потребное число пар поездов, необходимых для пропуска в «окно»;
 t_x – среднее (среднеарифметическое) время хода четного и нечетного поезда по временно однопутному перегону, мин.

Рассчитанное по формуле (2.8) значение округляется до большей целой величины.

На Рисунке 2.8 показан график изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и межпоездном интервале 10 мин. Как видно из графика, время хода поездов по временно однопутному перегону оказывает несущественное влияние на наличную пропускную способность временно однопутного перегона. Так при пяти поездах в пакете и времени хода $t'_x = t''_x = 30$ мин наличная

пропускная способность составляет 29,5 пар поездов. А при сокращении времени хода в два раза ($t'_x = t''_x = 15$ мин) наличная пропускная способность увеличивается только до 32,1 пар поездов, т.е. всего на 8,8 %.

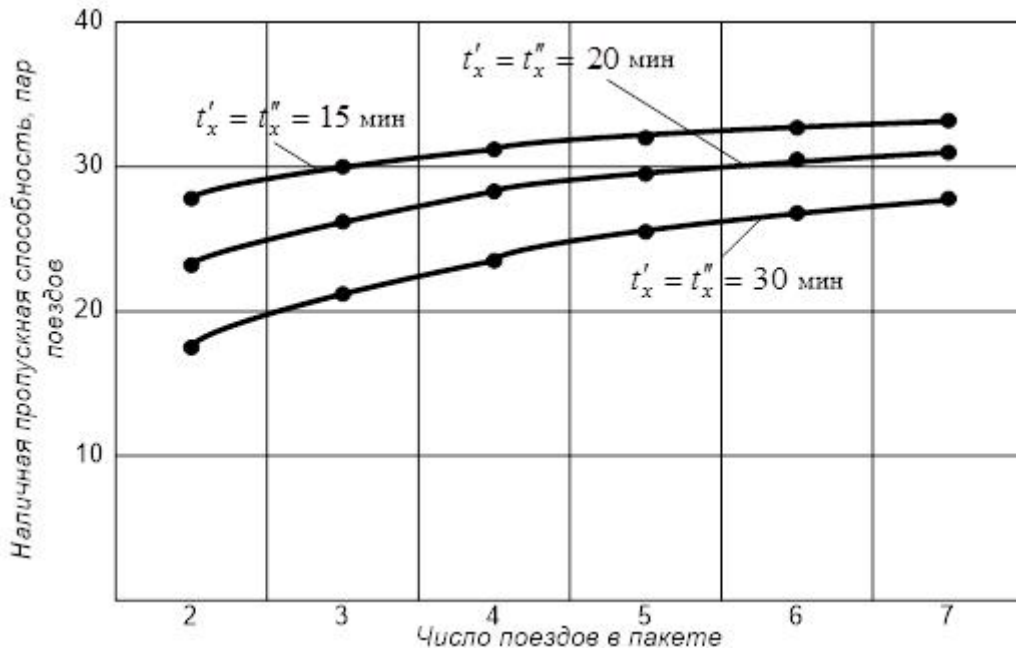


Рисунок 2.8 – График изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и межпоездном интервале 10 мин

Необходимо также иметь в виду, что чем больше поездов, пропускаемых в пакетах, тем выше их простой в ожидании пропуска. В общем случае среднее время ожидания пропуска одним поездом:

$$t_{ож} = \frac{I+I \cdot (K-1)}{2} \text{ мин.} \quad (2.9)$$

А суммарные поездо-минуты простоя поездов под накоплением на один пакет:

$$t_{ож} = \frac{I+I \cdot (K-1)}{2} \cdot K \text{ поездо-мин.} \quad (2.10)$$

Очевидно, что рост числа поездов, пропускаемых в пакете, несмотря на повышение наличной пропускной способности временно однопутного перегона, ведет к снижению участковой скорости грузовых поездов.

На Рисунке 2.9 показан график изменения суммарного времени ожидания грузовыми поездами пропуска через временно однопутный перегон в зависимости

от числа поездов в пакете (для одного пакета, следующего в одном направлении) при межпоездном интервале, равном 10 мин. Как видно из графика, рост потерь поездо-часов характеризуется степенной зависимостью. Например, если при 4 поездах в пакете суммарные поездо-минуты ожидания составляют 80 мин. (в среднем по 20 мин. на один поезд), то при 7 поездах (рост менее, чем в 2 раза) – 245 мин (рост более, чем в 3 раза).

Рассмотрим, как влияет на наличную пропускную способность временно однопутного перегона сокращение межпоездного интервала. На Рисунке 2.10 показан график изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и межпоездном интервале 5 мин. Сравнивая его с графиком, представленном на Рисунке 2.8, можно заметить резкий рост наличной пропускной способности временно однопутного перегона при сокращении межпоездного интервала.

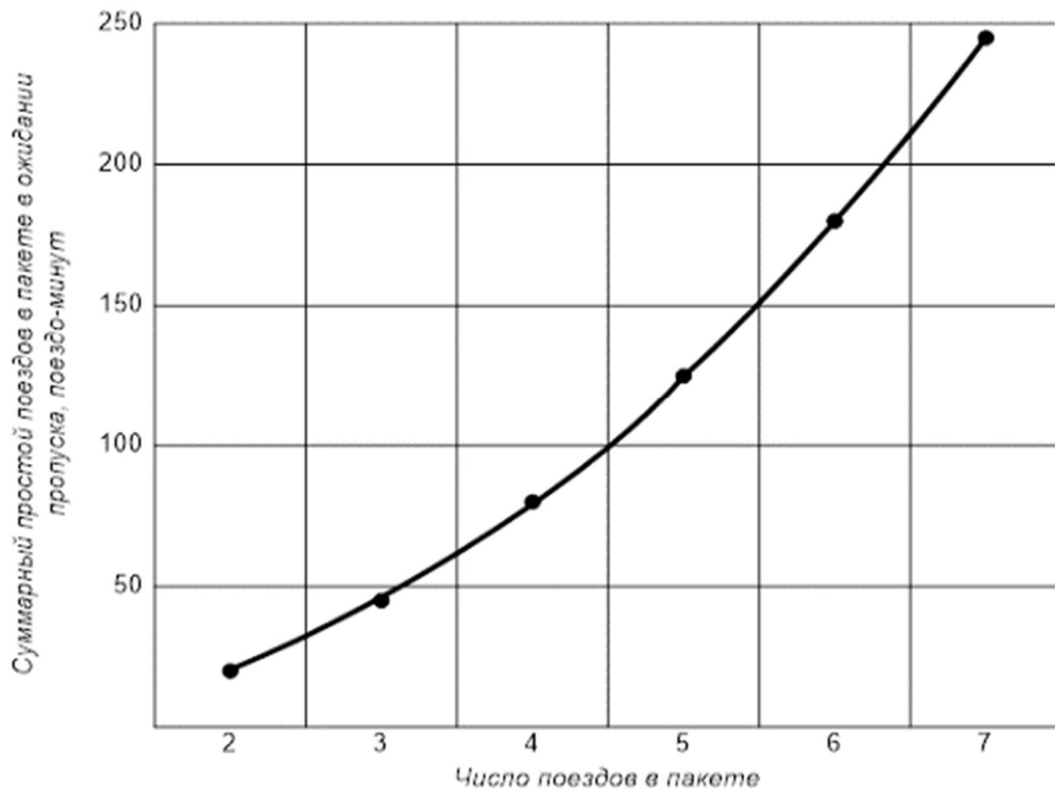


Рисунок 2.9 – График изменения суммарного времени ожидания грузовыми поездами пропуска через временно однопутный перегон в зависимости от числа поездов в пакете (для одного пакета, следующего в одном направлении)

Так, например, как было показано выше, сокращение времени хода по временно однопутному перегону с 30 мин до 15 мин (в 2 раза) при пяти поездах в пакете наличная пропускная способность временно однопутного перегона увеличилась всего на 8,8%. В тоже время (при тех же 5 поездах в пакете и 15-минутном времени хода), при сокращении межпоездного интервала в 2 раза (с 10 мин до 5 мин) наличная пропускная способность временно однопутного перегона увеличивается с 32,1 до 50 пар поездов, т.е. на 55,8%.

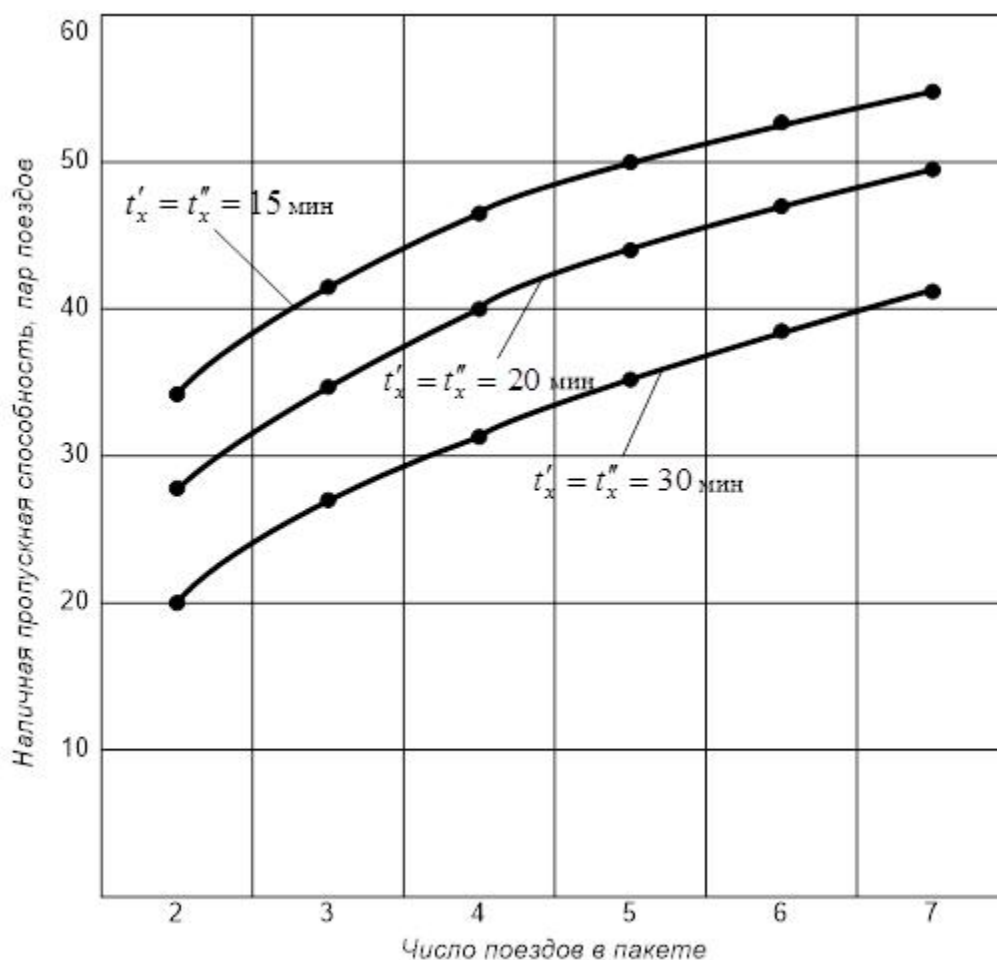


Рисунок 2.10 – График изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и межпоездном интервале 5 мин

Таким образом, эффективность применения интервального регулирования при пропуске поездов по временно однопутному перегону значительно выше (в

примере более чем в 6 раз) по сравнению с сокращением времени хода по нему поездов, в т.ч. и за счет устройства временных путевых постов.

Кроме того, устройство временных путевых постов требует, как минимум, предоставления двух дополнительных «окон», и вызывает дополнительные финансовые затраты.

На Рисунке 2.11 показан график изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от межпоездного интервала для разного числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и времени хода 20 мин. Как видно из графика, наибольший прирост наличной пропускной способности имеет место при пропуске до 5-6 поездов в пакете и межпоездном интервале 6-7 минут и ниже.

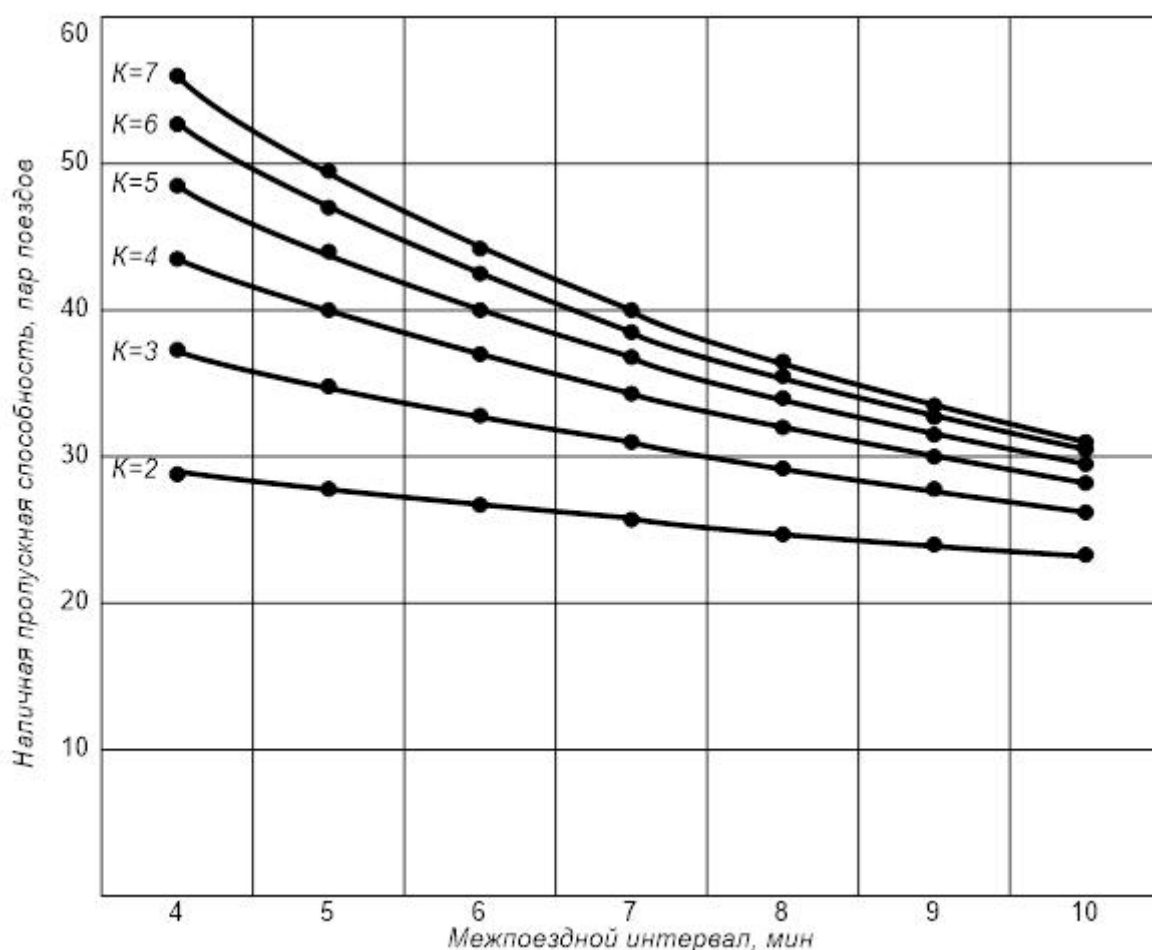


Рисунок 2.11 – График изменения наличной пропускной способности временно однопутного перегона в зависимости от межпоездного интервала для разного числа поездов в пакете при 12-часовом «окне» и времени хода 20 мин

2.2 Экономическая оценка уменьшения тормозного пути при приеме грузовых поездов на станции

Новые алгоритмы работы на станциях [77,78], также могут уже сегодня иметь ощутимый эффект от внедрения. Расчет производится для условий (Рисунок 2.12):

- следования грузового поезда по стрелочной горловине со скоростью $V_{вх} = 40$ км/ч (согласно ПТЭ для стрелочных переводов с маркой крестовины 1/9);
- начало торможения за 400-500 м до выходного светофора с приемоотправочного пути, на который принимается грузовой поезд (текущий вариант);
- начало торможения за 200 м до выходного светофора с приемоотправочного пути, на который принимается грузовой поезд (предлагаемый вариант).

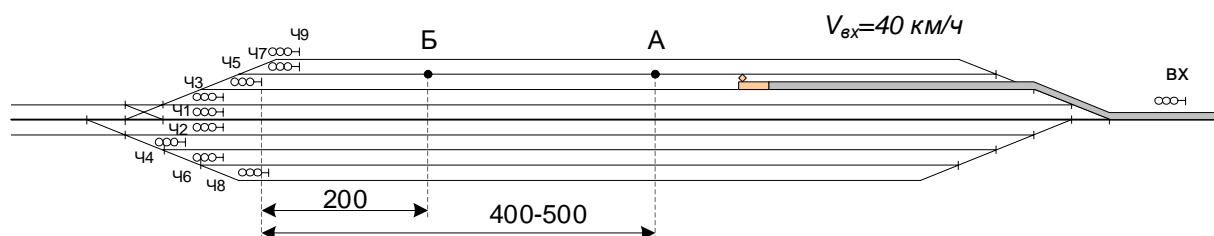


Рисунок 2.12 - Прибытие поезда в парк станции

При торможении принимается равнозамедленное снижение скорости. В этом случае средняя скорость при замедлении до полной остановки поезда:

$$V_{cp} = \frac{V_n - V_k}{2}, \quad (2.11)$$

где V_n – начальная скорость при замедлении грузового поезда, $V_n = V_{вх} = 40$ км/ч;

V_k – конечная скорость при замедлении грузового поезда, $V_k = 0$.

Тогда:

$$V_{cp} = \frac{40 - 0}{2} = 20 \text{ км/ч.}$$

Время замедления грузового поезда до его полной остановки:

$$t_3 = \frac{L_m}{16,67 \cdot V_{cp}}, \quad (2.12)$$

где L_m – длина тормозного пути, м;

16,67 – коэффициент перевода км/ч в м/мин.

Для текущего варианта (Рисунок 2.13, а) время замедления грузового поезда до его полной остановки:

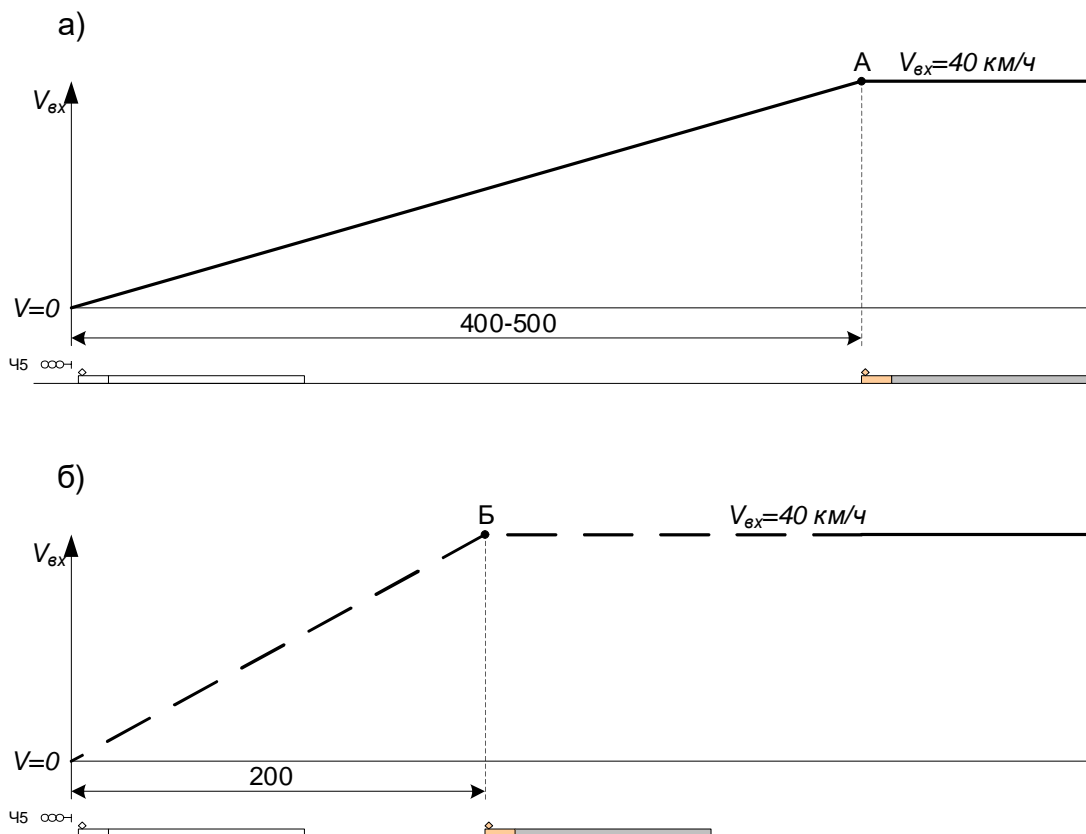


Рисунок 2.13 - Варианты начала торможения прибывающего грузового поезда

- при длине тормозного пути 400 м:

$$t_3 = \frac{400}{16,67 \cdot 20} = 1,2 \text{ мин.}$$

- при длине тормозного пути 500 м:

$$t_3 = \frac{500}{16,67 \cdot 20} = 1,5 \text{ мин.}$$

Для предлагаемого варианта (Рисунок 2.13 ,б) время замедления грузового поезда до его полной остановки:

$$t_3 = \frac{200}{16,67 \cdot 20} = 0,6 \text{ мин.}$$

Снижение времени приема грузового поезда на станцию (Δt_3) составит:

- при длине тормозного пути 400 м – $1,2 - 0,6 = 0,6$ мин;
- при длине тормозного пути 500 м – $1,5 - 0,6 = 0,9$ мин.

Экономическая эффективность сокращения времени приема грузовых поездов на станцию будет иметь место в двух элементах эксплуатационной работы:

- экономия поездо-часов;
- уменьшение уровня загрузки станционных горловин.

Также несколько улучшится качественный показатель: маршрутная скорость грузовых вагонов и поездов (на участках, где участковая скорость рассчитывается по моменту прибытия поезда на станцию, а не по моменту перекрытия входного сигнала также несколько повысится участковая скорость).

Годовой экономический эффект от экономии поездо-часов (руб.):

$$\mathcal{E}_2 = \frac{365 \cdot \Delta t_3 \cdot (N_3^c \cdot e_3 + N_m^c \cdot e_m)}{60} \quad (2.13)$$

Или:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{\Delta t_3 \cdot (N_3^g \cdot e_3 + N_m^g \cdot e_m)}{60} \quad (2.14)$$

где N_3^c, N_m^c – среднесуточное число грузовых поездов на сети железных дорог, обслуживаемых соответственно электрической и дизельной тягой;

N_3^g, N_m^g – годовое число грузовых поездов на сети железных дорог, обслуживаемых соответственно электрической и дизельной тягой;

e_3, e_m – среднесетевая стоимость поездо-часа соответственно для электрической и дизельной тяги, руб.

Под числом грузовых поездов понимается количество поездо-участков. Иначе говоря, если грузовой поезд прошел три участка, на попутных технических станциях которых производилась смена локомотивных бригад или локомотивов, или технический и коммерческий осмотр состава, или комбинация этих операций, то принимается прохождение не одного, а трех поездов.

Если же в отчетных данных под грузовым поездом понимается поезд, следующий между станциями формирования (погрузки) и расформирования (выгрузки), то формулы (2.13) и (2.14) необходимо преобразовать следующим образом:

$$\mathcal{E}_z = \frac{365 \cdot \Delta t_z \cdot n_{cm} \cdot (N_z^c \cdot e_z + N_m^c \cdot e_m)}{60} \quad (2.15)$$

Или:

$$\mathcal{E}_z = \frac{\Delta t_z \cdot n_{cm} \cdot (N_z^c \cdot e_z + N_m^c \cdot e_m)}{60}, \quad (2.16)$$

где n_{cm} – среднее число технических станций на маршруте движения грузового поезда, равное:

$$n_{cm} = \frac{L_{cp}}{l_g}, \quad (2.17)$$

где L_{cp} – среднее расстояние, проходимое грузовым поездом между станциями формирования (погрузки) и расформирования (выгрузки), км;

l_g – транзитное вагонное плечо, км.

Величина L_{cp} содержится в отчетных данных и используется при определении маршрутной скорости грузового поезда (ДО-9ВЦ). Величина l_g содержится в ЦО-1.

Поскольку величины e_z, e_m различаются по отдельным дорогам, то для повышения точности расчетов следует либо рассчитывать экономию по каждой дороге, либо определять средневзвешенные их значения.

В первом случае формулы (2.13) и (2.14) (или (2.15) и (2.16)) запишутся:

$$\mathcal{E}_z = \sum_{i=1}^{16} \frac{365 \cdot \Delta t_z \cdot (N_{zi}^c \cdot e_{zi} + N_{mi}^c \cdot e_{mi})}{60} \quad (2.18)$$

Или:

$$\mathcal{E}_z = \sum_{i=1}^{16} \frac{\Delta t_z \cdot (N_{zi}^c \cdot e_{zi} + N_{mi}^c \cdot e_{mi})}{60}, \quad (2.19)$$

где N_{zi}^c, N_{mi}^c – среднесуточное число грузовых поездов на i -й железной дороге, обслуживаемых соответственно электрической и дизельной тягой;

N_{zi}^z, N_{mi}^z – годовое число грузовых поездов на i -й железной дороге, обслуживаемых соответственно электрической и дизельной тягой;

$e_{\partial i}, e_{m_i}$ – стоимость поезд-часа на i -й железной дороге соответственно для электрической и дизельной тяги, руб.

Во втором случае среднесетевые величины e_{∂} и e_m рассчитываются по формулам:

$$e_{\partial} = \frac{\sum_{i=1}^{16} e_{\partial i} \cdot N_{\partial i}^{c(\partial)}}{\sum_{i=1}^{16} N_{\partial i}^{c(\partial)}}; \quad (2.20)$$

$$e_m = \frac{\sum_{i=1}^{16} e_{m_i} \cdot N_{m_i}^{c(\partial)}}{\sum_{i=1}^{16} N_{m_i}^{c(\partial)}}. \quad (2.21)$$

Эффект от уменьшения уровня загрузки станционных горловин выражается в сокращении времени задержек поездов по неприему станциями, а также в уменьшении ожидания внутрисканционнх передвижений на враждебных маршрутах.

В описанных выше случаях рассчитать эффект довольно затруднительно. Он будет зависеть от схемы станции, особенностей технологии внутрисканционнх передвижений и других условий. Однако общее время, на которое будет уменьшена загрузка станционной горловины, составит:

$$\Delta T = N_{\partial p} \cdot \Delta t_3, \quad (2.22)$$

где $N_{\partial p}$ – среднесуточное число грузовых поездов, прибывающих на техническую станцию.

Например, если на станцию (с разделенными парками приема) поступает 50 пар грузовых поездов, то общее снижение времени занятия каждой горловины составит $50 \times 0,6 = 30$ мин или $50 \times 0,9 = 45$ мин.

2.2.1 Расчет экономического эффекта

По данным ЦД ОАО «РЖД» среднесуточное число поездов, обращающихся на сети железных дорог составляет 6998 (ДО-9ВЦ). Укрупненная расходная ставка для поезда 6153,62 руб. поезд-час.

Тогда годовой экономический эффект составит:

- при длине тормозного пути 400 м:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{365 \cdot 0,6 \cdot 6998 \cdot 6153,62}{60} = 157180069,574 \text{ руб.};$$

- при длине тормозного пути 500 м:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{365 \cdot 0,9 \cdot 6998 \cdot 6153,62}{60} = 235770104,361 \text{ руб.}$$

Таким образом, при длине тормозного пути 400 м экономический эффект составит более 157 млн.руб./год, а при длине тормозного пути 500 м – более 235 млн.руб./год.

2.3 Режим пропуска поездов по участку при предоставлении «окон» большой длительности

2.3.1. Накопление поездов в пакеты

Принципиально возможны два варианта накопления поездов на пакеты. Классический вариант, когда поезда задерживаются для формирования пакетов непосредственно перед временно однопутным перегонном [79].

Вариант накопления поездов на путях технических станций.

Нередко при разработке вариантных графиков технологи графисты применяют именно второй вариант формирования пакетов, что является нецелесообразным по ряду причин. Во-первых, задержка транзитных поездов на путях транзитных парков, может вызвать задержки других поездов на подходе к станции из-за занятости путей. На станциях с объединенным транзитным и парком отправления также могут возникнуть задержки с выставкой сформированных составов из сортировочного парка в парк отправления. Из-за занятости сортировочных путей возникают задержки в расформировании составов, а также поездов, прибывающих на станцию. Во-вторых, в этом случае интервальное регулирование потребуется на всем участке, а не только на временно однопутном перегоне. В-третьих, при движении поездов до временно однопутного перегона высока вероятность того, что к нему они могут подойти с нарушениями межпоездных интервалов в пакете, что не позволит, в конечном итоге, реализовать максимальную наличную пропускную способность временно однопутного перегона.

Принимая решение о формировании пакетов на технической станции, технологи-графисты мотивируют это тем, что в этом случае не будет допущено большое снижение участковой скорости. Вместе с тем, общая маршрутная скорость останется неизменной. В этом случае речь идет о перераспределении простоя поездов между технической станцией и железнодорожным участком, а общий темп продвижения поездопотоков остается неизменным. Таким образом показатели

работы службы управления движением улучшается, а фактическая пропускная способность остается неизменной.

2.3.2. Режим движения поездов после выхода с временно однопутного перегона

Каждый грузовой поезд в пакете, за исключением первого, после выхода с временно однопутного перегона снижает скорость, чтобы выйти на расчетный интервал следования. При этом, исключая задержки у входного сигнала, прибытие всего пакета на станцию выполняется равномерно.

Расчеты показали, что при трехблочном разграничении наличная пропускная способность перегона увеличивается примерно на 50%, а при четырехблочном пропускная способность увеличивается практически в 2 раза. Для реализации предложенной технологии движения поездов могут использоваться уже существующие станционные устройства: автоблокировка АБТЦ-М (АБТЦ-МШ) и радиоблокцентр (УВК-СИР), взаимодействующие с локомотивной системой обеспечения безопасности. Структурная схема технических средств приведена на Рисунке 2.14.

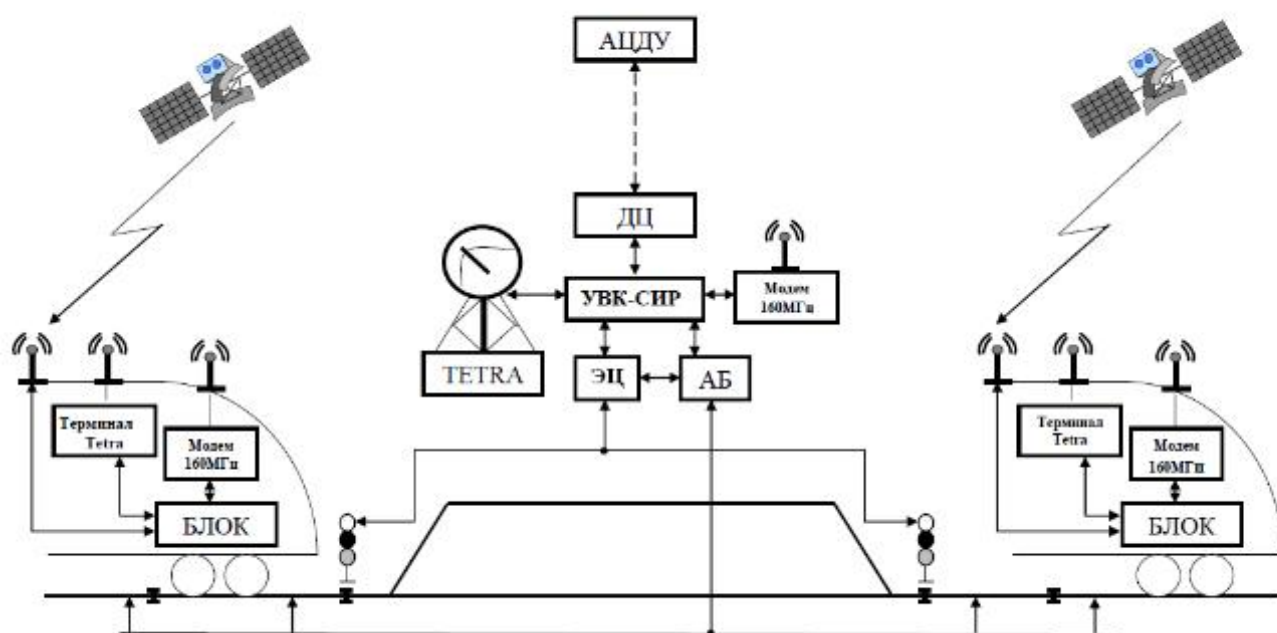


Рисунок 2.14 - Структурная схема технических средств

В общем случае работа радиоблокцентра на станции выполняется следующим образом: устройства сопряжения с ЭЦ передают данные о свободности/занятости рельсовых цепей, сигналах светофоров, положении стрелок, что позволяет вычислить маршрут. На борт локомотива передаются показания станционных светофоров, а в ответ станционный радиоблокцентр получает информацию о номере поезда, номере и типе локомотива, длине состава, его координате и скорости. После чего на основании этих данных рассчитывается и передается на борт прицельная точка торможения. Машинист, получив команду от диспетчера, в случае движения на желтый огонь светофора не снижает скорость, если на блоке индикации он видит, что расстояние до точки торможения не уменьшается [67].

2.4 Совершенствование инфраструктуры, как совокупности технических средств железнодорожной автоматики

Уровень полноты безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики, а также «степень доверия» к исходным диагностическим данным, напрямую связаны с увеличением пропускной способности [80]. Таким образом, выполнение функции поддержания минимального безопасного межпоездного интервала с минимальными временными затратами и максимальной эффективностью возможно при применении многоуровневых интегрированных систем обеспечения безопасности (Рисунок 2.15). Интегрированная система представляет собой безопасный вычислительный узел, где обмен информацией от отдельных функциональных блоков идет на уровне единого информационного контролируемого пространства. Такое решение позволяет модульно распределять вычислительные ресурсы, а также производить многоуровневый взаимный сквозной контроль выполнения алгоритмов, реализуя идеологию многоуровневой системы по ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012.



Рисунок 2.15 – Интегрированная система обеспечения безопасности

Увеличение скорости реакции системы, ее системная проработка и сокращение погрешностей в системе позиционирования требует отдельного исследования, поэтому к анализу предлагаются следующие алгоритмы.

2.4.1 Движение поездов типовым пространственным интервалом

Обеспечение устойчивого графика при движении по трехзначной автоблокировке, возможно с применением пространственного интервала попутного следования, равного трем блок-участкам [81]. При сокращении данного интервала, обеспечивается неустойчивый режим движения поездов, ввиду отсутствия информации о координате и скорости движения впереди идущего поезда. Данную задачу решает применение радиоканального взаимодействия при сохранении типовой инфраструктуры.

Информация о координате поезда, его скорости и длине состава передается в реальном времени на следующий за составом локомотив, позволяя ему двигаться на границе “зеленой” зоны, то есть зоны кодирования сигналом АЛСН “зеленый” с максимальной допустимой скоростью (Рисунок 2.16).

Особенностью данного технического решения является возможность использования “небезопасного” радиоблокцентра или радиосвязи между локомотивами. При наличии кодирования АЛСН локомотив имеет достоверные данные о допустимой скорости и произведет служебное торможение в случае превышения скорости на желтый сигнал светофора, сохраняя однозначные параметры безопасности движения.

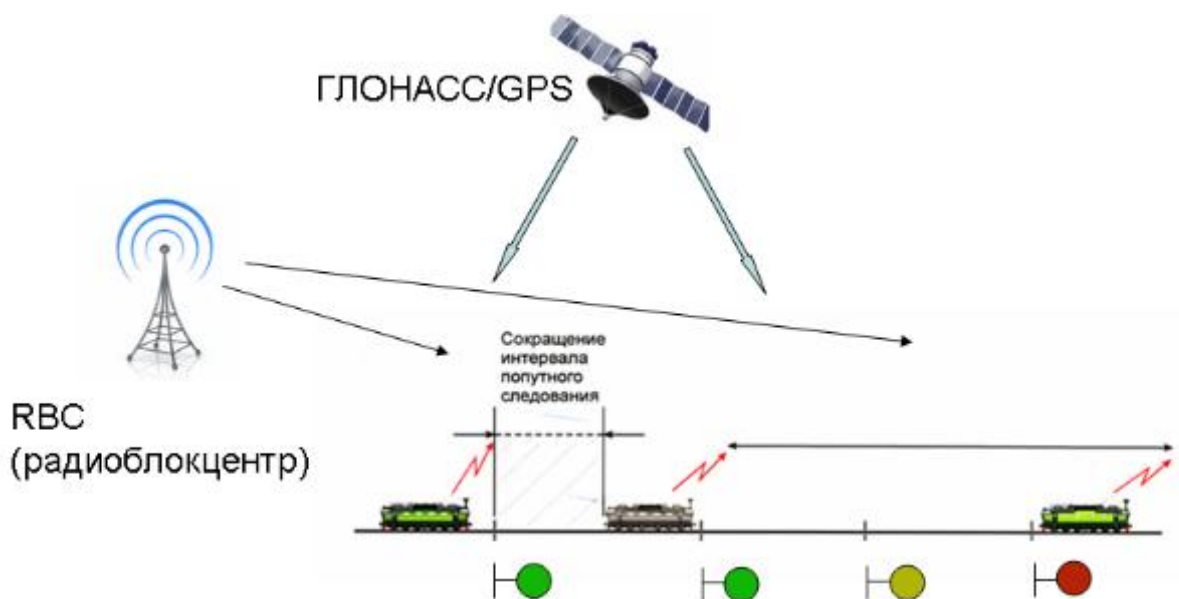


Рисунок 2.16 - Движение с минимальным интервалом

2.4.2. Координатное регулирование

Современные комплексы обеспечения безопасности уже в настоящее время реализуют перспективную бессветофорную систему интервального регулирования на базе типовых систем автоблокировки, при условии наличия надежного криптозащищенного радиоканала, а также оборудования способного принимать и обрабатывать ответственную информацию [82,83].

При использовании только канала АЛСН, машинист и система обеспечения безопасности обязаны четко интерпретировать показания локомотивных светофоров и предпринимать «ступенчатое» торможение к запрещающему сигналу. В случае использования типовой автоблокировки машинист имеет право совершить «подтяг» к запрещающему сигналу светофора на ограниченной скорости (Рисунок 2.17). При этом дополнительно теряется время на проследование защитного участка.

Внедрение технических средств позиционирования и передачи информации на локомотив по радиоканалу о (конкретном) занятом блок-участке позволяет производить прицельное торможение с меньшим ограничением скорости (Рисунок 2.18). Однако требуется отметить необходимость замены сигналов АЛС командами по радиоканалу на некоторых блок-участках, а порой и полного отключения кодирования некоторых рельсовых цепей и проходных светофоров при ответственной передаче сигналов светофора по радиоканалу.

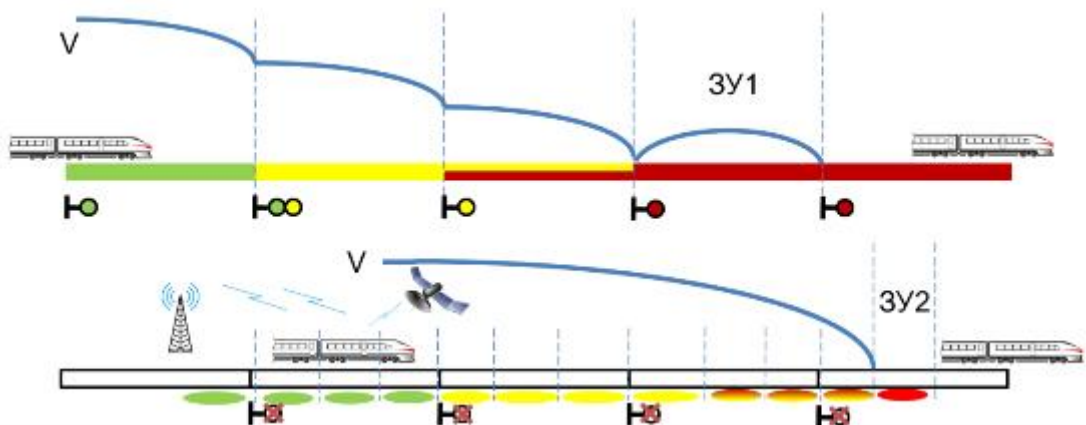


Рисунок 2.17 - Координатное регулирование с релейной АБТЦ

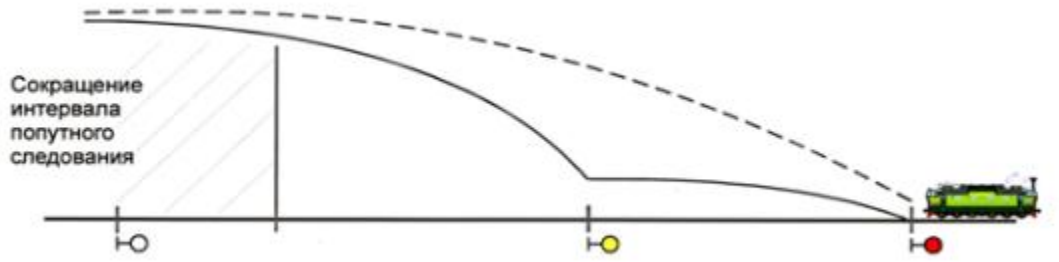


Рисунок 2.18 - Прицельное торможение к запрещающему сигналу

Проведен расчет межпоездных интервалов для различных систем АЛСО, планируемых к внедрению на полигоне БАМа. Для расчета вводятся следующие величины и допущения:

1. Интервалы по условиям безопасности движения рассчитаны исходя из следующих максимальных скоростей:

- а) пассажирского поезда— 140 км/час;
- б) грузового — 90 км/час.

2. Средние скорости движения расчетной пары поездов по перегону принимаются одинаковыми. Расчет проводится для средних скоростей движения 80 и 60 км/час.

3. Средняя длина расчетных поездов ($L_{\text{поезда}}$) одинакова и равна 71 условному вагону (у.в.) или 994 м.

4. Межпоездной интервал для расчета длин блок-участков при системе АЛСО определяется исходя из принятых схем разграничения попутно следующих поездов в зависимости от системы интервального регулирования движения поездов. Для системы АЛСО с фиксированными блок-участками принимаем:

- а) на перегонах - тремя блок-участками и защитным участком (езда под зеленый на зеленый);
- б) на перегонах с затяжными подъемами - двумя блок-участками и защитным участком (езда под зеленый на желтый).

5. Кроме этого, для корректности расчетов, учтены:

а) длина шага переключения системы кодирования ($L_{пк}$), составляющая длину одного блок-участка при фиксированных или длину одной рельсовой цепи при подвижных блок-участках;

б) время 0,3 мин ($t_{нх}$), необходимое для учета неравномерности хода поезда при езде под зеленый на желтый. Длина участка восприятия ($L_{нх}$) рассчитана для скорости 80 км/час составляет 500 м.

б. В соответствии с Руководящими указаниями по расстановке светофоров автоблокировки и определению длин блок-участков на линиях с АЛСО от 8 февраля 2003 г. № 660301 сформированы следующие требования к длинам блок-участков по условиям безопасности:

а) длина одного или двух смежных блок-участков должна быть не менее тормозного пути служебного торможения, необходимого для снижения максимальной реализуемой скорости движения в данном месте, но не более 140 км/ч для пассажирских и 90 км/ч для грузовых поездов, до максимально допустимой скорости проследования места смены показания локомотивного светофора с «желтого» на «желтый с красным», которая принимается равной 50 км/ч для грузовых и пассажирских поездов. При этом в тормозном пути служебного торможения необходимо учитывать путь, проходимый поездом за время смены показания локомотивного светофора с «зеленого» на «желтый», равное 6 с, и восприятия смены показания машинистом — 3 с, т.е. суммарно 9 с;

б) длина одного блок-участка должна быть не менее:

- тормозного пути экстренного торможения от устройств АЛС, определенного с максимально-возможной скорости входа на защитный участок (ЗУ) при АЛСН - 60 км/ч для всех категорий поездов;

- тормозного пути служебного торможения, определенного с максимально допустимой скорости входа на блок-участок с показанием локомотивного светофора «желтый с красным» (при АЛСН-50 км/ч) до остановки поезда перед защитным (не кодируемым) участком. При этом в тормозном пути служебного торможения необходимо учитывать путь, проходимый поездом за время смены

показания локомотивного светофора с «желтый» на «желтый с красным» равное 6 с, и восприятия ее машинистом - 3 с, т.е. суммарно 9 с.

В результате расчетов тормозных путей заданных категорий поездов по всем вышеперечисленным требованиям максимальное значение определяет длина тормозного пути служебного торможения, необходимая для снижения максимальной реализуемой скорости движения пассажирского поезда со 140 км/ч до максимально-допустимой скорости проследования места смены показания локомотивного светофора с «желтого» на «желтый с красным» равной 50 км/ч, которая составляет 1800 м, соответственно длина блок-участка при подаче кода «желтый» в один блок-участок составляет не менее 1800 м, а при подаче кода «желтый» в два смежных блок участка — 900 м. Расчет произведен для обоих вариантов.

Максимальный межпоездной интервал для варианта подачи кода «желтый» в один блок-участок составляет:

Езда под зеленый на зеленый (Рисунок 2.19):

$$L_{p3-3} = L_{6/y1} + L_{6/y2} + L_{6/y3} + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}. \quad (2.23)$$

Езда под зеленый на желтый (Рисунок 2.20):

$$L_{p3-ж} = L_{нх} + L_{6/y1} + L_{6/y2} + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}. \quad (2.24)$$

Максимальный межпоездной интервал для варианта подачи кода «желтый» в два смежных блок-участка составляет:

Езда под зеленый на зеленый (Рисунок 2.21):

$$L_{p3-3} = L_{6/y1} + L_{6/y2} + L_{6/y3} + L_{6/y4} + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}. \quad (2.25)$$

Езда под зеленый на желтый (Рисунок 2.22):

$$L_{p3-ж} = L_{нх} + бр. ц. + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}. \quad (2.26)$$

Альтернативой может служить режим движения АЛСО с подвижными блок-участками, который позволяет снизить количество напольного оборудования за счет ликвидации знаков «граница станции» и исключения двойного комплекта напольного оборудования рельсовых цепей в случаях совпадения границ блок-участков четного и нечетного направления (Рисунок 2.23).

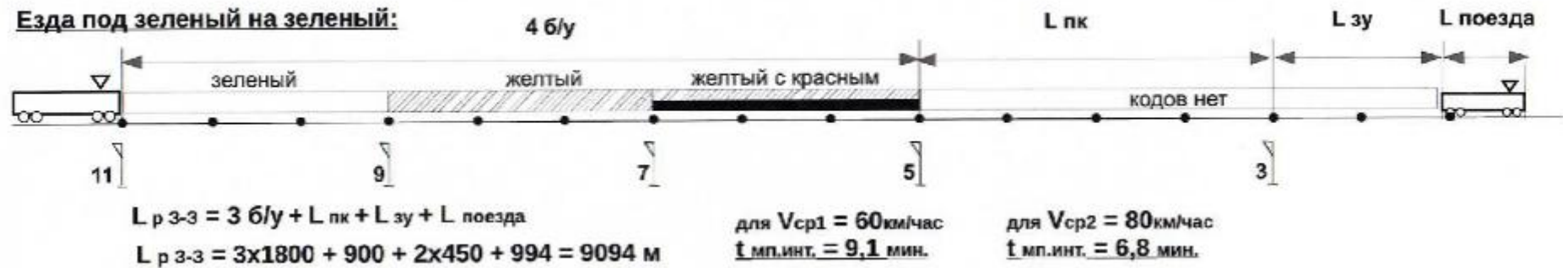


Рисунок 2.19 – Пример построения кривой торможения. Фактическая скорость локомотива в момент проезда светофора с желтым показанием 65 км/ч, допустимая скорость 22 км/ч.



Рисунок 2.20 – Пример построения кривой торможения. Фактическая скорость локомотива в момент проезда светофора с желтым показанием 65 км/ч, допустимая скорость 22 км/ч.

АЛСО с фиксированными блок-участками с подачей кода «Ж» в один блок-участок (длина: б/у=1800 м, р.ц.=450 м)

Езда под зеленый на зеленый:

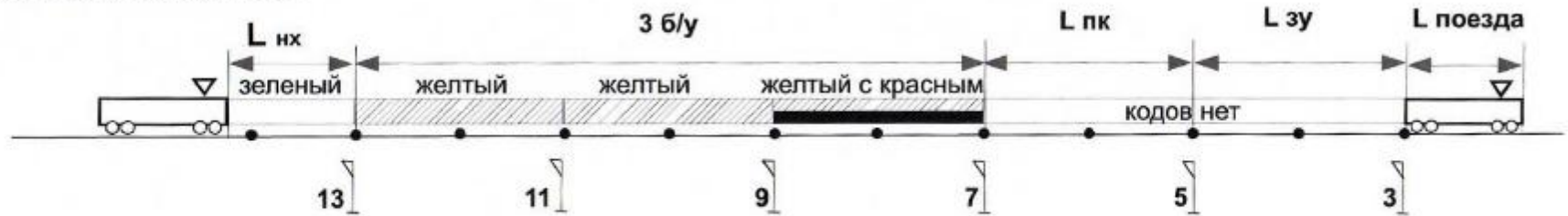
$$L_{p\ 3-3} = 4 \text{ б/у} + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}$$

$$L_{p\ 3-3} = 5 \times 900 + 2 \times 450 + 994 = 6394 \text{ м}$$

при $V_{ср1} = 60 \text{ км/час}$
 $t_{м.п.инт.} = 6,4 \text{ мин.}$

при $V_{ср2} = 80 \text{ км/час}$
 $t_{м.п.инт.} = 4,8 \text{ мин.}$

Рисунок 2.21 – АЛСО с фиксированными блок-участками с подачей кода «Ж» в два блок-участка (длина: б/у=900 м, р.ц.=450 м)

Езда под зеленый на желтый:

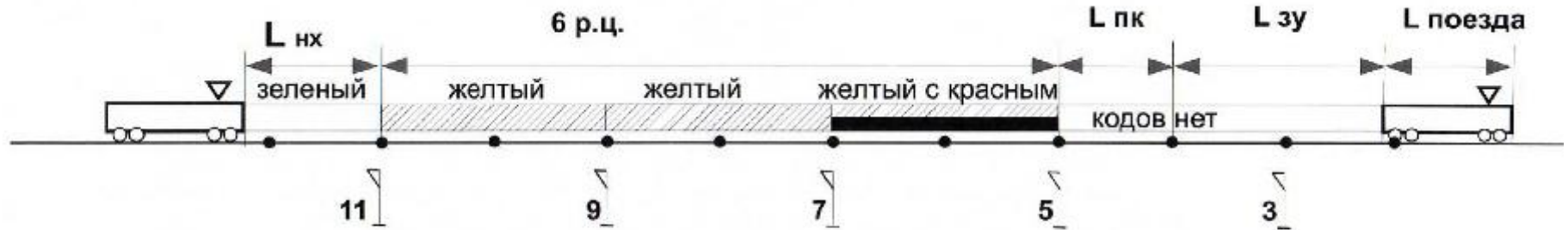
$$L_{p\ 3-ж} = L_{нх} + 3 \text{ б/у} + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}$$

$$L_{p\ 3-ж} = 500 + 3 \times 900 + 900 + 2 \times 450 + 994 = 5994 \text{ м}$$

при $V_{ср1} = 60 \text{ км/час}$
 $t_{м.п.инт.} = 6,0 \text{ мин.}$

при $V_{ср2} = 80 \text{ км/час}$
 $t_{м.п.инт.} = 4,5 \text{ мин.}$

Рисунок 2.22 – АЛСО с фиксированными блок-участками с подачей кода «Ж» в два блок-участка (длина: б/у=900 м, р.ц.=450 м)



$$L_{рз} = L_{нх} + 6р.ц. + L_{пк} + L_{зу} + L_{поезда}$$

$$L_{разгр} = 500 + 6 \times 450 + 450 + 2 \times 450 + 994 = 5094 \text{ м}$$

$$\text{при } V_{ср1} = 60 \text{ км/час}$$

$$t_{мп.инт.} = 5,1 \text{ мин.}$$

$$\text{при } V_{ср2} = 80 \text{ км/час}$$

$$t_{мп.инт.} = 3,8 \text{ мин.}$$

Рисунок 2.23 – АЛСО с подвижными блок-участками (длина р.ц.=450 м)

2.4.3 Движение по закрытой автоблокировке

В случае движения по закрытой автоблокировке, пропускная способность резко сокращается, ввиду невозможности выпуска на один перегон нескольких составов.

Решение задачи состоит в оборудовании составов, следующих друг за другом на перегоне, средствами радиоканального взаимодействия и системы контроля хвоста поезда. Таким образом, поезда организуют радиоблокировку, которая может контролироваться самостоятельно локомотивами на перегоне, а также дополнительным диспетчерским пунктом на станции. Скорость движения в таком случае может быть увеличена (Рисунок 2.24). Фактически данное взаимодействие повторяет ETCS Level 3 [84].

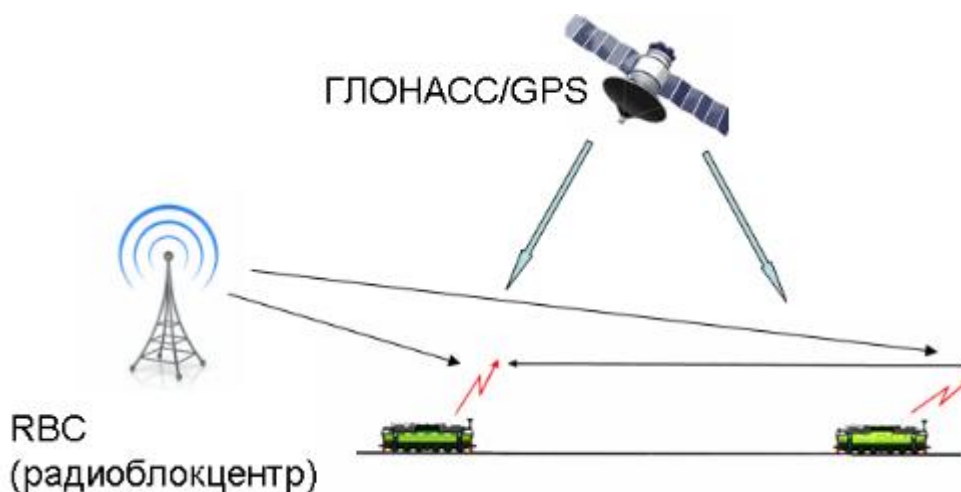


Рисунок 2.24 - Движение по закрытой автоблокировке

2.4.4 Бессветофорная технология подвижных блок-участков. Многозначная АЛС

Суть обеих систем состоит в динамическом отслеживании хвоста впередиидущего поезда и передачи информации о расстоянии до него в бортовую систему обеспечения безопасности попутно следующего состава, благодаря кодированию каждой рельсовой цепи. Данная задача решается в настоящее время благодаря двум источникам информации:

- Каналу АЛС-ЕН (кодированию отдельных рельсовых цепей);

- Радиоканалу.

АЛС-ЕН, используемая для высокоскоростного сообщения на Октябрьской железной дороге, нашла более эффективное применение на базе системы АБТЦ-МШ на Московском центральном кольце (МЦК), что позволило не только успешно продемонстрировать перспективность данной технологии, но и произвести ее модернизацию [85].

Требуется продемонстрировать разные уровни данной технологии. На первом уровне задействуется исключительно АЛС-ЕН. Благодаря динамическому кодированию отдельных рельсовых цепей попутно следующий поезд перманентно получает информацию о хвосте впередиидущего состава. Однако машинист должен самостоятельно отрабатывать экстренные ситуации, такие как временные ограничения скорости, которые могут появиться в процессе работы. Использование криптозащищенного радиоканала в составе системы обеспечения безопасности дает возможность оперативно передавать бортовым системам временные ограничения скорости, что позволяет минимально прибегать к помощи машиниста в части проследования опасных участков с допустимой скоростью. Таким образом, реализуется более безопасная система, позволяющая организовать энергоэффективный и оптимизированный по межпоездному интервалу график движения, благодаря многоуровневой системе учитывающей АЛС и радиоканал как базовые элементы.

Примером такой системы является МЦК, где контроль впередиидущего состава осуществляется локомотивной сигнализацией АЛС-ЕН. Даже при отсутствии радиоканала, благодаря кодированию всех рельсовых цепей локомотив имеет однозначно безопасную информацию о расстоянии до защитного участка впередиидущего поезда. Описанные технические решения нашли свое применение на Горьковской железной дороге, где данная технология позволяет передавать многозначные коды по радиоканалу, при перманентном использовании стандартной автоблокировки. Полученные по радиоканалу данные позволяют более точно вычислять точку прицельного торможения к границе препятствия (запрещающий сигнал, граница З/У) (Рисунок 2.25).

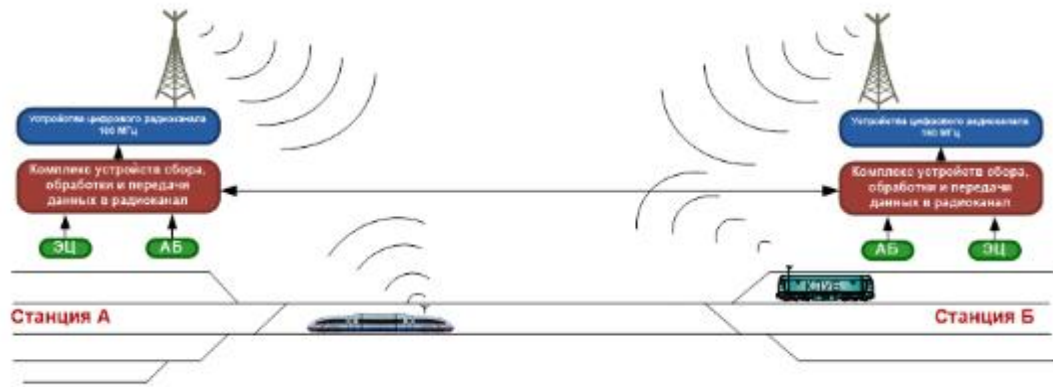


Рисунок 2.25 - Организация движения на Горьковской железной дороге

В отличие от движения поездов с сокращенным пространственным интервалом, данное решение направлено на сокращение межпоездного интервала на заданном участке за счет повышения скорости.

Станция и радиоблокцентр аккумулируют информацию о занятых рельсовых цепях на перегоне и передают данные на борт. Система обеспечения безопасности оценивает свободные впередилежащие блок-участки и в случае превышения необходимого расстояния для безопасной кривой торможения позволяет двигаться составу с повышенной скоростью.

2.5 Методика повышения надежности работы ЖАТ путем функционального замещения и диагностики сигналов рельсовых цепей

При осуществлении дублирования аппаратных средств железнодорожной автоматики происходит значительное увеличение стоимости изделий и проектов. В качестве альтернативы, предлагается методика повышения надежности работы железнодорожной автоматики и телемеханики путем локального замещения сигналов рельсовых цепей [86, 87] при обязательном условии сохранения контрольного режима. Задержка поездов при отказе одной рельсовой цепи, в случае ее функционального замещения, сокращается с 20 мин. (Рисунок 2.26) до 5 мин. (Рисунок 2.27), что является существенным для интенсивного движения, в то время как полное резервирование технических средств является дорогостоящим.

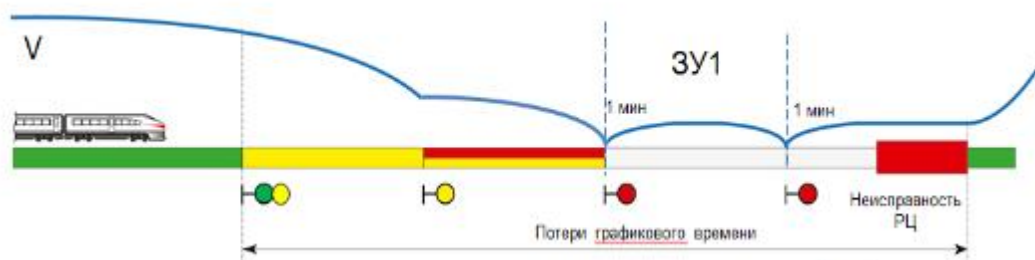


Рисунок 2.26 - Существующий алгоритм движения

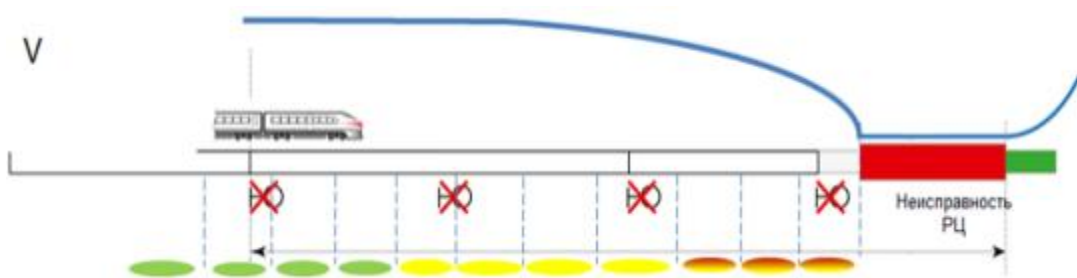


Рисунок 2.27 - Перспективный алгоритм движения

Для перехода к обоснованию метода введем утверждение [88-90].

Утверждение: наиболее вероятным событием при отказах рельсовых цепей является вариант непосредственно отказ двух последовательно идущих рельсовых цепей. Варианты отказов представлены на Рисунке 2.28.

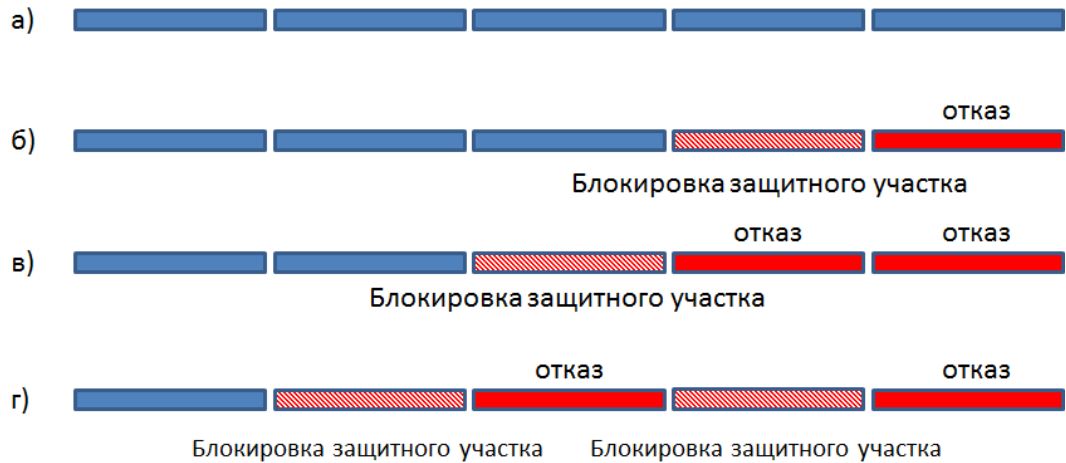


Рисунок 2.28 – Неисправности рельсовых цепей

Для доказательства утверждения рассмотрим модель, в которой неисправные рельсовые цепи расположены друг за другом и через одну. В результате для наглядного отображения ситуации с отказами рельсовых цепей приведем следующую форму представления, где k - неисправные рельсовые цепи, расположенные случайным образом и независимо друг от друга по полигону с допуском $k < n$. Требуется сопоставить события, когда неисправные рельсовые цепи k займут смежные рельсовые цепи из n , а также идущие через одну рельсовые цепи из n (т.е. $\{1;3\}, \{2;4\} \dots \{n-1;n\}$ при $k=2$). k соседних рельсовых цепей из n можно выбрать $n-k+1$ способами. Событие A_1 , смежное размещение неисправных рельсовых цепей:

$$A_1 = n - k + 1 \quad (2.27)$$

k расположенных через одну рельсовых цепей n можно выбрать $n-2k+1$ способами. Событие A_2 , когда неисправные рельсовые цепи попали в k , (через одну рельсовую цепь):

$$A_2 = n - 2k + 1 \quad (2.28)$$

Проведем сопоставление двух результатов через коэффициент сопоставления c :

$$c = \frac{A_1}{A_2} = \frac{n-k+1}{n-2k+1} \quad (2.29)$$

Таким образом, для любого n и для любого k наиболее вероятным событием становится расположение двух подряд идущих рельсовых цепей. Это позволяет представить отказ двух смежных рельсовых цепей, как отказ одной и использовать вышеописанную методику.

2.5.1 Функциональное резервирование системы

Учитывая сложность объекта исследования, наличие сильных технологических взаимосвязей, не поддающихся строгому аналитическому описанию, для анализа работы функционального резервирования систем, выявления лимитирующих элементов и формирования перечня технических и технологических мероприятий, направленных на освоение перспективного поездопотока, был выбран инструментарий имитационного моделирования.

Имитационное (дискретно-событийное) моделирование, или воспроизведение технологии работы железнодорожного объекта, позволило определить и уточнить существующие лимитирующие элементы технологии и инфраструктуры в условиях действующей и изменённой технологии работы.

В рамках расчёта наличной пропускной способности рассмотрены различные системы интервального регулирования в составе:

- Числовая кодовая 3-значная;
- Числовая кодовая 4-значная;
- АБТЦ 3-значная;
- АБТЦ 4-значная;
- АЛСО в режиме АЛСН;
- АЛСО в режиме АЛС-ЕН.

Расчет произведен на примере однопутного участка Ангелинская-Величковка. Наличная пропускная способность рассчитана исходя из максимального сближения поездов на перегоне, с учетом разгона и ускорения. При расчете рассмотрены различные схемы организации пакетного пропуска по однопутному участку длиной 11,2 км. при условиях K - количество поездов в пакете от одного до трех., интервал скрещения поездов / пакетов равен 5 минутам.

Рассмотрены разные системы АБ. При разных длинах блок-участков от 300 до 2500 метров (среднестатистические длины). Расчёт проводился для идеальных условий, где средняя скорость грузового поезда принята за 45км/ч по причине разгона с 0 км/ч, а также торможения до 0 км/ч, скорость пассажирского поезда 80 км/ч. В расчете не учтены уклоны. Все расчётные величины представлены в Приложении А с учетом вышеописанных исходных данных.

При абсолютно одинаковых исходных данных по результатам расчёта можно выявить значительную разницу в пропускной способности различных систем интервального регулирования.

За расчетную единицу принята пропускная способность при числовой кодовой 4-значной автоблокировке – 100%

Далее представлена пропускная способность в процентном отношении относительно числовой кодовой 4-значной автоблокировки:

- Числовая кодовая 3-значная – 95%;
- Числовая кодовая 4-значная – 100%;
- АБТЦ 3-значная – 90%;
- АБТЦ 4-значная – 92%;
- АЛСО в режиме АЛСН – 119%;
- АЛСО в режиме АЛС-ЕН – 126%.

Можно сделать вывод, что пропускная способность участков, оборудованных подвижными блок-участками с различными локомотивными сигнализациями гораздо выше числовой кодовой АБ и способна пропускать поездопоток на 19-26% больше. Однако в случае отказа, сохранение параметров невозможно и требуется переход на менее производительные технологии.

В соответствии с [88-90] уже сегодня можно говорить о функциональном резервировании системы, позволяя сохранять заявленные параметры, приведя систему к стандартному виду графа для расчета надежности восстанавливаемых систем или резервированных восстанавливаемых систем.

На основании вышесказанного и анализа возможности работы напольных и бортовых систем на базе радиоканала в различных режимах вводится понятие коэффициент эффективности, который, в зависимости от используемой технологии интервального регулирования, дает возможность оценить эффективность пропускной способности используемой технологии, относительно эталонной.

Выводы по главе 2

Современные технологии позволяют не только создавать принципиально новые комплексы обеспечения безопасности и системные увязки “инфраструктура-борт”, но и модернизировать существующие железнодорожные перегоны, оборудованные устаревшими техническими средствами благодаря новым функциям локомотивных устройств безопасности. Такие решения, при относительно небольшом финансировании, позволяют выполнять модернизацию и осуществлять формирование современных комплексов управления движением.

Подобные проекты должны максимально применять отечественную элементную базу, что повысит их привлекательность для отечественных инвесторов и надежность в условиях киберугроз.

Следует четко разделить понятие технологии и технических средств. Технологические алгоритмы и принципы организации движения позволяют значительно увеличить использование пропускной способности путем сокращения интервала попутного следования, но нельзя забывать и о технических средствах реализации данных алгоритмов.

ГЛАВА 3. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ БОРТОВЫХ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Необходимость решения проблем надежного приема кодов локомотивной сигнализации, а также их функционального использования, обусловлена требованием качественного улучшения использования пропускной способности существующих линий. Сложно сегодня представить организацию современного движения подвижного состава без опоры на системы автоблокировки со вторичным уплотнением тональных рельсовых цепей сигналами частотной модуляции или автоматическую локомотивную сигнализацию без использования многозначной автоматической локомотивной сигнализации с фазоразностной модуляцией [91].

С учетом объективного факта помехоэмиссии от работы энергоемкого железнодорожного оборудования и современных локомотивов, вопросы надежности и помехоустойчивости приема дискретной информации, в том числе и сигналов традиционной автоматической локомотивной сигнализации, становятся все более актуальными, а анализ причин снижения помехоустойчивости в системах управления и обеспечения безопасности движения выходит на передний план. Также, при дальнейшем развитии технологии обработки сигналов, открываются новые перспективы использования локомотивной сигнализации, как информационного канала о местоположении локомотива. Глава 3 посвящена проработке принципов повышения достоверности приема кодов АЛС на борту локомотива, а также в ней представлены практические результаты работы метода повышения точности позиционирования границ блок-участков на базе сигналов АЛС.

3.1 Программно-аппаратный комплекс регистрации сигналов из рельсовых цепей

Наличие программно-аппаратных комплексов регистрации параметров локомотивной сигнализации и шины информационного обмена CAN уже скорее необходимость, чем просто дополнительная функция систем безопасности. Использование вагонов лабораторий резко сокращает не только оперативность расследования причины сбоя, но и пропускную способность линий.

В системах безопасности КЛУБ-У, БЛОК и БЛОК-М реализованы уникальные методы интерпретации сигналов из рельсовой цепи, которые используются алгоритмах для вычисления допустимой скорости, кривых торможения и других параметров безопасного движения локомотива. В процессе эксплуатации бортовых систем безопасности движения ведётся статистика сбоев при приёме сигналов АЛС. На Рисунке 3.1 представлено распределение сбоев 1-ой категории (сбои, которые подлежат обязательному разбору и выявлению причин сбоя) по причастным хозяйствам. Как видно из диаграммы, представленной на рисунке, больше половины сбоев относятся к сбоям путевых устройств (52%, 50 605). Следует отметить, что чуть меньше половины (48,8%) сбоев при эксплуатации КЛУБ-У (5534 изделия на сети ОАО «РЖД») приходится на неисправности путевых устройств (22942 случая из 47056, см. Рисунок 3.2). Причины сбоев могут быть различные.

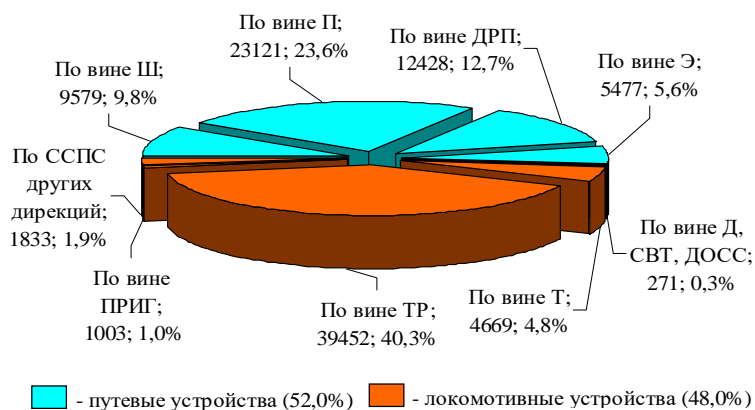


Рисунок 3.1 – Распределение сбоев 1-ой категории по причастным хозяйствам за 10 месяцев 2013.

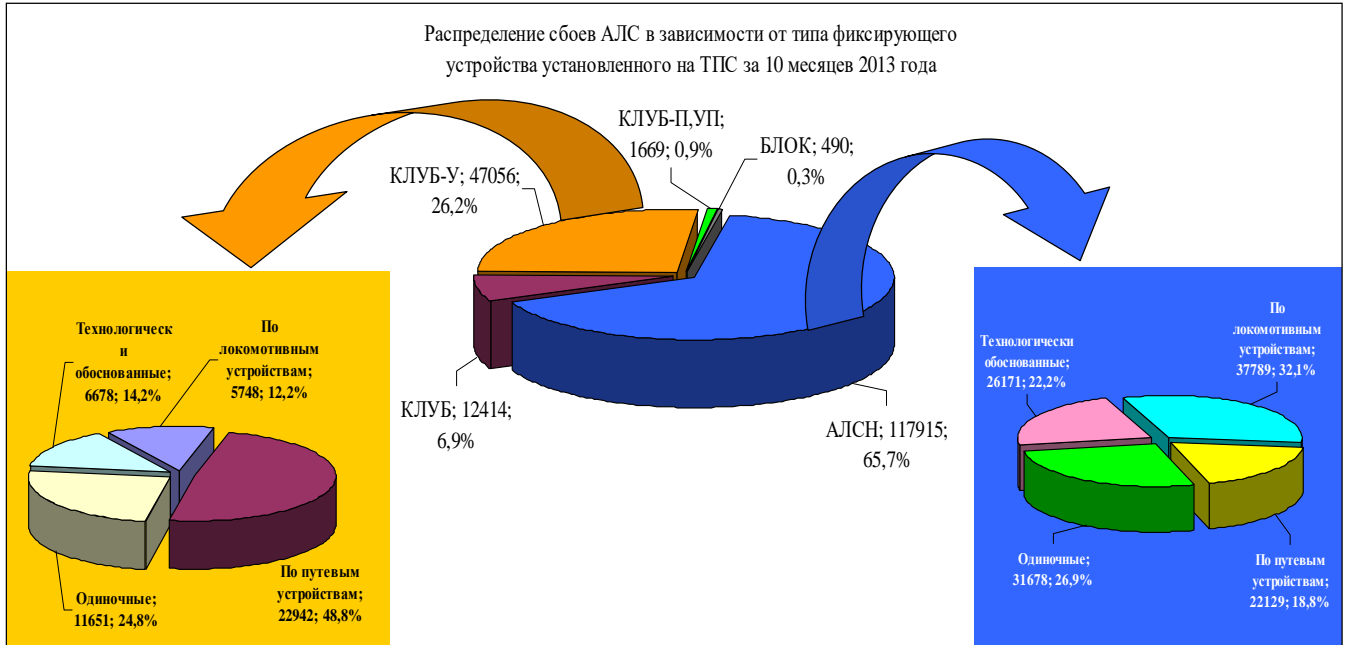


Рисунок 3.2 – Распределение сбоев АЛС в зависимости от устройства.

Уменьшить количество путевых устройств на участке, можно только при расследовании и сопоставлении каждого такого события. Общеизвестный метод поиска неисправности - проведение контрольной поездки вагон-лаборатории. Использование вагон-лаборатории — дорогостоящая технологическая операция, которая не отражает всей полноты картины произошедшего сбоя, так как проводится уже после проследования поезда и не позволяет обнаружить перемежающиеся отказы, но и событие, способное повлечь за собой дополнительные задержки поездов.

Для решения данной задачи были разработаны бортовые программно-аппаратные комплексы регистрации сигналов локомотивной сигнализации и шины CAN – «БРС-АЛСН» [92-94] и программно-аппаратный комплекс регистрации полного информационного обмена шины CAN – «БРС-CAN» [95].

БРС-АЛСН позволяет оперативно, точно и с минимальными затратами выявлять причины сбоев и их последствия, а также осуществлять постоянный мониторинг ситуации на участках железных дорог.

Использование комплекса позволяет производить регистрацию параметров АЛС непосредственно от приемных катушек и внутренней шины CAN систем обеспечения безопасности КЛУБ-У (КЛУБ-УП) и БЛОК (БЛОК-М), а также проследить воздействие произошедшего сбоя на систему безопасности в целом, благодаря возможности просмотра записанного сбоя через систему расшифровки кассет регистрации СУД-У [96, 97], в которую для этого внедрен новый функциональный модуль. Запись сигналов, как было сказано выше, производится непосредственно с приемных катушек, что дает возможность получить неотфильтрованный сигнал, по которому можно сделать выводы не только о корректности его восприятия системой безопасности, но и о исправности напольных устройств, формирующих сигналы.

Программно-аппаратный комплекс БРС-CAN дает возможность в реальном времени осуществлять запись полного информационного обмена всех модулей системы безопасности, как внешних (САУТ, ТСКБМ и др.), так и внутренних (КЛУБ-У, КЛУБ-УП, БЛОК, БЛОК-М). При анализе записи, сделанной блоком, можно сделать выводы о корректности работы системы безопасности в целом, а также наблюдать в реальном времени насколько быстро или медленно реагировали блоки на входные воздействия системы. Запись, произведенная блоком, является достоверным отражением работы системы, позволяя до миллисекунд проследить алгоритм того или иного процесса, также по записи возможно восстановить расшифровку поездки, в случае потери файла кассеты регистрации [97].

Системы состоят из самого блока (внешний вид БРС-АЛСН представлен на Рисунке 3.3, блок БРС-CAN имеет практически те же размеры; специально для отдельных исполнений устройств безопасности была выпущена ячейка регистрации сигналов РС-АЛСН, внешний вид которой представлен на Рисунке 3.4) и программного обеспечения для расшифровки зарегистрированных поездок, которое представляет собой отдельный программный продукт, интегрированный в состав комплекса дешифрации СУД-У. По своим характеристикам блоки опережают существующие аналоги, которые нужно устанавливать отдельно от систем и устройств безопасности, затрудняя тем самым гибкость их применения

[98]. БРС-АЛСН имеет размеры 127x148x34 мм, вес не более 500 г., что позволяет применять его в любом удобном месте локомотива, где есть доступ к линиям приемных катушек и CAN шине устройства безопасности.

В качестве запоминающего устройства выступает карта памяти любого объема, что позволяет оперативно считать или заменить носитель. Питание блока осуществляется от внутренней линии питания CAN шины устройства безопасности. Диапазон рабочих напряжений в свою очередь лежит в широких пределах при малом потреблении.



Рисунке 3.3 – Внешний вид регистратора АЛСН



Рисунке 3.4– Внешний вид ячейки регистратора АЛСН

Опытный образец прошел испытания на Октябрьской железной дороге в составе скоростного поезда “Сапсан”. Применение устройства обеспечивает существенное сокращения времени анализа сбоя, так как программа имеет возможность вывести в качестве отчета сигналы АЛС, поступавшие непосредственно в момент сбоя, а также синхронизированные с ними сообщения устройства безопасности.

Важно отметить, что произведенная запись позволяет проанализировать не только сигналы, воспринимаемые бортовым оборудованием (АЛС, АЛС-ЕН), но и сигналы, используемые для напольного оборудования, в частности сигналы КРЛ (частота 400~1000 Гц). Записывая наряду с сигналами АЛС сигналы КРЛ, оператор может сделать вывод о предотказном состоянии линии или генератора. Внезапный выход из строя генератора или сбой в работе автоблокировки может обернуться существенными затратами или происшествием.

Программное обеспечение блоков дает большие возможности в части анализа поездки. Так в блоке БРС-CAN [99] можно в реальном времени увидеть скорость ответа ячейки с точностью до миллисекунд, а также номер информационного канала, по которому пришли данные (Рисунке 3.5).

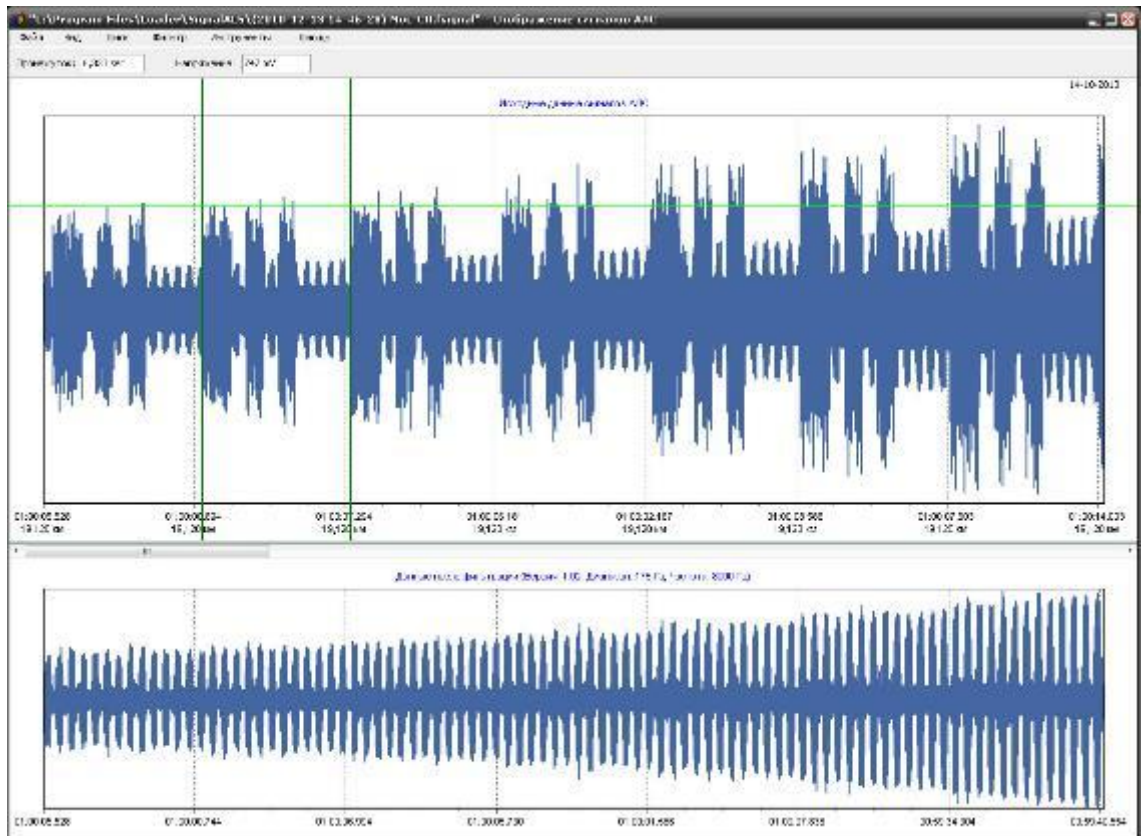
Время	Дескриптор	1	2	3	4	5	6	7	8	TimeStamp	Ка...	Доп...	Доп...
00:00:14.784	(1224)	55	66	77	88					1B4B	B		
00:00:14.783	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B4F	A		
00:00:14.783	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B4F	B		
00:00:14.782	(1224)	55	66	77	88					1B51	A		
00:00:14.782	(1224)	55	66	77	88					1B51	B		
00:00:14.781	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B56	A		
00:00:14.781	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B56	B		
00:00:14.781	(1224)	55	66	77	88					1B58	A		
00:00:14.781	(1224)	55	66	77	88					1B58	B		
00:00:14.780	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B5C	A		
00:00:14.780	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B5C	B		
00:00:14.779	(1224)	55	66	77	88					1B5E	A		
00:00:14.779	(1224)	55	66	77	88					1B5E	B		
00:00:14.778	(1888)	11	22	33	44	55	66	77	88	1B63	A		

Рисунок 3.5 – Внешний вид программы расшифровки БРС-CAN

Одной из функций ПО блока БРС-АЛСН [100] является возможность фильтрации сигнала (Рисунки 3.6 и 3.7) или анализа сигнала по преобразованию Фурье, что позволят выявить другие частотные составляющие, которые могут рассказать о неисправности напольных устройств или выявить помехи на

определенных участках железных дорог. При необходимости можно отследить реакцию устройства безопасности на поступающий сигнал (оранжевая линия на Рисунке 3.8).

Программный комплекс позволяет осуществлять анализ данных на съемном носителе и сохранять их для дальнейшей работы. Формат данных поездки обеспечивает перенос информации в другие редакторы, у которых расширенный инструментарий для работы с сигналами, а также обеспечивает хранение информации в виде изображений, которые можно использовать в отчетной документации.



Рисунке 3.6 – Фильтрация исходного сигнала (1 фильтр)

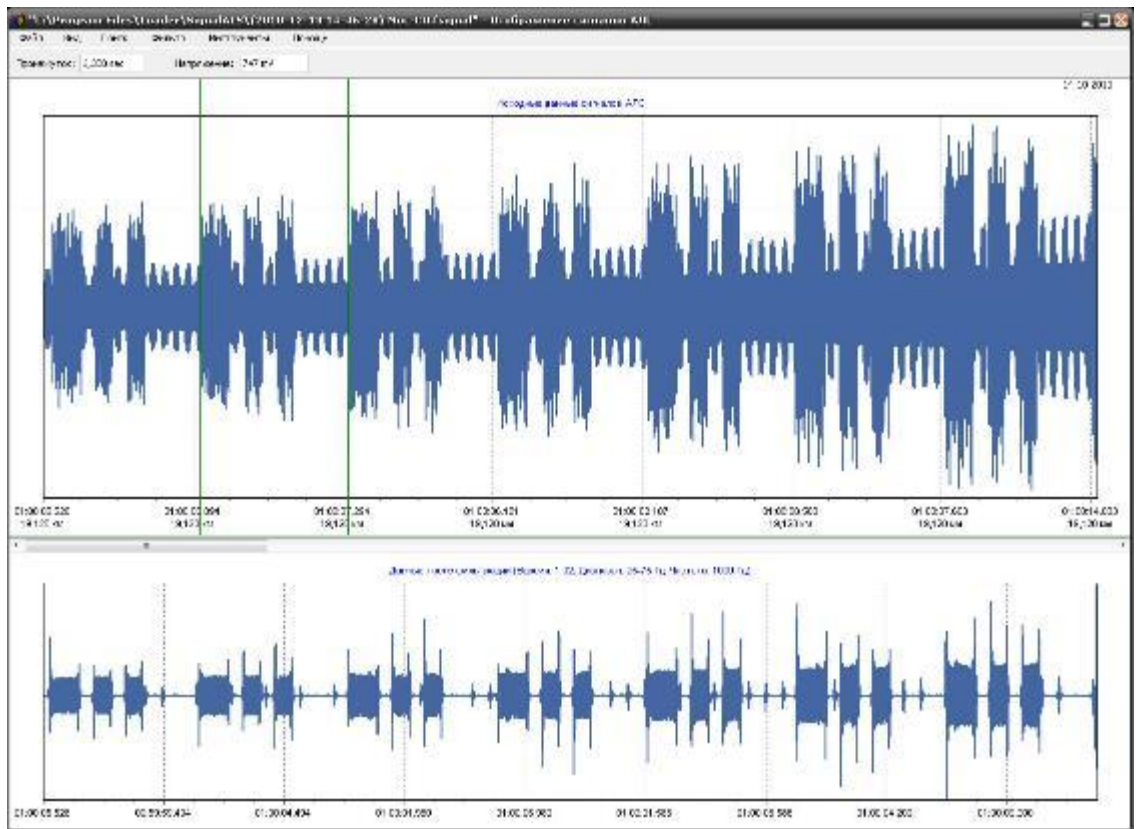


Рисунок 3.7 – Фильтрация исходного сигнала (2 фильтр)

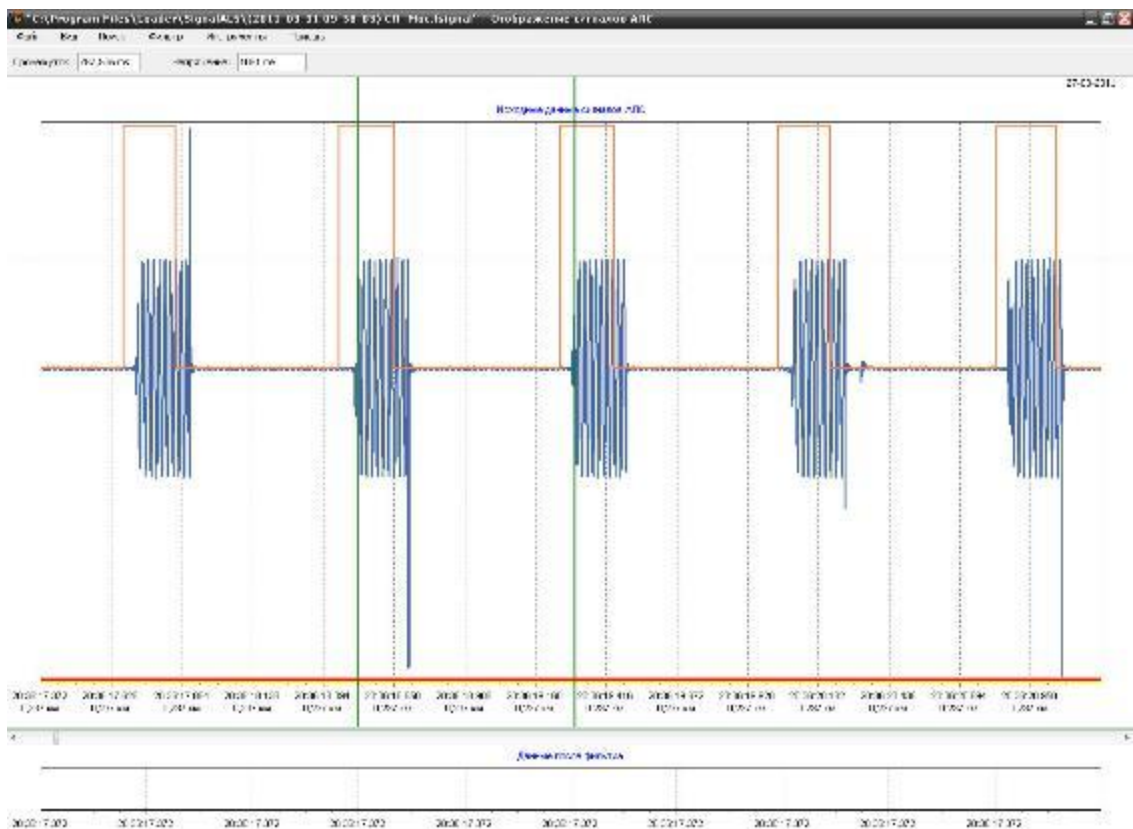


Рисунок 3.8 – Отображение информации

Следует обратить внимание на интеграцию программы в программно-аппаратный комплекс СУД-У. В случае вызова программы из комплекса СУД-У происходит автоматическая привязка данных, которые отображаются в программе, к текущему курсору СУД-У, что облегчает взаимодействие и поиска информации. Так, например, переместив курсор СУД-У к месту потери сигнала АЛС программа автоматически находит соответствующие данные АЛС, зарегистрированные блоком регистрации БРС-АЛСН. На Рисунках 3.9 и 3.10 представлены данные поездки и данные сигнала АЛС.

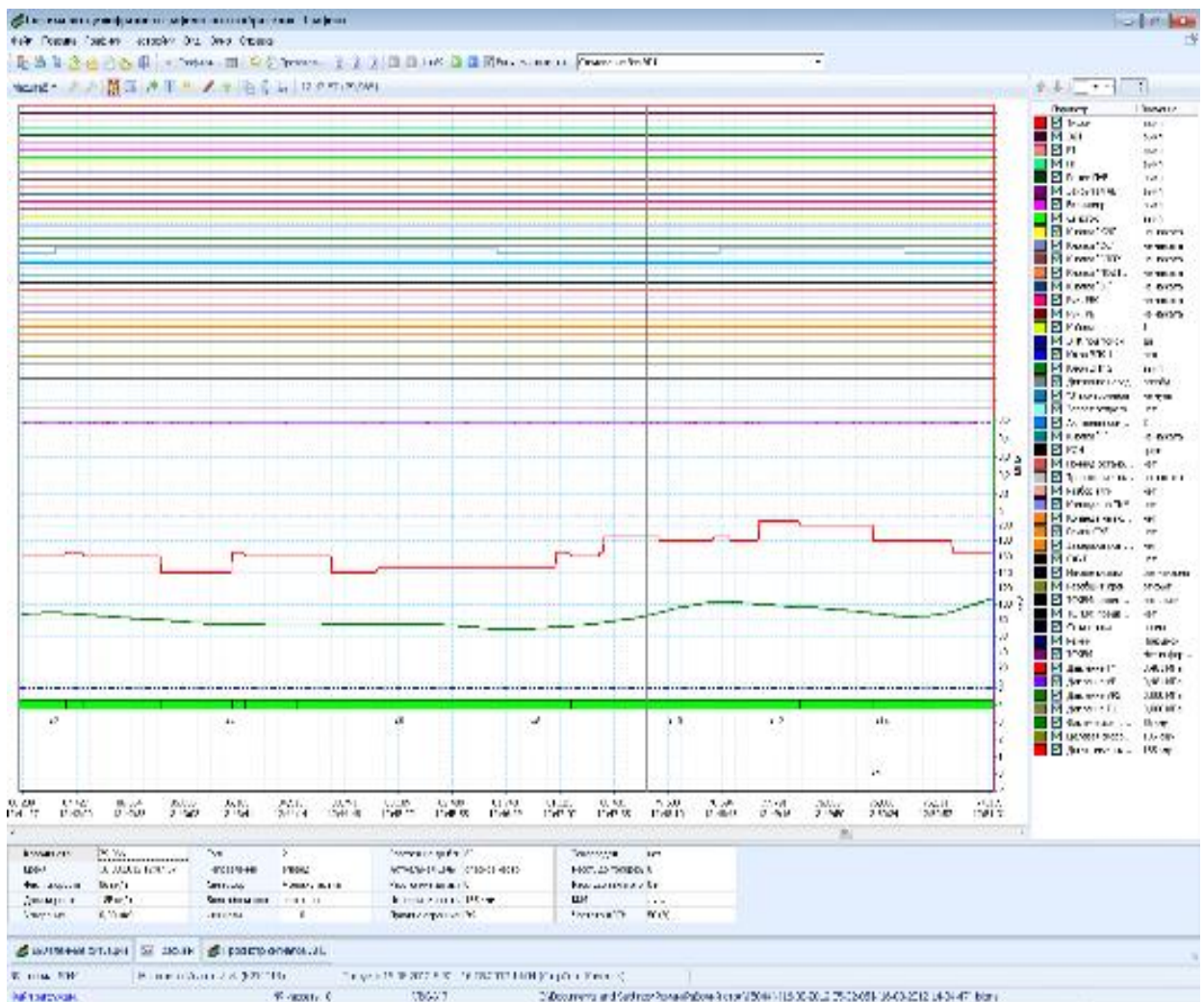


Рисунок 3.9 – Данные поездки



Рисунок 3.10 – Значение сигналов АЛС

Использование комплексов открывает новые перспективы в части оперативного анализа сбоев и происшествий на железной дороге. Данные, записанные блоками, позволят выявлять и делать отчеты по проблемным участкам, выступать в роли черного ящика или системой дублирования.

В качестве вывода можно отметить, что в результате работ были созданы перспективные программно-аппаратные комплексы регистрации и дешифрации, позволяющий производить постоянный мониторинг как систем безопасности, так и напольного оборудования, позволяющие производить непрерывную запись всего обрабатываемого информационного потока. Благодаря малым размерам блоков, низкому потреблению и возможности программной интеграции в существующие системы дешифрации [101]. Устройство функционально позволяет производить запись информационного обмена существующих систем передачи данных на железнодорожном транспорте, телекоммуникационных и модемных соединений. Совершенствование системы позволит увеличить набор входящих в нее функций,

что благотворно скажется на увеличении безопасности, экономической эффективности и эффективности использования пропускной способности.

3.2 Алгоритмы обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации бортовыми устройствами

Реализация комплексных проектов «Восточного полигона» и «Северного широтного хода», сегодня ставит перед ОАО «РЖД» и государством в целом новые задачи, которые требуется решить и реализовать, понимая всю полноту ответственности и важность данных проектов. Применительно к «Северному широтному ходу», основной поток грузов, который будет перевозиться на данном участке, это нефтегазовые грузы и нефтехимия, чей поток по расчетам компании превысит 20 млн. тонн в год, в связи с этим стоит отметить, что данная трасса проходит через природоохранные территории Ямало-Ненецкого автономного округа со сложными климатическими условиями, таким образом, вопрос безопасности движения и функционирования технических средств выходит на передний план [102].

В связи с этим особенно важно выделить новый класс оборудования, которое не только может эксплуатироваться в условиях низких температур, но также иметь повышенную живучесть и надёжность, по сравнению с исполнениями для умеренного климата, расширенную диагностику работоспособности, для сокращения времени обслуживания и персонала, а также обеспечивать безопасность движения для предотвращения техногенных катастроф, последствия которых могут быть необратимы для хрупкой экосистемы.

Одна из основных задач в процессах развития железнодорожной системы заключается в повышении надежности и безопасности технических средств в условиях повышенной интенсивности движения поездов, и, соответственно, статического и динамического воздействия на объекты инфраструктуры. Решение поставленной задачи возможно на основе достоверной оценки показателей надежности и безопасности технических средств инфраструктуры и прогноза изменения данных показателей.

Это требует комплексного подхода к совершенствованию систем безопасности и формированию принципов их функционального развития в

совокупности с развитием инфраструктуры, проанализированной на интенсивность отказов в рамках методологии УРРАН [103] на основе статистических показателей количества отказов КАСАНТ.

Таким образом, перед предприятиями и научными институтами ОАО «РЖД» были поставлены задачи не только создания перспективных технических средств, но и интеграция существующих современных решений [104].

Примером реализации данной концепции являются бортовые интегрированные системы нового поколения. Однако, как было сказано выше, некорректно рассматривать бортовое устройство безопасности отдельно, организация принципа «умного локомотива» невозможна без многоуровневой системы обеспечения безопасности, то есть тесной увязки не только различных бортовых систем (системы обеспечения безопасности, автоведения, системы управления локомотивом), но и инфраструктурных объектов организации движения, в том числе и средств организации радиоканала.

Были проведены работы в части разработки нового поколения бортовых устройств – «Интегрированных систем обеспечения безопасности», как части многоуровневой структуры взаимодействия объектов на железнодорожном транспорте [105].

Данный инновационный бортовой комплекс должен был:

- представлять собой масштабируемую интегрированную систему обеспечения безопасности с возможностью интеллектуальной увязки с системами управления подвижным составом;
- иметь возможность конфигурации по требованию заказчика, благодаря функционально гибкой высокопроизводительной аппаратной части;
- обладать различными интерфейсами на базе радиоканала для надежного обмена информацией с современными устройствами napольной автоматикки, в том числе и вновь разрабатываемыми;
- иметь в своем составе устройство киберзащиты информации и быть построенным на отечественной элементной базе;

- обладать более высоким уровнем надежности и функциональности, по сравнению с существующими бортовыми системами, благодаря новым алгоритмам обработки данных.

Таким единым комплексом управления и обеспечения безопасности стал интегрированный комплекс БЛОК-М (АО «НИИАС», НПО «САУТ» и ПО «Октябрь») (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11– Единый комплекс управления и обеспечения безопасности на базе БЛОК-М

Уже сегодня АО «НИИАС», в тесном сотрудничестве с АО «ВНИИЖТ», оснащает десятки единиц подвижного состава единой интегрированной системой управления и обеспечения безопасности с встроенной функцией автоведения и резервирования отображения данных системы управления локомотивом [106]. В БЛОК-М наряду с существующими функциями приборов обеспечения безопасности заложены перспективные решения и аппаратные мощности, предусматривающие дальнейшее развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта, реализующие технологию построения интегрированных систем, а именно методы повышения комплексной надежности.

Реализация рассмотренной технологии организации движения при известных ограничениях в развитии путевой инфраструктуры возможна не только благодаря вычислительным, но и информационным возможностям комплекса.

В первую очередь это относится к существенному повышению качества приема и обработки информационных потоков из рельсовых линий.

Сложно сегодня представить организацию современного движения подвижного состава без опоры на систему типа АБТЦ-МШ со вторичным уплотнением тональных рельсовых цепей сигналами ЧМ или автоматическую локомотивную сигнализацию без использования многозначной АЛС-ЕН с фазоразностной модуляцией. С учетом объективного факта помехоэмиссии от работы энергоемкого железнодорожного оборудования и современных локомотивов вопросы надежности и помехоустойчивости приема дискретной информации, в том числе и сигналов традиционной АЛСН, становятся все более актуальными, а анализ причин их снижения в системах управления и организации безопасности движения выходит на передний план.

На практике показатели помехоустойчивости оказываются существенно ниже теоретических оценок вероятности ошибки, которые приводятся [107, 108] при приеме элементарного символа в условиях действия гауссовского шума

$$P_e = V(\alpha) \quad , \quad (3.1)$$

где $V(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\alpha} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \cdot dx$ - интеграл ошибок;

$\alpha^2 = E/2 \cdot N_0$ - для сигналов с пассивной паузой (АМ);

$\alpha^2 = E \cdot (1 - \rho)/N_0$ - для сигналов с активной паузой (ЧМ, $\rho = 0$; ФМ, $\rho = -1$);

E - энергия элементарного символа с длительностью τ_0);

N_0 - спектральная плотность мощности шума.

Прохождение последовательности информационных символов через отдельные звенья любой системы связи всегда сопровождается переходными процессами из-за конечной полосы пропускания этих звеньев, что приводит не только к искажениям отдельных посылок, но и к наложению на них остаточных напряжений от предыдущих посылок. Другим сдерживающим фактором обеспечения высокого качества приема являются сложности поддержания режима синхронизации между передающей и приемной сторонами [109], как по элементам,

так и по кодовым комбинациям. В условиях действия межсимвольных искажений, которые принципиально нельзя компенсировать простым увеличением уровня сигнала, эти трудности только возрастают [110-112].

В комплексе БЛОК-М для повышения помехоустойчивости обработки сигналов были осуществлены поэлементная, высокочастотная и групповая синхронизации. Поскольку синхроимпульсы формируют из входной последовательности информационных символов, то ошибка регистрации в общем случае зависит не только от распределения плотности вероятности погрешности синхронизации $\omega\{\lambda = \varepsilon/\tau_0\}$, которая возникает из-за шума в тракте, но и от статистики принимаемых символов. Эффект скремблирования и влияние принятой последовательности символов на условие появления ошибки учитывался приближением [113]

$$P_e(\lambda) = [1 - 2 \cdot p(1 - p)] \cdot P_1(\lambda) + 2 \cdot p \cdot (1 - p) \cdot P_0(\lambda), \quad (3.2)$$

где p - вероятность передачи единичного символа;

$P_1(\lambda)$ - вероятность ошибки (3.1) при символах одной полярности;

$P_0(\lambda)$ - вероятность ошибки (3.1) при символах обратной полярности.

На Рисунке 3.12 приведены результаты численного решения по оценке величины средней вероятности ошибки приема от отношения сигнал-шум и степени идеальности синхронизации при усреднении (3.2) в виде [114]

$$P_e^* = \int_{-\lambda}^{\lambda} \omega(\lambda) \cdot P_e(\lambda) \cdot d\lambda, \quad |\lambda| \leq 0,5 \quad (3.3)$$

где $\omega(\lambda) = (\sqrt{2 \cdot \pi} \sigma_\lambda)^{-1} \cdot \exp[-0,5 \cdot (\lambda/\sigma_\lambda)^2]$ - плотность вероятности погрешности синхронизации.

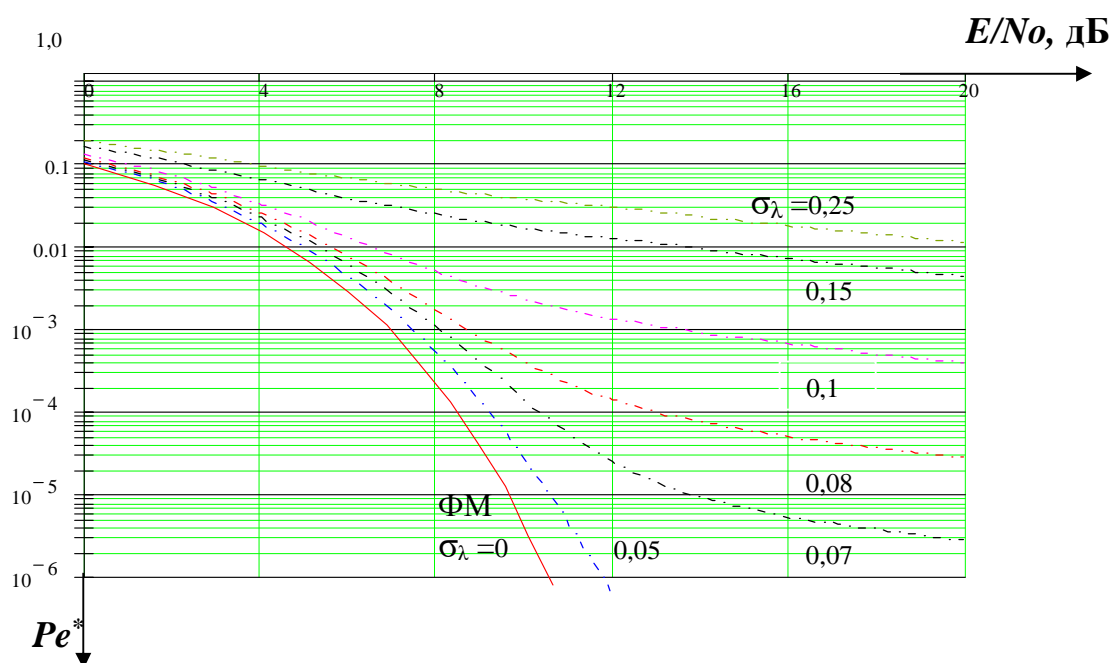


Рисунок 3.12 – Зависимость средней вероятности ошибки P_e^* на бит от отношения сигнал-шум.

Из сравнения расчетных кривых следует, что верхним пределом реального значения нормированной ошибки синхронизации следует считать величину до 0,05-0,06, при этом энергетические потери не превосходят 0,5-2,0 дБ для вероятности ошибки $P_e \leq 10^{-5}$. Далее, начиная с $\sigma_\lambda \geq 0,07 - 0,1$, энергетический проигрыш уже превосходит 3 дБ и резко возрастает, а ухудшение помехоустойчивости составляет 2-3 порядка даже при отношении сигнал-шум более > 12 дБ. Как следствие, производительность канала передачи данных в этих условиях оказывается ниже расчетной, а зона связи, в том числе и при организации радиообмена с подвижными объектами, будет существенно меньше. Следует отметить, что практическая помехоустойчивость при передаче данных зависит также и от примененных схемотехнических решений и особенностей производства, но для изделий, отвечающих за обеспечение безопасности движения оценка вероятности ошибки приема должна нормироваться и быть не хуже $10^{-4} - 10^{-5}$.

Благодаря новым алгоритмам обработки, в комплексе БЛОК-М [115] удалось повысить надежность приема дискретной информации и сформулировать отдельные рекомендации как по формированию сигналов стационарными

устройствами, так и по организации их приема на борту. Выполненные аналитические исследования и практические наработки позволяют минимизировать ошибки приема, которые обусловлены не только внешними факторами, но и ошибками при измерениях информационных параметров указанных сигналов с угловой модуляцией.

3.3 Методы приема и синхронизации сигналов автоматической локомотивной сигнализации

Традиционные рельсовые каналы передачи сигналов автоматической локомотивной сигнализации, которые эксплуатируются уже более 70 лет, занимают диапазон частот до 100 Гц и каждый из них используется для передачи 3-х кодов АЛСН методом амплитудной манипуляции на несущих частотах 25, 50 или 75 Гц в зависимости от рода тяги. Последующие информационные каналы размещаются между гармониками промышленной сети выше по частоте и имеют присвоенные значения частот, численно равные:

$$f_n = 50 \cdot n + 25, \quad (3.4)$$

где $n = 2, 3, \dots, N$ - номер гармоники промышленной сети 50 Гц.

Опыт применения на Октябрьской железной дороге многочастотной АЛСЧ, с передачей 10 команд по числу сочетаний 2 из 5 непрерывных тональных частот в диапазоне 125 – 425 Гц, не решил проблему увеличения значности и помехоустойчивости АЛС. Переход к угловым методам модуляции во многом изменил ситуацию. Так в настоящее время в полосе канала с присвоенной частотой 175 Гц передается до 256 кодовых комбинаций АЛС-ЕН с помощью двухкратной фазоразностной манипуляции (QPSK - Quadrature Phase Shift Keying) со скоростью около 10,9 Бод. Остальные частотные каналы пока используются для нужд контроля состояния рельсовых линий в системах автоблокировки разного поколения: например, в ЦАБ-АЛСО (ТРЦ-3) – 5 каналов с амплитудной манипуляцией на частотах 420, 480, 580, 720 и 780 Гц, в системе АБТЦ-МШ - 10 каналов диапазона 425 – 875 Гц, но с возможностью параллельной передачи на поезд дополнительной информации методом частотной манипуляции (FSK - Frequency Shift Keying) без разрыва фазы сигнала. Таким образом, повышение помехоустойчивости приема сигналов по рельсовым каналам продолжает оставаться актуальной задачей. В этой связи следует признать, что технические решения, ранее реализованные при создании действующей каналобразующей аппаратуры АЛС-ЕН, требуют обстоятельного анализа и коррекции с учетом

перспективы дальнейшего развития и совершенствования подобных низкоскоростных железнодорожных систем передачи информации на движущийся поезд.

3.3.1 Особенности условий работы рельсовых каналов связи на примере передачи сигналов АЛС-ЕН

Расчетная ширина полосы рельсовых каналов ограничена интервалом следования гармоник сети, она уменьшается по мере увеличения номера гармоники и в пределе составляет

$$\Delta f_n = |50 - \delta(1 + 2 \cdot n)| \cdot K_{ПР}^{-1}, \quad (3.5)$$

где δ - Гц, нестабильность частоты сети электроснабжения;

$K_{ПР}$ - коэффициент прямоугольности избирательного тракта.

В общем случае реальная рабочая ширина полосы будет несколько уже [EN 50160:2010]. Это связано как с необходимостью обеспечения дополнительного запаса селекции от воздействия гармоник сети, располагаемых непосредственно на границах рабочей полосы, так и из-за технических трудностей реализации стабильных амплитудно-частотных (АЧХ) и фазово-частотных (ФЧХ) характеристик избирательных систем станционных передающих и, главным образом, локомотивных приемных устройств особенно при коэффициентах прямоугольности $K_{ПР} \leq 2$. Кроме того, следует учитывать меры по исключению комбинационных частот и интергармоник, которые могут возникнуть при одновременной работе нескольких каналов передачи и нелинейных преобразований тягового тока [ГОСТ 32144—2013] [107].

Следует отметить, что для рационального использования рабочей полосы границы частотной характеристики приемо-передающего тракта должны располагаться симметрично относительно несущей частоты сигнала, которая при расчете и реализации избирательной системы должна соответствовать среднегеометрической величине произведения крайних значений частот канала или соседних гармоник [108]. Это позволяет передать и принять без искажения обе боковые частоты манипуляции и минимизировать паразитные переходные процессы, которые могут возникнуть из-за отличия резонанса избирательной

системы и несущей частоты сигнала. В свою очередь схема построения и параметры элементов L, C, r избирательной системы определяют ее коэффициент затухания $a = r/2L$, длительность процессов установления выходного сигнала и собственную резонансную частоту, в общем случае отличающуюся от расчетной величины [107]

$$\omega_{рез} = \sqrt{(LC)^{-1} - a^2} = \omega_0 \sqrt{1 - (2 \cdot Q)^{-2}} \quad (3.6)$$

В качестве примера в Таблице 3.1 приведены расчетные значения рабочей полосы и средней частоты некоторых рельсовых каналов связи из ряда (3.4), селективные свойства которых на приеме могут быть реализованы, по меньшей мере, эллиптическими системами Золоторева-Кауэра не ниже пятого порядка с необходимым подавлением ближайших гармоник сети на 50-60 дБ [108, 113, 114, 116-118].

Таблица 3.1 – Расчетные значения рабочей полосы и средней частоты рельсовых каналов связи

Номер канала по гармонике сети, Гц	3	5	7	9	11	13	15	17
Частота канала присвоенная, Гц	175	275	375	475	575	675	775	875
Частота канала средняя f_0 , Гц	173,2	273,8	374,1	474,3	574,4	674,5	774,6	874,6
Полоса канала расчетная Δf_n , Гц	23,6	22,8	22,0	21,2	20,4	19,6	18,8	18,0

Сужение полосы ставит эти каналы в неравные условия по уровню потерь сигнала до 2-3 дБ и, в случае построения универсальной многочастотной аппаратуры локомотивной сигнализации, канал с меньшим номером всегда будет иметь худшее отношение сигнал/помеха на приеме по сравнению с последующим, который будет определять предельную скорость передачи в системе. Расширение

полосы по сравнению с данными Таблицы 3.1 может быть достигнуто за счет уменьшения коэффициента прямоугольности [119], усложнения схемы фильтра на приемной стороне и снижением требований к избирательности на 15 – 20 дБ, но лишь для каналов с номерами более 9 – 11, для которых уровень ближайших гармоник сети снижается с 25-30% до 3-5% от величины тягового тока [114, 118, 120, 121].

Дополнительным фактором снижения отношения сигнал/помеха является наличие многочисленных помех, генерируемых энергооборудованием самого локомотива непосредственно на частотах рабочей полосы [ГОСТ Р 55364-2012., ГОСТ 33436.3 – 2 - 2015] и действующих одновременно с гармониками сети. Исследования [114] показывают, что при реальных случаях отклонения коэффициента асимметрии рельсовых линий до 12-20% уровни суммарных помех могут практически перекрывать пороговые характеристики полезных сигналов в каналах, в том числе для АЛС-ЕН, нормированная полоса приемного тракта которого почти в 1,5 раза шире полосы, занимаемой боковыми частотами сигнала QPSK [ГОСТ Р 55364-2012., ГОСТ 33436.3 – 2 - 2015] [122,123].

При данных показателях представляется затруднительным обеспечить отношение сигнал/помеха выше 7-9 дБ, что объективно ограничивает возможность длительного непрерывного режима приема сигналов АЛС-ЕН даже при идеальной синхронизации [124,125]. Заметим, что качество работы реальной системы тактовой синхронизации определяется статистикой потока символов логических единиц «1» и нулей «0» в принятом сообщении и в случае ее нестабильности ведет к нарушению условий приема [126-129].

3.3.2 Процессы установления информационных параметров сигнала с фазовой манипуляцией при передаче по рельсовому каналу

Оценку процессов установления информационных параметров сигнала в узкополосном рельсовом канале при передаче АЛС-ЕН выполним, воспользовавшись выражением (6.56) [130], которое описывает реакцию упрощенной резонансной системы типа одиночного контура на воздействие

входного радиоимпульса прямоугольной формы. С учетом введенных обозначений, запишем

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = A_0 \sqrt{1 - 2 \cdot e^{-at} \cdot \cos \Delta\omega t + e^{-2at}} \cos(\omega t + \xi(t) - \varphi + \psi), \quad (3.7)$$

где $\varphi = \text{atan}(\Delta\omega/a)$ - фазовый сдвиг напряжения из-за частотной расстройки;

$\xi(t) = -\text{atan}((\exp(at) - 1) \cdot \tan \Delta\omega t)$ - процесс компенсации фазового сдвига при установлении напряжения на выходе контура;

ψ - фаза напряжения радиоимпульса на момент включения;

Можно видеть, что при отсутствии начальной расстройки ($\Delta\omega = 0$), амплитуда и фаза выходного колебания резонансной системы будут устанавливаться в соответствии с выражением:

$$A_1(t) = A_0 \cdot (1 - e^{-at}) \cdot \cos(\omega_{\text{рез}} t + \psi) \quad (\text{при } \omega = \omega_{\text{рез}}), \quad (3.8)$$

причем амплитуда не зависит от фазы напряжения входного радиоимпульса, а по истечению времени переходного процесса $t \geq t_{\text{ПЕР}}$ будет численно равна A_0 . При выключении возбуждающего колебания амплитуда выходного напряжения будет снижаться до нуля от достигнутого ранее установившегося значения, сохраняя неизменной фазу собственных свободных колебаний по закону

$$A_2(t) = A_0 \cdot e^{-at} \cdot \cos(\omega_{\text{св}} t + \psi) \quad (3.9)$$

Из (3.6) следует, что уже при добротности $Q \geq 10$ коэффициент затухания контура в рассматриваемом диапазоне частот будет меньше единицы и частота свободных колебаний будет близка к расчетной величине

$$\omega_{\text{св}} = \omega_{\text{рез}} = \omega_0 \sqrt{1 - a^2/\omega_0^2} \approx \omega_0 \quad (3.10)$$

Согласно принципу суперпозиции сигнал на выходе резонансной системы представим [130-132] суммой двух независимых процессов: затухающих колебаний с амплитудой $A_2(t)$, которая устанавливается в системе после прекращения действия возбуждающего сигнала, и нарастающего колебания $A_1(t)$, обусловленного включением нового сигнала с фазой, смещенной на заданный угол. Данное условие при установке фазы скачком представим в следующем виде

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = A_2(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0 - \psi) + A_1(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \psi), \quad (3.11)$$

где φ_0 - текущая фаза сигнала на момент переключения информационного параметра.

Исследуем (3.11), полагая отсутствие переходных процессов в резонансной системе до момента скачкообразного изменения фазы входного сигнала на угол $\theta = 2\psi$, а также равенство амплитуд огибающих до и после завершения этих процессов [131,132].

Учитывая известные тригонометрические соотношения, найдем напряжение на выходе контура при условии отсутствия начальной расстройки

$$u_{\text{вых}}(t) = (A_1(t) + A_2(t))\cos(\psi) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + (A_1(t) - A_2(t)) \cdot \sin\psi \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \theta(t)), \quad (3.12)$$

$$\text{где } A(t) = \sqrt{(A_1(t) + A_2(t))^2 \cos^2 \psi + (A_1(t) - A_2(t))^2 \sin^2 \psi}, \quad (3.13)$$

$$\theta(t) = \operatorname{atan}\left(\frac{A_1(t) - A_2(t)}{A_1(t) + A_2(t)} \cdot \tan \psi\right) \quad (3.14)$$

Выражения (3.13) и (3.14) описывают характер модуля огибающей и медленно меняющейся фазы выходного процесса, которые после подстановки (3.8) и (3.9) примут вид

$$A(t) = A_0 \sqrt{1 - 4 \cdot e^{-at} \cdot (1 - e^{-at}) \sin^2 \psi}, \quad (3.15)$$

$$\theta(t) = \operatorname{atan}\left((1 - 2 \cdot e^{-at}) \cdot \tan \psi\right), \quad (3.16)$$

а производные этих выражений получим в следующей записи [133]:

$$\frac{dA(t)}{dt} = \frac{2 \cdot (\alpha \cdot e^{-at} - 2 \cdot \alpha \cdot e^{-2at}) \cdot \sin^2 \psi}{\sqrt{1 - 4 \cdot e^{-at} \cdot (1 - e^{-at}) \sin^2 \psi}} \quad (3.17)$$

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{\alpha \cdot \sin 2\psi \cdot e^{-at}}{1 - 4 \cdot e^{-at} \cdot (1 - e^{-at}) \sin^2 \psi} \quad (3.18)$$

Графики зависимостей (3.17), (3.18) приведены на Рисунке 3.13 и 3.14.

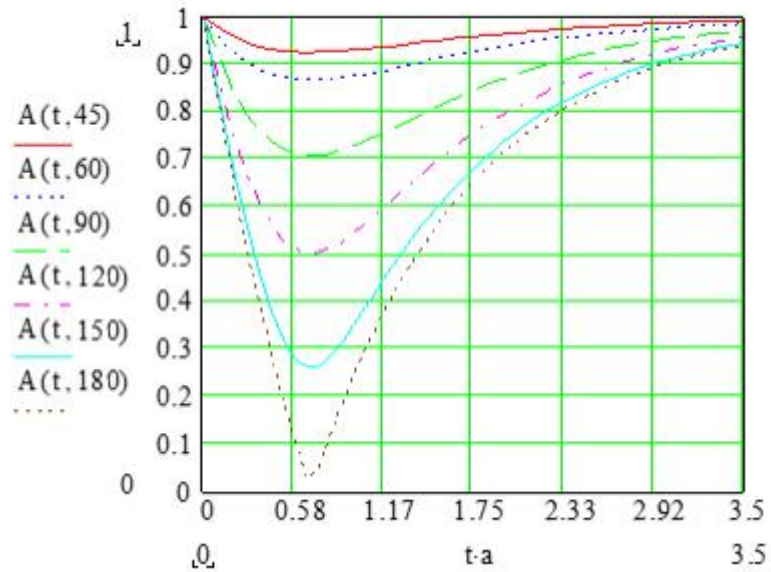


Рисунок 3.13 – Изменение амплитуды огибающей результирующего колебания при скачке фазы входного сигнала на угол $Q = 2\psi$

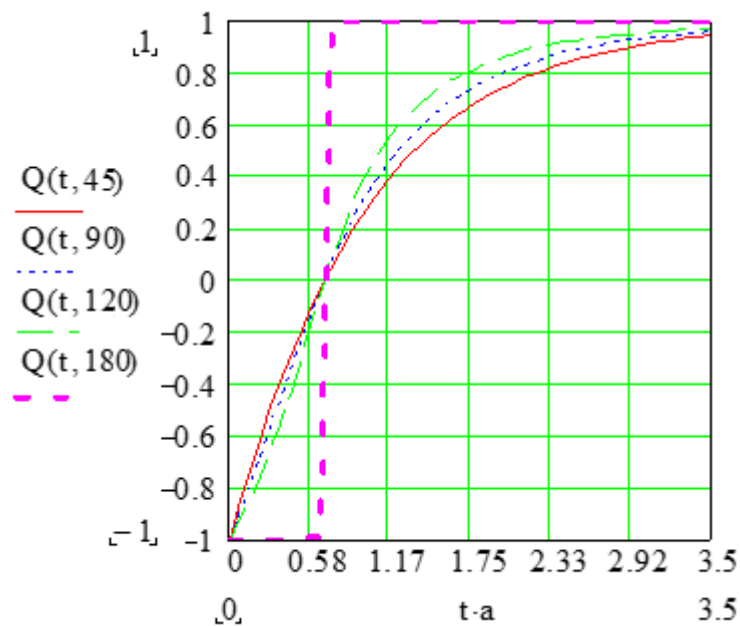


Рисунок 3.14 - Процесс установки фазы результирующего колебания при скачке фазы входного сигнала на угол $Q = 2\psi$

3.3.3 Математическое моделирование в среде Matlab.

Проведем моделирование в среде Simulink (Matlab) на базе реальных сигналов записанных блоком БРС-АЛСН на электропоезде «Сапсан» (ЭВС1-

9;№766; поездка 08 марта 2019 года; время 15:14), где наблюдался сбой приема сигналов АЛС-ЕН. Фрагмент потерянной посылки представлен на Рисунке 3.15 и 3.16.

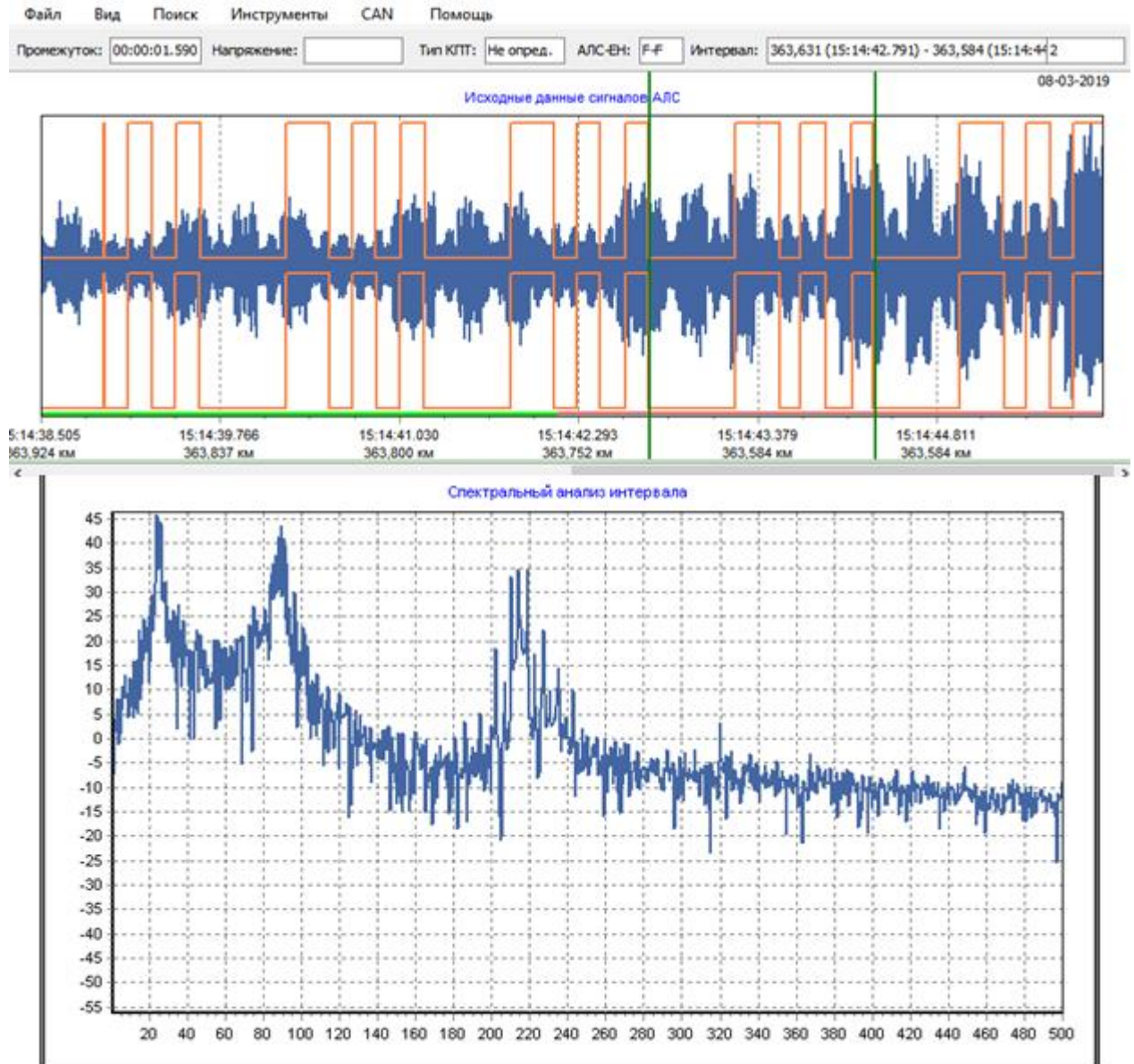


Рисунок 3.15- Зарегистрированный сбой приема АЛС-ЕН и спектральный анализ сигнала на временном интервале сбоя

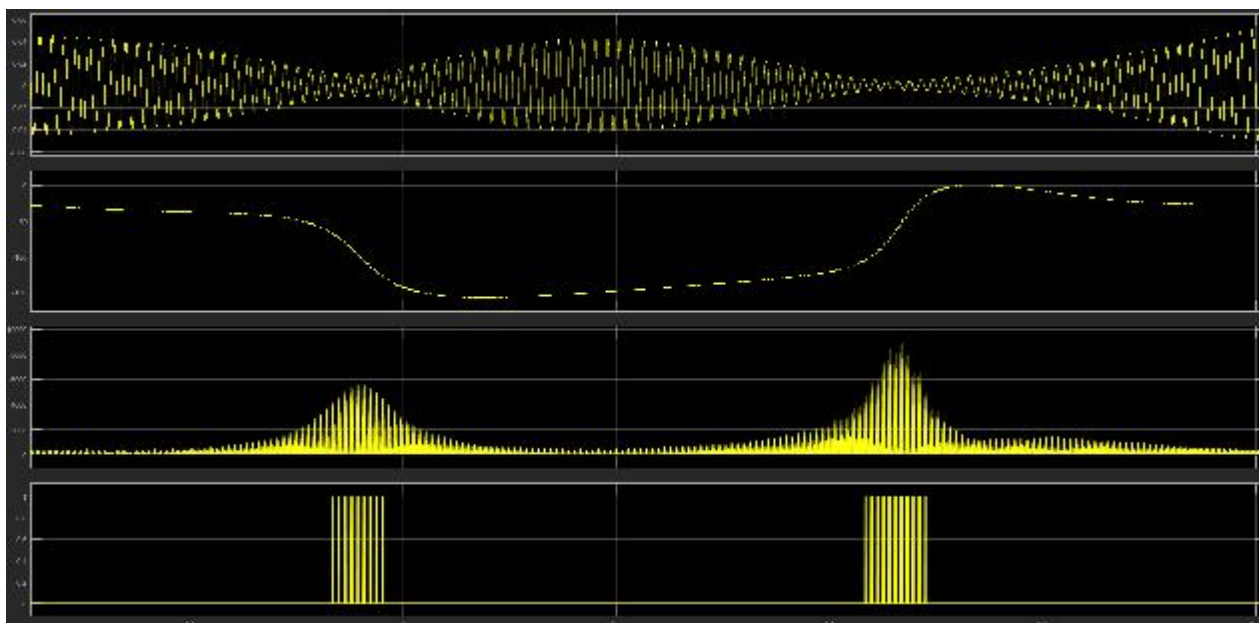


Рисунок 3.16 - Переходной процесс сбойного сигнала АЛС-ЕН в среде Matlab с применением методов синхронизации

- В верхнем окне показан исходный сигнал с локомотивных катушек, отфильтрованный полосным фильтром на 175 Гц;
- Во втором окне отображается фаза сигнала;
- В третьем проинтегрированный сигнал;
- В четвертом проинтегрированный сигнал с детектором амплитуды, для отображения синхроимпульсов момента выбега частоты [ГОСТ 23769-79].

Проблема надежного приема сигналов АЛС-ЕН существующим алгоритмом обработки заключается в потере синхронизации во время приема кодов обрабатывающим процессором.

После определения величины угла фазы текущего передаваемого сигнала, управляющий контроллер осуществляет поиск значения после 16 периодов несущей, таким образом, при воздействии помехи в момент выборки или при некорректном определении предыдущего значения весь блок данных может быть потерян. Однако, рассмотрев выбег частоты при скачке фазы входного сигнала, можно сделать заключение, что применение дифференциатора позволяет определять момент перескока фазы без учета контроля амплитуды сигнала.

По результатам проведенного анализа можно видеть, что при любом скачке фазы на выходе будет отмечаться снижение амплитуды выходного сигнала и при углах менее 180 градусов оба процесса, начинаясь одновременно, в основном завершаются к безразмерному времени $a \cdot t \approx 3$. Практическую оценку времени установления информационных параметров на выходе контура получим на основании (3.6) в виде

$$T_{VCT} = 0,95/\Delta f_p, \quad (3.19)$$

где Δf_p - Гц, реальная рабочая полоса пропускания канала на уровне 0,707.

Приравняв числитель производной (3.17) нулю, найдем момент времени, когда огибающая амплитуды сигнала после фазового скачка достигнет своего минимума

$$T_A = a^{-1} \cdot \ln 2 = 0,22/\Delta f_p, \quad (3.20)$$

при этом текущее значение амплитуды в зависимости от величины угла может быть получено подстановкой (17) в (12)

$$A(T_A) = A_0 \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \psi} \quad (3.21)$$

Процессы установления новой фазы при скачках для всех углов от 0^0 до 120^0 включительно имеют приблизительно одинаковую длительность фронта на интервале $\{0,05 - 0,95\}$, но при этом явно несимметричный характер набега фазы относительно отсчетов от среднего нулевого значения. Это предполагает актуальность дополнительных исследований влияния аппаратных и системных погрешностей на момент отсчета фазы при существующем методе однократной пробы, особенно в случае чередующихся символов при увеличении кратности сдвига фаз сигналов. Для углов близких к 180^0 симметрия процесса установки фазы обеспечивается уже по истечению (3.20), но сопровождается выраженной амплитудной модуляцией до 100%, что также остро ставит вопрос об оптимизации динамического диапазона приемо-передающих трактов аппаратуры, условий работы схемы ограничителя сигнала и системы тактовой синхронизации.

Рассмотрение производной (3.18) и графика на Рисунке 3.17 показывает, что знак выбега частоты, относительно несущей тождественно совпадает со знаком отклонения фазы и устанавливается сразу после скачка. Момент времени, соответствующий максимуму выбега частоты, флюктуирует по (3.22) от нуля до значения (3.20) и для приведенной полосы контура составляет около

$$\Delta t = 0,346 \cdot a^{-1} = 0,11/\Delta f_p \quad (3.22)$$

При этом величина выбега может превышать выделенную полосу, поражая рабочие сигналы соседних каналов, особенно при скачках на угол $\mp 180^\circ$, что требует помимо избирательности приемных фильтров нормировать и селективность выходных каскадов передающего устройства:

$$T_f = (2 \cdot a)^{-1} \cdot \ln(4 \cdot \sin^2 \psi) \quad (3.23)$$

При проведении измерений в канале следует учитывать, что наличие регулярного выбега будет влиять на среднее значение частоты в тракте и при передаче последовательностей с преобладающими односторонними скачками меньше 180° это будет отмечено в виде расстройки соответствующего знака с величиной пропорционально частоте манипуляции:

$$\Delta \omega_v = V \cdot 2 \cdot \psi, \quad (3.24)$$

где V - Бод, скорость передачи.

При скачках на 180° направление последующего вращения вектора амплитуды несущей однозначно не определяется и знак выражения (3.24) может меняться произвольно, в частности этим объясняется отказ от применения когерентного метода приема сигналов из-за неустранимого эффекта «обратной работы».

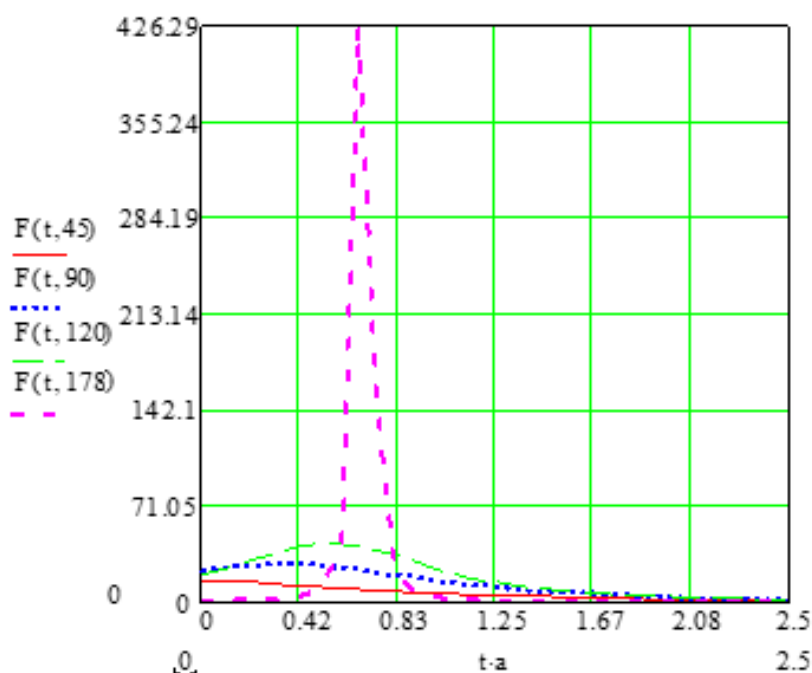


Рисунок 3.17 - Выбег частоты при скачке фазы входного сигнала на угол
 $Q = 2\psi$

Показано, что при длительности импульсов существенно меньше длительности переходного процесса, вызванного скачком фазы, импульсы на выходе имеют форму подобную треугольной (на примере 2τ), а их амплитуды изменяются в зависимости от передаваемых комбинаций “0” и “1”, как и время сдвига передаваемой последовательности, определяемое как время достижения огибающей своего минимального значения. Для комбинаций из двух и более “1” время сдвига передаваемой последовательности постоянно; для комбинаций с различным чередованием между собой “0” и “1” время сдвига нестабильно, что приводит к нестабильности символьной частоты, определяемой по огибающей. Увеличение числа комбинаций из “0”, следующих друг за другом, делает выделение символьной частоты затруднительным [134].

На основе вышесказанного формируется оригинальный метод приема кодов сигналов АЛС-ЕН не существующим способом «накопления», когда приемник осуществляет накопление сигнала за определенный период времени, а затем по паттерну огибающей выделяет в принятом коде необходимый сигнал, а по синхросигналу, формируемому перескоком фазы. Приемник может достоверно

оценить изменение сигнала и сформировать «точку выборки» текущего цифрового кода в зависимости от качества фидера, что позволит улучшить характеристики приема кодов и как следствие сократить количество сбоев.

3.4 Метод уточнения координаты поезда по данным от напольных устройств автоматики

Начиная с первых экспериментальных поездок в 1998 году и с вводом в постоянную эксплуатацию в 2000 году, в составе бортовой системы безопасности КЛУБ были решены вопросы позиционирования на основе комплексирования данных от спутниковой навигации и датчиков скорости. Первые технические решения в системе безопасности КЛУБ были нацелены на решение задачи по определению месторасположения локомотива [135].

Дальнейшее эволюционное развитие бортовых систем (КЛУБ-У, БЛОК и их модификации) расширяло спектр решаемых задач, которые предъявлялись к системам безопасности. На текущий момент на сети РЖД используется более 7000 локомотивов, оборудованных системами безопасности КЛУБ/БЛОК, на которых каждую секунду решаются задачи позиционирования, ориентированные на принятие ответственных решений.

Перспективные и современные системы безопасности решают вопросы позиционирования на основе комплексирования данных различной природы:

- от спутниковых систем навигации;
- от датчиков параметров движения;
- от точечных датчиков;
- сигналы локомотивной сигнализации (АЛСН, АЛС-ЕН);
- данные от радиоканала;
- электронные карты.

Достоинства и недостатки использования данных от спутниковых систем навигации хорошо всем известны, но хотелось бы отметить, что источник радиосигналов не проходил никаких испытаний на безопасность, в том числе информационную [136]. Особое внимание следует уделить тому, что разработки системы навигации в России и зарубежных странах велись по заказу оборонных ведомств и возможны враждебные акты, которые направлены на выдачу заведомо недостоверных данных (как передача радиосигналов со спутников, так и имитация

сигналов наземными устройствами), акты кибератак на инфраструктуру или сбои программного обеспечения.

В связи с вышеизложенной проблемой спутниковые данные не могут быть использованы как единственный достоверный источник для решения задач позиционирования. В решениях систем безопасности спутниковые данные служат как корректирующий источник данных. Главным источником данных является датчик параметров движения локомотива. Датчик передаёт в систему безопасности пройденный путь, скорость, ускорение, а также направление движение локомотива. Эти данные позволяют достаточно точно определять местоположение локомотива при перемещении на небольшие расстояния.

Дополнительным источником информации, которые позволяет скорректировать местоположение, являются точечные наземные датчики. На текущий момент реализовано взаимодействие с системой САУТ, которая по наземным датчикам передаёт в систему безопасности координату и номер пути, маршрут движения по станции. В рамках текущих проектов создаётся техническое решение для использования технологии взаимодействия с RFID метками. С помощью сигнала локомотивной сигнализации АЛСН и АЛС-ЕН в рамках проекта МЦК была разработана и успешно внедрена технология определения текущего номера пути и направления движения по нему.

Отдельное направление вопросов связано с описанием объектов, которые расположены на пути следования. Для актуализации электронных карт в связи с постоянным вводом и отменой временных ограничений скорости была разработана технология получения ответственной информации по радиоканалам.

Комплексирование данных различной природы позволяет определить местоположение локомотива с высокой точностью, что в свою очередь позволяет системам безопасности КЛУБ-У/БЛОК принимать безопасные ответственные решения (интервальное регулирование, отработка временных ограничений, вычисление безопасной скорости движения).

Повышение безопасности движения поездов – основная задача развития автоматизированных систем управления и обеспечения безопасности. В настоящее время незаменимой их частью являются устройства и комплексы определения положения локомотива на железнодорожных путях. Системы КЛУБ-У и БЛОК, имеющие многолетний опыт внедрения, уже просто невозможно представить без спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS и электронных карт, в соответствии с которыми происходит движение поезда. Данные о положении локомотива, помимо внутренних алгоритмов, активно используются внешними системами автоматического ведения поезда. В этом случае данные о точности положения начинают становиться критически важными, и в условиях постоянного роста скорости движения составов, а также при закладке нового железнодорожного полотна, необходимо разработать новые критерии и требования к точности позиционирования состава в целом.

Устаревшие методы формирования электронных карт и отсутствие четких требований, а также регламента их формирования, погрешности алгоритмов, количество выборок текущей координаты, время технологического цикла, вот лишь малая часть проблем, которая не позволяет вести четкую и достоверную привязку локомотива, как к электронной карте, так и к его текущей координате в ней. В связи с чем возникает потребность в формировании новых подходов и разработке устройств высокоточного позиционирования, такой вектор развития был оглашен в стратегии ОАО “РЖД”, получив название - ВКС (Высокоточная координатная система). Именно в рамках данного проекта предстоит решить все вышеперечисленные задачи.

Однако применение для этих целей традиционных методов, предполагающее наличие ограниченного числа выборок, в том числе и при формировании электронной карты пути, для оценки распределений параметров движения и статистических методов контроля, приводили к снижению достоверности показаний из-за реального сокращения объемов имеющихся выборок координаты. Успешное решение проблемы повышения точности определения положения

локомотива, возможно лишь в рамках комплексного подхода, позволяющего постоянно корректировать и уточнять имеющиеся показания, повышая их достоверность за счет внешних источников синхронизации.

Для реализации такого подхода специалистами ОАО «НИИАС» была осуществлена разработка изделия, позволяющего преодолеть существующие недостатки выборок поступающих данных, а также учесть дополнительные источники информации, а также данные внешних корректирующих систем. Важно отметить, что в качестве источника исходной информации о пути следования, используется высокоточная электронная карта. Данный тип карты был сформирован после лазерного сканирования пути, позволяя занести с сантиметровой точностью в карту все необходимые стационарные объекты. Разрабатываемое устройство позволит анализировать помимо спутниковых данных и информации от станций дифференциальных поправок, данные системы координатного управления движения поездов по радиоканалу [137], учитывать данные от путевых датчиков САУТ и других напольных устройств.

3.4.1 Экспериментальные данные уточнения координаты поезда по данным от напольных устройств автоматики

Как было отмечено выше, канал приема сигналов от рельсовых цепей может являться источником дополнительной информации. С помощью разработанного комплекса регистрации сигналов АЛС требовалось оценить погрешность определения границ рельсовых цепей по падению напряжения сигналов контроля рельсовой линии (КРЛ, частоты 475 Гц .. 925 Гц) в момент проследования локомотивом питающего конца рельсовой цепи.

Опытные записи сигналов были произведены на электропоезде ЭС2Г 29.10.2017 г., 01.11.2017 г. и 09.11.2017 г. на Московском центральном кольце. На электропоезде была установлена опытная ячейка МП-АЛС блока АЛС-ТКС с возможностью приема сигналов тональной частоты (до 1 кГц) [94, 138].

Анализ сигналов производился с помощью программ «СУД-У», «Отображения сигналов АЛС» и «Инспектор поездки». Во время анализа

сравнивался момент падения сигнала КРЛ на приемных катушках локомотива с моментом формирования ячейкой МП-АЛС соответствующего сообщения в CAN-интерфейс. Момент фиксации границ рельсовых цепей ячейкой МП-АЛС в программе «Инспектор поездки» показан с помощью индикаторов под осциллограммой сигналов с приемной катушки (два верхних индикатора – граница рельсовой цепи по данным сигнала КРЛ в двух каналах МП-АЛС, два нижних индикатора – граница рельсовой цепи по данным сигнала АЛС-ЕН, Рисунок 3.18) [139-141].

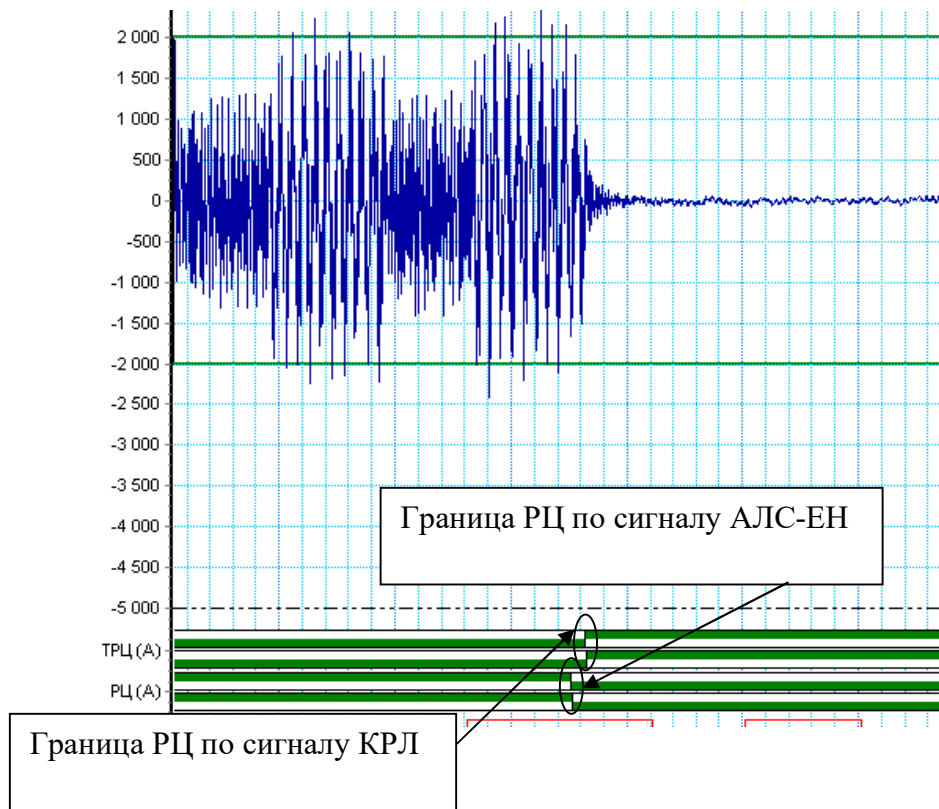


Рисунок 3.18 – Определение границ рельсовой цепи

В результате проведенных испытаний был сделан следующий вывод, при анализе записей не было выявлено ни одного случая ложного определения границы рельсовой цепи по сигналам КРЛ. В качестве примера отображены следующие результаты исследования определения границы рельсовой цепи (Рисунки 3.19 – 3.24):

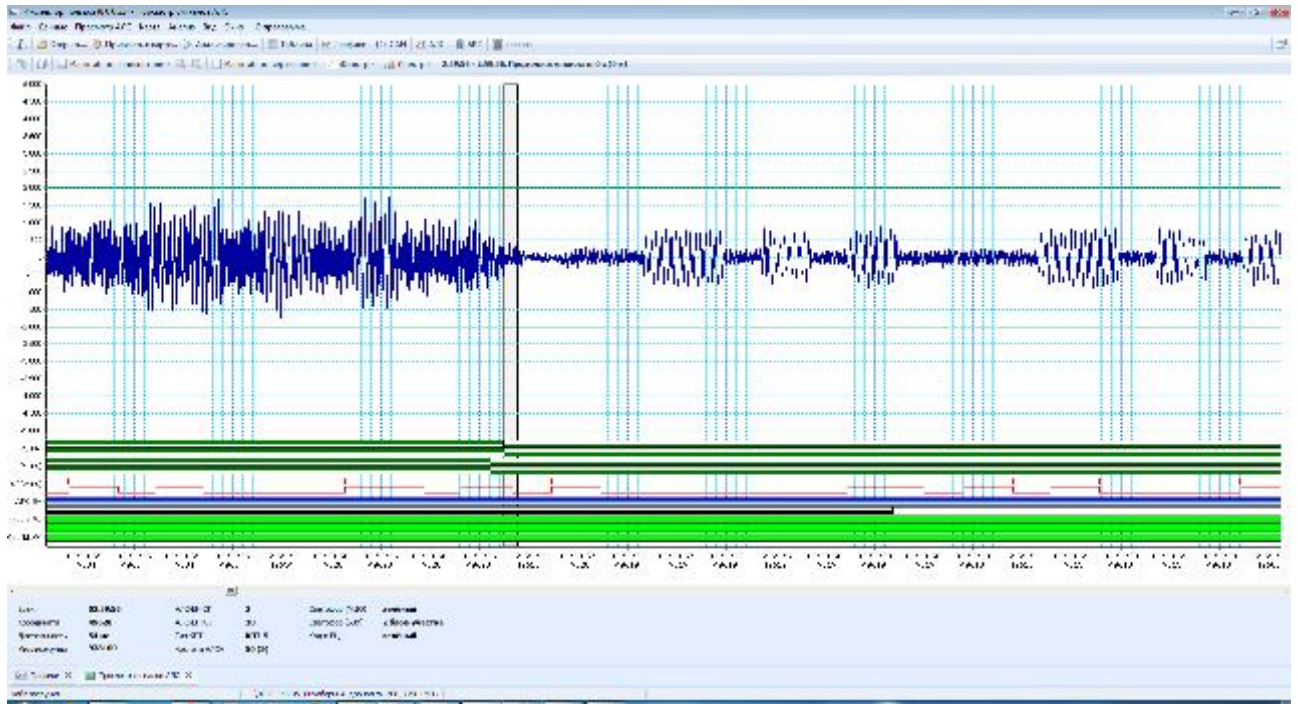


Рисунок 3.19 - Скорость 22 км/ч, погрешность определения менее 60 мсек.

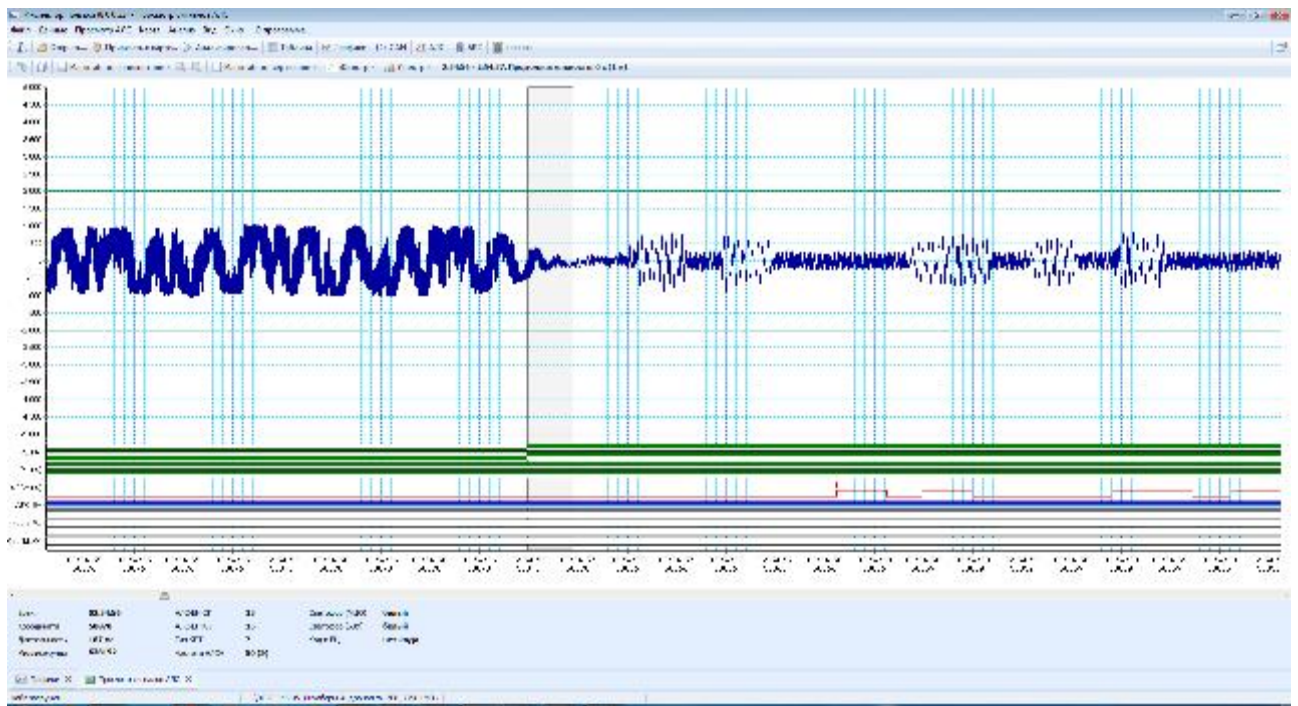


Рисунок 3.20 - Скорость 15 км/ч, погрешность определения менее 190 мсек.

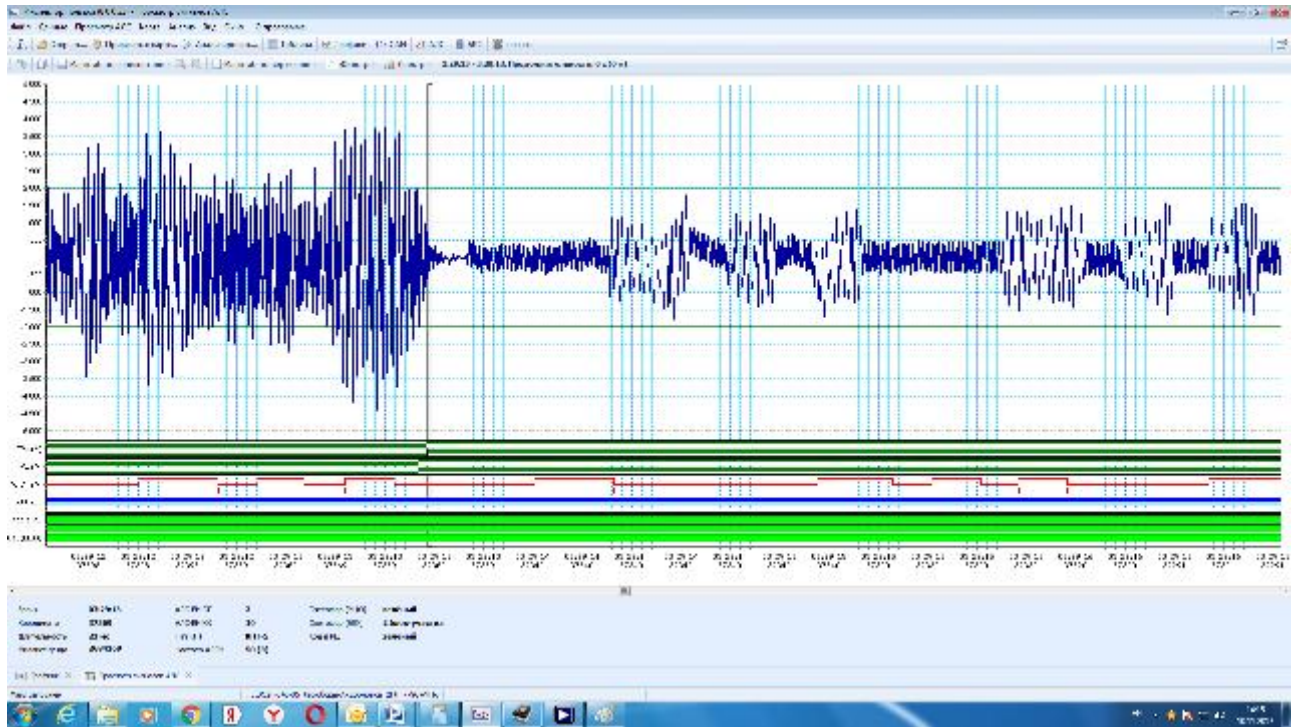


Рисунок 3.21 - Скорость 56 км/ч, погрешность определения менее 20 мсек.

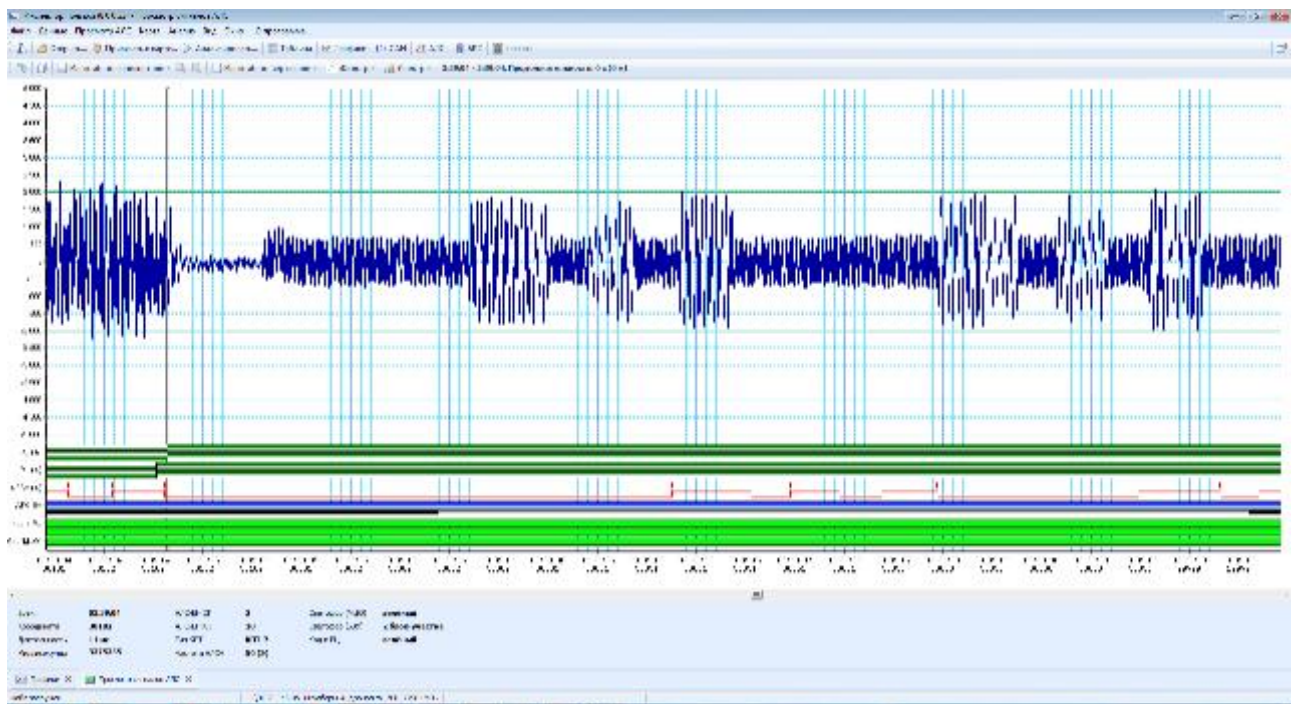


Рисунок 3.22 - Скорость 74 км/ч, погрешность определения менее 20 мсек.

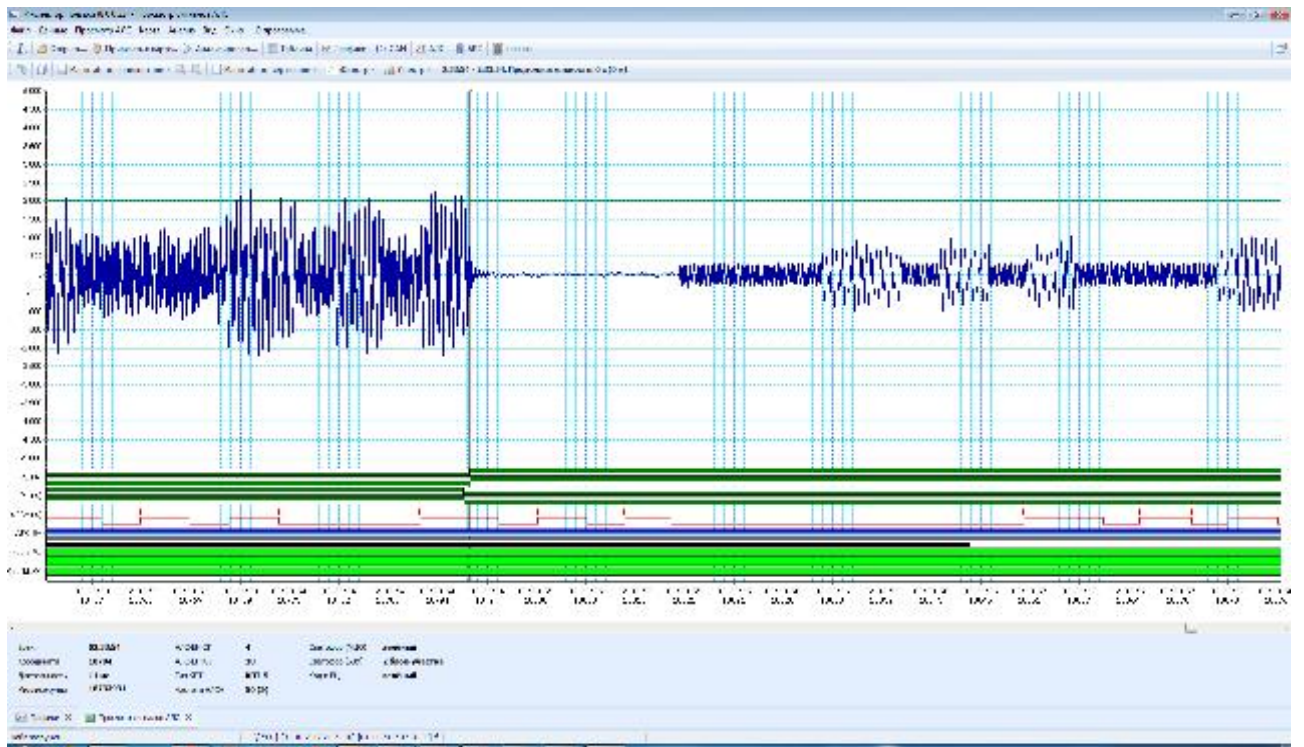


Рисунок 3.23 - Скорость 91 км/ч, погрешность определения менее 10 мсек.

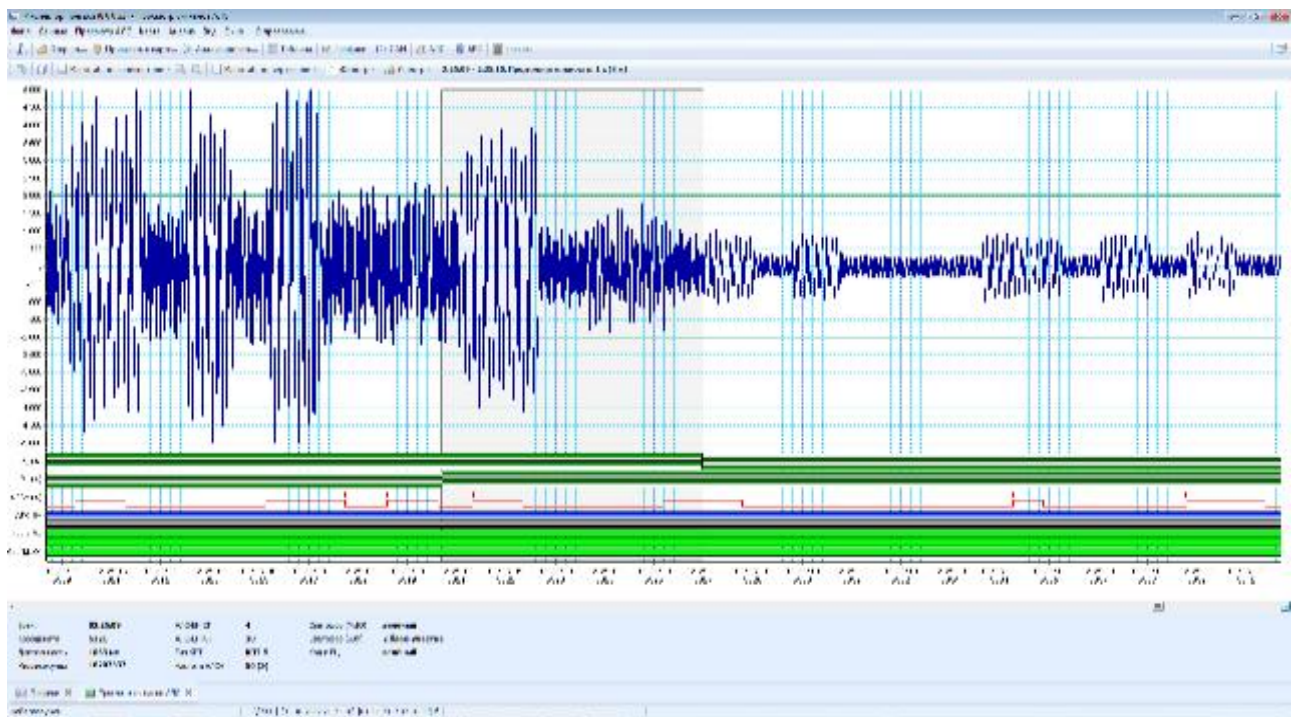


Рисунок 3.24 - Скорость 26 км/ч (на осциллограмме видно, что кодирование АЛС было перенесено на следующий питающий конец до проследования границы рельсовой цепи; разница в определении границы рельсовой цепи по сигналу КРЛ и сигналу АЛС-ЕН составляет около 1 сек)

По результатам эксперимента получены следующие результаты:

- Случаев ложного определения границы рельсовой цепи по сигналу КРЛ в опытных поездках не было.
- Погрешность определения границ рельсовых цепей в опытных поездках составляло от 10 до 190 мсек; при этом, при увеличении скорости погрешность измерения падает.
- Во всех случаях погрешность определения границ рельсовых цепей составила менее 1 метра.

При проведении подобных исследований на МЦК получены следующие результаты:

По результатам анализа трех поездок электропоезда ЭС2Г в пределах Московского центрального кольца было выявлено определение границ рельсовых цепей на всех частотах сигнала КРЛ (Таблица 3.2). Исходные статистические данные представлены в Приложении Б (Первый путь) и Приложении В (Второй путь).

Таблица 3.2 - Определение количества границ рельсовых цепей на МЦК

Канал КРЛ	Кол. границ РЦ
475 Гц	160
525 Гц	284
575 Гц	212
625 Гц	276
675 Гц	234
725 Гц	229
775 Гц	239
825 Гц	262
875 Гц	109
925 Гц	134

Случаев ложного определения границы рельсовой цепи по сигналу КРЛ в опытных поездках не было, а на скоростях от 15 км/ч до 110 км/ч погрешность определения границ рельсовых цепей составила менее 1 метра. На Рисунках 3.25-

3.26 представлены осциллограммы нескольких случаев проследования границ рельсовых цепей.

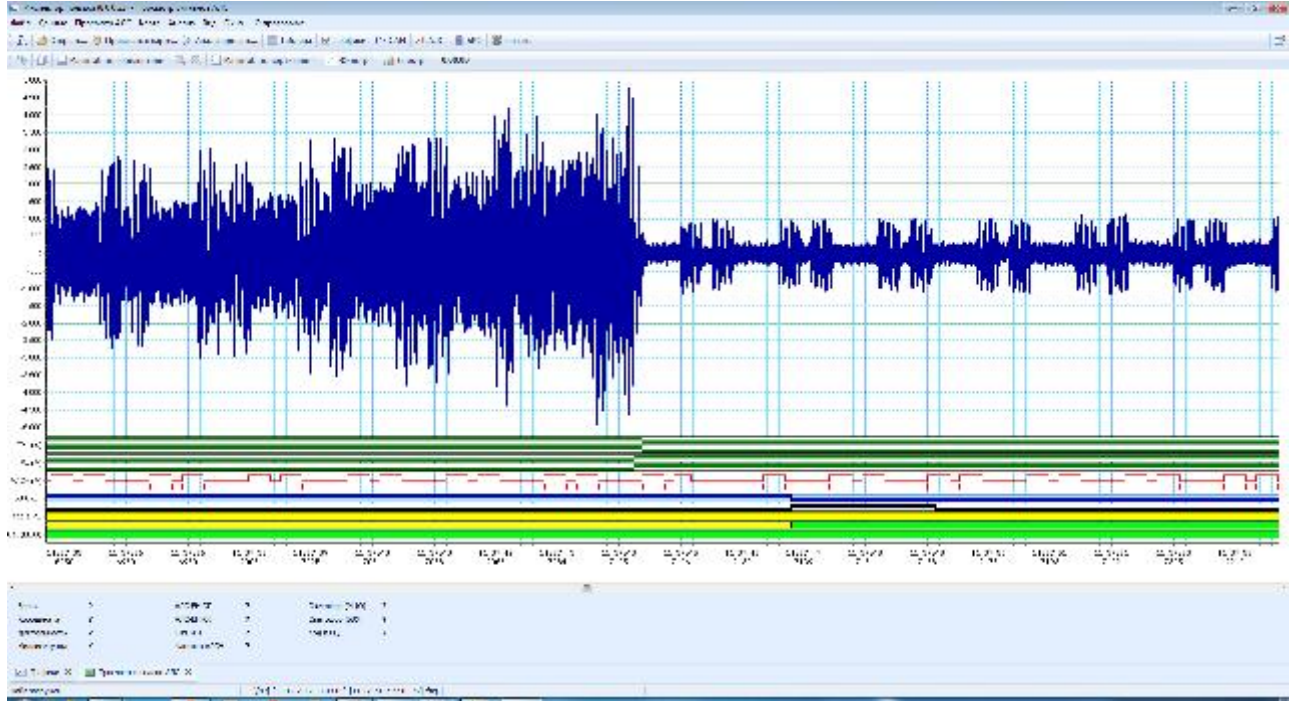


Рисунок 3.25 –Пример проследование границы рельсовой цепи (Пример 1)

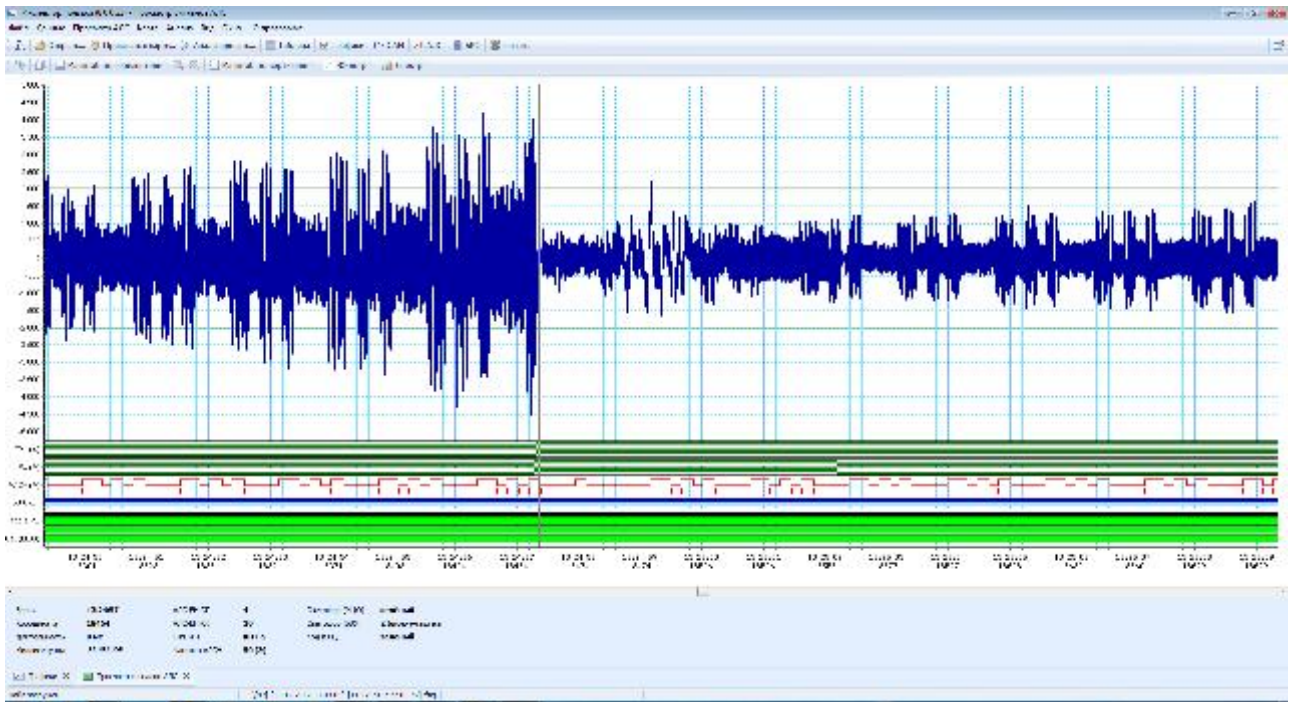


Рисунок 3.26 –Пример проследование границы рельсовой цепи (Пример 2)

Выводы по главе 3

1. Разработаны комплексы регистрации и дешифрации сигналов АЛС и сообщений из системной шины CAN локомотивного устройства безопасности. Разработки позволяют оперативно проводить анализ сбоев или получить необходимые входные данные для тестирования или оценки текущей обстановки в случае сбоев, а также проводить мониторинг состояния напольных устройств автоматики.

2. Доказано влияние синхронизации сигнала, при его обработке, на среднюю вероятность ошибки. Данное утверждение показывает, что необходимо применение дополнительного оборудования или алгоритмов для обеспечения синхронизации при обработке сигналов АЛС.

3. Сформулирован оригинальный способ приема кодов сигналов АЛС-ЕН, когда обработчик имеет возможность достоверно оценить изменение сигнала и сформировать «точку выборки» текущего цифрового кода в зависимости от качества фидера, что позволяет улучшить характеристики приема кодов и как следствие сократить количество сбоев.

4. На базе расчетов, выполненных в главе, можно сделать вывод о необходимости введения новой кодировки каналов АЛС-ЕН, исключающей резкие изменения фазы на 180° и использующей постепенное изменение фазы для сохранения энергии сигнала.

5. Предложен и обоснован способ уточнения координаты по данным из рельсовых каналов. Проведенный эксперимент показал теоретическую обоснованность способа на практике и качество определения координаты генераторов с точностью менее одного метра. Однако требуется уточнить, что использование данной информации должно быть ограничено служебными функциями. Применение данных для алгоритмов с функциями SIL4 требует дальнейших исследований.

ГЛАВА 4. МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ НА БАЗЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Для обеспечения эффективного использования пропускной способности железнодорожных линий играет важную роль применение новых принципов организации движения, в том числе при комплексном взаимодействии бортовых и инфраструктурных устройств безопасности. Данные технологии реализуют непосредственно микропроцессорные системы управления и обеспечения безопасности [142], получившие широкое распространение на подвижном составе. Применение таких систем позволило реализовать сложные алгоритмы управления тяговым оборудованием и обеспечивать более точную остановку поезда за счет применения локальных точечных датчиков и спутниковых технологий, а также повысить уровень безопасности движения и энергооптимальности ведения поезда.

Приоритетными направлениями, на современном этапе построения систем обеспечения безопасности, стали методики, нацеленные на совершенствование не только программных алгоритмов работы изделий, но и сопровождения их эксплуатации, для достижения требуемых показателей использования пропускной способности, обеспечения безопасности и надежности на уровне международных стандартов с учетом всех этапов жизненного цикла, а также переход к проектным принципам внедрения систем безопасности с учетом их стоимости и комплексной эффективности в масштабе отрасли.

В настоящее время на железнодорожном транспорте существует большое количество систем, функционал которых требует программно-аппаратного развития. Тем самым ОАО «РЖД» часто сталкивается с проблемой нецелевого финансирования, не имея инструментов не только оценки стоимости оборудования различной полноты безопасности, но и их алгоритмического функционала.

Помимо этого, задачи дальнейшего повышения использования пропускной способности и безопасности также остаются открытыми, так как новые системы

несут в себе ранее неотмеченные угрозы и отказы. Разработчики порой также не в полной мере осознают важность ряда вопросов, таких как выбор элементов вычислительной системы, расчет структуры безопасного устройства, а также требований к ней.

Глава 4 посвящена синтезу программно-аппаратного взаимодействия устройств обеспечения безопасности движения, а именно построению нового алгоритма проследования подвижным составом сигналов ограничения от систем обеспечения безопасности движения поездов с большей скоростью, оценке его рисков, стоимости построения устройств повышенной надежности и безопасности в целом, а также рассмотрению обеспечения безопасности движения, при использовании критерия доверенной аппаратной платформы.

4.1 Алгоритм проследования подвижным составом сигналов ограничения от систем обеспечения безопасности движения поездов с большей скоростью и оценка его рисков

При решении задачи остановки перед светофором с запрещающим показанием эксплуатируемые в настоящее время устройства безопасности КЛУБ-У используют кривые автостопного торможения в виде табличных значений кривых торможения для поездов различных типов и длины и для уклонов 0 ‰ -2 ‰, -4 ‰, -6 ‰, -8 ‰, -10 ‰, -12 ‰, -14 ‰, -16 ‰.

При проследовании к светофору с показанием «Желтый» эксплуатируемые в настоящее время устройства безопасности обеспечивают выполнение следующего требования руководства по эксплуатации [97]: “при приеме сигнала АЛСН «Желтый» значение допустимой скорости равно $V_{зел}$ (значение скорости проследования сигнала «Зеленый» из постоянных характеристик системы обеспечения безопасности), значение целевой скорости равно $V_{жел}$ (значение скорости проследования сигнала «Желтый» из постоянных характеристик системы обеспечения безопасности). На блоке индикации отображается сигнал светофора «Желтый» [143]. Целевая скорость $V_{жел}$ равна скорости проследования светофора с показанием «Желтый», установленной требованием ПТЭ (со скоростью не более 60 км/ч.)”. По мере приближения к актуальному препятствию, имеющему ограничение скорости, значение $V_{доп}$ (допустимая скорость) постепенно снижается до значения $V_{цел}$ (целевая скорость) в соответствии с кривой автостопного торможения без учета подготовки тормозов, и машинист должен снижать фактическую скорость в соответствии с изменением $V_{доп}$.» [144].

В рамках реализации проекта «виртуальная сцепка» на участке «Хабаровск-Находка» был проведен расчет кривых торможения для участков дороги с уклонами от - 16‰ до - 24‰ в соответствии с формулами Правил тяговых расчетов для поездной работы, утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» №867р 12.05.2016 [145].

Расчетные кривые торможения позволяют оценивать (для обеспечения безопасности) тормозной путь на участке дороги Хабаровск – Находка, где приведенный уклон может достигать значений -24‰.

Безопасность Таблицы кривых торможения для уклонов до - 16‰ подтверждается наличием у устройства безопасности декларации соответствия требованиям ТР ТС 001/2011, а также нижеприведенными результатами обработки статистических данных эксплуатации в соответствии с ГОСТ Р 50779.26-2007. «Статистические методы. Точечные оценки, доверительные, предикционные и толерантные интервалы для экспоненциального распределения.»

Комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У эксплуатируется с 1998 года. По состоянию на 2020 год по данным АС «Электронный паспорт» КЛУБ-У оборудовано 11109 подвижных единиц, что составляет 16663 комплекта. За все время эксплуатации проездов светофоров с запрещающим показанием по причине некорректной кривой торможения не было. Рассчитаем интенсивность возникновения опасного события:

$$\lambda_{\text{проез}} = \frac{N}{n_{\text{КЛУБ-У}} \cdot t} \quad (4.1)$$

Где N - число проездов по причине некорректности кривой торможения (для оценки снизу ввиду отсутствия опасных событий за период эксплуатации принимается равным 1);

$n_{\text{КЛУБ-У}}$ – количество устройств безопасности КЛУБ-У;

t – время эксплуатации устройств в часах.

$$\lambda_{\text{проез}} = \frac{1}{16663 \cdot 11 \cdot 365 \cdot 24} = 6,22 \cdot 10^{-10} \text{ 1/час} \quad (4.2)$$

Данный показатель удовлетворяет требованиям уровня полноты безопасности УПБ4, из чего следует вывод о безопасности применяемых алгоритмов при построении кривой торможения.

Использование при расчетах Таблицы для уклонов от - 16‰ до -24‰ сертифицированных исходных данных и утвержденных Правил тяговых расчетов, а также положительные результаты проведенных испытаний позволяет сделать вывод о безопасности Таблиц кривых автостопного торможения от 0‰ до -24‰.

Целью данного анализа является доказательство возможности повышения ограничения скорости проследования путевого светофора с показанием «Желтый», установленного Правилами технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, для поездов, оборудованных устройствами безопасности, обеспечивающими контроль допустимой скорости движения в зависимости от расстояния до светофора с запрещающим показанием, формируемой согласно кривым автостопного торможения.

Задачей оценки риска является получение объективной информации, необходимой для снижения или предотвращения ущерба из-за отмены использования целевой скорости проследования светофора с показанием «Желтый» при вычислении допустимой скорости движения.

Введение в алгоритм бортового устройства безопасности функции «Повышение скорости проследования светофора с показанием «Желтый» не затрагивает основных принципов обеспечения функциональной безопасности, заложенных в КЛУБ-У – резервирование каналов обработки данных со сравнением результатов работы схемой безопасности, переход в защитное состояние при обнаружении одиночных отказов, принятие мер, направленных на ограничение времени накопления множественных отказов и т.п.; не затрагивает правил расчета допустимой скорости движения конкретной подвижной единицы в зависимости от расстояния до светофора с запрещающим показанием. В этой связи при выполнении функции «запрета проезда запрещающего показания при отказе от использования целевой скорости проследования светофора с показанием «Желтый», установленной ПТЭ»:

- никакого «нового» опасного события по сравнению с действующим алгоритмом не возникает. Соответственно вероятностная оценка риска от введения Нового алгоритма невозможна (ввиду отсутствия такового).

- уровень полноты безопасности КЛУБ-У при выполнении своей основной функции безопасности «безопасное разграничение поездов по времени и по расстоянию при наличии в электронной карте информации о профиле пути» сохраняется на уровне УПБ4.

Таким образом, задача текущего анализа сводится к демонстрации отличительных особенностей формирования допустимой скорости движения по блок-участкам с показанием «Желтый» и «Желтый с красным» при действующем и новом алгоритмах КЛУБ-У. Исследуемые объекты:

- участок дороги Карымская - Хабаровск - Находка;
- грузовой локомотив, оборудованный системой КЛУБ-У.

4.1.1 Описание системы

Комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У используется как основное средство обеспечения безопасности на исследуемом участке Карымская - Хабаровск - Находка при реализации технологии «виртуальная сцепка».

Основной функцией безопасности бортового устройства КЛУБ-У является безопасное разграничение поездов по времени и по расстоянию. Выполнение основной функции безопасности состоит из этапов:

- определение фактической скорости движения;
- определение допустимой скорости движения;
- выработка управляющих команд на реализацию служебного или автостопного торможения по результатам контроля скорости.

В рамках текущего анализа ключевой является функция «определение допустимой скорости движения по данным, полученным от путевых устройств систем автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), от спутников, а также на основании информации, содержащейся в электронной карте».

4.1.2 Модель риска

Допустимый уровень риска по причине введения в алгоритм локомотивного устройства безопасности КЛУБ-У функции «Повышение скорости проследования светофора с показанием «Желтый» оценивается по принципу GAMAB (в соответствии с международным стандартом EN50126: (Globalement Au Moins Aussi Bon, в целом не хуже) "Все новые управляемые транспортные системы должны в целом иметь степень риска по крайней мере такую же, что и равнозначная существующая система") [146]. В данном случае мы будем сравнивать систему с

обновленным алгоритмом в части отмены ограничения скорости проследования светофора с показанием «Желтый» (далее по тексту Новый алгоритм) и систему со старым алгоритмом, обрабатывающую ограничение скорости проследования сигнала «Желтый». В данном анализе будет применен качественный подход к оценке риска.

4.1.3 Анализ рисков

Ограничение скорости проследования светофора с показанием «Желтый», далее по тексту «Контр.свет.», в первую очередь направлено на предварительное занижение скорости для плавного торможения к светофору с запрещающим показанием и снижения вероятности его проезда при отсутствии полной картины профиля пути и расстояния до запрещающего светофора [147]. Данное решение слишком общее и не позволяет реализовать в полной мере все преимущества устройства безопасности, в частности наличие в КЛУБ-У базы данных с информацией о координатах путевых светофоров, границ рельсовых цепей, профиле пути и тормозном пути при экстренном торможении с текущей скорости. Наличие данной информация позволит, в некоторых случаях, значительно повышать скорость на сигнал «Желтый» при следовании по профилю пути с положительным значением уклонов и достаточной длиной блок-участка, гарантируя остановку перед путевым светофором с запрещающим показанием [148].

Новый алгоритм бортового устройства безопасности заключается в следующем: Кривая автостопного торможения строится к следующему по ходу движения светофору после светофора «Контр.свет.» с показанием «Желтый». Целевая скорость $V_{\text{жел}}$ проследования светофора с показанием «Желтый» при вычислении допустимой скорости движения не учитывается.

Работа КЛУБ-У по таким правилам на участке с технологией виртуальная сцепка далее по тексту называется работа в режиме «виртуальная сцепка без ограничений на сигнал светофора с показанием «Желтый».

У перехода к Новому алгоритму есть разрешающие критерии:

а) по команде машиниста. В этом случае не использование в алгоритме формирования допустимой скорости целевой скорости проследования светофора с показанием «Желтый» осуществляется устройством безопасности вне зависимости от наличия в ЭК детализированных данных об уклонах и ответственность за принятие такого решения (превышение скорости проезда светофора с показанием «Желтый», установленной ПТЭ) лежит на машинисте.

- Команда K277 – вхождение в режим «виртуальная сцепка без ограничений на проезд светофора с показанием «Желтый».
- Команда K278 – выход из режима «виртуальная сцепка без ограничений на проезд светофора с показанием «Желтый».

б) автоматически, при условии наличия в бортовой системе полного набора данных, необходимых для гарантированной остановки к следующему светофору после «Контр.свет.» (тормозные характеристики поезда и значения уклонов). Рассмотрим 2 сценария поездной обстановки. Сценарий кодирования 1 изображен на Рисунке 4.1.

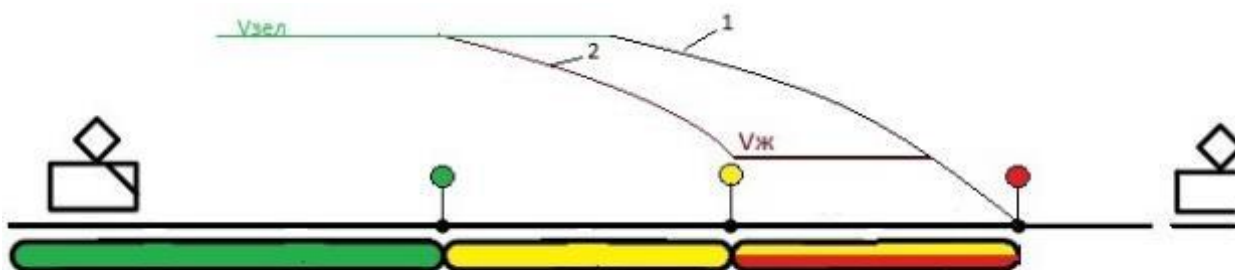


Рисунок 4.1 – Формирование допустимой скорости КЛУБ-У при отмене ограничения скорости на «Желтый» при сценарии кодирования «Красный» «Желтый» «Зеленый»; 1 – кривая торможения, формируемая устройством КЛУБ-У по Новому алгоритму (при отмене ограничения скорости на «Ж») с учетом подготовки тормозов; 2 – кривая торможения, формируемая устройством КЛУБ-У при наличии ограничения скорости на «Ж» без учета подготовки тормозов

При введении Нового алгоритма, КЛУБ-У не обрабатывает препятствие вида «Контр.свет.» и строит кривую прицельного торможения с учетом подготовки тормозов. На Рисунке 4.1 видно, что средняя допустимая скорость движения по Новому алгоритму значительно превосходит среднюю скорость по старому алгоритму. При этом координата точки остановки перед запрещающим показанием светофора не изменяется.

Сценарий кодирования 2 изображен на Рисунке 4.2.

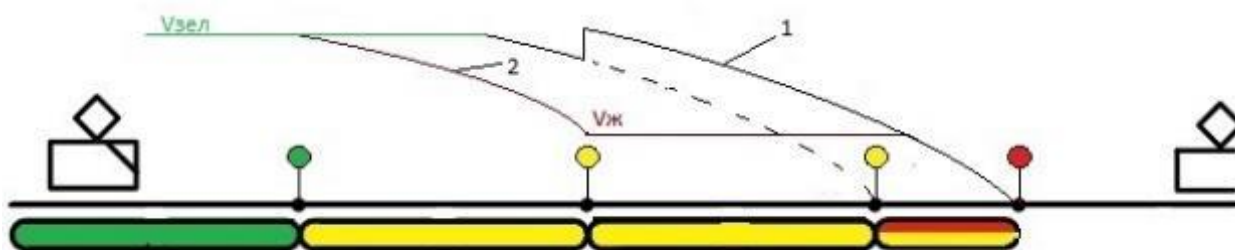


Рисунок 4.2 – Формирование допустимой скорости КЛУБ-У при отмене ограничения скорости на «Желтый» при сценарии кодирования «Красный» «Желтый» «Желтый» «Зеленый»; 1 – кривая торможения, формируемая устройством КЛУБ-У по Новому алгоритму (при отмене ограничения скорости на сигнал светофора с показанием «Желтый») с учетом подготовки тормозов. Отражает построение кривой при движении по первому участку «Желтый» и ее изменение при вхождении на второй участок «Желтый»; 2 – кривая торможения при наличии ограничения скорости на «Желтый», формируемая без учета подготовки тормозов

Оба рисунка демонстрируют, что наличие в бортовой системе полного набора данных, необходимых для гарантированной остановки к следующему светофору, при введении Нового алгоритма позволяет в некоторых случаях двигаться подвижной единице с более высокой скоростью с сохранением уровня безопасности выполнения функции «безопасное разграничение поездов по времени и по расстоянию».

Рассмотрим еще один критерий перехода на Новый алгоритм, когда режим ведения без ограничения скорости на проследование светофора с показанием «Желтый» осуществляется по командам от системы автоведения, к которой не предъявляются требования безопасности уровня УПБ4. При получении «Разрешения на повышение скорости» от неответственной системы, существует риск искажения или подделки, в том числе случайной, сообщения, когда бортовым устройством будет получена ложная команда на повышение скорости. Такая подделка не приведет к опасным последствиям только при условии наличия данных о профиле пути. Таким образом, ввод в интерфейс взаимодействия системы безопасности с неответственным устройством команды «Разрешения на повышение скорости» может являться лишь способом иногда отключать у системы безопасности возможность автоматически повышать скорость при наличии разрешающего критерия б) (при отсутствии команды функция не выполняется), что является не целесообразным с точки зрения значения коэффициента готовности эксплуатации Нового алгоритма.

Формулируется вывод: при введении Нового алгоритма КЛУБ-У не обрабатывает препятствие вида «Контр.свет.» и строит кривую прицельного торможения к концу следующего за светофором с показанием «Желтый» блок-участка с учетом подготовки тормозов. При этом координата точки остановки перед запрещающим показанием светофора не изменяется, а средняя допустимая скорость движения может быть существенно повышена.

4.1.4 Исследование результатов применения Нового алгоритма в части формирования допустимой скорости проследования светофора с показанием «Желтый»

Команда повышения скорости проследования светофора с показанием «Желтый» может быть реализована только на тех участках, где прибор безопасности обладает достаточным набором сведений, позволяющих выполнить остановку перед следующим после светофора с показанием «Желтый» светофором с запрещающим показанием. Принципиальным для этой функции, помимо данных

о фактическом расстоянии между светофорами, является наличие информации о профиле пути.

Исследование разделено на 2 этапа:

- первый этап - расчет кривых торможения на крутых уклонах до -24‰;
- второй этап - анализ скоростей, формируемых устройством безопасности на исследуемом пути и проведение испытаний.

Таблицы кривых торможений для поездов различных типов и длины были рассчитаны в рамках договора №187-14-00070/5017/17 сотрудниками АО «Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Таблицы содержат кривые для уклонов 0‰, -2‰, -4‰, -6‰, -8‰, -10‰, -12‰, -14‰, -16‰. Данный набор не позволяет объективно оценивать тормозной путь на участке дороги Хабаровск - Смоляниново, где приведенный уклон может достигать значений -24‰.

На первом этапе был получен расчет кривых торможения для участков дороги с уклонами от – 16‰ до -24‰ с использованием в качестве исходных данных общих методов тяговых расчетов для поездной работы, утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» №867р 12.05.2016. Результирующие кривые торможения позволяют оценивать сверху тормозной путь на участке дороги Хабаровск – Смоляниново, где приведенный уклон может достигать значений - 24‰.

Для решения поставленной выше задачи была использована обобщенная модель торможения на основании Правил тяговых расчетов для поездной работы, утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» №867р 12.05.2016 и физических процессов, происходящих в поезде, и получена формула для оценки действительного тормозного пути S_D .

Тормозная система поезда является сложным механизмом. Тормозные пути поезда зависят от многих факторов, таких как состояние тормозной системы, вес, длина, категория поезда, тормозной коэффициент, уклон, начальная скорость торможения, сопротивления среды, свойств вращающихся масс и пр. В

использованной модели эти факторы были учтены в обобщенном расчетном коэффициенте.

Полный расчетный тормозной путь S_T можно представить как сумму тормозного пути, проходимого поездом при подготовке тормозов к действию S_{Π} , и действительного тормозного пути S_D [149]:

$$S_T = S_D + S_{\Pi}, \text{ м} \quad (4.3)$$

В выбранной упрощенной модели движение подвижного состава описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta g (\iota + \vartheta_y \chi_{об}) \quad (4.4)$$

В этом уравнении использованы следующие обозначения:

v — скорость движения подвижного состава;

t — время;

ζ — безразмерный коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс подвижного состава;

g — ускорение свободного падения;

ι — уклон (более точно: синус угла наклона участка с учётом знака);

ϑ_y — безразмерный расчётный тормозной коэффициент подвижного состава;

$\chi_{об}$ — обобщенный расчетный коэффициент, учитывающий все неизвестные параметры модели.

При рассмотрении ситуации с полностью подготовленными тормозами коэффициент ϑ_y является постоянным, поэтому в этом случае при торможении со скорости v до скорости u ($v > u$) тормозной путь в выбранной упрощенной модели вычисляется по формуле:

$$S_D = \int_u^v \frac{v dv}{\zeta g (\iota + \vartheta_y \chi_{об})}. \quad (4.5)$$

Замечание: в этой формуле знаменатель должен быть положительным и отделённым от 0 на отрезке интегрирования, чтобы полученная величина имела смысл (в противном случае требуемое торможение осуществить невозможно из-за недостаточности тормозного усилия).

Для определения искомого неизвестного обобщенного расчетного коэффициента $\chi_{об}$ был проведен анализ известных таблиц тормозных путей, рассчитанных АО «ВНИИЖТ».

На Рисунке 4.3 представлен график изменения обобщенного расчетного коэффициента в зависимости от уклона для категории поезда грузовой при зафиксированной скорости начала торможения и соответствующего ей значения S_d . Шесть прямых разного цвета соответствуют шести различным значениям зафиксированных скоростей, то есть шести параметрам (v ; S_d) из таблиц, рассчитанных АО «ВНИИЖТ».

На Рисунке 4.4 представлен график изменения обобщенного расчетного коэффициента в зависимости от уклона для категории поезда грузовой при зафиксированной скорости начала торможения с изменением этой фиксации по всему диапазону скоростей.

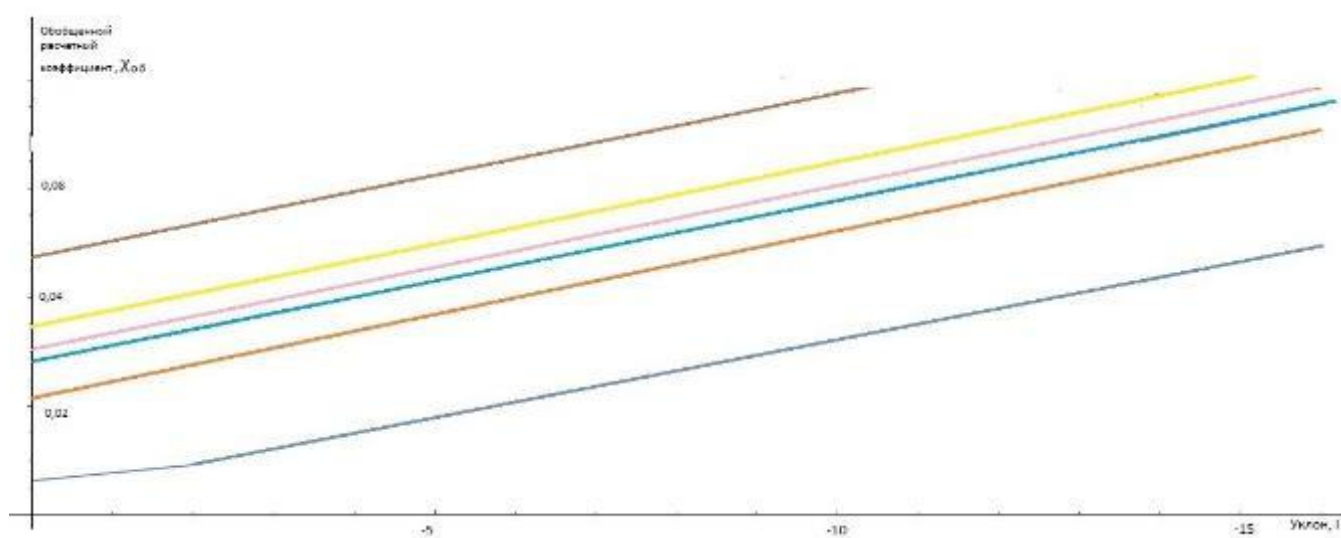


Рисунок 4.3 – Двухмерный график зависимости обобщенного расчетного коэффициента от уклона при зафиксированной скорости начала торможения

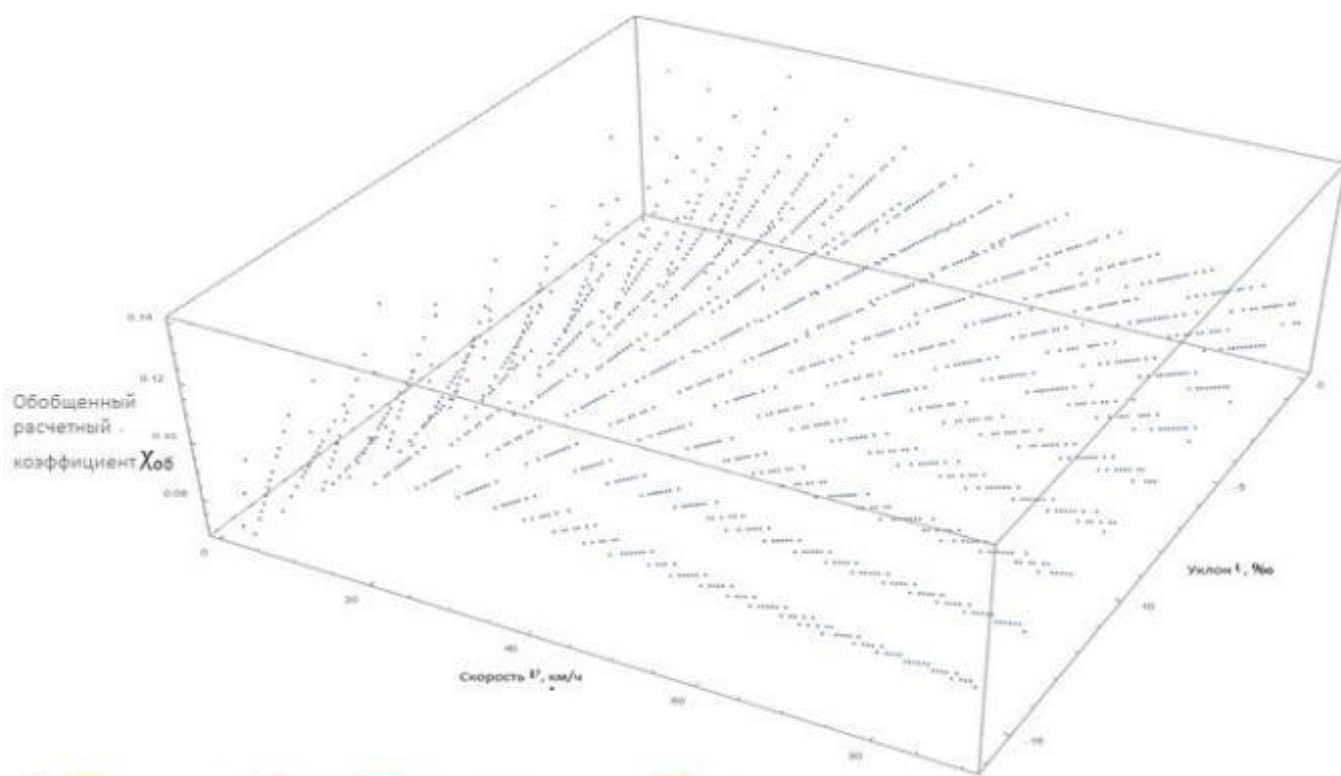


Рисунок 4.4 – Трехмерный график зависимости обобщенного расчетного коэффициента от скорости и уклона

Несмотря на то, что основная зависимость ускорения торможения от уклона учтена в первом слагаемом формулы (4.4), обобщенный расчетный коэффициент также имеет зависимость от уклона. На двухмерном графике видно, что обобщенный расчетный коэффициент в среднем растет с увеличением крутизны уклона при фиксированной скорости и тормозном пути.

На трехмерном графике видно, что данная ситуация повторяется на всем диапазоне рассматриваемых скоростей. Таким образом, использование значения обобщенного расчетного коэффициента $\chi_{об}$ рассчитанного для уклона -16‰, на более крутых спусках будет безопасным, поскольку действительный путь торможения S_d обратно пропорционален обобщенному расчетному коэффициенту и рассчитанный тормозной путь будет являться оценкой сверху реального тормозного пути:

в формуле для вычисления действительного тормозного пути

$$S_d = \int_u^v \frac{v dv}{\zeta g (1 + \vartheta_y \chi_{об})} \quad (4.6)$$

становятся известны и постоянны параметры $\vartheta_y, \chi_{об}, \zeta g$ и при фиксированной скорости тормозной путь $S_d(-24\text{‰}) > S_d(-16\text{‰})$.

В результате описанных выше расчетов каждому значению скорости V из таблиц, рассчитанных АО «ВНИИЖТ», было сопоставлено значение обобщенного расчетного коэффициента $\chi_{об}$. Значения известного обобщенного расчетного коэффициента $\chi_{об}$ во всем диапазоне исследуемых скоростей позволили вычислить действительный тормозной путь для уклонов от -16‰ до -24‰.

Для получения полного расчетного тормозного пути, пройденного поездом, необходимо добавить путь, пройденный поездом при подготовке тормозов S_{II} [149]. Формулы для вычисления взяты из Правил тяговых расчетов для поездной работы, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» №867р 12.05.2016 [145].

Подготовительный тормозной путь S_{II} , - путь, проходимый поездом от момента перевода рукоятки крана машиниста в тормозное положение до соприкосновения тормозных колодок с бандажами колёс, определяем из условия равномерного движения поезда со скоростью v_0 :

$$S_{II} = 0,278 \cdot v_0 \cdot t_{II} \quad (4.7)$$

где: v_0 - скорость поезда в начале торможения;

t_{II} - время подготовки тормозов, с;

Время t_{II} определяем по эмпирической формуле для грузовых поездов длиной более 500 осей, что является максимальным значением и позволяет обеспечить безопасность:

$$t_{II} = 24 - \frac{35w_c}{1000 \cdot \vartheta_p \phi_{кр}} \quad (4.8)$$

Дополнительное удельное сопротивление движению от спрямленного профиля и плана пути w_c вычисляется по формуле:

$$w_c = 9,81 \cdot i_c \quad (4.9)$$

Тормозной коэффициент ϑ_p принимается равным 0,33 для грузовой груженой и 0,55 для грузовой порожней категорий поезда.

Расчетный коэффициент трения $\phi_{кр}$ зависит от текущей скорости и вычисляется по формуле

$$\phi_{кр} = 0,36 \frac{v+150}{2v+150} \quad (4.10)$$

На Рисунке 4.5 представлен трехмерный график зависимости пути подготовки тормозов в зависимости от скорости и уклона.

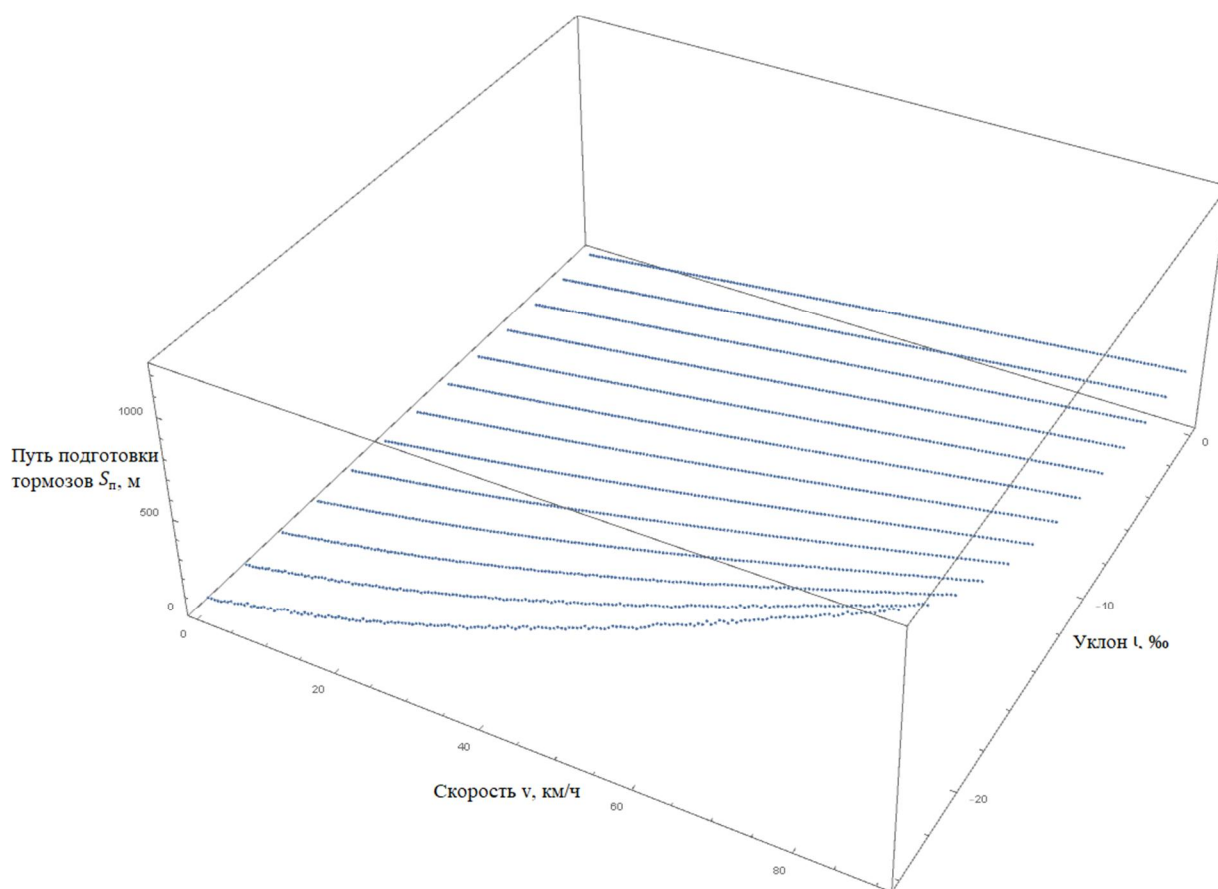


Рисунок 4.5 – Зависимость пути подготовки тормозов от скорости и уклона

Полный расчётный тормозной путь - сумма тормозного пути при подготовке тормозов и действительного тормозного пути [150].

Вторым этапом был проведен анализ допустимой скорости формируемой устройством безопасности КЛУБ-У по расчетным кривым торможения при проследовании светофора, предшествовавшего светофору с запрещающим показанием «Красный» на участке Карымская - Хабаровск - Находка. Значения указанной допустимой скорости с учетом расстояния между светофорами и уклонов приведены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Примеры расчета допустимой скорости устройством безопасности при проследовании сигнала светофора с показанием «Желтый» на исследуемом участке.

№ п.п	Длина блок участка, м	Уклон, ‰	Допустимая скорость в начале блок-участка (Ж светофор), км/ч
1	1201	-11,0	58
2	1200	11,0	67
3	1466	-19,7	47
4	1435	19,7	75
5	2008	-13,9	76
6	1194	-18,0	41
7	1194	18,0	67
8	2188	-16,3	60
9	2188	+16,3	90
10	2188	-11,8	80
11	2188	+11,8	90
12	1270	-17,5	43
13	2280	-23,9	60
14	2270	23,9	90
15	1614	-19,6	49
16	1050	16,8	63
17	1205	-18,4	41
18	1730	-18,6	52
19	1730	18,6	82

№ п.п	Длина блок участка, м	Уклон, ‰	Допустимая скорость в начале блок-участка (Ж светофор), км/ч
20	2280	-16,5	60
21	2100	16,5	90
22	993	-18,9	39
23	998	18,9	57
24	1127	-11,9	55
25	1368	-15,7	62
26	1820	-18,5	53

Анализ показал, что крутой профиль исследуемого участка пути до -24‰ приводит к формированию допустимой скорости проезда как больше, так и меньше, чем 60 км/ч.

Таким образом, на исследуемом участке существуют места, где скорость проследования «Контр.свет.» будет ниже установленной в ПТЭ скорости на «Желтый» сигнал 60 км/ч п. 1,3,6,12,15,17,18,22,23,24,26 Таблицы 4.1. При этом на исследуемом участке есть места, где скорость проследования светофора с показанием «Желтый» может быть увеличена существенно (до 90 км/ч на длинных блок-участках с положительным уклоном). В обоих случаях наличие в базе данных бортовой системы безопасности КЛУБ-У полного набора данных, необходимых для гарантированной остановки к светофору, следующему после светофора «Контр.свет.» с показанием «Желтый», (тормозные характеристики поезда, расстояние до светофора с запрещающим показанием и значения уклонов) позволяет реализовать Новый алгоритм с обеспечением безопасного расстояния между поездами.

Формулируется вывод, что наличие в бортовой системе безопасности КЛУБ-У данных о тормозных характеристиках поезда, расстояние до светофора с запрещающим показанием и уклонах, необходимых для гарантированной

остановки к светофору, следующему после светофора «Контр.свет.» с показанием «Желтый», позволяет вычислять актуальное значение допустимой скорости, которое может быть как выше, так и ниже установленной ПТЭ скорости на «Желтый» 60 км/ч. Поэтому отмена ограничения скорости проследования путевого светофора с показанием «Желтый» на участках пути, для которого отсутствует информация о действительном профиле пути, невозможна без проведения предварительного анализа конкретного участка, из-за наличия риска возникновения опасного отказа. Для повсеместного отказа от ограничений проезда светофора с показанием «Желтый» (без проведения предварительного анализа конкретного участка) требуется обеспечить наличие в электронной карте бортового устройства информации о реальных уклонах на каждом блок-участке.

4.1.5 Результаты эксплуатационных испытаний Нового алгоритма

Скорость проследования светофора с показанием «Желтый», реализуемая локомотивной аппаратурой КЛУБ-У, не является постоянной величиной. Она зависит от длины и уклона впередилежащего блок-участка.

В период с 14.07.2019 по 31.07.2020 были проведены испытания системы КЛУБ-У с модернизированным программным обеспечением на участке Елец - Старый Оскол Юго-Восточной железной дороги. Модернизация заключалась в изменении алгоритма контроля за допустимой скоростью движения поезда во время проследования путевого светофора и смены показания локомотивного светофора с «Желтый» на «Желтый с красным», обеспечивающего решение задач по максимальному сближению поездов при работе с действующими системами интервального регулирования.

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы:

- КЛУБ-У обеспечивает скорость проследования светофора с желтым огнем свыше 60 км/ч.
- КЛУБ-У корректно отрабатывает кривую торможения при движении к светофору с запрещающим показанием
- КЛУБ-У обеспечивает остановку поезда перед светофором с запрещающим показанием с необходимой точностью, в том числе при

проследовании светофора с желтым огнем со скоростью, рассчитанной устройством КЛУБ-У (более 60 км/ч).

На Рисунках 4.6 - 4.8 представлены результаты анализа записей с кассеты регистрации опытных поездок КЛУБ-У с Новым алгоритмом за период с 27.09.2019 по 15.02.2020 в программе «Инспектор поездки». Все рисунки демонстрируют возможность проследования светофора с показанием «Желтый» со скоростью выше 60 км/ч с обеспечением остановки перед светофором с запрещающим показанием.

Красная линия - допустимая скорость движения, формируемая устройством безопасности КЛУБ-У;

Зеленая линия - фактическая скорость поезда.

На Рисунке 4.6 отображен случай формирования устройством безопасности скорости проследования светофора с показанием «Желтый», выше 60 км/ч на исследуемом участке и остановка локомотива.

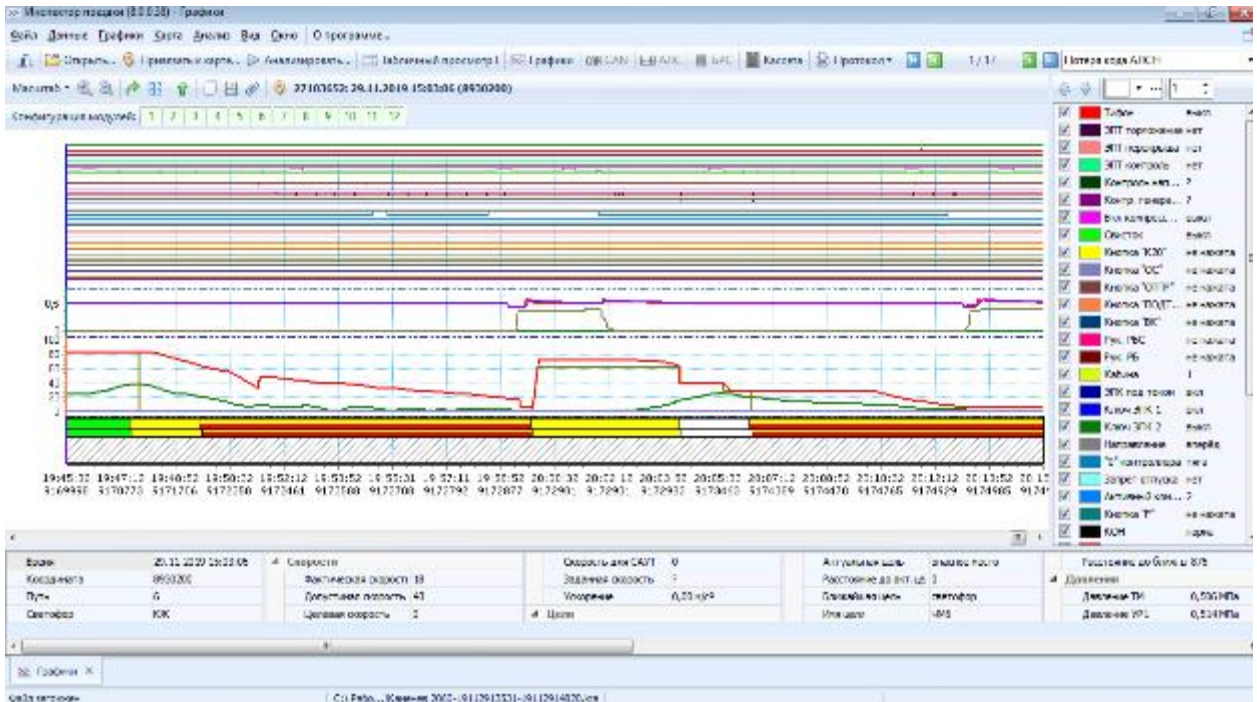


Рисунок 4.6 – Пример построения кривой торможения. Фактическая скорость локомотива в момент проезда светофора с желтым показанием 65 км/ч, допустимая скорость 22 км/ч.

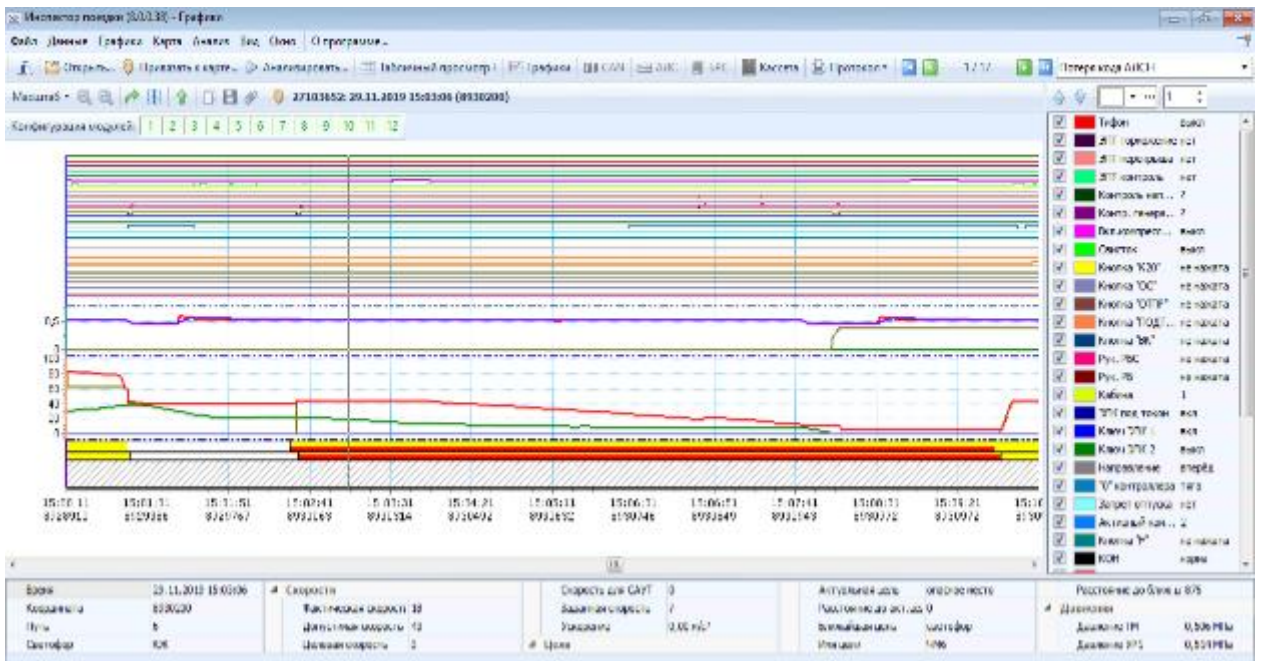


Рисунок 4.7 – Пример построения кривой торможения. Фактическая скорость локомотива в момент проезда светофора с желтым показанием 21 км/ч, допустимая скорость 42 км/ч.

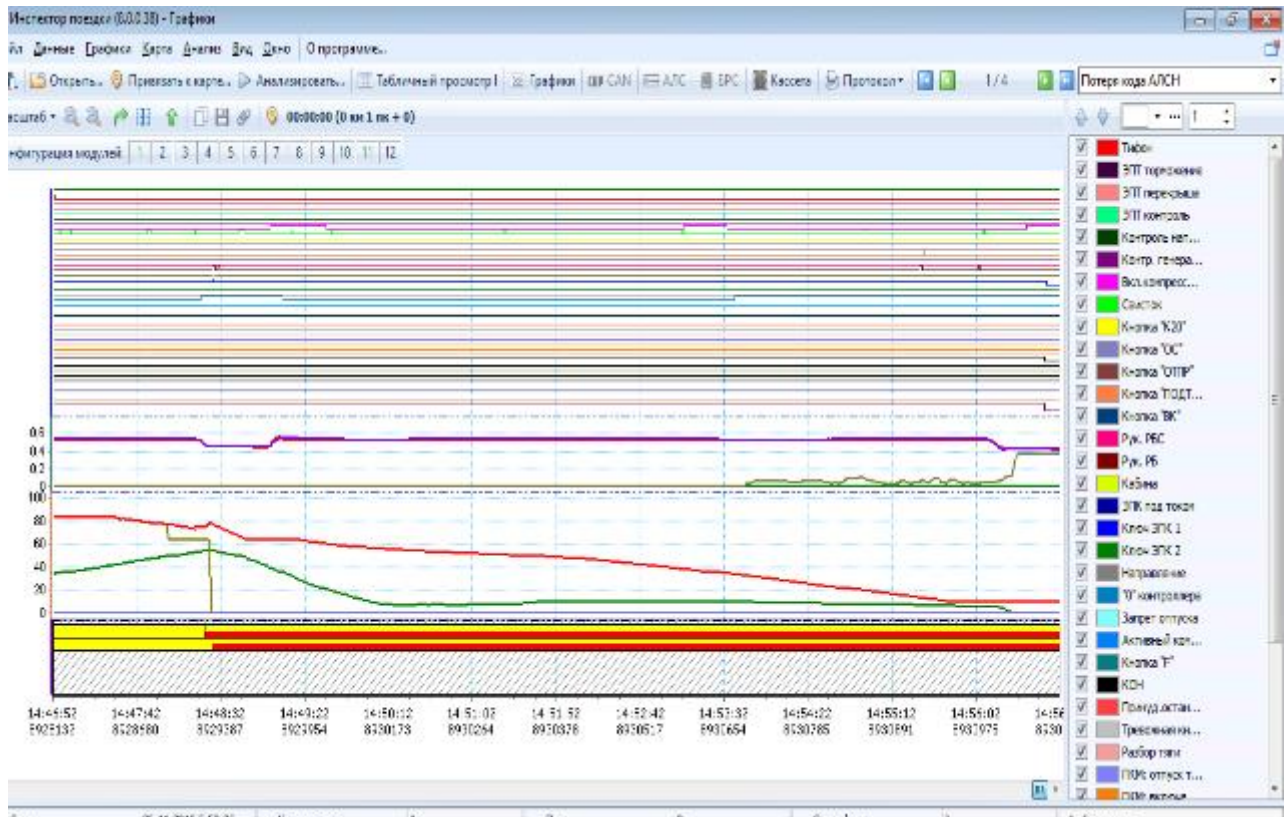


Рисунок 4.8 – Пример построения кривой торможения. Фактическая скорость локомотива в момент проезда светофора с желтым показанием 54 км/ч, допустимая скорость 74 км/ч.

Анализ показал, что машинисты редко реализуют возможность превышения скорости проследования локомотив с желтым показанием. В большинстве случаев именно машинист заранее применяет торможение, но соблюдение скоростного режима в случае превышения указанной скорости в соответствии с кривой допустимой скорости бортового устройства не приводит к проезду светофора с красным показанием [151].

Всего случаев формирования КЛУБ-У допустимой скорости проезда светофора с показанием «Желтый» свыше 63 км/ч – 46 случаев.

Из них:

- Ситуаций проезда испытуемого поезда со скоростью выше 63 км/ч – 18 случаев.
- Не реализовано ситуаций возможности проезда светофора с желтым огнем со скоростью выше 63 км/ч – 28 случаев.
- Максимальная формируемая скорость проезда светофора с желтым огнем – 83 км/ч.
- Минимальная скорость движения поезда при формировании допустимой скорости проезда светофора с желтым огнем свыше 63 км/ч – 20 км/ч.

Формулируется вывод, что команда повышения скорости проследования светофора с показанием «Желтый» может быть реализована только на тех участках, где прибор безопасности обладает сведениями о профиле пути и расстоянии до светофора, позволяющих выполнить остановку перед следующим после Желтого светофором с запрещающим показанием.

4.1.6 Выводы по разделу

1. Формирование кривой торможения к светофору с запрещающим показанием происходит по одинаковым алгоритмам, как при отмене ограничения скорости проследования на «Желтый», так и при его наличии. В первом случае не происходит заблаговременного снижения скорости, которое в настоящее время не связано с текущей поездной обстановкой на конкретном участке пути, а вызвано только ограничением ПТЭ, рассчитанным на общий наихудший случай.

2. Степень риска, связанная с функциональной безопасностью системы

КЛУБ-У при введении функции «Повышение скорости проследования светофора с показанием «Желтый» на участке, для которого в электронной карте присутствуют значения уклонов для каждого блок-участка, не хуже, чем у ранее используемой конфигурации системы.

3. Применение алгоритма отмены ограничения скорости проследования путевого светофора с показанием «Желтый» при отсутствии данных об уклонах и реальных расстояниях между светофорами невозможно, из-за риска возникновения опасного отказа. Для повсеместного отказа от ограничений проезда светофора с показанием «Желтый» (без проведения предварительного анализа конкретного участка) требуется обеспечить наличие в электронной карте бортового устройства информации о реальных уклонах на каждом блок-участке

4. Введение в алгоритм локомотивного устройства безопасности КЛУБ-У функции «Повышение скорости проследования светофора с показанием «Желтый» более 60 км/ч» позволит увеличить скорость движения, не оказывая влияния на реализацию основной функции безопасности бортового устройства – безопасное разграничение поездов по времени и по расстоянию при наличии в электронной карте информации о профиле пути.

5. Проверка программного обеспечения КЛУБ-У, реализующего повышение скорости проследования светофора с показанием «Желтый» более 60 км/ч показала, что КЛУБ-У корректно обрабатывает кривую торможения при движении к светофору с запрещающим показанием и обеспечивает остановку поезда перед светофором с запрещающим показанием с необходимой точностью, в том числе без учета фиксированного параметра величины скорости проследования предыдущего светофора с показанием «Желтый». Соблюдение машинистом требований ПТЭ, а именно ограничения скорости проследования светофора с одним желтым (немигающим) огнем со скоростью, определяемой устройством безопасности, но не более 80 км/час для грузовых и не более 100 км/ч для пассажирских поездов, еще не менее чем на порядок, понижает риск проезда светофора с запрещающим показанием.

6. За 12 лет эксплуатации локомотивов, оборудованных устройствами безопасности КЛУБ-У, проезда светофора с запрещающим показанием по причине некорректной кривой торможение не было. Из чего следует вывод о безопасности применяемых алгоритмов при построении кривой торможения.

4.2 Анализ импортнезависимости в бортовых приборах обеспечения безопасности и системах интервального регулирования

В третьем квартале 2020 года резко возрос спрос на электронные компоненты, что в первую очередь связано разрушением цепочек поставок в следствии с пандемии. Сформировалась потребность в новых компьютерах для дистанционной работы, обучения, автоматизации производства и развития технологий [152]. Лавинный рост спроса во всех отраслях микроэлектроники оказал влияние на повышение цен, а дополнительной причиной подорожания стала стоимость логистики и в целом несовершенство технологической базы изготовителей полупроводников, которая не была готова к таким событиям.

В результате стал все более остро ощущаться дефицит полупроводников, а сроки поставок увеличились до 50 недель с явной тенденцией к ухудшению ситуации в текущем году. Все это привело к повышению стоимости изделий по отдельным позициям на порядок, к тому же из-за ограничительных и карантинных мер возросла себестоимость перевозок.

Такие компании полупроводниковой промышленности, как Intel и TSMC, уже инициировали строительство новых заводов, но на это потребуется несколько лет. А пока ведущие мировые производители автотранспорта и электроники вынуждены закрывать заводы и сокращать производство.

Отечественный рынок электронных компонентов тоже находится в сложной ситуации, поскольку многие предприятия не смогут выпускать продукцию, не имея импортных комплектующих. В настоящее время заводы-изготовители, применительно к железнодорожной отрасли, обращаются в проектно-конструкторские институты с просьбой найти аналоги и согласовать замены компонентов ввиду невозможности их поставок из-за рубежа. Конечно, на их складах пока есть запас импортных электронных компонентов, однако разработчикам технических средств уже сегодня стоит задуматься о выборе и применении отечественных аналогов первого уровня (полный цикл производства на территории России).

Одной из основных стратегий решения возникших проблем может стать импортонезависимость. Введение рядом западных стран жестких санкций в отношении российской экономики активизировало процесс импортозамещения, в том числе и в железнодорожной отрасли. В марте 2014 г. Дмитрий Медведев обозначил его как один из приоритетов для страны [153], подчеркнув, что наш потенциал позволяет самостоятельно производить большой спектр товаров.

Решение вопросов импортозамещения является одной из приоритетных сфер деятельности специалистов ОАО «РЖД» [154]. В работах [155-157] автор отмечал, что на первом этапе совместно с ведущими предприятиями необходимо создать «Список главного конструктора», в котором должен быть представлен перечень рекомендованных элементов не только для новых разработок, но и для поддержания уже применяющихся систем. В этом документе требуется указать рекомендованные к использованию отечественные элементы, хорошо зарекомендовавшие себя в процессе эксплуатации во всех отраслях, включая оборонную промышленность. Помимо этого, целесообразно выделить в отдельную спецификацию микропроцессорные компоненты, которые сегодня применяются на железнодорожном транспорте, установив лимиты их ценообразования. На последующих этапах при разработке различных систем и устройств рекомендуется предусматривать определенный процент элементов отечественного производства.

Очевидно, что при использовании импортных вычислительных систем существуют риски, прежде всего, встраивания закладок в программное обеспечение и технические средства. При невозможности замены вычислительного узла российским аналогом, необходимо сосредоточиться на разработке и внедрении отечественных технологий, предназначенных для контроля исполнения критичных функций безопасности [158].

4.2.1 Проблемы импортных вычислительных средств на примере аппаратных закладок

Проблема «Последней мили» хорошо изучена. Именно поэтому особенно важно предъявлять новые требования к построению отечественных устройств, особенно связанных с областью безопасности и управления.

Большинство современных устройств, от мобильного телефона до стиральной машины, построено на платформе SoC (System on Chip, система на кристалле), когда все необходимые периферийные узлы процессора выполнены в едином исполнении, без необходимости сторонних микросхем. Однако, в рамках эволюции процессоров, в большинстве современных «Систем на кристалле» появилась так называемая «Доверенная зона» («Trust Zone»), разделив привычное программное обеспечение разработчиков и встроенные, закрытые функции процессора, создав две независимые системы. Фактически, архитектура современного процессора включает в себя стандартное функционирование программ в области пользователя и независимую среду, к которой обращаются сервисы для подтверждения каких-либо закрытых функций. Уязвимостью является то, что при загрузке процессора, именно «Доверенная зона» получает полный контроль над системой и может внести корректировки в работу всего устройства в целом.

«Доверенная зона» была создана компанией ARM и добавлена в большинство современных «Систем на кристалле». Данная технология была стандартизирована в 2010 году и легла в основу развития систем интернета вещей и платежей.

- Целью создания данной области были:
- Контроль за исполнением контента (привязка лицензии к конкретному устройству);
- Осуществление безопасных платежей;
- Доверенное корпоративное обслуживание.

Таким образом, на рынке сложилась ситуация, когда ведущие производители и заказчики просто используют предоставляемые им системы и процессоры, не предъявляя требования к содержимому закрытых зон. Важно отметить, что к разработке была подключена Агентство по национальной безопасности США.

Приложение, которое помещено в «Доверенную зону», может скрытно выполнять шпионские функции и оказывать влияние на работоспособность системы, например корректировкой данных.

Важным нюансом является то, что в большинстве случаев, «Доверенная зона» является закрытой для разработчиков, что создает опасность внедрения аппаратных закладок, а современные операционные системы используют в своей работе низкоуровневые вызовы «Доверенной зоны».

Если рассмотреть проблемы импортонезависимости глубже, можно столкнуться с тем, что даже в большинстве современных кварцевых генераторов используются процессорные модули, которые выполняют деление эталонных синхросигналов кварцевого резонатора. Таким образом, существует риск не только внедрения дополнительного неконтролируемого вычислительного устройства в разрабатываемую систему, но и риск некорректности выдаваемого синхросигнала. Из-за удешевления продукции, производители могут выполнять вместо специфического дорогостоящего эталонного кварцевого резонатора, резонатор другой частоты, умножая или производя деление выходного сигнала, что не только не гарантирует его стабильность, но и может привести к отказам оборудования и сетей передачи данных.

4.2.2 Внедрение отечественных аппаратных средств

Важно учесть, что несмотря на трудности, рынок отечественной электроники неуклонно растет. Ведущие предприятия страны активно используют продукцию таких фирм, как «МЦСТ», «Миландр», «Элвис», «Байкал Электроникс», «Микрон», «Ангстрем» и др. Стоит признать, что отдельная выпускаемая продукция отстает от мировых производителей в части технологий изготовления и объеме вычислительных мощностей, однако она вполне удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к большинству систем и устройств, в первую очередь, связанных с безопасностью движения транспортных средств и обороной страны.

Активное сотрудничество с этими предприятиями позволило разработать системы и устройства с применением исключительно отечественных вычислительных элементов. Примером тому могут служить локомотивные устройства безопасности нового поколения на базе БЛОК-М и модернизированные узлы автоблокировки АБТЦ-МШ [159].

Особо следует отметить, что все отечественные микропроцессорные технические средства в обязательном порядке проверялись на надежность, чтобы подтвердить и доказать возможность использования отечественных средств. На примере использования микроконтроллеров фирмы «Миландр» K1986BE92QI на бортовом оборудовании производства ООО «НПО «САУТ» был выполнен анализ (в период 01.01.2016-25.03.2020 (Таблица 4.2)) надежности устройств, построенных на данном вычислительном ядре, подтверждающий возможность использования отечественных решений для решения задач безопасности и управления на железной дороге. Сравнение было выполнено с импортным функциональным аналогом данной вычислительной платформы.

Таблица 4.2 – Количество проданных изделий ООО «НПО «САУТ» с 01.01.2016 по 25.03.2020 содержащих процессор K1986BE92QI

№	Номенклатура	Количество проданных изделий	Кол- во процессоров в модели	Кол-во процессоров в эксплуатации
1	АППИ-2М	191	1	191
2	Блок Шлюз CAN	819	1	819
3	БС-СН/БЛОК-03	1 540	1	1540
4	БС-СН/БЛОК-04	103	1	103
5	Модуль ввода 1М	1 326	2	2652
6	Модуль ввода М	560	2	1120
7	УСК-01	1172	1	1 172
8	Ячейка РС-АЛСН-01	1 654	1	1654
9	Ячейка Шлюз-CAN-01	879	2	1758
	итого	8244	12	11009

По итогам эксплуатации было протестировано более 10 тысяч микроконтроллеров, применяющихся в локомотивных устройствах безопасности.

Была численно получена величина наработки на отказ:

Сформируем входные данные для расчета. Средне количество микроконтроллеров K1986BE92QI в эксплуатации: $N=(0+11009)/2=5504,5\approx 5505$ штук, интервал времени: $\Delta t (01.01.2016- 25.03.2020)=4\cdot 365\cdot 24+85\cdot 24=37930$ ч.

По результатам испытаний за выбранный период отказало 36 процессоров $n=36$ шт. Произведем расчет интенсивности отказов:

$$\lambda = n / (N \cdot \Delta t) = 36 / (5505 \cdot 37930) = 1,7 \cdot 10^{-7}, (1/\text{ч}) \quad (4.11)$$

Без учета зависимых отказов K1986BE92QI $n=20$ шт. Таким образом, интенсивность отказов:

$$\lambda = n / (N \cdot \Delta t) = 20 / (5505 \cdot 37930) = 9,6 \cdot 10^{-8}, (1/\text{ч}) \quad (4.12)$$

По результатам наблюдений и расчетов интенсивность их отказов составила менее $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-9}$ 1/ч. Полученный параметр интенсивности отказов может быть еще меньше, так как для комплексного анализа требуется проанализировать большее количество устройств, а в настоящее время мы не можем конкурировать с ведущими производителями, которые анализируют не десятки тысяч, а десятки миллионов выпущенных изделий.

Таким образом, применение отечественных микроконтроллеров обеспечивает не только надежность и киберзащищенность, но и меньшую стоимость.

Сейчас экономические показатели для систем повышенной надежности, реализующих третий или четвертый уровень полноты безопасности – SIL3 и SIL4, (группа стандартов ГОСР Р МЭК 61508), являются определяющими. Наличие дополнительных программных и аппаратных модулей в таких системах приводит к их значительному удорожанию. При увеличении на порядок стоимости импортных электронных компонентов производителем железнодорожной автоматики будет трудно обеспечить закупочные цены, действовавшие до 2021 г.

В заключение требуется отметить тот факт, что массовый сегмент микросхем, считающихся отечественными, является таковыми не в полной мере. Кристаллы, на базе которых создаются микросхемы, в настоящее время закупаются за рубежом и, как следствие, также подвержены всем негативным факторам дефицитного кризиса, не стоит рассматривать производство электроники только как одноступенчатую модель – это многоуровневый технологический процесс, все этапы которого, за исключением получения кристалла, реализуются на Российских предприятиях, что позволяет резко снизить сроки поставок, и как следствие обеспечить более низкие цены и повысить киберзащищенность систем в целом.

4.3 Анализ стоимостных показателей для устройств железнодорожной автоматики различного уровня полноты безопасности

При создании и внедрении новых технических средств на объекты ОАО «РЖД», необходимо точно оценивать объем внедряемых вычислительных средств, что в условиях импортонезависимости становится особенно актуальным.

В разделе предлагается методика расчета стоимости технических средств железнодорожной автоматики в зависимости от уровня полноты безопасности.

4.3.1 Требования стандартов к архитектуре аппаратной части и диагностическому покрытию в зависимости от уровня полноты безопасности

В соответствии с п.7.4.3.1.4 ГОСТ Р 61508-2 (Таблица 4.3):

Таблица 4.3 – Доля опасных отказов аппаратуры в зависимости от уровня полноты безопасности

Доля безопасных отказов	Отказоустойчивость аппаратуры (см. прим. 2)		
	N=0	N=1	N=2
< 60 %	SIL 1	SIL 2	SIL 3
60 % - < 90 %	SIL 2	SIL 3	SIL 4
90 % - < 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4
≥ 99 %	SIL 3	SIL 4	SIL 4

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Подробную интерпретацию этой таблицы см. в параграфах с 7.4.3.1.1 по 7.4.3.1.4.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Отказоустойчивость аппаратуры, равная N, означает, что N+1 отказ может вызвать потерю функции безопасности.

Требования по диагностическому покрытию или определению доли безопасных отказов (в соответствии с Таблицей А1 ГОСТ Р 61508-2):

- Низкое (60 %);
- Среднее (90 %);

- Высокое (99 %).

Для удобства изложения введем термин «Ниже среднего» (60%-90%).

В соответствии с вышеприведенными данными стандарта формулируются следующие выводы:

- Одноканальное устройство (отказоустойчивость аппаратных средств $N=0$) не может соответствовать уровню полноты безопасности SIL4.

- Двухканальное устройство (отказоустойчивость аппаратных средств $N=1$) может соответствовать уровню полноты безопасности SIL4 только при условии обеспечения высоких или средних требований к диагностическому покрытию или определению доли безопасных отказов;

- Двухканальное устройство (отказоустойчивость аппаратных средств $N=1$) при условии обеспечения требований «Ниже среднего» к диагностическому покрытию или определению доли безопасных отказов может соответствовать уровню полноты безопасности уровню SIL3, а при условии обеспечения низких требований к диагностическому покрытию - уровню SIL2.

В соответствии с Таблицей 4.4 и выводами, можно сформулировать утверждения:

- Компаратор и/или мажоритарная схема сравнения в зависимости от качества голосования и возможных видов отказа компаратора обладают высоким, средним или низким диагностическим покрытием.

- Для систем с требованиями безопасности SIL4 требуется не менее чем двухканальное построение с безопасным компаратором, обеспечивающее высокое диагностическое покрытие.

- Для систем с требованиями безопасности SIL3 требуется не менее чем двухканальное построение с более мягкими требованиями к диагностическому покрытию или доле безопасных отказов, по сравнению с безопасным компаратором для SIL4

- Для систем с требованиями безопасности SIL2 допускается одноканальное построение, однако должны быть предусмотрены меры диагностирования отказов данного устройства не менее чем 60%.

Таблица 4.4 – Электронные подсистемы (выдержка А.3 ГОСТ Р 61508-2)

Методы/меры диагностики	См. ИЕС 61508-7	Макс. достижимое диагностическое покрытие	Примечания
1	2	3	4
Выявление неисправностей путём мониторинга в оперативном режиме	А.1.1	Низкое (при редких запросах) Среднее (при частых запросах или непрерывном использовании)	Зависит от диагностического покрытия при выявлении неисправностей
Компаратор	А.1.3	Высокое	Высокое, если виды неисправностей, в основном, безопасные
Мажоритарная схема голосования	А.1.4	Высокое	Зависит от качества голосования
Испытания с помощью резервной аппаратуры	А.2.1	Средний	Зависит от диагностического покрытия при выявлении неисправностей

Примечание: Меры диагностики «Компаратор» и «Мажоритарная схема голосования» приведены в данном разделе для обоснования требований к архитектуре аппаратной части в зависимости от уровня полноты безопасности. Аналогично, пользуясь таблицами методов и мер ГОСТ Р 61508-3, ГОСТ Р 61508-7, можно привести обоснование необходимости проведения фоновое программного обеспечения, применения специализированных, более детальных, процедур верификации и документирования программного обеспечения.

4.3.2 Сравнительный анализ стоимости жизненного цикла систем в зависимости от уровня полноты безопасности

Жизненный цикл (далее по тексту - ЖЦ) разработки всех систем железнодорожной автоматики включает в себя этапы:

- Задание спецификации требований;
- Проектирование и разработка;
- Интеграция и тестирование;

- Подтверждение соответствия.

При этом каждый этап должен сопровождаться процедурой верификации того, что требования соответствующих стандартов к данному этапу выполнены.

Стандартом ГОСТ Р 61508-2 (Приложения А,В) для каждого уровня полноты безопасности рекомендуется свой набор методов, мер и средств предотвращения систематических отказов на каждом из этапов ЖЦ. Рекомендации приведены в соответствии с уровнем полноты безопасности и устанавливают, во-первых, важность метода и, во-вторых, его эффективность. Уровень важности метода: крайне рекомендованный (КР), рекомендованный (Р), не рекомендованный. Эффективность метода устанавливает требование к степени эффективности использования метода: обязательная, низкая, средняя, высокая (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Рекомендации по исключению ошибок при спецификации требований к Э/Э/ПЭС (выдержка из В.1 ГОСТ Р 61508-2)

Метод/мера	См. IEC 61508-7	SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
1. Управление проектом	В.1.1	КР (НР) низкая	КР (НР) низкая	КР (НР) средняя	КР (НР) высокая
2. Документация	В.1.2	КР (НР) низкая	КР (НР) низкая	КР (НР) средняя	КР (НР) высокая
3. Отделение Э/Э/ПЭС систем безопасности от систем, не имеющих отношение к обеспечению безопасности	В.1.3	КР (НР) низкая	КР (НР) низкая	КР (НР) средняя	КР (НР) высокая
4. Структурированная спецификация	В.2.1	КР (НР) низкая	КР (НР) низкая	КР (НР) средняя	КР (НР) высокая
5. Проверка спецификации	В.2.6	- низкая	КР (НР) низкая	КР (НР) средняя	КР (НР) высокая

Метод/мера	См. IEC 61508-7	SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
6. Полуформальные методы	В.2.3, см. также табл. В.7 IEC 61508-3	P (R) низкая	P (R) низкая	KP (HR) средняя	KP (HR) высокая
Контрольные таблицы	В.2.5	P (R) низкая	P (R) низкая	P (R) средняя	P (R) высокая

Примечание: Таблица для этапа «Задание спецификации требований» приведена в данном разделе для примера. Нижеследующие рассуждения полностью распространяются и на все другие этапы ЖЦ.

Таблица 4.5 демонстрирует, что для уровня SIL4 в обязательном порядке требуется не только применение большего количества методов и средств чем для уровней SIL2-3, но и их реализация, обеспечивающая более высокую эффективность.

Анализ описания объема мероприятий при низкой, средней и высокой эффективности, приведенного в Приложениях А, В ГОСТ Р 61508-2, позволяет сделать экспертную оценку, что трудоемкость этих процессов, также как диагностическое покрытие, находится в соотношении 60, 80 и 99% (Таблица 4.6).
Таблица 4.6 – Трудоемкость процессов в зависимости от уровня полноты безопасности

Уровни	Низкий	Средний	Высокий
Обнаруживающая способность диагностических тестов/ трудоемкость процесса	60%	80%	99%
Ассоциируемый SIL	2	3	4

Можно рассматривать следующую модель затрат на реализацию методов контроля данной эффективности диагностики:

При достигнутом уровне эффективности P для следующего улучшения диагностической процедуры требуются затраты, обратно пропорциональные

оставшейся доле отказов. Пусть Z - величина затрат на реализацию диагностических процедур эффективности P . В этом случае выполняется:

$$\frac{dZ}{dP} = \frac{\lambda}{1-P} \quad (4.13)$$

Решение данного уравнения представляется выражением

$$Z(P) = -\lambda \ln(1 - P) \quad (4.14)$$

Затраты для представленных уровней эффективности определяются Таблицей 4.7.

Таблица 4.7 – Величина затрат в зависимости от уровня полноты безопасности системы

Уровни	Низкий	Средний	Высокий
Абсолютные затраты	0.9λ	1.6λ	4.6λ
Затраты в единицах высокой эффективности (что отвечает SIL4)	0.2	0.35	1

По данным таблицы 2.2 «Укрупненных норм времени на разработку и сопровождение программных средств» (методический материал Министерства путей сообщения 2000г., далее по тексту Нормы) получена оценка трудоемкости этапов ЖЦ для системы с требованиями безопасности уровня SIL4, представленная в Таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Оценка трудоемкости этапов ЖЦ для системы с требованиями безопасности уровня SIL4.

Стадия ЖЦ	Трудоемкость этапа	Трудоемкость подэтапа
Задание спецификации требований	10%	10%
Проектирование	30%	30%
разработка	18%	18%
Интеграция и тестирование ПО (составление тестовых сценариев+		8%+4,8%

Стадия ЖЦ	Трудоемкость этапа	Трудоемкость подэтапа
непосредственно тестирование с использованием автоматизированных средств)	20%+12%	
Испытания на безопасность аппаратной части (разработка ПМ +испытания на безопасность)		4%+8,8%
Интеграция аппаратной части и ПО, функциональное тестирование (разработка ПМ + функциональное тестирование)		2,2%+4,2%
Подтверждение соответствия.	10%	10%

Обозначим общую стоимость разработки систем с требованиями SIL4 – T_4 ед. Тогда с учетом трудоемкости этапов ЖЦ (Таблица 4.8) и поправочных коэффициентов затрат в единицах высокой эффективности (Таблица 4.7), получим стоимость изделий с уровнями полноты безопасности SIL3 и SIL2, выраженные через T_4 и представленные в Таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Оценка стоимости изделий с разным уровнем полноты безопасности.

Стадия ЖЦ	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL4	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL3	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL2	Примечание
Задание спецификации и требований	$0.1T_4$	$0.035T_4$	$0.02T_4$	Для всех мер этапа уровням SIL4, SIL3, SIL2 адресована эффективность «высокая», «средняя», «низкая» соответственно. Применимы поправочные коэффициенты затрат в единицах SIL4
Проектирование	$0.3T_4$	$0.105T_4$	$0.06T_4$	Для всех мер этапа уровням SIL4, SIL3, SIL2 адресована эффективность «высокая», «средняя»,

Стадия ЖЦ	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL4	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL3	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL2	Примечание
				«низкая» соответственно. Применимы поправочные коэффициенты затрат в единицах SIL4
разработка	0.18Т4	0.063Т4	0.036Т4	Для всех мер этапа уровням SIL4, SIL3, SIL2 адресована эффективность «высокая», «средняя», «низкая» соответственно. Применимы поправочные коэффициенты затрат в единицах SIL4
Интеграция и тестирование ПО (составление тестовых сценариев+ непосредственно тестирование с использованием автоматизированных средств)	0.128Т4	0.0448Т4	-	Этап является обязательным, если требуется высокий уровень диагностического охвата
Испытания на безопасность аппаратной части (разработка ПМ +испытания на безопасность)	0.128Т4	0.0448Т4	0.032Т4	В системах уровня SIL2 минимум в 2 раза меньше каналов обработки и отсутствует схема контроля, поэтому объем испытаний сокращается в 4 раза по сравнению с системами уровня SIL3-4
Интеграция аппаратной	0.064Т4	0.064Т4	0.064Т4	Для всех мер этапа высокая эффективность

Стадия ЖЦ	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL4	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL3	Стоимость этапа для систем с требованиями SIL2	Примечание
части и ПО, функциональное тестирование (разработка ПМ + функциональное тестирование)				требуется для всех уровней безопасности
Подтверждение соответствия.	0.1Т4	0.035Т4	0.02Т4	Для всех мер этапа уровням SIL4, SIL3, SIL2 адресована эффективность «высокая», «средняя», «низкая» соответственно. Применимы поправочные коэффициенты затрат в единицах SIL4
Общая стоимость этапов	Т4	0.3916Т4	0.232Т4	

Формулируется вывод, что стоимость разработки системы с требованиями безопасности SIL2 в 4,3 раза меньше стоимости разработки системы с требованиями безопасности SIL4. Стоимость разработки системы с требованиями безопасности SIL3 в 2,55 раза меньше стоимости разработки системы с требованиями безопасности SIL4 и в 1.69 раза меньше стоимости разработки системы с требованиями безопасности SIL2.

4.3.3 Сравнительный анализ стоимости аппаратной части систем в зависимости от уровня полноты безопасности

В соответствии с разделом 4.3.1, минимальный состав аппаратной составляющей систем железнодорожной автоматики с различными уровнями полноты безопасности определяется Таблицей 4.10:

Таблица 4.10 – Общая характеристика изделий с разным уровнем полноты безопасности.

	Количество каналов обработки данных	Аппаратная схема безопасного контроля
SIL2	1	-
SIL3	2	+
SIL4	2	+

«-» - отсутствует в составе

«+» - входит в состав

Обозначим общую стоимость аппаратной составляющей систем с требованиями SIL2 – T_2 (ед). Тогда с учетом данных Таблицы 4.10, поправочных коэффициентов затрат в единицах высокой эффективности (Таблица 4.7), получим стоимость аппаратной составляющей изделий с уровнями полноты безопасности SIL3 и SIL4, выраженные через T_2 и представленные в Таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Общая стоимость аппаратной части систем с требованиями SIL2.

	Стоимость аппаратной составляющей для систем с требованиями SIL2	Стоимость аппаратной составляющей для систем с требованиями SIL3	Стоимость аппаратной составляющей для систем с требованиями SIL4	Примечание
Каналы обработки данных	T_2	$2 \cdot T_2$	$2 \cdot T_2$	
Аппаратная схема безопасного контроля		$0,35 \cdot 2 \cdot T_2 = 0,7 T_2$	$2 \cdot T_2$	Стоимость аппаратной схемы контроля с высокой эффективностью обнаружения отказов сопоставима со стоимостью двухканального микропроцессорного изделия
Общая стоимость аппаратной части	T_2	$2,7 \cdot T_2$	$4 \cdot T_2$	

Таким образом, стоимость аппаратной составляющей системы с требованиями безопасности SIL2 в 4 раза меньше стоимости аппаратной составляющей системы с требованиями безопасности SIL4. Стоимость разработки системы с требованиями безопасности SIL3 в 2,7 раза больше стоимости аппаратной составляющей системы с требованиями безопасности SIL2, и в 1,5 раза меньше стоимости аппаратной составляющей системы с требованиями безопасности SIL4.

Учитывая требование высокого диагностического покрытия, ПО должно иметь в своем составе подпрограмму фоновое тестирования, направленную на обнаружение отказов, не выявляющихся на текущих входных воздействиях средствами компаратора. Характеристиками такой подпрограммы являются обнаруживающая способность в отношении отказов ресурсов микропроцессора и длительность его исполнения с учетом требования непрерывной работы основного прикладного ПО.

Многоканальная реализация систем с требованиями SIL3-4 требует включения в состав ПО подпрограммы синхронной выдачи данных на сравнение при независимой работе микропроцессорных каналов [160]. В силу асинхронной работы независимых каналов требуется на программном уровне реализовать подготовку общих входных данных для решения задач прикладного процесса и синхронную выдачу на сравнение результатов асинхронной обработки данных.

Системы железнодорожной автоматики с требованиями SIL3-4, это системы, в которых в отличие от более низких уровней полноты безопасности максимально автоматизированы функции обеспечения безопасности управления движением поездов. Поэтому их программное обеспечение должно содержать подпрограмму дополнительной проверки динамики изменения поездной ситуации, в том числе для парирования ошибочных действий человека (например, алгоритм логики проследования поездов в АБ, автоматическая проверка зависимостей в ЭЦ).

В соответствии с п.2.2.1 Норм, общая трудоемкость разработки программного средства определяется как сумма трудоемкости каждой отдельной стадии разработки (Техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочий проект и внедрение). В соответствии с п.2.2.2 Норм трудоемкость каждой

отдельной стадии содержит поправочный коэффициент K_n , учитывающий степень новизны программного средства.

Как указывалось выше, существенным отличием систем уровня SIL3-4 от систем уровня SIL2 является требование содержать подпрограммы фоновое тестирования, которые должны выполняться наряду с постоянной работой прикладного ПО и без ущерба во времени функционирования основных функций; подпрограммы, обеспечивающие синхронность работы независимых каналов многоканального модуля обработки данных с внешними датчиками и схемой сравнения. Поэтому программное обеспечение систем уровня SIL3-4 относится к степени новизны А (п.2.2.3 Норм), принципиально новое программное средство не имеющее доступных аналогов.

Для такой степени новизны, поправочный коэффициент $K_n=1,75$ (таблица 2.1 Норм). Объем такого программного обеспечения практически равен объему прикладного программного обеспечения. Поэтому, если предположить, что трудоемкость разработки ПО систем уровня SIL2 составляет $T_{\text{общ.SIL2}}$, то трудоемкость разработки ПО систем уровня SIL3-4 вычисляется по формуле:

$$T_{\text{общ.SIL3-4}} = T_{\text{общ.SIL2}} + K_n \cdot T_{\text{общ.SIL2}} = (1 + K_n) T_{\text{общ.SIL2}} = 2,75 T_{\text{общ.SIL2}} \quad (4.15)$$

Таким образом, стоимость разработки и внедрения программного обеспечения систем SIL3-4 возрастает в 2,75 раз по сравнению с программным обеспечением систем SIL1-2 в связи с возрастанием объема ПО с целью выполнения специфических требований безопасности.

Если учесть, что для систем с требованиями безопасности уровня SIL4 требуется более высокоэффективное фоновое тестирование, по сравнению с системами уровня SIL3, то для 30% принципиально нового ПС можно использовать поправочный коэффициент эффективности 0,35 из Таблицы 1. В этом случае $T_{\text{общ.SIL3}} = 2,37 T_{\text{общ.SIL2}}$; $T_{\text{общ.SIL4}} = 2,75 T_{\text{общ.SIL2}} = 1,16 T_{\text{общ.SIL4}}$

Формулируем вывод, что необходимость наличия в программном обеспечении систем уровня требований безопасности SIL3-4 дополнительных программных модулей, реализующих безопасные функции приводит к удорожанию стоимости программной составляющей системы с требованиями

безопасности SIL2 в 2,75 раза при требованиях безопасности SIL4 и в 2,37 раза при требованиях безопасности SIL3. Аккумулируя все вышесказанное в виде таблицы, получаем обобщенное представление стоимостных показателей систем с различным уровнем полноты безопасности (Таблицы 4.12).

Таблица 4.12 – Стоимостные показатели систем с различным УПБ.

Затраты	SIL2	SIL3	SIL4
Затраты на разработку изделия в единицах стоимости изделия уровня SIL2	1	1,69	4,3
Затраты на аппаратную составляющую в единицах стоимости аппаратной части изделия уровня SIL2	1	2,7	4
Затраты на программную составляющую в единицах стоимости программной части изделия уровня SIL2	1	2,37	2,75

Выводы по главе 4

1. Для бортовых устройств обеспечения безопасности разработан и апробирован новый алгоритм проследования путевого светофора с показанием «Желтый» с большей скоростью, а также доказана его безопасность.

2. Проведен анализ эксплуатации отечественных вычислительных средств, доказывающий возможность применения данных вычислителей в системах повышенной надежности.

3. Разработана методика расчета стоимостных показателей для устройств железнодорожной автоматики различного уровня полноты безопасности. Методика дает возможность разработчикам и производителям оборудования планировать конечную стоимость изделия в зависимости от требований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ существующих технических средств управления и обеспечения безопасности движения поездов, показавший возможность повышения эффективности использования пропускной способности и позволивший использовать полученные результаты при формировании технических требований и разработке технических решений для вновь создаваемых систем управления и обеспечения безопасности.

2. Разработана методика эффективного использования пропускной способности при функциональном резервировании систем обеспечения безопасности движения поездов, позволившая обеспечить повышение эффективности использования пропускной способности при применении современных технических средств обеспечения безопасности движения поездов.

3. Проведен анализ эффективности использования пропускной способности в нештатных ситуациях. Результаты позволяют сформулировать новые принципы для режимов работы технологии «виртуальная сцепка» без изменения структуры существующей автоблокировки.

4. Предложена методика повышения достоверности приема информации при комплексном взаимодействии бортовых и стационарных устройств обеспечения безопасности, позволяющая улучшить алгоритмы обработки сигналов из рельсовых цепей локомотивными комплексами обеспечения безопасности, при учете изменений фазы принимаемого сигнала многозначной сигнализации и сократить время принятия решения до 3 раз. Разработан и экспериментально подтвержден принцип определения границ рельсовых цепей, обеспечивающий более точное позиционирование подвижного состава на железнодорожном полотне, в том числе и на МЦК.

5. Разработан алгоритм проследования подвижным составом напольных сигналов с повышенной скоростью. Использование алгоритма позволяет локомотивным устройствам безопасности разрешать движение подвижного

состава с большей допустимой скоростью на сигнал светофора «желтый» и сократить расстояние между попутно следующими поездами.

6. Выполнен анализ возможности применения отечественной элементной базы в бортовых приборах обеспечения безопасности и системах интервального регулирования. Получена доказательная база и обеспечено внедрение отечественной элементной базы в комплекс технических средств, разрабатываемых АО «НИИАС» по заданию ОАО «РЖД».

7. Рекомендуется применение разработанных методик и способов в качестве постоянного функционала бортовых и инфраструктурных систем управления и обеспечения безопасности. Благодаря модульности, описанные технологии могут быть внедрены независимо и в минимальные сроки.

8. Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является развитие технологий автоматического контроля полносоставности поезда бортовыми средствами и развитие систем АЛС, с учетом помех от асинхронных двигателей, а также контролем безопасности локомотивной сигнализации для высокоскоростных составов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брусиловский, М.Э. Стимулирование инновационного развития железнодорожного транспорта / М.Э. Брусиловский // Экономика железных дорог. - 2010. - № 10. - С. 43.
2. Терёшина, Н.П. Комплексная оценка стоимости жизненного цикла новых технических систем с использованием алгоритмов верификации надежности/ Н.П. Терёшина, В.А. Подсорин, М.Э. Брусиловский // Экономика железных дорог. - 2011. - № 1. - С. 27.
3. Rozenberg, E.N. Intelligent onboard train protection system for the northern territories / E.N. Rozenberg, V. Batraev // Lecture Notes in Civil Engineering 49. - 2020. - P. 243-238.
4. Розенберг, Е.Н. Необходим комплексный подход / Е.Н. Розенберг, А.А. Абрамов, В.В. Батраев // Железнодорожный транспорт. - 2014. - № 9. - С. 23-27.
5. Коровин, А.С. Тенденция развития средств локомотивной автоматики / А.С. Коровин, В.В. Батраев, О.Ю. Куприенко // Автоматизация в промышленности. - 2015. - № 2. - С. 24-27.
6. Розенберг, Е.Н. Технологические решения, обеспечивающие повышение эффективности управления перевозочным процессом / Е.Н. Розенберг // Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог. - 2016. - № 3. - С. 66-72.
7. Распоряжение ОАО "РЖД" от 28.03.2012 N 613р. // Изменения, которые вносятся в Положение по учету, расследованию и проведению анализа отказов в работе технических средств ОАО "РЖД", утвержденное распоряжением ОАО "РЖД" от 09.07.2010 г. N 1493р.
8. Пустовой, В.Н. Третья международная научно-практическая конференция «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» научно-практические и технологические задачи ЛОКОТЕХ [Электронный ресурс]

/ В. Н. Пустовой // [URL:https://www.locotech.ru/upload/iblock/f8c/f8cc49e43814227fdea51d784790a0fb.pdf](https://www.locotech.ru/upload/iblock/f8c/f8cc49e43814227fdea51d784790a0fb.pdf)

9. Розенберг, Е.Н. Система КАСАНТ: Задачи, возможности, перспективы развития / Е.Н. Розенберг, И.Н. Розенберг, А.М. Замышляев, Г.Б. Прошин // Железнодорожный транспорт. - 2008. - № 9. - С. 6-10.

10. Распоряжение ОАО "РЖД" от 17.04.2018 г. п 769/р Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга "РЖД" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (БЕЛАЯ КНИГА).

11. Commission regulation (EU) 2016/919 on the technical specification for interoperability relating to the 'control-command and signalling' subsystems of the rail system in the European Union, vom 27. Mai 2016

12. Maarten Bartholomeus Drs., Laura Arenas, Roman Treydel, Lead Engineer, Francois Hausmann, Nobert Geduhn, Antoine Bossy ERTMS Hybrid Level 3. Signal+Draht (110). - 1+2/2018. - P. 15-22.

13. Розенберг, Е. Н. Цифровая железная дорога – ближайшее будущее / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2016. - № 10. - С. 4–7.

14. Розенберг, Е.Н. От систем автоматике до интеллектуальных систем управления / Е.Н. Розенберг, В.И. Уманский, Ю.В. Дзюба //Автоматика, связь, информатика. - 2017. - № 11. - С. 7-11.

15. Ткаченко, В.И. Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта при проведении ремонтно-путевых работ / В.И. Ткаченко, А.А. Погосян // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. - 2017. - № 13. - С. 3-6.

16. Пат. № 2753988 Российская Федерация. МПК В61L 27/00 (2006.01). Система управления движением поездов / Батраев В.В., Куваев С.И., Кузьмин А.И., Марков А.В., Панферов И.А., Розенберг Е.Н., Хатламаджиян А.Е., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2021108211, заявл. 26.03.2021, опубл. 25.08.2021, Бюл. № 24.

17. Пат. № 2534084 Российская Федерация. МПК В61L 3/00 (2006.01) В61L 27/04 (2006.01). Система интервального регулирования движения поездов на перегоне / Батраев В.В., Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Стальнова И.В., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2013128434/11, заявл. 24.06.2013, опубл. 27.11.2014, Бюл. № 33.

18. Пат. № 2725575 Российская Федерация. МПК В61L 3/00 (2006.01). Комплексная система управления маневровыми локомотивами / Батраев В.В., Долганюк С.И., Калинин А.В., Карабанов Ю.С., Корбаков А.И., Миронов В.С., Попов П.А., Розенберг Е.Н., Уманский В.И., Шубинский И.Б.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2019145097, заявл. 30.12.2019, опубл. 02.07.2020, Бюл. № 19.

19. Пат. № 2591551 Российская Федерация. МПК В61L 21/06 (2006.01). Система управления движением поездов на перегоне / Батраев В.В., Гурьянов А.В., Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Раков В.В., Розенберг Е.Н., Румянцев С.В., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2015120023/11, заявл. 28.05.2015, опубл. 20.07.2016, Бюл. № 20.

20. Пат. № 2578491 Российская Федерация. МПК В61L 21/06 (2006.01), В61L 1/16 (2006.01). Устройство для контроля прибытия поезда на станцию в полном составе / Батраев В.В., Воронин В.А., Гордон Б.М., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2014150248/11, заявл. 12.12.2014, опубл. 27.03.2016, Бюл. № 9.

21. Пат. № 2611445 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Система автоматического торможения подвижного состава по данным высокоточной системы координат / Батраев В.В., Гапанович В.А., Ермаков В.М., Кисельгоф Г.К., Розенберг Е.Н., Уманский В.И., Шустов Д.В., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2015154774, заявл. 21.12.2015, опубл. 22.02.2017, Бюл. № 6.

22. Пат. № 2681455 Российская Федерация. МПК В61L 25/04 (2006.01), В61L 27/04 (2006.01). Система для управления движением поездов по каналам

диспетчерской поездной радиосвязи / Батраев В.В., Гринфельд И.Н., Кисельгоф Г.К., Коровин А.С., Красовицкий Д.М., Куприенко О.Ю., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2018121045, заявл. 07.06.2018, опубл. 06.03.2019, Бюл. № 7.

23. Пат. № 2600175 Российская Федерация. МПК В61L 21/06 (2006.01) В61L 1/06 (2006.01). Система для определения свободности участков пути от подвижного состава / Батраев В.В., Баклажков Р.В., Воронин В.А., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Марков А.В., Раков В.В., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2015126254/11, заявл. 01.07.2015, опубл. 20.03.2016, Бюл. № 29.

24. Пат. № 2702370 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Устройство для контроля проследования поезда в полном составе / Баранов А.Г., Батраев В.В., Воронин В.А., Гордон Б.М., Кисельгоф Г.К., Кононенко А.С., Раков В.В., Яковлев Г.В.; заявитель и патентообладатель АО «НИИАС» - № 2019104049, заявл. 13.02.2019, опубл. 08.10.2019, Бюл. № 28.

25. Пат. № 2519325 Российская Федерация. МПК В61L 3/02 (2006.01). Система управления движением поездов / Батраев В.В., Вихрова Н.Ю., Раков В.В., Розенберг Е.Н., Коровин А.С., Киселева С.В., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель АО «НИИАС» - № 2012152571/11, заявл. 07.12.2012, опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

26. Пат. № 2536990 Российская Федерация. МПК В61L 25/04 (2006.01), G05B 15/00 (2006.01). Система управления движением поездов / Батраев В.В., Юдин С.С.; заявитель и патентообладатель "НПЦ Устройства безопасности движения" - № 2013123428/11, заявл. 22.05.2013, опубл. 27.12.2014, Бюл. № 36.

27. Пат. № 2693357 Российская Федерация. МПК В61L 27/00 (2006.01) В61L 21/10 (2006.01). Способ интервального регулирования движения поездов и система для его реализации / Батраев В.В., Воронин В.А., Киселева С.В., Кононенко А.С., Красовицкий Д.М., Панферов И.А., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель АО «НИИАС» - № 2018126656, заявл. 19.07.2018, опубл. 02.07.2019, Бюл. № 19.

28. Бадёр, М.П. Энергосберегающие технологии интеллектуального железнодорожного транспорта / М.П. Бадёр, Ю.М. Иньков, Е.Н. Розенберг // Электроника и электрооборудование транспорта. - 2012. - № 4. - С. 36–43.

29. Розенберг, Е.Н. О стратегии развития цифровой железной дороги / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2018. - № 1. - С. 9-27.

30. Розенберг, Е.Н. О направлениях развития цифровой железной дороги / Е.Н. Розенберг, Ю.В. Дзюба, В.В. Батраев // Автоматика, связь, информатика. - 2018. - № 1. - С. 9.

31. Розенберг, Е.Н. Разработка перспективных систем управления движением поездов / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2014. - № 12. - С. 15–17.

32. Розенберг, Е.Н. Инновационные технологии в развитии российских железных дорог / Е.Н. Розенберг // Деловая слава России. - 2015. - № 50. - С. 5–7.

33. Андреев, В.Е. О комплексном проекте внедрения системы управления движением электропоездов ЭС2Г "Ласточка" на МЦК в автоматическом режиме / В.Е. Андреев // Железнодорожный транспорт. - 2020. - № 11. - С. 5-11.

34. Shift2Rail project program // [Электронный ресурс] // <https://shift2rail.org>

35. Technology readiness level // [Электронный ресурс] // https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf

36. «BIM application in London Crossrail» // [Электронный ресурс] // <https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-application-in-london-crossrail>

37. Crossrail Asset Information, A General Guide 2018 // [Электронный ресурс] // https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wpcontent/uploads/2018/06/12C004_Crossrail-Asset-Information-A-General-Guide.pdf

38. European Commission, JRC Technical Reports; A. Athanasopoulou, A. Bezuijen, W. Bogusz, D. Bournas, M. Brandtner, A. Breunese, U. Burbaum, S. Dimova, R. Frank, H. Ganz, U. Grunicke, H. Jung, A. Lewandowska, G. Nuijten, A. Pecker, S.

Psomas, K. Roessler, A. Sciotti, M.L. Sousa, H. Stille, D. Subrin “Standardisation needs for the design of underground structures”.

39. Розенберг, Е.Н. Системы диагностики и их киберзащищенность / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2015. - № 10. - С. 20–21.

40. Пат. № 2572284 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Система обмена данными локомотивных систем с сервером ответственной информации с использованием электронной подписи / Батраев В.В., Куприенко О.Ю., Пронин А.А., Масалов Г.Д., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2014146882/11, заявл. 21.11.2014, опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.

41. Свид. № 2016610740. Программа для передачи по цифровому радиоканалу временных предупреждений в бортовые приборы безопасности / Батраев В.В., Гурьянов А.В., Висков В.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2015661237, заявл. 20.11.2015, рег. 28.02.2016.

42. Свид. № 2015617462. Комплексная электронная система актуализации данных о действующих предупреждениях на базе цифрового радиоканала. Куприенко О.Ю., Гурьянов А.В., Батраев В.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2015614509, заявл. 29.05.2015, рег. 20.08.2015.

43. Свид. № 2015617461. Программа бортового устройства сопряжения с локальным радиоканалом. / Батраев В.В., Сулоев А.В., Куприенко О.Ю.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2015614508, заявл. 29.05.2015, рег. 20.08.2015.

44. Пат. № 2519323 Российская Федерация. МПК В61L 3/12 (2006.01), В61L 25/00 (2006.01). Комплексное устройство безопасного информационного обмена и контроля локомотивных и стационарных устройств безопасности на железнодорожном транспорте / Баклажков Р.В., Батраев В.В., Вихрова Н.Ю., Миронов С.А., Мурин С.А., Попов П.А., Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель АО «НИИАС» - № 2012152569/11, заявл. 07.12.2012, опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.

45. Розенберг, Е. Н. Реализация стратегии обеспечения безопасности перевозочного процесса / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2014. - № 1. - С. 6–9.

46. Коровин, А.С. Интеллектуализация управления железнодорожным транспортом / А.С. Коровин, В.В. Батраев, В.В. Висков // Автоматизация в промышленности. - 2014. - № 3. - С. 18-21.

47. Пат. № 2726243 Российская Федерация. МПК В61L 27/04 (2006.01) G06F 11/00 (2006.01). Двухканальная система для регулирования движения железнодорожных транспортных средств / Батраев В.В., Кудряшов С.В., Попов П.А., Розенберг Е.Н., Розенберг И.Н., Шухина Е.Е., Шубинский И.Б.; заявитель и патентообладатель Розенберг Ефим Наумович - № 2020105409, заявл. 05.02.2020, опубл. 10.07.2020, Бюл. № 19.

48. Пат. № 2531661 Российская Федерация. МПК В61L 21/06 (2006.01), В61L 1/16 (2006.01). Система полуавтоматической блокировки / Батраев В.В., Гордон Б.М., Раков В.В, Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е., Яшин А.И.; заявитель и патентообладатель АО «НИИАС» - № 2013120921/11, заявл. 08.05.2013, опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30.

49. Пат. № 2550377 Российская Федерация. МПК В61L 23/16 (2006.01). Система для интервального регулирования движения поездов / Батраев В.В., Кирпус О.М., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2014125175/11, заявл. 23.06.2014, опубл. 10.05.2015, Бюл. № 13.

50. Розенберг, Е.Н. Стратегические задачи развития / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2012. - № 12. - С. 14–15.

51. Немцов, Э.Ф. ИСУЖТ и нормативно-справочные данные / Э.Ф. Немцов // Автоматика, связь, информатика. - 2020. - № 2. - С. 15-18.

52. Розенберг, Е. Н. Реализация стратегии обеспечения безопасности перевозочного процесса / Е.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. - 2014. - № 1. - С. 6–9.

53. Розенберг, Е.Н. Подходы к импортозамещению / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Автоматика, связь, информатика. - 2015. - № 8. - С. 2–4.

54. Розенберг, Е.Н. О развитии бортовых и напольных систем контроля безопасности, минимизирующих влияние человеческого фактора / Е.Н. Розенберг, А.С. Коровин, В.В. Батраев // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2013. - № 5. - С. 24–35.

55. Пат. № 2577936 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Комплексное устройство безопасного информационного обмена и контроля локомотивных и стационарных устройств безопасности на железнодорожном транспорте / Батраев В.В., Куприенко О.Ю., Масалов Г.Д., Пронин А.А., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2014146879/11, заявл. 21.11.2014, опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8.

56. Пат. 133799 Российская Федерация. МПК В61L 25/04 (2006.01). Устройство контроля за управлением локомотивом и бдительностью машиниста / Батраев В.В., Магдалев А.А.; // заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2013123430/11, заявл. 22.05.2013, опубл. 27.10.2013, Бюл. № 30.

57. Пат. № 2538498 Российская Федерация. МПК В61L 25/04 (2006.01). Система для управления рельсовым транспортным средством и для определения его позиции на рельсовом пути / Батраев В.В., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Стальнова И.В., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2013131403/11, заявл. 09.07.2013, опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

58. Пат. № 2499713 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Устройство контроля за управлением поезда и бдительностью машиниста / Батраев В.В., Висков В.В., Гурьянов А.В., Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2011153853/11, заявл. 29.12.2011, опубл. 27.11.2013 Бюл. № 33.

59. Пат. № 2678915 Российская Федерация. МПК В61L 27/00 (2006.01). Система обмена данными локомотивных систем с диспетчерским центром контроля и управления / Батраев В.В., Воронин В.А., Гапанович В.А., Кононенко А.С., Лобанова В.С., Панферов И.А., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Розенберг

Е.Н., Черников А.А.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2018113188, заявл. 12.04.2018, опубл. 04.02.2019, Бюл. № 4.

60. Шалягин, Д.В. Интеллектуализация систем управления / Д.В. Шалягин, Е.Н. Розенберг, В.И. Астрахан // Железнодорожный транспорт. - 2014. - № 12. - С. 21–23.

61. Розенберг, Е.Н. Интеллектуальная система управления и обеспечения безопасности движения на ВСМ / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2017. - № 1. - С. 10-22.

62. Батраев, В.В. Тенденция развития бортовых систем контроля безопасности, минимизирующих влияние человеческого фактора / В.В. Батраев, А.С. Коровин, О.Ю. Куприенко // Материалы XVI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2015». – М.: МИИТ. – 2015. – С.VII – 59-60.

63. Розенберг, Е.Н. Инновационное развитие систем интервального регулирования / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев. //Автоматика, связь, информатика. - 2018. - № 7. - С. 5-9.

64. Кравцов, Ю. А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. А. Кравцов, В. Л. Нестеров, Г. Ф. Лекута ; под ред. Ю. А. Кравцова. – М. : Транспорт, - 1996. - 400 с.

65. Распоряжение ОАО «РЖД» 20.12.2013 № 2832р Об утверждении «Руководящих указаний по применению светофорной сигнализации в ОАО «РЖД».

66. Шухина, Е.Е. Микропроцессорная система автоблокировки АБТЦ-МШ / Е.Е. Шухина, А.В. Марков, И.М. Кравец, С.И. Куваев // Автоматика, связь, информатика. - 2013. - № 5. - С. 2-5.

67. Левин, Д.Ю. Диспетчерские центры и технологии управления перевозочным процессом: Учебное пособие / Д. Ю. Левин // Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. Маршрут. - 2005. - 760 с.

68. Сидорова, Е. Н. Автоматизированные системы управления в эксплуатационной работе : Учебник / Е. Н. Сидорова // Учебно-методический центр

по образованию на железнодорожном транспорте. Маршрут. - 2005. – 560 с.

69. Гантумур, Б.И. Перспективы использования газотурбовоза ГТ1h-002 на Уланбаторской железной дороге / Б.И. Гантумур // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов двадцать третьей Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. В 3-х томах. Издательский дом МЭИ.- М. - 2017. - 141 с.

70. Розенберг, Е.Н. Интервальное регулирование движения поездов. / Е.Н. Розенберг, А.А. Абрамов, В.В. Батраев // Железнодорожный транспорт. - 2017. - № 9. - С. 19-24.

71. Розенберг, Е.Н. Современные методы и технологии повышения пропускной и провозной способности железнодорожных участков в периоды проведения ремонтно-путевых работ / Е.Н. Розенберг, А.А. Абрамов, В.В. Батраев // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». под ред. Б.М. Лapidуса. – М.:Mittel Press, 2014 – 288с. – С 140-149.

72. Агапова, Ю. Ю. Анализ пропускной способности однопутных участков Забайкальской железной дороги / Ю. Ю. Агапова, Т. А. Одуденко // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2019. – № 4(21). – С. 20-22.

73. Абрамов, А. А. Управление эксплуатационной работой [Текст]: Ч. 2. График движения поездов и пропускная способность: учеб. пособие / А.А. Абрамов. // – Москва: РГОТУПС. - 2002. – 171 с.

74. Абрамов, А. А. Управление эксплуатационной работой [Текст]: Ч. 3. Техническое нормирование и оперативное управление: учеб. пособие / А.А. Абрамов. // – Москва: РГОТУПС. - 2002. – 224 с.

75. Быкадоров, С. А. Задержка поездов в период проведения путевых ремонтных работ [Текст] / С. А. Быкадоров, О. В. Иванчина, П. В. Куренков // Экономика железных дорог. – 2007. – № 5. – С. 71–76.

76. Осьминин, А. Т. Определение суммарной продолжительности задержки поездов, возникающей из-за предоставления технологических окон [Текст] / А. Т. Осьминин, А. С. Бессолицин // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом : сб. науч. тр. ПГУПС. – СанктПетербург. - 2012. - №11. – С. 109-115.

77. Пазойский, Ю. О. Типизация железнодорожных станций / Ю. О. Пазойский, А. П. Батулин, М. И. Шмулевич // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 5(38). – С. 112-119.

78. Пазойский, Ю. О. Совершенствование подходов к определению класса железнодорожной станции / Ю. О. Пазойский, Э. Р. Куртикова, М. Ю. Савельев // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 2. – С. 62-67.

79. Богачев, А. И. Техничко-экономическое обоснование «окон» в графике движения, используемых для выполнения ремонта пути на двухпутных участках [Текст]: методические указания. / А. И. Богачев. // - Ростов на Дону: РИИЖТ. - 1979. - 16 с.

80. Кураков, Л.П. Экономика и право: словарь-справочник. / Л. П. Кураков, В. Л. Кураков, А. Л. Кураков. // М.: Вуз и школа. - 2004. -1072 с.

81. Розенберг, Е. Н. Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов: специальность 05.13.00 "Информатика, вычислительная техника и управление": автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Розенберг Ефим Наумович. – Москва, - 2004. – 46 с.

82. Власенко, С. В. Анализ эффективности перегонных систем автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / С. В. Власенко ; С. В. Власенко. // – Москва : Компания Спутник+. - 2006. – 105 с.

83. Батраев, В.В. Развитие современных систем обеспечения безопасности движения / В.В. Батраев // Материалы XV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2014». – М.: МИИТ. – 2014. – С. I – 3-4.

84. Гибридная система ETCS уровня 3 / ETCS // Железные дороги мира. – 2017. – № 7. – С. 68-77.

85. Агафонов, Е. В. Новые технические средства ЖАТ на МЦК / Е. В. Агафонов // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 2. – С. 12-14.

86. Баранов, Л. А. Автоматизация управления движением поездов метрополитена / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. – 2003. – № 1. – С. 19-26.

87. Баранов, Л. А. Оценка интервала попутного следования метropоездов для систем безопасности на базе радиоканала / Л. А. Баранов // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 2(57). – С. 6-19.

88. Шубинский, И.Б. Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза / И.Б. Шубинский. - Ульяновск : Печатный двор. - 2016. - 544 с.

89. Шубинский, И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа / И. Б. Шубинский. - Ульяновск : Печатный двор. - 2012. - 296 с.

90. Сапожников, В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / В. В. Сапожников, В. И. Шаманов, В. В. Сапожников ; В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов; под редакцией Вл. В. Сапожникова. – Москва : Издательство Маршрут. - 2003. – 261 с.

91. Пат. № 2709293 Российская Федерация. МПК В61L 23/16 (2006.01). Устройство автоблокировки / Батраев В.В., Воронин В.А., Гордон Б.М., Красовицкий Д.М., Куваев С.И., Марков А.В., Миронов В.С., Панферов И.А., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2019114170, заявл. 13.05.2019, опубл. 17.12.2019, Бюл. № 35.

92. Пат. 118935 Российская Федерация. МПК В61L 25/00 (2006.01). Устройство регистрации сигналов автоматической локомотивной сигнализации и комплекс контроля кодирования сигналов автоматической системы сигнализации. / Батраев В.В., Кисельгоф Г.К., Куприенко О.Ю., Маршов С.В., Мурин С.А., Старостин А.В., Чертков В.Е., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2011153815/11, заявл. 28.12.2011, опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22.

93. Пат. 190653 Российская Федерация. МПК В61L 25/00. Устройство регистрации сигналов автоматической локомотивной сигнализации / Батраев В.В., Гринфельд И.Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2019103394, заявл. 07.02.2019, опубл. 08.07.2019, Бюл. № 19.

94. Куприенко, О.Ю. Комплекс регистрации параметров автоматической локомотивной сигнализации / О.Ю. Куприенко, В.В. Батраев // - М:Труды НИИАС 10-й выпуск. – 2014. - с. 154-163.

95. Пат. 115594 Российская Федерация. МПК Н04 12/40 (2006.01). Регистратор сообщений информационного обмена устройств по протоколу CAN, устройство регистрации CAN-сообщений информационного обмена локомотивных устройств системы обеспечения безопасности движения поезда и комплексная система для контроля и анализа параметров движения поезда. / Батраев В.В., Елагин А.Ю., Кисельгоф Г.К., Куприенко О.Ю., Окупник Э.В., Чертков В.Е., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2011153821/08, заявл. 28.12.2011, опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12.

96. Свид. № 2019612430. Программа для регистрации и диагностики сигналов АЛСН и АЛС-ЕН / Батраев В.В., Гринфельд И.Н; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2019611100, заявл. 07.02.2019, рег. 19.02.2019.

97. 36991-00-00 РЭ. Устройство КЛУБ-У руководство по эксплуатации, часть первая. Номер изменения 252 ИРЗ. ООО «ИРЗ-Локомотив». - 2009. - 264 с.

98. Система регистрации сигналов АБТ и АЛС // [Электронный ресурс]// <https://mmaxsystems.ru/catalog/systems-blocks/heavy-duty-computers/protected-system/sistema-registratsii-signalov-abt-i-als/>

99. 36905-650-00 РЭ. Комплекс регистрации сигналов шины CAN. Руководство по эксплуатации. АО «НИИАС». 3 редакция. - 2011. - 39 с.

100. 36905-600-00 РЭ. Комплекс регистрации сигналов АЛСН. Руководство по эксплуатации. АО «НИИАС». 7 редакция. - 2011. - 43 с.

101. Батраев, В.В. Универсальный дешифратор индуктивных каналов / В.В. Батраев // Материалы XIV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2013». – М.: МИИТ. – 2013. – С. VII - 29.

102. Rozenberg, E. Intelligent onboard train protection system for the northern territories / E. Rozenberg, V. Batraev // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Транспортное строительство в холодных регионах» (TRANSOILCOLD 2019). – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС. – 2019. – С. 91 – 92.

103. V.Gapanovich, E.Rozenberg, I.Shubinsky. URRAN System for the Olympic Sochi Innovative Traffic Management Systems based on Novel Risk Management Methodology. RailwayPro. - 2014. - № 2.6(108). - 40 с.

104. Розенберг, Е.Н, Разработка перспективных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев //– М. Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2017. - № 4. – С. 43-51.

105. Батраев, В.В. Методы построения интегрированных систем обеспечения безопасности / В.В. Батраев // Материалы XIV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2013». – М.: МИИТ. – 2013. – С. VII - 28.

106. Пат. 128747 Российская Федерация. МПК G06F 17/40 (2006.01), G06Q 50/30 (2012.01). . Устройство для сбора данных путевых объектов и установленных скоростей движения для систем автоведения и безопасности / Батраев В.В., Гринфельд И.Н., Низовский Н.В., Шухина Е.Е; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2012156359/08, заявл. 25.12.2012, опубл. 27.05.2013, Бюл. № 15.

107. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники в трех частях. / Л.А. Бессонов – Изд. 3, М.: Высшая школа, - 1961. - 792 с.

108. R. Saal, Handbook of Filter Design, W. Germany, Backnang:AEG-Telefunken, - 1979. - P. 11-23.

109. Sapozhnikov Val. Optimum Sum Codes, that Effectively Detect the Errors of Low Multiplicities / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, V. Dmitriev, M. Che-repanova // RadioElectronics & Informatics. – 2015. – No 1. – Pp. 17–22.

110. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов // – М.: Сов. радио , - 1996. -678 с.

111. Фомин, А.Ф. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи / А.Ф. Фомин, Ю.В. Ваванов // -М.:Транспорт,- 1987. - 295 с.
112. Гинзбург, В.В. Теория синхронизации демодуляторов.-/ В.В. Гинзбург, А.А. Каяцкас //М.:Связь,- 1974.- 216 с.
113. Rice, S.O. (1963). Noise in FM receivers. In Rosenblatt, M. (ed.), Time series analysis. New York: Wiley, P. 395–422.
114. Шаманов, В.И. Помехи на аппаратуру рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации. Средства защиты : учеб. пособие.- М.:ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», - 2019. - 303 с.
115. Батраев, В.В. Методы повышения надежности систем приема и синхронизации сигналов автоматической локомотивной сигнализации / В.В. Батраев // Автоматика на транспорте. - 2021. - № 2. - С. 175-188.
116. Shannon C.E. Communication in the presence of noise // Proc. Institute of Radio Engineers. 1949. Vol. 37. No 1. P. 10–21.
117. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379-423, 623-656.
118. Залесова, О.В. Экспериментальное исследование гармонического состава тяговых токов. / О.В. Залесова // Труды Кольского научного центра РАН, - 2017,- Т.8, - №1
119. Батраев, В.П. Оценка характеристик импульсного сигнала при передаче по цепям с распределенными и сосредоточенными параметрами / В.П. Батраев, В.В. Батраев // - М: Труды НИИАС 10-й выпуск -2014. - С. 132-144.
120. Крюков, А.В (ИрГУ ПС) Моделирование несинусоидальных режимов в системах электроснабжения железных дорог при движении локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями. / А.В. Крюков, А.В. Черепанов, А.Р. Шафиков // Современные технологии, системный анализ, моделирование, 2018, №4, 99 - 108 с.

121. Залесова, О.В. Моделирование влияния железной дороги на линии электропередачи с учетом гармоник сети / О.В. Залесова, М.В. Якубович // Труды Кольского научного центра РАН, - 2010, - №1, 102 - 108 с.

122. Lee E.A., Messerschmitt D.G. Digital Communication. 2nd ed. Boston: Kluwer Acad. Press, - 1994. - 912 p.

123. Lee J.S., Miller L.E. CDMA Systems Engineering Handbook. B.; L.: Artech House, - 1998. P. 1258.

124. Розенберг, Е.Н. Влияние синхронизации на помехоустойчивость приема данных по узкополосному каналу связи / Е.Н. Розенберг, В.П. Батраев // Труды ВНИИАС, М.: ЗАО «Бизнес Проект», - 2005, - вып.2, 121 – 128 с.

125. Lerner I.M. The Analysis of the Transient Process Caused by a Jump in the Amplitude and Phase of Radio Pulse at the Input of Narrowband Linear System / I.M. Lerner, G.I. Il'in / Journal of Communications Technology and Electronics, 2012. – Vol.57.– No.2.– P. 174 – 188.

126. Баранов, Л. А. Оценка погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля / Л. А. Баранов // Электротехника. – 2017. – № 9. – С. 29-36.

127. Баранов, Л. А. Автоматизация измерения параметров рельсовых цепей / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, С. Е. Иконников // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 3. – С. 8-11.

128. Кузьмин, В. С. Анализ патентных документов в области индуктивным каналом передачи информации и средств их диагностики и контроля / В. С. Кузьмин, П. Ф. Бестемьянов // Актуальные аспекты и приоритетные направления развития транспортной отрасли : материалы молодежного научного форума студентов и аспирантов транспортных вузов с международным участием, Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2019 года. – Москва: Издательство "Перо", 2019. – С. 315-319.

129. Бестемьянов, П. Ф. Интервальное регулирование с временным разделением каналов / П. Ф. Бестемьянов, Д. П. Захаров // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 1(56). – С. 154-160.

130. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. / И.С. Гоноровский // М.: Советское радио. - 1977. - 607 с.

131. Евтянов, С.И. Переходные процессы в приемо-усилительных схемах. / С.И. Евтянов // М.: Связьиздат. - 1948. - 211 с.

132. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. / С.И. Баскаков // Изд. 4, М.: Высшая школа, - 2003, - 462 с.

133. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике./ М.Я. Выгодский // Госиздат технико-теоретической литературы, - 1956. -783 с.

134. Лернер, И.М. Анализ переходного процесса, вызванного скачком амплитуды и фазы радиоимпульса на входе узкополосной линейной системы / И.М. Лернер, Г.И. Ильин // Радиотехника и электроника, 2012. - Т.57.- № 2.- С.192.

135. Зорин, В.И. Комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У / В.И. Зорин, В.И. Астрахан // М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», - 2008. - 177 с.

136. Батраев, В.В. Оценка методов определения положения локомотива на железнодорожном полотне / В.В. Батраев, А.С. Коровин // Материалы XVI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2015». – М.: МИИТ. – 2015. – С. VII – 56.

137. Батраев, В.В. Система КСАДП как комплексное развитие системы АСУВОП-2 в части передачи по локальному цифровому радиоканалу временных предупреждений в бортовые приборы безопасности / В.В. Батраев, А.С. Коровин, О.Ю. Куприенко // Материалы XV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2014». – М.: МИИТ. – 2014. – С. I - 1.

138. Свид. № 2014612112. Комплекс БЛОК для ЭС1 «Ласточка». Программное обеспечение ячейки электронной карты и приемника спутниковой навигационной системы. / Батраев В.В., Гринфельд И.Н., Киселева С.В., Чертков В.Е; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2013661958, заявл. 20.12.2013, рег. 19.02.2014.

139. Баранов, Л. А. Перспективы использования многофункциональных моделей / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – № 2(40). – С. 70-74.

140. Бестемьянов, П. Ф. Методика оценки качества управления при координатном способе интервального регулирования / П. Ф. Бестемьянов, А. М. Романчиков // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 71-74.

141. Бестемьянов, П. Ф. Контроль движения при координатном регулировании / П. Ф. Бестемьянов, А. М. Романчиков // Мир транспорта. – 2008. – Т. 6. – № 1(21). – С. 104-109.

142. Батраев, В.В. Единая масштабируемая система управления и обеспечения безопасности движения / В.В. Батраев // Сборник научных трудов X Национальной научно-технической конференции. – М.: Союз машиностроителей России. – 2021. – С. 9 – 15.

143. Свид. № 2014613621. Комплекс БЛОК для ЭС1 «Ласточка». Программное обеспечение блока индикации. / Батраев В.В., Гринфельд И.Н., Коровин А.С., Чертков В.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2014611243, заявл. 19.02.2014, рег. 20.04.2014.

144. Лисенков, В.М. Системы управления движением поездов на перегонах. Часть 3. Функции, характеристики и параметры современных систем управления под ред. В.М. Лисенкова. - 2016 – 176 с.

145. Распоряжение ОАО "РЖД" от 01.09.2016 N 1799р об утверждении инструкции по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО "РЖД".

146. Розенберг, Е.Н. Применение методологии УРРАН в закупочной деятельности ОАО РЖД" / Е.Н, Розенберг, И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, М.Ю. Рачковский // Железнодорожный транспорт. -№ 6. - 2019 С: 31-35.

147. Баранов, Л. А. Новая структура системы автоматического управления скоростью движения грузового электровоза / Л. А. Баранов, А. Н. Савоськин, О. Е. Пудовиков // Наука и техника транспорта. – 2009. – № 4. – С. 70-78.

148. Пат. № 2546750 Российская Федерация. МПК В61L 23/16 (2006.01). Устройство контроля соблюдения маршрута локомотивом / Батраев В.В., Висков В.В., Гришаев С.Ю., Гурьянов А.В., Коровин А.С., Миронов В.С., Раков В.В., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2013154684/11, заявл. 10.12.2013, опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.

149. Дроздов, Е.А. Усовершенствование автоматического пневматического тормоза вагона / Е.А, Дроздов, Е.Н. Кузмичев // Известия Транссиба. - № 2 (38). – 2019. - С. 101-108.

150. Буйносов, А.П. Совершенствование метода расчета длины тормозного пути железнодорожного подвижного состава /А.П. Буйносов, Е.В. Федоров // Известия Транссиба. - № 1 (33). – 2018. - С. 13-22.

151. Свид. № 2014612119. Комплекс БЛОК для ЭС1 «Ласточка». Программное обеспечение модуля центрального обработчика / Батраев В.В., Гринфельд И.Н., Красовицкий Д.М., Чертков В.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД» - № 2013661973, заявл. 20.12.2013, рег. 19.02.2014.

152. Батраев, В.В. Об импортозамещении в современных условиях / В.В. Батраев // Железнодорожный транспорт. - 2021. - № 6. - С. 4-5.

153. Наука в России. Угрозы и возможности: Статьи и доклады участников международной научно-практической конференции: материалы конференции. — Москва : Научный консультант, 2015. — 84 с. — ISBN 978-5-0008606-2-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система

154. Батраев, В.В. Импортозамещение в современных системах управления /В.В. Батраев, А.С. Коровин// Материалы XV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2014». – М.: МИИТ. – 2014. – С. 1 - 2.

155. Розенберг, Е.Н. Подходы к импортозамещению / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Автоматика, связь, информатика (АСИ). - 2015. - № 8. - С. 2-4.

156. Розенберг, Е.Н. Информационные системы железнодорожного транспорта: современные подходы к импортозамещению / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Стандарты и качество. - 2018. - № 9. - С. 62-64.

157. Розенберг, Е.Н. Подходы к импортозамещению с учетом обеспечения информационной и функциональной безопасности / Е.Н. Розенберг, В.В. Батраев // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». под ред. Б.М. Лapidуса. // Объединенный ученый совет ОАО "РЖД". Ногинск, - 2015. 252с. - С. 245-247.

158. Батраев, В.В. SCADA – комплекс модельно-ориентированных средств для разработки критических железнодорожных систем / В.В. Батраев, А.С. Коровин // Материалы XV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов– 2013». – М.: МИИТ. – 2014. – С. I - 2.

159. Батраев, В.В. Локомотивные устройства обеспечения безопасности и импортозамещение элементной базы / В.В. Батраев // Материалы Международной научно-технической конференции «XII век: Молодость интеллекта». – XIX Всемирный фестиваль молодежи и студентов. – 2017. – С. 22 – 23.

160. Пат. № 2517357 Российская Федерация. МПК H03K 19/003 (2006.01), B61L 13/04 (2006.01). Блок переключения / Батраев В.В., Гордон Б.М., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; заявитель и патентообладатель ОАО «НИИАС» - № 2013120923/08, заявл. 08.05.2013, опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАЛИЧНОЙ
ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРЕГОНА

Таблица А.1 – Расчетные величины для вычисления наличной пропускной способности перегона, оборудованного различными системами интервального регулирования

Система ИР	Кат.	Размер пакета (шт.)	Перегон (км.)	Время хода одного Поезда (мин.)	Интервал скрещения (мин.)	Мах сблизение	Период графика (мин.)	Сутки	Пропускная способность однопутного участка (пар)	Длина блок-участков (км.)	Интервал попутного следования в пакете	Пропускная способность при 2-х путном участке
ПАБ	груз	к=1	11,2	30,66667	5		71,33333	1365	17	11,2	ТОЛЬКО ОДИН поезд на перегоне	
		к=1	11,2	19	5	48	1365	26				
	пасс	к=1	11,2	18,93333	5		47,86667	1290	25			
Ч-код 3-х	груз	к=2	11,2	18,93333	5	7150	70,93333	1290	34	2500	11,53333	111,8497
		к=3	11,2	18,93333	5	94	1290	39				
		к=1	11,2	12,4	5	34,8	1290	35				
	пасс	к=2	11,2	12,4	5	7150	49,525	1290	50		7,3625	175,2122
		к=3	11,2	12,4	5	7150	64,25	1290	57			
		к=1	11,2	18,93333	5	47,86667	1290	25				
Ч-код 4-х	груз	к=2	11,2	18,93333	5	6250	68,53333	1290	36	2100	10,33333	124,8387
		к=3	11,2	18,93333	5	89,2	1290	41				
		к=1	11,2	12,4	5	34,8	1290	35				
	пасс	к=2	11,2	12,4	5	6250	48,175	1290	51		6,6875	192,8972
		к=3	11,2	12,4	5	6250	61,55	1290	60			
		к=1	11,2	12,4	5							

Таблица А.1 (продолжение) – Расчетные величины для вычисления наличной пропускной способности перегона, оборудованного различными системами интервального регулирования

Система ИР	Кат.	Размер пакета (шт.)	Перегон (км.)	Время хода одного Поезда (мин.)	Интервал скрещения (мин.)	Мах сближение	Период графика (мин.)	Сутки	Пропускная способность однопутного участка (пар)	Длина блок-участков (км.)	Интервал попутного следования в пакете	Пропускная способность при 2-х путном участке
АВТЦ 3-х	груз	к=1	11,2	18,93333	5	7950	47,86667	1290	25	1900	12,6	102,381
		к=2	11,2	18,93333	5		73,06667	1290	33			
		к=3	11,2	18,93333	5		98,26667	1290	37			
	пасс	к=1	11,2	12,4	5	34,8	1290	35				
		к=2	11,2	12,4	5	50,725	1290	48				
		к=3	11,2	12,4	5	66,65	1290	55				
АВТЦ 4-х	груз	к=1	11,2	18,93333	5	7450	47,86667	1290	25	1100	11,93333	108,1006
		к=2	11,2	18,93333	5		71,73333	1290	34			
		к=3	11,2	18,93333	5		95,6	1290	38			
	пасс	к=1	11,2	12,4	5	34,8	1290	35				
		к=2	11,2	12,4	5	49,975	1290	49				
		к=3	11,2	12,4	5	65,15	1290	57				

Таблица А.1 (продолжение) – Расчетные величины для вычисления наличной пропускной способности перегона, оборудованного различными системами интервального регулирования

Система ИР	Кат.	Размер пакета (шт.)	Перегон (км.)	Время хода одного Поезда (мин.)	Интервал скрещения (мин.)	Мах сближение	Период графика (мин.)	Сутки	Пропускная способность однопутного участка (пар)	Длина блок-участков (км.)	Интервал попутного следования в пакете	Пропускная способность при 2-х путном участке
АЛСО в реж. АЛСН	груз	к=1	11,2	18,93333	5		47,86667	1290	25	300		
		к=2	11,2	18,93333	5	3600	61,46667	1290	40		189,7059	
		к=3	11,2	18,93333	5	3600	75,06667	1290	49		189,7059	
	пасс	к=1	11,2	12,4	5		34,8	1290	35			
		к=2	11,2	12,4	5	3600	44,2	1290	56		274,4681	
		к=3	11,2	12,4	5	3600	53,6	1290	69		274,4681	
АЛСО в реж. АЛС-ЕН	груз	к=1	11,2	18,93333	5		47,86667	1290	25	300		
		к=2	11,2	18,93333	5	2750	59,2	1290	41		227,6471	
		к=3	11,2	18,93333	5	2750	70,53333	1290	52		227,6471	
	пасс	к=1	11,2	12,4	5		34,8	1290	35			
		к=2	11,2	12,4	5	2750	42,925	1290	57		317,5385	
		к=3	11,2	12,4	5	2750	51,05	1290	72		317,5385	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ПОЕЗДОК ПО МЦК (ПЕРВЫЙ ПУТЬ)

Таблица Б.1 – Статистические данные определения координат границ рельсовых цепей на МЦК по первому пути

Коорд	ТРС	Ск, км/ч	Длина	Средняя
503	96	56	529	
503	96	72	529	
503	96	58	530	
504	96	55	531	
504	96	70	528	
504	96	60	531	
505	96	69	529	
505	96	45	530	
505	96	44	530	
505	96	47	530	
506	96	48	530	
506	96	49	531	
506	96	57	531	
506	96	74	528	
506	96	54	530	
506	96	62	530	
507	96	66	529	
				529,76
1066	128	19	509	
1067	128	13	507	
1068	128	18	507	
1068	128	17	506	
1068	128	17	508	
1069	128	14	507	
1069	128	16	509	
1069	128	14	508	
1069	128	14	507	
1070	128	15	507	
1070	128	14	509	
1071	128	14	508	
1071	128	19	510	
1071	128	20	509	
1071	128	18	509	
1072	128	19	507	
1072	128	49	510	
				508,06

Коорд	ТРС	Ск, км/ч	Длина	Средняя
1386	160	59	328	
1388	160	52	328	
1388	160	43	327	
1388	160	46	328	
1389	160	38	327	
1389	160	59	328	
1389	160	62	330	
1390	160	65	330	
1391	160	52	329	
1391	160	62	329	
1391	160	61	328	
1391	160	42	327	
1392	160	53	327	
1392	160	38	327	
1393	160	44	328	
1393	160	65	329	
1394	160	50	327	
				328,06
1910	96	36	494	
1912	96	41	493	
1913	96	50	493	
1914	96	61	493	
1915	96	59	494	
1915	96	57	493	
1915	96	41	494	
1916	96	56	495	
1917	96	50	493	
1917	96	48	492	
1917	96	35	494	
1917	96	63	494	
1918	96	58	495	
1918	96	39	495	
1919	96	43	494	
1920	96	58	494	
1920	96	63	494	
				493,76

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
2567	64	36	639	
2567	64	37	640	
2568	64	33	640	
2568	64	39	640	
2568	64	37	638	
2569	64	37	640	
2569	64	47	643	
2569	64	37	640	
2570	64	36	640	
2570	64	35	640	
2570	64	45	641	
2571	64	38	640	
2572	64	45	641	
2572	64	38	642	
2572	64	38	640	
2573	64	35	640	
				640,25
3449	128	54	879	
3449	128	72	880	
3450	128	63	878	
3450	128	79	879	
3451	128	64	879	
3452	128	76	879	
3452	128	71	880	
3452	128	55	879	
3452	128	74	879	
3452	128	89	878	
3452	128	49	877	
3453	128	71	878	
3453	128	57	878	
3454	128	73	879	
3454	128	65	880	
3454	128	76	878	
3455	128	80	876	
				878,59

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
3940	192	58	491	
3940	192	74	491	
3940	192	65	491	
3940	192	74	490	
3941	192	66	490	
3941	192	73	492	
3941	192	57	491	
3942	192	74	491	
3942	192	75	491	
3942	192	60	490	
3942	192	81	491	
3943	192	53	491	
3944	192	78	490	
3944	192	72	491	
3944	192	78	490	
3946	192	68	491	
				490,75
4313	96	73	379	
4313	96	85	379	
4314	96	66	379	
4314	96	57	380	
4315	96	74	377	
4315	96	80	380	
4316	96	72	378	
4316	96	72	378	
4316	96	57	379	
4316	96	74	377	
4316	96	66	378	
4316	96	60	379	
4318	96	97	381	
4318	96	53	378	
4318	96	68	379	
4319	96	77	378	
4319	96	77	378	
				378,65

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
4689	192	75	382	
4690	192	85	382	
4691	192	81	383	
4692	192	68	383	
4692	192	73	383	
4692	192	59	383	
4692	192	67	383	
4693	192	75	384	
4693	192	74	383	
4693	192	56	382	
4693	192	63	383	
4694	192	78	384	
4694	192	59	384	
4694	192	99	382	
4695	192	73	382	
4695	192	69	384	
4696	192	77	384	
				383,00
5313	64	39	617	
5314	64	44	619	
5314	64	39	618	
5314	64	42	619	
5314	64	38	617	
5314	64	40	616	
5314	64	37	615	
5314	64	41	617	
5315	64	43	619	
5316	64	47	618	
5316	64	45	617	
5317	64	39	616	
5317	64	43	618	
5317	64	43	616	
5317	64	40	615	
5318	64	53	618	
5318	64	41	617	
				617,18

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
5788	96	51	469	
5791	96	61	468	
5791	96	63	468	
5791	96	60	468	
5791	96	59	467	
5791	96	63	468	
5792	96	51	468	
5793	96	50	467	
5793	96	62	469	
5794	96	58	467	
5794	96	65	469	
5794	96	54	467	
5794	96	54	468	
5795	96	62	469	
5795	96	55	468	
5795	96	63	467	
5796	96	70	469	
				468,00
6394	64	54	604	
6396	64	46	605	
6396	64	69	607	
6396	64	44	604	
6396	64	50	605	
6397	64	43	604	
6397	64	60	604	
6397	64	63	605	
6397	64	73	606	
6398	64	63	605	
6398	64	48	605	
6399	64	59	606	
6399	64	48	604	
6399	64	73	606	
6400	64	85	588	
6400	64	73	608	
6400	64	59	603	
				605,06

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
7133	192	41	748	
7134	192	38	748	
7134	192	37	748	
7134	192	45	749	
7135	192	38	749	
7135	192	45	748	
7135	192	47	747	
7135	192	41	748	
7135	192	41	747	
7135	192	43	748	
7136	192	46	746	
7137	192	44	748	
7137	192	42	746	
7138	192	43	746	
7138	192	42	746	
7138	192	44	748	
7140	192	50	746	
				747,41
7762	128	78	634	
7765	128	77	634	
7766	128	77	634	
7767	128	72	635	
7767	128	70	632	
7768	128	63	634	
7768	128	59	633	
7768	128	79	635	
7768	128	74	637	
7769	128	73	635	
7769	128	71	634	
7770	128	77	635	
7771	128	72	635	
7771	128	77	635	
7771	128	65	634	
7771	128	65	633	
7771	128	73	635	
				634,35

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
8034	96	94	262	
8036	96	76	269	
8036	96	85	268	
8037	96	81	268	
8038	96	81	268	
8038	96	63	267	
8038	96	59	266	
8038	96	71	267	
8038	96	86	267	
8039	96	82	267	
8039	96	82	262	
8039	96	91	268	
8039	96	66	267	
8039	96	66	267	
8039	96	85	268	
8040	96	77	267	
8042	96	89	268	
				267,47
8183	160	100	146	
8184	160	88	150	
8185	160	75	149	
8185	160	63	151	
8185	160	81	151	
8185	160	88	150	
8186	160	83	150	
8186	160	58	151	
8186	160	71	149	
8187	160	65	150	
8188	160	81	144	
8188	160	90	151	
8188	160	93	149	
8189	160	77	150	
8189	160	81	150	
8189	160	65	151	
8190	160	88	150	
				149,53

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
8623	96	89	435	
8623	96	99	423	
8624	96	72	440	
8624	96	78	438	
8625	96	82	440	
8625	96	59	440	
8625	96	55	439	
8625	96	68	440	
8625	96	84	440	
8626	96	87	440	
8627	96	74	440	
8628	96	78	439	
8628	96	79	433	
8628	96	62	439	
8628	96	63	439	
8629	96	90	441	
8629	96	84	439	
				439,57
9064	128	96	433	
9065	128	86	424	
9065	128	82	422	
9066	128	53	440	
9066	128	76	440	
9066	128	66	440	
9067	128	79	440	
9067	128	57	440	
9068	128	76	442	
9069	128	67	439	
9069	128	85	441	
9069	128	60	439	
9070	128	88	439	
9071	128	72	441	
9071	128	61	440	
9071	128	82	442	
9072	128	77	440	
				439,73

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
9523	160	69	451	
9523	160	63	452	
9523	160	50	452	
9523	160	60	452	
9523	160	60	448	
9524	160	54	454	
9524	160	73	453	
9524	160	72	439	
9524	160	64	453	
9525	160	66	452	
9525	160	57	454	
9526	160	59	453	
9526	160	68	451	
9527	160	73	453	
9529	160	60	452	
9529	160	58	452	
9530	160	59	452	
				451,35
9697	64	33	172	
9698	64	40	172	
9698	64	39	172	
9699	64	39	172	
9699	64	44	174	
9699	64	43	172	
9699	64	36	171	
9700	64	41	172	
9700	64	40	173	
9700	64	36	172	
9700	64	39	172	
9701	64	41	172	
9702	64	39	172	
9703	64	32	172	
9703	64	34	171	
9703	64	41	173	
9704	64	37	172	
				172,12

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
10023	128	58	327	
10023	128	60	326	
10024	128	55	327	
10025	128	54	324	
10025	128	55	324	
10025	128	51	326	
10025	128	52	325	
10025	128	57	326	
10026	128	53	325	
10026	128	55	325	
10026	128	58	325	
10027	128	53	324	
10027	128	55	325	
10030	128	53	324	
10030	128	52	325	
10030	128	56	325	
10031	128	54	326	
				325,24
10360	96	83	338	
10360	96	76	340	
10361	96	81	340	
10361	96	81	342	
10361	96	80	340	
10362	96	80	341	
10362	96	83	341	
10362	96	72	341	
10362	96	83	343	
10363	96	81	340	
10363	96	72	340	
10364	96	73	342	
10364	96	70	341	
10365	96	75	343	
10365	96	82	341	
10366	96	71	340	
10368	96	76	341	
				340,82

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
10792	64	90	438	
10793	64	100	422	
10793	64	78	435	
10794	64	100	438	
10794	64	81	438	
10794	64	69	437	
10795	64	92	434	
10795	64	87	438	
10795	64	98	437	
10797	64	79	438	
10797	64	66	436	
10798	64	79	436	
10798	64	103	434	
10799	64	90	440	
10800	64	91	438	
10800	64	67	436	
10802	64	90	426	
				436,87
11389	192	96	572	
11389	192	76	592	
11390	192	88	596	
11390	192	85	595	
11390	192	94	594	
11390	192	86	594	
11392	192	61	595	
11392	192	64	597	
11393	192	97	594	
11393	192	75	593	
11393	192	73	595	
11393	192	75	597	
11393	192	86	592	
11394	192	99	596	
11395	192	63	595	
11396	192	100	588	
11397	192	86	571	
				594,64

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
11778	128	85	385	
11778	128	82	375	
11779	128	74	386	
11779	128	83	386	
11779	128	89	385	
11779	128	84	387	
11780	128	71	385	
11780	128	62	384	
11781	128	89	385	
11781	128	73	387	
11782	128	73	385	
11782	128	84	371	
11782	128	59	386	
11783	128	61	385	
11784	128	88	385	
11784	128	89	383	
11785	128	83	384	
				385,20
12188	160	51	407	
12188	160	59	409	
12189	160	57	407	
12190	160	44	408	
12190	160	56	410	
12190	160	49	407	
12191	160	51	407	
12191	160	55	407	
12192	160	48	405	
12192	160	62	409	
12193	160	45	406	
12193	160	55	402	
12193	160	52	409	
12195	160	46	407	
12195	160	44	406	
12195	160	55	408	
12196	160	51	407	
				407,12

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
12619	64	60	441	
12621	64	61	442	
12621	64	65	441	
12621	64	61	441	
12622	64	62	439	
12623	64	61	440	
12623	64	55	439	
12623	64	62	439	
12623	64	63	441	
12624	64	72	441	
12624	64	68	440	
12625	64	62	440	
12625	64	60	439	
12625	64	52	439	
12625	64	64	441	
12626	64	62	440	
12627	64	61	440	
				440,18
12922	96	83	309	
12924	96	73	309	
12924	96	80	308	
12925	96	78	309	
12925	96	86	311	
12926	96	54	309	
12926	96	81	309	
12927	96	84	311	
12927	96	80	309	
12927	96	82	308	
12928	96	82	309	
12928	96	81	309	
12928	96	65	307	
12928	96	82	310	
12929	96	83	300	
12929	96	57	308	
12931	96	86	309	
				308,47

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
13358	160	86	436	
13361	160	73	437	
13362	160	84	437	
13363	160	85	426	
13364	160	78	436	
13364	160	87	437	
13364	160	53	438	
13364	160	65	439	
13365	160	80	438	
13365	160	81	436	
13365	160	90	439	
13367	160	88	439	
13367	160	81	436	
13367	160	81	437	
13368	160	56	438	
13370	160	87	437	
13371	160	82	430	
				436,24
13724	192	69	395	
13753	192	65	394	
13756	192	62	394	
13756	192	68	393	
13757	192	66	396	
13757	192	64	394	
13757	192	56	393	
13757	192	50	396	
13757	192	67	396	
13758	192	65	385	
13758	192	68	393	
13759	192	59	393	
13759	192	53	394	
13761	192	76	395	
13761	192	57	394	
13762	192	70	396	
13764	192	63	393	
				393,76

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
14200	96	53	463	
14204	96	53	461	
14207	96	51	462	
14207	96	53	462	
14208	96	54	462	
14209	96	50	463	
14210	96	56	462	
14210	96	55	463	
14210	96	54	461	
14211	96	54	462	
14212	96	55	462	
14213	96	48	462	
14218	96	54	462	
14218	96	52	460	
14219	96	54	462	
14219	96	53	464	
14222	96	60	464	
				462,18
14565	160	76	386	
14568	160	84	387	
14577	160	78	387	
14591	160	75	387	
14592	160	76	385	
14593	160	77	386	
14596	160	67	387	
14596	160	75	389	
14596	160	68	386	
14597	160	80	387	
14598	160	48	384	
14598	160	60	385	
14599	160	82	386	
14599	160	78	387	
14602	160	53	384	
14603	160	77	387	
14608	160	81	385	
				386,18

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
14998	192	72	388	
15000	192	77	388	
15001	192	64	388	
15002	192	58	388	
15004	192	78	387	
15004	192	46	387	
15006	192	74	388	
15006	192	79	387	
15006	192	82	388	
15006	192	66	388	
15006	192	83	389	
15007	192	79	387	
15007	192	51	387	
15007	192	83	389	
15008	192	80	387	
15008	192	80	388	
15009	192	88	387	
				387,71
15415	96	57	414	
15417	96	50	415	
15419	96	56	416	
15420	96	54	415	
15422	96	54	414	
15422	96	41	416	
15422	96	63	414	
15424	96	60	415	
15424	96	64	416	
15424	96	65	414	
15424	96	51	415	
15424	96	55	413	
15425	96	53	415	
15425	96	67	415	
15425	96	46	416	
15426	96	53	413	
15426	96	51	415	
				414,76

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
15750	128	43	334	
15750	128	40	332	
15751	128	43	333	
15754	128	42	333	
15754	128	43	334	
15755	128	43	334	
15756	128	42	334	
15756	128	43	335	
15757	128	42	333	
15757	128	49	334	
15757	128	40	332	
15757	128	41	334	
15757	128	44	335	
15757	128	43	334	
15759	128	43	332	
15759	128	43	333	
15762	128	48	335	
				333,59
16372	160	79	626	
16375	160	83	625	
16376	160	83	625	
16377	160	74	624	
16378	160	89	624	
16380	160	77	625	
16380	160	93	614	
16380	160	91	626	
16380	160	68	624	
16380	160	80	625	
16381	160	91	626	
16381	160	91	626	
16381	160	80	626	
16382	160	79	626	
16383	160	81	624	
16384	160	68	623	
16387	160	78	625	
				624,35

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
16943	64	75	566	
16947	64	92	570	
16948	64	99	553	
16949	64	70	567	
16950	64	93	568	
16951	64	98	546	
16951	64	64	566	
16952	64	81	569	
16952	64	83	568	
16953	64	87	565	
16953	64	83	566	
16954	64	98	567	
16954	64	96	568	
16955	64	77	566	
16956	64	86	556	
16956	64	64	568	
16959	64	74	565	
				564,35
17331	96	71	393	
17335	96	73	391	
17338	96	91	375	
17338	96	68	392	
17339	96	67	390	
17339	96	62	393	
17340	96	86	385	
17341	96	75	392	
17341	96	68	392	
17341	96	67	393	
17341	96	74	394	
17341	96	69	392	
17342	96	67	385	
17344	96	73	384	
17344	96	74	394	
17346	96	61	393	
17347	96	71	393	
				391,93

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
17880	64	57	558	
17880	64	56	558	
17880	64	61	552	
17882	64	56	560	
17882	64	53	556	
17883	64	55	559	
17885	64	55	557	
17885	64	56	558	
17886	64	57	558	
17886	64	56	557	
17887	64	58	556	
17887	64	56	558	
17887	64	53	557	
17887	64	55	558	
17887	64	57	559	
17889	64	54	557	
17890	64	58	557	
				557,35
18493	96	73	612	
18498	96	55	610	
18501	96	75	613	
18501	96	73	611	
18502	96	68	612	
18504	96	78	613	
18508	96	67	612	
18508	96	75	613	
18508	96	57	612	
18508	96	66	611	
18509	96	76	612	
18509	96	68	611	
18509	96	53	611	
18510	96	74	612	
18510	96	53	610	
18510	96	67	612	
18514	96	80	612	
				611,71

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
19022	64	34	522	
19035	64	28	522	
19035	64	22	522	
19036	64	28	522	
19037	64	28	523	
19038	64	26	523	
19039	64	20	523	
19039	64	24	524	
19040	64	26	524	
19041	64	28	523	
19046	64	25	522	
19047	64	27	523	
19047	64	25	523	
19048	64	24	523	
19049	64	31	523	
19049	64	27	524	
19051	64	24	525	
				523,00
19381	192	57	352	
19382	192	61	353	
19385	192	50	352	
19391	192	53	353	
19392	192	46	352	
19393	192	58	353	
19393	192	55	353	
19394	192	61	353	
19395	192	54	352	
19397	192	47	352	
19397	192	61	354	
19399	192	59	354	
19400	192	60	353	
19400	192	58	352	
19401	192	62	355	
19401	192	61	353	
19411	192	62	353	
				352,88

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
19709	96	67	331	
19719	96	69	333	
19719	96	67	332	
19719	96	71	331	
19721	96	69	331	
19722	96	61	331	
19722	96	54	331	
19722	96	58	330	
19723	96	62	332	
19724	96	58	331	
19724	96	63	331	
19724	96	50	331	
19725	96	51	332	
19726	96	72	331	
19727	96	73	330	
19728	96	65	330	
19731	96	66	331	
				331,12
20090	160	69	368	
20097	160	57	369	
20100	160	61	369	
20103	160	73	369	
20104	160	48	369	
20105	160	57	369	
20106	160	16	367	
20107	160	73	369	
20107	160	66	370	
20109	160	72	369	
20109	160	71	371	
20110	160	64	370	
20110	160	63	369	
20111	160	67	370	
20113	160	69	370	
20113	160	54	369	
20115	160	31	368	
				369,12

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
20778	96	56	683	
20779	96	55	683	
20781	96	62	684	
20781	96	53	679	
20783	96	57	683	
20783	96	43	683	
20785	96	29	682	
20786	96	50	682	
20786	96	57	685	
20786	96	34	684	
20787	96	41	683	
20787	96	57	684	
20788	96	53	681	
20789	96	40	682	
20790	96	56	686	
20794	96	55	686	
				683,13
20919	128	54	141	
20920	128	51	142	
20920	128	60	143	
20924	128	63	143	
20925	128	64	142	
20925	128	52	143	
20926	128	26	143	
20926	128	42	141	
20928	128	38	143	
20928	128	48	142	
20928	128	57	142	
20929	128	51	142	
20929	128	32	141	
20929	128	61	143	
20930	128	36	142	
20931	128	54	143	
20934	128	60	143	
				142,29
21020	112	19	92	
21023	112	37	92	
21024	112	25	93	
				92,33

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
21167	96	40	248	
21169	96	30	248	
21170	96	52	250	
21172	96	62	249	
21172	96	61	250	
21174	96	50	249	
21175	96	47	249	
21175	96	39	251	
21176	96	49	249	
21176	96	40	248	
21177	96	59	251	
21179	96	53	249	
21181	96	58	249	
				249,23
21491	192	64	326	
21492	192	55	326	
21492	192	50	323	
21494	192	58	322	
21495	192	56	322	
21498	192	47	323	
21498	192	37	323	
21499	192	28	322	
21499	192	57	322	
21500	192	57	324	
21500	192	48	322	
21501	192	32	322	
21504	192	61	325	
				323,23
21869	160	48	380	
21869	160	62	380	
21871	160	58	382	
21871	160	46	378	
21873	160	53	381	
21875	160	46	379	
21876	160	47	380	
21876	160	35	380	
21877	160	51	380	
21877	160	53	381	
21878	160	19	379	
21879	160	18	379	
21883	160	64	380	
				379,92

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
23187	96	67	1300	
23188	96	65	1299	
23189	96	44	1248	
23189	96	67	1299	
23190	96	68	1298	
23191	96	59	1299	
23191	96	47	1248	
23192	96	51	1246	
23192	96	45	1300	
23193	96	72	1300	
23194	96	41	1248	
23194	96	59	1299	
23194	96	66	1301	
23195	96	72	1303	
23195	96	73	1299	
23195	96	71	1299	
23196	96	48	1298	
				1287,29
23733	64	48	541	
23734	64	47	545	
23734	64	47	544	
23735	64	53	545	
23735	64	48	543	
23735	64	41	543	
23736	64	39	543	
23738	64	58	544	
23738	64	46	543	
23738	64	49	543	
23738	64	49	542	
23739	64	29	543	
23739	64	47	543	
23739	64	44	541	
23740	64	45	543	
23741	64	56	542	
23741	64	43	542	
				542,94

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
24249	128	60	523	
24249	128	58	522	
24249	128	69	523	
24252	128	75	522	
24252	128	74	523	
24252	128	47	522	
24253	128	71	524	
24253	128	46	523	
24253	128	65	522	
24254	128	61	523	
24255	128	72	523	
24255	128	64	523	
24255	128	63	521	
24255	128	50	522	
24256	128	77	524	
24258	128	78	521	
24258	128	71	523	
				522,59
24704	160	61	467	
24704	160	57	467	
24705	160	50	466	
24705	160	50	467	
24705	160	47	467	
24706	160	56	467	
24706	160	45	467	
24706	160	50	469	
24706	160	62	467	
24707	160	39	466	
24708	160	60	468	
24708	160	57	467	
24708	160	61	468	
24708	160	54	466	
24709	160	60	469	
24709	160	59	467	
24712	160	50	467	
				467,18

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
25096	64	51	401	
25097	64	51	401	
25097	64	52	402	
25097	64	55	401	
25098	64	51	401	
25098	64	45	401	
25098	64	55	402	
25098	64	46	401	
25099	64	52	401	
25099	64	52	401	
25099	64	45	401	
25101	64	59	400	
25101	64	49	402	
25101	64	52	401	
25102	64	58	400	
25104	64	46	401	
25106	64	51	401	
				401,06
25444	128	75	341	
25445	128	55	341	
25445	128	70	343	
25446	128	53	342	
25446	128	43	341	
25446	128	58	341	
25447	128	78	342	
25448	128	60	341	
25449	128	65	343	
25449	128	70	341	
25449	128	45	341	
25450	128	59	340	
25450	128	65	342	
25451	128	81	342	
25451	128	43	341	
25453	128	79	342	
25455	128	78	342	
				341,53

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
25780	160	51	328	
25780	160	41	328	
25781	160	68	329	
25782	160	58	330	
25782	160	79	328	
25782	160	78	330	
25782	160	56	329	
25783	160	58	329	
25784	160	70	329	
25784	160	68	330	
25785	160	45	329	
25785	160	63	328	
25785	160	79	331	
25786	160	57	329	
25787	160	41	330	
25788	160	77	330	
25792	160	79	329	
				329,18
26385	96	40	616	
26398	96	40	615	
26399	96	40	614	
26399	96	36	613	
26399	96	42	617	
26400	96	38	614	
26400	96	39	616	
26400	96	40	616	
26400	96	40	617	
26401	96	36	615	
26401	96	45	615	
26403	96	35	615	
26403	96	41	615	
26403	96	39	612	
26403	96	40	617	
26404	96	45	614	
26407	96	36	614	
				615,00

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
26852	160	61	456	
26853	160	56	457	
26855	160	57	456	
26856	160	46	456	
26856	160	66	455	
26857	160	77	459	
26857	160	72	457	
26858	160	63	457	
26859	160	53	456	
26859	160	64	456	
26860	160	68	458	
26861	160	62	456	
26861	160	78	459	
26862	160	46	455	
26863	160	74	457	
26863	160	72	458	
26863	160	50	456	
				456,71
27263	64	60	413	
27266	64	59	411	
27266	64	46	409	
27266	64	62	412	
27267	64	44	408	
27267	64	51	410	
27268	64	43	410	
27268	64	55	410	
27271	64	45	410	
27271	64	50	409	
27271	64	50	409	
27271	64	50	412	
27272	64	66	410	
27274	64	53	409	
27274	64	53	411	
27275	64	59	408	
27276	64	50	407	
				409,88

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
27531	160	34	266	
27532	160	32	266	
27533	160	37	267	
27534	160	36	268	
27534	160	36	268	
27535	160	31	267	
27535	160	31	267	
27536	160	46	269	
27538	160	32	267	
27538	160	33	268	
27538	160	35	267	
27538	160	29	266	
27538	160	31	267	
27540	160	36	266	
27541	160	37	268	
27542	160	36	267	
27545	160	32	268	
				267,18
27945	96	65	426	
27952	96	62	426	
27953	96	66	427	
27953	96	76	426	
27953	96	75	427	
27953	96	74	427	
27954	96	54	426	
27955	96	70	428	
27955	96	47	425	
27955	96	67	426	
27956	96	45	423	
27956	96	78	427	
27956	96	71	426	
27958	96	71	425	
27963	96	52	425	
27968	96	59	426	
				426,00

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
28550	160	62	600	
28557	160	61	598	
28557	160	64	599	
28558	160	58	599	
28558	160	68	598	
28558	160	58	599	
28559	160	49	600	
28559	160	45	598	
28559	160	70	600	
28560	160	45	600	
28560	160	64	598	
28561	160	68	598	
28561	160	49	600	
28563	160	72	1025	
28563	160	67	599	
28565	160	44	598	
28567	160	54	598	
				598,88
29146	64	60	592	
29149	64	63	592	
29150	64	61	593	
29150	64	61	592	
29151	64	60	593	
29152	64	57	593	
29153	64	56	593	
29153	64	60	591	
29154	64	59	592	
29154	64	45	591	
29155	64	60	592	
29155	64	60	593	
29155	64	60	592	
29155	64	64	594	
29156	64	63	593	
29157	64	63	594	
29159	64	61	593	
				592,53

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
29500	128	78	353	
29502	128	79	353	
29502	128	79	353	
29503	128	80	352	
29504	128	62	352	
29504	128	78	354	
29504	128	77	352	
29505	128	73	353	
29506	128	86	350	
29506	128	63	350	
29507	128	58	351	
29507	128	45	351	
29508	128	77	353	
29509	128	78	354	
29509	128	80	352	
29509	128	64	351	
29512	128	87	352	
				352,12
30035	64	52	530	
30035	64	73	529	
30035	64	45	529	
30035	64	70	529	
30035	64	79	530	
30036	64	53	530	
30036	64	74	528	
30036	64	73	527	
30037	64	68	530	
30037	64	72	531	
30037	64	72	530	
30037	64	80	513	
30038	64	70	528	
30038	64	53	530	
30039	64	80	529	
30039	64	46	530	
30043	64	81	529	
				528,35

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
30674	96	44	639	
30675	96	63	640	
30676	96	60	638	
30676	96	57	638	
30676	96	45	637	
30676	96	61	638	
30677	96	48	639	
30677	96	59	639	
30677	96	45	639	
30678	96	59	638	
30678	96	61	638	
30679	96	37	639	
30679	96	63	640	
30679	96	60	639	
30680	96	46	639	
30682	96	62	638	
30684	96	59	637	
				638,53
31262	128	61	585	
31262	128	59	585	
31262	128	60	586	
31263	128	56	587	
31263	128	56	586	
31263	128	36	584	
31263	128	58	584	
31263	128	58	586	
31264	128	62	586	
31264	128	58	584	
31264	128	59	586	
31265	128	64	586	
31265	128	48	585	
31266	128	61	586	
31266	128	60	587	
31266	128	49	586	
31270	128	62	585	
				585,53

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
31822	64	21	578	
31829	64	19	576	
31833	64	21	577	
31833	64	21	578	
31835	64	18	578	
31837	64	21	578	
31837	64	23	578	
31838	64	19	578	
31838	64	23	579	
31839	64	20	578	
31839	64	18	578	
31839	64	22	577	
31840	64	17	576	
31841	64	17	577	
31841	64	20	577	
31841	64	22	579	
31846	64	21	578	
				577,65
32305	96	75	472	
32309	96	76	471	
32310	96	60	469	
32310	96	70	470	
32310	96	65	468	
32311	96	67	470	
32311	96	68	470	
32312	96	60	470	
32312	96	75	472	
32313	96	73	470	
32314	96	76	471	
32314	96	70	471	
32314	96	68	470	
32315	96	70	469	
32316	96	69	471	
32317	96	74	473	
32318	96	78	470	
				470,41

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
32766	160	77	453	
32770	160	62	453	
32772	160	84	454	
32773	160	56	453	
32773	160	78	454	
32773	160	63	454	
32774	160	85	453	
32775	160	72	452	
32775	160	78	454	
32775	160	76	455	
32775	160	75	454	
32776	160	56	454	
32776	160	80	454	
32777	160	78	454	
32778	160	72	453	
32779	160	79	454	
32780	160	83	453	
				453,59
33775	192	67	994	
33780	192	69	994	
33780	192	70	978	
33780	192	55	994	
33780	192	57	994	
33782	192	49	993	
33783	192	59	993	
33783	192	72	992	
33783	192	69	994	
33783	192	68	992	
33784	192	48	993	
33784	192	71	996	
33785	192	63	993	
33786	192	71	994	
33786	192	67	994	
33786	192	69	994	
33790	192	75	993	
				992,65

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
35153	64	62	1389	
35162	64	61	1392	
35165	64	61	1390	
35166	64	50	1387	
35167	64	57	1391	
35167	64	61	1391	
35169	64	59	1390	
35171	64	60	1392	
35172	64	61	1389	
35172	64	60	1391	
35172	64	60	1388	
35173	64	60	1387	
35176	64	57	1391	
35178	64	57	1387	
35180	64	60	1387	
				1389,47
35624	128	63	476	
35626	128	52	473	
35627	128	76	474	
35629	128	63	475	
35630	128	59	474	
35630	128	61	474	
35631	128	61	474	
35631	128	54	1862	
35632	128	63	1863	
35634	128	63	473	
35634	128	83	475	
35634	128	79	475	
35635	128	61	474	
35635	128	59	474	
35636	128	78	475	
35639	128	61	473	
35639	128	71	474	
				474,20

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
36089	160	59	482	
36092	160	51	483	
36093	160	72	482	
36095	160	59	483	
36096	160	57	483	
36096	160	61	484	
36097	160	50	482	
36097	160	53	481	
36098	160	77	482	
36100	160	61	483	
36100	160	57	483	
36101	160	61	483	
36101	160	76	481	
36102	160	59	483	
36102	160	74	483	
36104	160	59	482	
36105	160	69	482	
				482,47
36563	64	36	479	
36568	64	38	478	
36568	64	33	479	
36570	64	38	479	
36571	64	34	480	
36571	64	38	478	
36573	64	40	480	
36573	64	38	480	
36573	64	38	477	
36574	64	36	478	
36574	64	34	478	
36575	64	38	478	
36576	64	38	479	
36576	64	35	477	
36576	64	39	478	
36577	64	37	479	
36577	64	36	479	
				478,59

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
37153	96	45	590	
37160	96	71	593	
37160	96	54	592	
37161	96	58	593	
37161	96	71	592	
37162	96	64	593	
37162	96	56	591	
37162	96	57	592	
37163	96	86	593	
37164	96	56	590	
37164	96	74	592	
37165	96	50	592	
37165	96	67	593	
37165	96	51	592	
37166	96	52	590	
37167	96	66	592	
37169	96	69	592	
				591,88
37286	128	43	129	
37291	128	56	127	
37291	128	69	129	
37292	128	69	130	
37292	128	52	129	
37292	128	53	128	
37293	128	62	128	
37294	128	90	131	
37294	128	55	129	
37295	128	53	129	
37295	128	65	128	
37295	128	72	129	
37296	128	47	127	
37296	128	50	129	
37297	128	64	129	
37298	128	49	129	
37301	128	66	130	
				128,82

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
37705	160	38	411	
37709	160	48	411	
37710	160	58	412	
37710	160	51	413	
37710	160	52	412	
37711	160	66	411	
37711	160	64	412	
37712	160	50	412	
37713	160	49	411	
37713	160	87	411	
37714	160	43	412	
37714	160	46	410	
37714	160	68	411	
37715	160	60	412	
37716	160	45	412	
37717	160	62	411	
37717	160	60	413	
				411,59
38207	64	30	487	
38213	64	44	487	
38213	64	58	487	
38214	64	60	489	
38214	64	41	488	
38215	64	52	487	
38215	64	51	489	
38215	64	43	489	
38216	64	36	487	
38217	64	63	487	
38218	64	36	489	
38218	64	53	488	
38218	64	39	488	
38219	64	38	488	
38220	64	79	476	
38221	64	56	488	
38221	64	53	488	
				487,18

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
38622	128	28	394	
38627	128	39	395	
38627	128	39	394	
38628	128	35	392	
38628	128	36	394	
38628	128	36	394	
38628	128	47	393	
38629	128	27	393	
38629	128	20	393	
38630	128	48	395	
38630	128	36	391	
38631	128	38	392	
38632	128	58	396	
38633	128	29	394	
38633	128	48	394	
38636	128	51	394	
38636	128	22	391	
				393,47
39142	64	27	554	
39175	64	21	555	
39175	64	25	554	
39180	64	25	553	
39182	64	24	554	
39184	64	23	553	
39186	64	25	552	
39188	64	27	555	
39190	64	20	554	
39191	64	23	551	
39193	64	23	554	
39193	64	24	552	
39196	64	21	555	
39197	64	25	554	
39197	64	22	555	
39200	64	26	556	
39209	64	25	554	
				553,82

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
39716	96	62	567	
39716	96	60	568	
39717	96	58	568	
39719	96	31	566	
39720	96	68	568	
39723	96	56	567	
39723	96	71	569	
39724	96	58	568	
39724	96	50	567	
39726	96	49	566	
39728	96	54	568	
39728	96	57	567	
39728	96	52	567	
39728	96	31	567	
39729	96	39	567	
39730	96	64	569	
39731	96	38	566	
				567,35
39955	128	5	267	
39963	128	10	270	
39970	128	12	268	
39972	128	6	268	
39975	128	8	270	
39975	128	8	268	
39976	128	8	267	
39978	128	4	268	
39980	128	8	267	
39980	128	8	269	
39983	128	10	268	
39985	128	11	268	
39985	128	6	268	
39989	128	8	268	
				268,14

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
40506	160	78	540	
40508	160	65	539	
40508	160	77	540	
40510	160	77	541	
40511	160	61	807	
40512	160	68	542	
40513	160	61	540	
40513	160	50	540	
40514	160	70	541	
40516	160	70	539	
40517	160	62	541	
40517	160	69	539	
40518	160	50	810	
40518	160	67	541	
40520	160	57	809	
40520	160	72	539	
40521	160	50	539	
				540,07
40926	64	49	418	
40927	64	47	417	
40928	64	47	418	
40932	64	48	417	
40932	64	50	416	
40932	64	49	418	
40933	64	57	418	
40933	64	65	419	
40934	64	49	417	
40935	64	57	419	
40935	64	50	419	
40936	64	54	418	
40937	64	49	418	
40937	64	50	418	
40937	64	53	417	
40938	64	52	419	
40939	64	49	417	
				417,82

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
41525	128	70	591	
41526	128	69	593	
41527	128	75	591	
41527	128	65	590	
41527	128	65	593	
41528	128	67	590	
41528	128	68	590	
41529	128	73	594	
41530	128	68	591	
41530	128	68	593	
41531	128	67	591	
41532	128	71	591	
41532	128	70	592	
41533	128	67	592	
41533	128	66	590	
41533	128	67	592	
41535	128	67	592	
				591,53
41993	160	77	463	
41995	160	74	463	
41996	160	62	461	
41997	160	80	464	
41997	160	68	463	
41999	160	77	463	
42000	160	75	464	
42000	160	71	464	
42000	160	74	464	
42000	160	75	462	
42001	160	76	463	
42001	160	62	463	
42003	160	78	464	
42003	160	74	463	
42004	160	79	463	
42004	160	80	460	
42006	160	79	463	
				462,94

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
42145	64	76	150	
42147	64	60	150	
42149	64	73	148	
42149	64	73	152	
42149	64	67	150	
42151	64	76	149	
42151	64	79	151	
42151	64	74	151	
42152	64	75	151	
42152	64	73	151	
42152	64	61	150	
42153	64	71	150	
42154	64	73	151	
42155	64	77	150	
42155	64	77	151	
42155	64	78	150	
42155	64	78	151	
				150,35
42477	128	74	329	
42480	128	70	328	
42480	128	59	329	
42481	128	65	329	
42482	128	77	329	
42483	128	69	329	
42484	128	72	329	
42484	128	73	329	
42484	128	71	328	
42484	128	72	329	
42485	128	75	329	
42485	128	71	328	
42485	128	73	329	
42485	128	59	329	
42486	128	76	330	
42487	128	76	329	
42489	128	76	330	
				328,94

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
42797	160	57	321	
42802	160	72	321	
42803	160	70	323	
42803	160	71	321	
42803	160	67	321	
42805	160	63	321	
42806	160	70	321	
42807	160	67	322	
42807	160	71	320	
42807	160	57	321	
42808	160	72	320	
42811	160	69	321	
42811	160	75	319	
42812	160	73	321	
				320,93
43124	192	52	321	
43126	192	68	320	
43127	192	63	320	
43128	192	65	321	
43128	192	67	321	
43128	192	58	323	
43130	192	63	321	
43130	192	67	321	
43130	192	53	321	
43130	192	65	322	
43131	192	70	642	
43132	192	56	320	
43132	192	65	322	
43132	192	70	640	
43133	192	65	643	
43134	192	69	321	
43134	192	70	322	
				321,14

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
43681	96	26	554	
43681	96	28	554	
43683	96	33	556	
43684	96	28	555	
43685	96	31	556	
43685	96	30	556	
43686	96	29	555	
43686	96	29	555	
43687	96	34	555	
43687	96	31	555	
43688	96	29	554	
43689	96	31	557	
43689	96	29	555	
43689	96	31	556	
43690	96	24	555	
43691	96	31	555	
43692	96	32	555	
				555,18
44146	64	73	470	
44146	64	76	469	
44147	64	69	469	
44147	64	57	467	
44148	64	69	468	
44148	64	61	470	
44148	64	76	470	
44150	64	71	471	
44150	64	60	468	
44151	64	76	470	
44151	64	68	468	
44151	64	75	471	
44152	64	71	468	
44153	64	72	469	
44154	64	54	468	
44154	64	71	470	
44154	64	69	469	
				469,12

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
45018	128	52	883	
45018	128	52	882	
45019	128	49	882	
45020	128	48	882	
45020	128	50	882	
45022	128	52	882	
45022	128	51	883	
45023	128	48	880	
45025	128	49	882	
45025	128	52	882	
45025	128	50	884	
45025	128	52	883	
45028	128	54	882	
45028	128	51	882	
45029	128	51	882	
45029	128	53	884	
45032	128	45	882	
				882,29
45673	64	53	647	
45675	64	73	648	
45676	64	75	648	
45676	64	66	646	
45676	64	77	647	
45676	64	77	648	
45676	64	54	648	
45677	64	78	650	
45677	64	69	649	
45679	64	70	647	
45679	64	79	648	
45680	64	65	647	
45680	64	74	649	
45680	64	70	649	
45681	64	68	646	
45681	64	78	650	
45684	64	65	649	
				648,00

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
46194	128	32	514	
46195	128	32	514	
46196	128	27	512	
46197	128	31	513	
46197	128	29	515	
46198	128	31	513	
46198	128	27	513	
46199	128	29	514	
46199	128	31	511	
46199	128	25	512	
46200	128	27	514	
46201	128	30	513	
46202	128	26	513	
46203	128	28	513	
46203	128	30	512	
46203	128	31	513	
46204	128	32	513	
				513,06
46706	160	82	520	
46709	160	76	520	
46709	160	82	520	
46709	160	64	519	
46710	160	80	521	
46710	160	82	520	
46710	160	65	518	
46711	160	76	521	
46712	160	76	520	
46712	160	78	521	
46712	160	87	520	
46713	160	76	521	
46714	160	81	519	
46714	160	80	520	
46714	160	77	519	
46715	160	77	520	
46716	160	46	519	
				519,88

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
47516	96	67	809	
47516	96	56	809	
47518	96	67	809	
47518	96	79	808	
47518	96	78	807	
47519	96	55	808	
47520	96	73	807	
47520	96	75	809	
47521	96	79	808	
47522	96	83	808	
47523	96	72	807	
47523	96	78	807	
47524	96	65	807	
47524	96	74	804	
47525	96	70	809	
47529	96	78	808	
				807,75
48190	160	58	669	
48190	160	53	668	
48190	160	53	670	
48193	160	53	671	
48193	160	55	671	
48193	160	65	672	
48194	160	54	670	
48194	160	55	673	
48195	160	65	670	
48195	160	58	668	
48197	160	57	670	
48197	160	54	670	
48197	160	57	670	
48197	160	56	671	
48198	160	53	669	
48198	160	57	669	
				670,06

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
48746	96	77	534	
48748	96	75	532	
48748	96	48	533	
48750	96	75	533	
48750	96	74	534	
48750	96	67	531	
48751	96	71	532	
48751	96	75	534	
48751	96	77	534	
48751	96	51	532	
48752	96	68	531	
48755	96	70	531	
48756	96	75	533	
48757	96	62	534	
48757	96	75	533	
48757	96	76	534	
				532,81
49173	128	72	389	
49175	128	72	392	
49175	128	45	392	
49177	128	66	390	
49178	128	71	391	
49178	128	66	391	
49178	128	66	391	
49178	128	49	391	
49179	128	64	391	
49179	128	68	391	
49179	128	73	391	
49180	128	73	390	
49181	128	72	391	
49182	128	60	389	
49182	128	68	391	
49183	128	72	392	
				390,81

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
49592	64	20	415	
49592	64	23	416	
49593	64	20	414	
49593	64	22	414	
49593	64	23	416	
49594	64	22	415	
49594	64	24	415	
49594	64	22	414	
49594	64	18	414	
49595	64	22	416	
49595	64	21	415	
49595	64	18	415	
49596	64	20	415	
49596	64	22	417	
49597	64	22	415	
49599	64	22	414	
49604	64	35	416	
				415,06
50298	160	92	750	
50299	160	92	753	
50299	160	60	750	
50301	160	78	751	
50301	160	69	751	
50301	160	82	750	
50302	160	77	752	
50303	160	78	752	
50303	160	59	751	
50304	160	67	750	
50304	160	74	751	
50305	160	73	750	
50306	160	82	751	
50306	160	81	749	
50307	160	72	752	
50307	160	78	752	
50307	160	44	749	
				750,82

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
50831	64	86	607	
50832	64	75	607	
50832	64	88	608	
50832	64	53	608	
50833	64	71	607	
50834	64	62	607	
50835	64	72	607	
50835	64	72	608	
50837	64	60	609	
50837	64	52	608	
50837	64	75	603	
50838	64	66	607	
50838	64	71	607	
50838	64	67	609	
50838	64	68	607	
50839	64	76	609	
50841	64	54	608	
				607,41
51146	192	68	340	
51146	192	49	343	
51148	192	72	342	
51149	192	66	342	
51149	192	67	341	
51150	192	59	341	
51151	192	68	340	
51151	192	68	340	
51152	192	56	340	
51153	192	63	339	
51153	192	48	341	
51154	192	63	341	
51154	192	64	340	
51155	192	64	341	
51156	192	67	342	
51156	192	64	340	
51156	192	50	341	
				340,82

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
51625	64	31	481	
51627	64	31	480	
51628	64	34	482	
51629	64	28	481	
51630	64	26	480	
51630	64	30	481	
51630	64	32	481	
51630	64	34	482	
51631	64	28	482	
51631	64	32	479	
51631	64	33	483	
51632	64	33	481	
51633	64	31	480	
51634	64	28	480	
51634	64	32	481	
51634	64	34	482	
51641	64	46	482	
				481,06
52123	96	54	485	
52124	96	63	487	
52124	96	66	486	
52124	96	67	487	
52124	96	54	487	
52125	96	63	486	
52126	96	63	487	
52126	96	48	485	
52126	96	51	485	
52126	96	63	486	
52127	96	64	486	
52127	96	66	487	
52128	96	63	487	
52128	96	64	485	
52129	96	49	485	
52130	96	62	486	
52132	96	41	484	
				485,94

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
52707	160	62	593	
52707	160	60	596	
52708	160	59	595	
52708	160	51	595	
52709	160	70	594	
52709	160	51	595	
52709	160	45	595	
52710	160	63	595	
52711	160	48	595	
52711	160	59	593	
52713	160	46	594	
52713	160	60	596	
52713	160	60	594	
52714	160	64	595	
52714	160	59	596	
52714	160	37	593	
52715	160	58	594	
				594,59
53294	64	58	586	
53295	64	58	587	
53295	64	69	586	
53295	64	47	587	
53296	64	60	587	
53296	64	47	588	
53297	64	44	588	
53298	64	61	587	
53299	64	47	587	
53300	64	62	586	
53300	64	58	587	
53300	64	58	587	
53301	64	59	587	
53301	64	37	587	
53302	64	45	587	
53303	64	45	587	
53304	64	57	586	
				586,88

Продолжение Таблицы Б.1

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
53435	192	62	138	
53435	192	38	138	
53436	192	56	138	
53436	192	58	140	
53436	192	45	138	
53437	192	58	139	
53437	192	44	138	
53439	192	61	137	
53440	192	61	139	
53440	192	48	139	
53441	192	59	139	
53441	192	37	138	
53442	192	56	138	
53442	192	57	138	
53443	192	37	138	
53443	192	27	137	
53445	192	56	138	
				138,24

Коорд	ТРЦ	Ск, км/ч	Длина	Средняя
53997	160	36	554	
53998	160	56	552	
53999	160	51	551	
54000	160	55	554	
54001	160	50	554	
54002	160	43	552	
54002	160	52	551	
54002	160	40	553	
54003	160	61	554	
54003	160	59	553	
54003	160	38	552	
54003	160	54	552	
54004	160	40	552	
54006	160	58	551	
54006	160	53	552	
54006	160	59	554	
54006	160	58	555	
				552,71

ПРИЛОЖЕНИЕ В

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ ПОЕЗДОК ПО МЦК (ВТОРОЙ ПУТЬ)

Таблица В.1 – Статистические данные определения координат границ рельсовых цепей на МЦК по второму пути

Коорд	ТРС	Ск.км/ч	Длина	Средняя
489	48	62	837	
492	48	54	838	
492	48	66	838	
492	48	60	839	
493	48	56	838	
493	48	56	838	
493	48	67	837	
494	48	61	836	
494	48	55	837	
495	48	61	838	
495	48	65	839	
497	48	55	838	
497	48	67	839	
				837,85
1380	112	54	495	
1381	112	46	493	
1381	112	47	492	
1382	112	49	493	
1382	112	66	494	
1383	112	47	492	
1384	112	47	492	
1384	112	48	494	
1384	112	51	494	
1385	112	50	493	
1386	112	46	492	
1386	112	47	492	
1388	112	46	493	
				493,00

Коорд	ТРС	Ск.км/ч	Длина	Средняя
1903	80	50	641	
1906	80	54	642	
1907	80	52	640	
1907	80	50	641	
1907	80	57	640	
1909	80	51	641	
1909	80	64	641	
1910	80	50	642	
1911	80	50	642	
1911	80	51	641	
1912	80	53	641	
1912	80	49	640	
1912	80	55	641	
				641,00
2556	112	43	322	
2556	112	49	322	
2556	112	48	321	
2558	112	55	321	
2558	112	33	321	
2558	112	54	321	
2559	112	48	322	
2560	112	46	320	
2561	112	50	321	
2561	112	51	321	
2561	112	50	321	
2561	112	43	321	
2562	112	45	321	
				321,15

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
2881	144	48	531	
2881	144	52	531	
2883	144	51	530	
2883	144	38	529	
2883	144	68	530	
2883	144	59	531	
2884	144	69	529	
2885	144	50	531	
2885	144	64	531	
2885	144	64	531	
2885	144	47	532	
2885	144	60	531	
2886	144	62	531	
				530,62
3413	176	59	518	
3413	176	76	514	
3414	176	78	520	
3415	176	61	518	
3415	176	67	519	
3416	176	62	517	
3416	176	68	518	
3418	176	60	518	
3418	176	73	517	
3418	176	73	519	
3418	176	77	517	
3418	176	69	517	
3419	176	60	517	
				517,62
3931	112	85	376	
3932	112	67	374	
3932	112	70	377	
3933	112	70	376	
3933	112	83	361	
3933	112	76	377	
3934	112	75	376	
3936	112	81	377	
3936	112	80	376	
3936	112	84	376	
3936	112	86	375	
3936	112	64	377	
3937	112	68	377	
				376,17

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
4302	80	73	408	
4302	80	75	405	
4303	80	89	407	
4304	80	75	406	
4304	80	79	407	
4305	80	89	407	
4305	80	88	400	
4305	80	81	406	
4306	80	73	404	
4306	80	89	407	
4307	80	85	406	
4307	80	85	406	
4307	80	61	406	
				405,77
4704	144	82	609	
4705	144	82	608	
4705	144	73	608	
4705	144	76	608	
4705	144	78	609	
4705	144	76	608	
4706	144	80	607	
4706	144	86	608	
4706	144	69	608	
4708	144	89	609	
4708	144	77	608	
4709	144	81	609	
4709	144	81	608	
				608,23
5311	112	22	456	
5311	112	28	456	
5312	112	21	455	
5313	112	26	455	
5313	112	18	454	
5313	112	23	454	
5314	112	29	456	
5314	112	27	456	
5315	112	21	457	
5315	112	29	457	
5316	112	23	456	
5316	112	19	455	
5316	112	20	454	
				455,46

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
5779	144	80	605	
5781	144	58	604	
5782	144	66	607	
5782	144	78	605	
5782	144	84	606	
5783	144	66	604	
5783	144	77	605	
5783	144	83	599	
5784	144	74	605	
5784	144	67	603	
5784	144	83	605	
5786	144	58	605	
5787	144	69	604	
				604,38
6381	80	62	318	
6382	80	83	318	
6383	80	86	321	
6383	80	85	318	
6384	80	81	318	
6385	80	69	315	
6385	80	62	317	
6385	80	85	319	
6386	80	69	318	
6386	80	84	317	
6386	80	86	318	
6389	80	62	316	
6389	80	79	319	
				317,85
6693	112	65	429	
6695	112	66	1050	
6695	112	66	1050	
6696	112	65	1050	
6697	112	63	431	
6697	112	69	1052	
6697	112	63	431	
6699	112	66	430	
6699	112	66	431	
6699	112	64	1049	
6699	112	65	1050	
6702	112	65	430	
6703	112	63	430	
				430,29

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
7114	144	5	620	
7118	144	16	621	
7118	144	5	620	
7120	144	7	619	
7120	144	7	619	
7122	144	6	621	
7122	144	11	619	
				619,86
7740	176	73	659	
7741	176	78	660	
7742	176	71	660	
7742	176	68	659	
7743	176	71	660	
7744	176	69	659	
7744	176	74	658	
7745	176	71	660	
7745	176	72	659	
7745	176	69	661	
7748	176	71	661	
7749	176	70	661	
				659,77
8401	144	77	348	
8401	144	89	348	
8402	144	88	342	
8403	144	87	348	
8403	144	76	348	
8404	144	89	343	
8404	144	87	347	
8404	144	74	349	
8404	144	94	348	
8405	144	77	349	
8407	144	76	347	
8411	144	77	348	
				347,23
8748	48	80	337	
8749	48	91	353	
8750	48	90	341	
8751	48	94	339	
8751	48	78	354	
8753	48	79	352	
8753	48	80	351	
8753	48	94	354	
8754	48	89	353	
8754	48	89	353	
8755	48	78	351	
8758	48	79	353	
				352,60

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
9101	176	82	351	
9101	176	81	351	
9104	176	75	350	
9104	176	79	351	
9105	176	77	351	
9105	176	83	350	
9105	176	83	351	
9106	176	71	350	
9107	176	78	349	
9107	176	80	351	
9107	176	74	351	
9108	176	77	351	
9111	176	75	350	
				350,54
9454	144	50	359	
9455	144	54	360	
9456	144	46	359	
9457	144	48	360	
9457	144	50	361	
9457	144	50	360	
9458	144	50	360	
9458	144	49	361	
9458	144	46	360	
9459	144	48	359	
9460	144	49	360	
9462	144	47	360	
9463	144	45	359	
				359,85
9816	48	62	579	
9817	48	59	579	
9817	48	47	578	
9817	48	45	578	
9818	48	42	579	
9818	48	38	578	
9819	48	50	578	
9819	48	46	576	
9820	48	55	579	
9820	48	50	577	
9821	48	61	580	
9822	48	58	579	
9825	48	53	577	
				578,23

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
10392	112	85	633	
10395	112	76	655	
10395	112	97	654	
10396	112	92	652	
10396	112	60	651	
10396	112	87	653	
10397	112	70	652	
10397	112	94	655	
10398	112	94	654	
10399	112	77	653	
10400	112	75	653	
10402	112	73	653	
10403	112	85	634	
				650,15
11045	144	80	323	
11045	144	107	315	
11046	144	100	325	
11046	144	94	324	
11046	144	90	321	
11046	144	107	323	
11047	144	80	324	
11047	144	95	324	
11048	144	100	324	
11048	144	106	325	
11050	144	76	324	
11050	144	79	324	
11052	144	89	314	
				323,73
11371	48	95	381	
11371	48	94	393	
11372	48	81	392	
11372	48	91	391	
11373	48	92	392	
11373	48	95	392	
11374	48	81	391	
11374	48	97	392	
11374	48	93	392	
11375	48	94	393	
11376	48	80	392	
11378	48	78	392	
11379	48	90	392	
				392,00

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
11766	80	73	850	
11766	80	73	848	
11767	80	70	414	
11767	80	70	413	
11767	80	74	415	
11767	80	73	414	
11768	80	74	415	
11769	80	75	850	
11769	80	72	414	
11771	80	77	414	
11771	80	70	413	
11771	80	71	413	
11772	80	71	849	
				413,89
12176	112	7	435	
12176	112	7	434	
12177	112	5	435	
12177	112	6	436	
12178	112	5	437	
12178	112	4	437	
12178	112	6	437	
12180	112	3	436	
12181	112	4	435	
				435,78
12609	144	72	543	
12610	144	78	525	
12611	144	60	541	
12611	144	75	541	
12612	144	64	541	
12612	144	78	535	
12613	144	72	543	
12613	144	76	543	
12614	144	73	543	
12614	144	68	524	
12616	144	72	542	
12618	144	71	543	
12618	144	82	541	
				541,45

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
13143	80	90	605	
13146	80	84	606	
13146	80	89	605	
13147	80	76	601	
13147	80	79	604	
13148	80	80	604	
13148	80	80	604	
13149	80	86	604	
13149	80	87	607	
13149	80	87	600	
13151	80	80	605	
13152	80	79	603	
13153	80	84	606	
				604,50
13734	144	38	559	
13740	144	38	561	
13740	144	41	562	
13741	144	36	560	
13741	144	39	557	
13741	144	37	559	
13744	144	42	562	
13744	144	35	561	
13748	144	32	558	
13750	144	39	560	
13759	144	35	560	
13766	144	35	558	
13771	144	36	560	
				559,77
14295	176	74	314	
14298	176	83	315	
14300	176	59	313	
14301	176	75	315	
14301	176	72	315	
14301	176	84	315	
14301	176	85	314	
14302	176	81	313	
14303	176	77	315	
14303	176	66	313	
14304	176	87	306	
14307	176	74	315	
14312	176	83	302	
				314,27

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
14611	112	88	335	
14617	112	95	338	
14618	112	89	337	
14618	112	95	325	
14619	112	74	336	
14619	112	89	337	
14620	112	78	334	
14621	112	77	336	
14622	112	89	336	
14623	112	80	335	
14623	112	79	335	
14627	112	77	335	
14629	112	85	326	
				335,82
14961	144	81	776	
14966	144	74	775	
14967	144	78	774	
14968	144	73	775	
14968	144	81	776	
14969	144	78	777	
14970	144	81	776	
14970	144	80	775	
14972	144	84	777	
14972	144	79	776	
14973	144	82	775	
14977	144	80	776	
14978	144	74	775	
				775,62
15736	48	63	620	
15742	48	68	620	
15744	48	62	622	
15744	48	69	621	
15745	48	66	622	
15745	48	67	623	
15745	48	63	608	
15746	48	52	622	
15746	48	53	621	
15747	48	69	607	
15749	48	65	622	
15751	48	62	621	
15753	48	67	622	
				621,45

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
16362	80	100	559	
16366	80	98	566	
16368	80	76	571	
16368	80	103	570	
16369	80	77	568	
16369	80	90	570	
16369	80	101	545	
16370	80	87	552	
16371	80	96	561	
16372	80	79	551	
16373	80	76	569	
16377	80	77	567	
16377	80	89	570	
				567,10
16937	48	81	466	
16940	48	79	465	
16944	48	73	466	
16944	48	81	461	
16945	48	83	466	
16945	48	87	467	
16946	48	84	468	
16947	48	81	466	
16947	48	78	466	
16948	48	88	461	
16949	48	79	466	
16952	48	78	466	
16955	48	79	466	
				466,18
17396	80	40	532	
17398	80	38	532	
17401	80	40	532	
17402	80	40	532	
17402	80	38	532	
17403	80	35	532	
17403	80	40	532	
17403	80	38	534	
17405	80	42	534	
17406	80	37	532	
17406	80	37	531	
17410	80	39	533	
17410	80	36	532	
				532,31

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
17924	112	75	664	
17924	112	74	663	
17928	112	74	663	
17929	112	59	661	
17930	112	58	660	
17931	112	73	661	
17931	112	67	662	
17934	112	83	663	
17935	112	79	654	
17935	112	77	663	
17936	112	70	662	
17937	112	77	663	
17943	112	78	664	
				661,77
18603	112	62	480	
18605	112	61	479	
18606	112	55	478	
18609	112	66	480	
18609	112	57	478	
18610	112	61	478	
18611	112	56	477	
18611	112	68	479	
18611	112	61	478	
18612	112	64	478	
18612	112	62	479	
18613	112	65	480	
18624	112	66	479	
				478,69
19078	80	47	319	
19086	80	34	318	
19086	80	35	318	
19087	80	42	318	
19088	80	33	319	
19089	80	43	320	
19090	80	54	319	
19090	80	49	319	
19090	80	40	318	
19095	80	47	320	
19095	80	40	319	
19096	80	51	320	
19100	80	49	318	
				318,85

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
19405	144	57	313	
19406	144	61	313	
19407	144	63	313	
19407	144	65	312	
19408	144	62	312	
19409	144	67	314	
19410	144	56	314	
19411	144	72	313	
19413	144	64	312	
19417	144	43	313	
19418	144	65	314	
19431	144	72	312	
19443	144	74	313	
				312,92
19707	48	61	633	
19714	48	51	632	
19715	48	72	635	
19716	48	74	634	
19722	48	72	635	
19724	48	79	632	
19725	48	73	633	
19727	48	81	634	
19731	48	49	633	
19738	48	73	634	
19746	48	76	633	
19749	48	74	634	
19765	48	79	634	
				633,54
20350	144	19	561	
20354	144	23	562	
20354	144	20	562	
20355	144	22	561	
20355	144	21	562	
20357	144	21	562	
20358	144	19	563	
20358	144	22	563	
20359	144	21	563	
20363	144	18	873	
20367	144	21	562	
20372	144	20	563	
20374	144	20	564	
				562,33

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
20910	48	67	238	
20914	48	60	237	
20915	48	59	238	
20916	48	60	238	
20916	48	59	238	
20916	48	63	238	
20916	48	62	237	
20917	48	62	237	
20918	48	59	237	
20920	48	55	238	
20923	48	55	237	
20925	48	62	240	
				237,75
21143	176	67	416	
21148	176	61	417	
21150	176	60	415	
21151	176	63	416	
21151	176	65	416	
21151	176	63	416	
21152	176	60	416	
21153	176	60	415	
21153	176	61	415	
21154	176	56	416	
21159	176	57	416	
21161	176	21	413	
				415,58
21556	80	66	562	
21562	80	64	562	
21564	80	64	563	
21564	80	63	562	
21564	80	68	563	
21564	80	66	563	
21565	80	67	561	
21565	80	64	562	
21567	80	64	562	
21569	80	60	563	
21572	80	61	563	
21572	80	56	562	
				562,33

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
22123	176	21	331	
22123	176	15	334	
22125	176	25	332	
22126	176	24	330	
22127	176	24	332	
22127	176	26	332	
22128	176	21	331	
22128	176	19	330	
22128	176	23	334	
22131	176	26	332	
22131	176	24	331	
22133	176	26	331	
22134	176	23	331	
22142	176	23	331	
				331,57
22455	144	55	481	
22458	144	61	478	
22458	144	53	479	
22460	144	62	481	
22463	144	71	480	
22463	144	60	480	
22463	144	51	480	
22463	144	7	481	
22463	144	62	480	
22464	144	54	479	
22466	144	52	480	
22466	144	65	481	
22467	144	10	479	
22471	144	58	480	
				479,93
22941	112	59	315	
22946	112	77	317	
22947	112	18	313	
22948	112	71	316	
22948	112	71	316	
22949	112	71	314	
22949	112	75	315	
22950	112	73	317	
22951	112	70	314	
22951	112	29	313	
22952	112	79	316	
22953	112	62	316	
22953	112	71	315	
22956	112	68	315	
				315,14

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
23259	80	49	464	
23260	80	49	463	
23261	80	31	464	
23261	80	46	465	
23263	80	46	465	
23263	80	52	466	
23264	80	45	464	
23264	80	46	463	
23264	80	36	465	
23265	80	47	465	
23266	80	49	466	
23266	80	45	464	
23267	80	47	463	
23269	80	48	466	
				464,50
23724	144	74	630	
23726	144	59	628	
23727	144	59	629	
23727	144	58	630	
23727	144	67	630	
23727	144	64	627	
23727	144	69	631	
23727	144	54	628	
23728	144	50	628	
23729	144	64	629	
23731	144	44	628	
23732	144	48	629	
23732	144	56	631	
23734	144	47	630	
				629,14
24343	176	71	369	
24346	176	71	368	
24346	176	70	368	
24347	176	65	368	
24347	176	71	369	
24348	176	66	369	
24349	176	57	369	
24349	176	65	368	
24349	176	65	367	
24349	176	66	368	
24349	176	70	369	
24350	176	60	367	
24350	176	69	370	
24351	176	60	368	
				368,36

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
24700	112	21	393	
24702	112	24	395	
24702	112	25	393	
24704	112	23	392	
24705	112	23	393	
24705	112	23	394	
24705	112	22	393	
24705	112	23	392	
24706	112	22	394	
24706	112	23	393	
24707	112	25	393	
24708	112	19	393	
24710	112	20	393	
24718	112	22	393	
				393,14
25087	48	55	339	
25089	48	72	339	
25090	48	61	339	
25090	48	70	339	
25090	48	66	338	
25091	48	57	339	
25091	48	54	337	
25092	48	68	338	
25093	48	70	338	
25095	48	56	338	
25095	48	57	339	
25095	48	74	338	
25095	48	66	338	
25097	48	58	339	
				338,43
25434	80	56	333	
25435	80	67	334	
25436	80	68	334	
25436	80	79	333	
25437	80	60	334	
25437	80	77	335	
25437	80	74	334	
25440	80	58	334	
25440	80	77	335	
25440	80	76	334	
25441	80	57	334	
25441	80	59	335	
25441	80	83	335	
25442	80	80	334	
				334,14

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
25776	144	59	759	
25776	144	67	757	
25776	144	65	757	
25777	144	72	758	
25778	144	69	757	
25779	144	63	756	
25779	144	64	756	
25780	144	65	756	
25783	144	60	757	
25783	144	62	757	
25783	144	61	758	
25783	144	65	754	
25783	144	61	755	
25784	144	63	756	
				756,64
26534	176	70	727	
26534	176	64	725	
26535	176	65	724	
26536	176	40	722	
26536	176	52	724	
26537	176	53	726	
26540	176	40	724	
26541	176	55	724	
26542	176	36	724	
26544	176	71	728	
26546	176	59	726	
26549	176	39	722	
26552	176	49	724	
26570	176	59	724	
				724,57
27260	80	19	426	
27263	80	22	427	
27263	80	22	427	
27264	80	24	428	
27265	80	19	426	
27268	80	19	427	
27268	80	22	428	
27270	80	17	427	
27271	80	18	427	
27272	80	20	428	
27273	80	18	426	
27275	80	21	428	
27276	80	18	427	
27279	80	22	427	
				427,07

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
27684	144	69	257	
27687	144	56	256	
27687	144	56	257	
27689	144	65	257	
27689	144	56	254	
27690	144	61	258	
27691	144	61	257	
27691	144	57	257	
27692	144	50	257	
27692	144	61	256	
27692	144	61	254	
27695	144	56	257	
27695	144	58	256	
27702	144	55	257	
				256,43
27943	48	59	502	
27943	48	68	501	
27945	48	76	501	
27945	48	77	503	
27946	48	66	499	
27946	48	64	502	
27947	48	63	501	
27947	48	67	501	
27948	48	67	501	
27948	48	71	503	
27949	48	58	500	
27950	48	60	501	
27950	48	62	502	
27952	48	57	502	
				501,36
28446	80	53	503	
28447	80	55	505	
28448	80	62	506	
28448	80	56	503	
28448	80	55	505	
28448	80	56	506	
28448	80	56	503	
28449	80	51	504	
28450	80	55	504	
28450	80	49	503	
28450	80	55	504	
28450	80	62	504	
28453	80	53	502	
28455	80	51	503	
				503,93

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
28945	144	56	553	
28946	144	45	550	
28947	144	58	551	
28947	144	56	552	
28948	144	51	550	
28948	144	55	551	
28948	144	58	550	
28948	144	54	552	
28950	144	57	552	
28950	144	43	553	
28951	144	54	553	
28952	144	66	552	
28952	144	46	551	
28955	144	54	551	
				551,50
29498	80	60	523	
29500	80	71	524	
29501	80	77	525	
29502	80	74	524	
29502	80	74	523	
29503	80	77	524	
29503	80	70	523	
29504	80	57	524	
29504	80	75	524	
29504	80	67	524	
29505	80	60	522	
29506	80	72	523	
29507	80	57	524	
29507	80	82	526	
				523,79
30023	112	67	641	
30023	112	70	641	
30024	112	73	641	
30024	112	73	641	
30025	112	77	642	
30025	112	78	640	
30026	112	59	640	
30026	112	76	641	
30027	112	57	641	
30029	112	69	642	
30030	112	57	641	
30030	112	59	642	
30030	112	71	642	
30030	112	81	641	
				641,14

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
30665	144	30	586	
30666	144	38	586	
30667	144	34	585	
30668	144	34	586	
30668	144	37	585	
30668	144	35	586	
30669	144	38	584	
30669	144	36	585	
30669	144	34	584	
30670	144	32	586	
30671	144	27	585	
30671	144	33	585	
30671	144	34	586	
30671	144	38	585	
				585,29
31251	48	54	591	
31253	48	67	591	
31253	48	68	590	
31253	48	64	592	
31254	48	63	591	
31255	48	54	591	
31255	48	66	590	
31255	48	55	589	
31255	48	64	591	
31256	48	53	591	
31257	48	63	591	
31257	48	60	590	
31259	48	62	588	
31260	48	54	591	
				590,50
31831	112	18	364	
31833	112	53	365	
31833	112	47	365	
31833	112	47	365	
31833	112	44	365	
31834	112	57	365	
31834	112	43	366	
31835	112	56	365	
31835	112	47	366	
31835	112	44	367	
31836	112	47	367	
31838	112	48	365	
31838	112	40	366	
31839	112	47	366	
				365,50

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
32192	144	46	117	
32193	144	63	116	
32194	144	59	117	
32196	144	56	118	
32198	144	53	117	
32198	144	47	118	
32199	144	74	116	
32199	144	69	117	
32199	144	62	119	
32200	144	47	118	
32200	144	44	117	
32201	144	47	117	
32203	144	47	117	
32204	144	56	118	
				117,29
32311	176	47	261	
32312	176	64	261	
32314	176	58	262	
32317	176	70	261	
32318	176	57	260	
32318	176	53	261	
32319	176	48	261	
32319	176	74	261	
32319	176	48	260	
32320	176	63	261	
32321	176	48	261	
32321	176	45	261	
32323	176	47	261	
32323	176	57	259	
				260,79
32576	112	48	475	
32577	112	65	474	
32580	112	34	476	
32582	112	57	476	
32583	112	75	477	
32583	112	71	475	
32584	112	49	474	
32584	112	55	475	
32584	112	50	476	
32585	112	52	477	
32585	112	46	476	
32586	112	48	476	
32588	112	48	474	
32589	112	58	476	
				475,50

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
33060	48	49	98	
33061	48	65	100	
33062	48	29	98	
33064	48	54	98	
33065	48	51	98	
33066	48	60	99	
33066	48	41	98	
33066	48	40	98	
33067	48	33	97	
33068	48	55	99	
33069	48	50	98	
33069	48	31	97	
33070	48	50	97	
33073	48	60	98	
				98,07
33157	80	45	232	
33159	80	54	232	
33161	80	29	231	
33163	80	45	232	
33164	80	31	232	
33165	80	46	233	
33165	80	30	232	
33166	80	39	232	
33166	80	30	232	
33166	80	34	231	
33167	80	46	233	
33168	80	49	232	
33168	80	48	232	
33173	80	53	233	
				232,07
33391	112	37	271	
33393	112	34	271	
33396	112	30	271	
33396	112	34	272	
33397	112	37	270	
33398	112	28	271	
33399	112	32	270	
33399	112	32	271	
33401	112	31	272	
33401	112	32	271	
33402	112	37	1430	
33404	112	32	270	
33405	112	37	271	
33407	112	31	271	
				270,92

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
33661	144	34	146	
33667	144	40	145	
33667	144	37	1158	
33667	144	37	146	
33671	144	40	1159	
33674	144	32	145	
33674	144	35	145	
33674	144	35	146	
33676	144	35	146	
33678	144	35	145	
33679	144	39	145	
33680	144	34	145	
33681	144	34	145	
				145,36
33816	48	41	1012	
33816	48	37	1012	
33819	48	36	1012	
33822	48	35	1012	
33823	48	40	1013	
33824	48	36	1011	
33824	48	35	1010	
33825	48	36	1010	
33831	48	35	1011	
33832	48	33	1012	
33852	48	36	1012	
				1011,55
34822	112	60	351	
34826	112	62	352	
34828	112	60	352	
34832	112	59	352	
34832	112	55	352	
34832	112	61	353	
34832	112	56	352	
34833	112	60	352	
34834	112	54	352	
34834	112	64	351	
34834	112	61	351	
34834	112	58	352	
34836	112	63	351	
34837	112	62	352	
				351,79

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
35174	48	65	447	
35179	48	67	446	
35181	48	63	446	
35182	48	58	448	
35182	48	60	447	
35183	48	59	447	
35183	48	64	444	
35184	48	61	447	
35185	48	67	446	
35185	48	64	445	
35186	48	63	446	
35186	48	63	447	
35186	48	66	446	
35191	48	65	446	
				446,29
35614	80	72	488	
35618	80	71	488	
35619	80	65	485	
35619	80	66	486	
35621	80	72	488	
35621	80	70	488	
35621	80	70	488	
35621	80	71	489	
35621	80	67	487	
35623	80	69	487	
35623	80	68	486	
35624	80	70	488	
35624	80	70	487	
35626	80	72	487	
				487,29
36082	112	15	478	
36084	112	16	477	
36087	112	19	477	
36088	112	12	479	
36088	112	20	478	
36088	112	16	477	
36089	112	17	479	
36089	112	15	476	
36090	112	14	478	
36090	112	15	477	
36091	112	14	476	
36091	112	17	477	
36092	112	15	478	
36095	112	16	478	
				477,50

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
36559	144	57	721	
36561	144	79	722	
36562	144	70	720	
36562	144	66	721	
36563	144	77	722	
36563	144	76	720	
36563	144	75	720	
36564	144	71	720	
36566	144	55	721	
36566	144	58	720	
36566	144	55	720	
36566	144	77	720	
36568	144	74	720	
36571	144	67	721	
				720,57
37281	80	56	430	
37282	80	79	427	
37282	80	77	429	
37284	80	57	428	
37285	80	78	428	
37285	80	77	428	
37286	80	55	428	
37286	80	78	428	
37287	80	76	429	
37288	80	75	430	
37290	80	76	428	
37291	80	78	430	
37294	80	54	429	
37305	80	85	423	
				428,21
37717	112	56	489	
37718	112	80	481	
37719	112	78	491	
37720	112	57	490	
37720	112	79	490	
37721	112	78	490	
37722	112	55	490	
37723	112	80	490	
37723	112	77	492	
37726	112	76	490	
37726	112	77	491	
37730	112	79	489	
37731	112	54	491	
37744	112	82	478	
				488,71

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
38224	48	56	375	
38224	48	81	378	
38225	48	57	375	
38226	48	81	376	
38227	48	80	376	
38228	48	57	375	
38233	48	79	377	
38233	48	78	375	
38233	48	79	377	
38235	48	80	376	
38236	48	77	378	
38239	48	55	375	
38242	48	80	375	
38253	48	81	369	
				376,00
38614	112	60	560	
38617	112	65	560	
38619	112	60	559	
38620	112	56	559	
38622	112	60	559	
38623	112	61	561	
38631	112	62	558	
38632	112	68	559	
38634	112	64	559	
38634	112	60	559	
38644	112	64	560	
38644	112	60	558	
38646	112	58	560	
38652	112	73	561	
				559,43
39176	144	48	575	
39180	144	57	575	
39184	144	56	574	
39185	144	49	574	
39185	144	56	574	
39186	144	54	573	
39186	144	56	575	
39186	144	63	575	
39187	144	54	575	
39189	144	50	574	
39190	144	57	575	
39190	144	50	572	
39191	144	58	575	
39198	144	50	574	
				574,29

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
39726	80	23	639	
39731	80	23	641	
39734	80	27	641	
39737	80	27	639	
39737	80	27	641	
39739	80	27	640	
39741	80	26	643	
39743	80	27	640	
39746	80	29	641	
39747	80	24	640	
39748	80	29	638	
39761	80	27	641	
39764	80	25	639	
39767	80	27	638	
				640,07
40348	112	80	577	
40349	112	69	576	
40349	112	57	576	
40356	112	60	576	
40356	112	76	576	
40356	112	79	576	
40357	112	73	577	
40357	112	39	574	
40358	112	60	577	
40358	112	75	578	
40359	112	73	576	
40359	112	81	576	
40359	112	78	576	
40360	112	58	576	
				576,21
40916	48	13	444	
40916	48	13	445	
40917	48	15	446	
40921	48	12	445	
40922	48	15	445	
40922	48	10	444	
40923	48	15	445	
40923	48	15	445	
40925	48	13	444	
40926	48	15	445	
40926	48	14	445	
40927	48	15	445	
40927	48	14	445	
40928	48	13	445	
				444,86

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
41368	176	62	758	
41370	176	66	758	
41370	176	64	757	
41374	176	65	757	
41375	176	66	756	
41375	176	65	758	
41375	176	66	758	
41375	176	66	758	
41376	176	66	758	
41378	176	65	758	
41379	176	62	757	
41379	176	65	758	
41380	176	66	758	
41380	176	61	756	
				757,50
42136	48	66	650	
42137	48	72	651	
42140	48	70	650	
42141	48	71	651	
42141	48	72	652	
42143	48	69	651	
42143	48	70	651	
42144	48	74	651	
42145	48	69	649	
42145	48	69	653	
42146	48	72	649	
42147	48	74	650	
42147	48	74	652	
42150	48	70	650	
				650,71
42794	112	70	292	
42795	112	76	293	
42796	112	74	292	
42798	112	73	291	
42799	112	73	292	
42799	112	77	291	
42800	112	76	293	
42801	112	73	291	
42802	112	72	293	
42802	112	78	292	
42803	112	75	292	
42803	112	77	293	
42803	112	77	292	
42804	112	77	292	
				292,07

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
43086	144	68	589	
43087	144	64	590	
43089	144	68	592	
43091	144	68	591	
43092	144	69	593	
43094	144	67	591	
43094	144	71	591	
43094	144	65	591	
43094	144	69	590	
43095	144	71	590	
43095	144	69	592	
43096	144	62	591	
43097	144	67	592	
43099	144	68	591	
				591,00
43674	80	63	462	
43675	80	63	463	
43677	80	54	462	
43678	80	60	462	
43679	80	51	460	
43680	80	57	461	
43680	80	56	463	
43681	80	56	462	
43682	80	58	462	
43683	80	50	463	
43683	80	51	460	
43684	80	55	461	
43684	80	50	459	
43687	80	52	462	
				461,57
44134	112	76	237	
44136	112	73	235	
44137	112	75	235	
44137	112	76	235	
44139	112	75	236	
44140	112	72	237	
44141	112	76	237	
44141	112	75	235	
44142	112	75	237	
44143	112	76	234	
44143	112	75	237	
44143	112	77	235	
44145	112	78	238	
44146	112	76	235	
				235,93

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
44369	48	67	642	
44369	48	56	640	
44371	48	64	642	
44372	48	64	643	
44373	48	55	641	
44374	48	70	641	
44375	48	65	643	
44376	48	69	642	
44376	48	68	642	
44377	48	70	643	
44377	48	63	640	
44377	48	71	641	
44380	48	70	642	
44380	48	64	641	
				641,64
45003	192	64	638	
45005	192	77	626	
45006	192	58	637	
45007	192	67	639	
45008	192	67	637	
45008	192	69	639	
45010	192	66	639	
45011	192	66	638	
45011	192	63	636	
45012	192	63	639	
45012	192	55	637	
45015	192	60	639	
45015	192	56	638	
45015	192	57	638	
				638,00
45652	144	64	529	
45653	144	64	528	
45654	144	73	530	
45654	144	71	531	
45655	144	60	528	
45656	144	63	529	
45656	144	68	530	
45656	144	66	529	
45658	144	70	531	
45658	144	74	530	
45660	144	64	529	
45661	144	72	531	
45662	144	66	530	
45663	144	67	529	
				529,57

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
46183	176	57	517	
46184	176	59	516	
46188	176	39	516	
46189	176	57	516	
46189	176	61	516	
46190	176	51	516	
46191	176	61	517	
46191	176	50	516	
46192	176	61	516	
46194	176	60	515	
46194	176	47	515	
46195	176	50	515	
46197	176	26	518	
46197	176	46	516	
				516,07
46694	80	80	276	
46699	80	75	277	
46701	80	81	278	
46702	80	76	279	
46702	80	74	276	
46702	80	74	279	
46702	80	88	277	
46704	80	76	278	
46705	80	75	279	
46706	80	85	278	
46706	80	80	278	
46707	80	90	278	
46708	80	20	275	
				277,54
46970	144	81	553	
46973	144	77	551	
46975	144	75	553	
46976	144	75	551	
46977	144	77	551	
46978	144	82	553	
46979	144	77	552	
46979	144	92	554	
46981	144	76	552	
46983	144	92	554	
46983	144	87	552	
46985	144	86	553	
46988	144	56	552	
				552,38

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
47527	176	59	133	
47532	176	61	134	
47536	176	61	133	
47537	176	57	133	
47537	176	62	133	
47537	176	59	133	
47539	176	64	133	
47539	176	56	132	
47539	176	49	133	
47540	176	59	132	
47542	176	60	132	
47543	176	59	132	
47546	176	48	133	
				132,77
47662	112	42	523	
47668	112	44	523	
47669	112	43	525	
47669	112	35	523	
47671	112	44	522	
47672	112	46	522	
47672	112	43	523	
47673	112	41	522	
47673	112	44	524	
47673	112	34	523	
47676	112	45	525	
47677	112	44	524	
47679	112	44	523	
				523,23
48183	80	70	501	
48185	80	71	505	
48188	80	68	503	
48189	80	70	500	
48189	80	70	502	
48190	80	70	503	
48191	80	72	505	
48192	80	71	504	
48193	80	72	502	
48193	80	70	502	
48194	80	69	502	
48196	80	69	503	
48197	80	67	501	
				502,54

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
48694	112	73	400	
48702	112	73	397	
48705	112	73	399	
48715	112	74	397	
48719	112	75	399	
48723	112	76	398	
48723	112	75	397	
48726	112	75	400	
48726	112	75	399	
48728	112	75	397	
48731	112	75	398	
48737	112	74	399	
48744	112	74	398	
				398,31
49127	144	69	509	
49128	144	69	508	
49129	144	64	506	
49131	144	61	507	
49132	144	63	507	
49132	144	66	508	
49134	144	62	508	
49136	144	69	508	
49136	144	58	507	
49136	144	57	507	
49138	144	65	507	
49142	144	60	507	
49157	144	58	507	
				507,38
49629	80	54	122	
49629	80	55	123	
49630	80	57	123	
49632	80	60	123	
49632	80	49	122	
49632	80	49	123	
49634	80	54	122	
49634	80	49	123	
49635	80	52	122	
49635	80	44	122	
49636	80	51	123	
49637	80	55	123	
49637	80	45	122	
				122,54

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
49752	112	65	564	
49754	112	58	567	
49754	112	58	567	
49756	112	60	566	
49757	112	64	567	
49757	112	58	565	
49758	112	62	565	
49758	112	65	564	
49759	112	51	566	
49760	112	59	567	
49760	112	50	566	
49761	112	62	566	
49763	112	68	566	
				565,85
50277	144	79	564	
50279	144	61	563	
50280	144	60	562	
50280	144	73	563	
50281	144	76	556	
50282	144	67	563	
50283	144	79	565	
50283	144	62	563	
50284	144	80	559	
50284	144	73	563	
50285	144	62	563	
50286	144	79	561	
50287	144	79	556	
				561,62
50773	176	67	566	
50773	176	80	566	
50774	176	60	565	
50774	176	60	565	
50774	176	74	566	
50775	176	81	565	
50777	176	80	566	
50778	176	62	563	
50778	176	75	565	
50779	176	81	562	
50779	176	80	566	
50779	176	81	563	
50779	176	70	566	
				564,92

Продолжение Таблицы В.1

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
51306	112	43	447	
51306	112	38	448	
51306	112	36	447	
51309	112	35	446	
51310	112	46	448	
51311	112	42	449	
51311	112	38	449	
51312	112	40	448	
51312	112	41	448	
51313	112	40	446	
51314	112	38	449	
51314	112	32	446	
51315	112	47	449	
				447,69
51752	80	59	462	
51753	80	49	464	
51753	80	60	457	
51754	80	51	463	
51755	80	47	462	
51756	80	59	463	
51756	80	60	462	
51756	80	65	461	
51757	80	52	464	
51757	80	65	463	
51757	80	54	461	
51759	80	57	461	
51760	80	58	462	
				461,92
52214	48	61	486	
52216	48	81	484	
52217	48	47	487	
52217	48	50	486	
52217	48	53	486	
52218	48	52	487	
52219	48	70	486	
52219	48	77	486	
52220	48	71	486	
52220	48	62	486	
52221	48	76	485	
52222	48	64	487	
52222	48	70	486	
				486,00

Коорд	ТРЦ	Ск.км/ч	Длина	Средняя
52693	80	54	634	
52694	80	51	634	
52694	80	65	636	
52695	80	85	636	
52696	80	55	634	
52696	80	56	634	
52696	80	75	634	
52697	80	73	636	
52698	80	65	635	
52698	80	80	638	
52698	80	80	636	
52700	80	67	635	
52700	80	74	634	
				635,08
53330	112	51	438	
53332	112	53	437	
53332	112	47	436	
53333	112	53	438	
53333	112	51	437	
53333	112	50	436	
53333	112	50	437	
53334	112	56	438	
53335	112	48	437	
53336	112	58	438	
53336	112	53	437	
53336	112	51	438	
53339	112	50	436	
				437,15
53777	144	35	741	
53778	144	37	740	
53778	144	52	742	
53778	144	53	741	
53779	144	36	741	
53779	144	45	742	
53780	144	38	741	
53781	144	35	741	
53781	144	47	740	
53781	144	39	741	
53782	144	47	741	
53783	144	48	740	
53785	144	36	742	
				741,00

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



Открытое акционерное общество
**«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский
 институт информатизации, автоматизации и связи
 на железнодорожном транспорте»**

ОАО «НИИАС»

ул. Нижегородская, 27, стр. 1, Москва, Россия, 109029; тел. (499) 262-5320, факс (499) 262-7443; e-mail: info@vniias.ru
 ОКПО 82462078; ОГРН 1077758841555; ИНН/КПП 7709752846/770901001

03.03.2017 № 8/И

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор


 И.И. Розенберг

АКТ

о внедрения результатов работ Батраева Владимира Владимировича

Комиссия в составе: д.т.н. профессор Розенберг Е.Н., д.т.н. Строганов В.И., д.т.н. Безродный Б.Ф., к.т.н. Астрахан В.И., начальник НТК СУ и ОБДП Шухина Е.Е., назначенная Генеральным директором д.т.н. профессором Розенбергом И.И., составила настоящий акт в том, что результаты работы Батраева В.В. использованы в разработках института, выполненных в соответствии с планами ОАО «РЖД» по развитию и внедрению новой техники и прогрессивных технологий.

Разрабатывается и внедрено:


- По теме “Комплекс диагностики автоматической локомотивной сигнализации” создан и внедрен на линиях ОАО «РЖД» программно-аппаратный комплекс диагностики (Блок БРС-АЛСН);
- По теме “Комплекс регистрации внутреннего информационного обмена прибора безопасности” в настоящее время используется на линиях ОАО «РЖД» в качестве дополнительной системы контроля приборов безопасности БЛОК, КЛУБ-У и БЛОК-М (Блок БРС-САН);

- По теме “Комплекс безопасности БЛОК-М” Разработан и прошел приемочные испытания инновационный комплекс обеспечения безопасности нового поколения;
- По теме “ Комплекс безопасности СОБ-400”. Данный комплекс произведен и проходит заводские испытания на ООО «ИРЗ-Локомотив»;
- По теме “Датчик скорости нового поколения для высокоскоростного движения”. В настоящее время разрабатывается и планируется к внедрению на высокоскоростные линии Москва-Казан и Москва-С.Петербург;
- По теме “Узел связи с внешними системами автоблокировки АБТЦ-М (УПИ RS-422)”. Используется на станциях и перегонах оборудованных АБТЦ-М и имеющих увязку с системами сторонних производителей;
- По теме “Объединенная система управления и обеспечения безопасности для перспективных локомотивов”. Планируется к внедрению на всех типах современных локомотивов и электричках;
- По теме “Объединенный модуль связи для приборов обеспечения безопасности”. Данный модуль разработан и проходит соответствующие виды испытаний. Планируется к внедрению на объектах оборудованных современными бортовыми системами обеспечения безопасности;
- По теме “Система передачи временных ограничений в локомотивные приборы безопасности”. В настоящее время внедрена на участке Москва. Павелецкая - Домодедово;
- По теме “Новый функционал устройства безопасности КЛУБ-У”. Новый пакет программного обеспечения внедрен на большинстве локомотивов и электропоездов оборудованных устройством безопасности КЛУБ-У;

Дальнейшие разработки Батраева В.В. позволят качественно улучшить существующую аппаратуру инфраструктуры железных дорог, а также повысить экономические показатели, а также показатели безопасности.

Первый заместитель

Генерального директора ОАО «НИИАС»

 Е.Н. Розенберг


Ученый секретарь ОАО «НИИАС»

В.И. Строганов

Руководитель НТК СУ и ОБДП ОАО «НИИАС»

 Е.Е. Шухина

Руководитель Центра обучения ОАО «НИИАС»

 В.И. Астрахан

Заместитель руководителя

Центра кибербезопасности ОАО «НИИАС»

 Б.Ф. Безродный



**Акционерное общество
«Научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт информатизации, автоматизации и связи
на железнодорожном транспорте»**

АКТ

ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты диссертационной работы Батрасва Владимира Владимировича на тему: «Повышение эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий» были применены АО «НИИАС»:

1. При совершенствовании бортовых систем управления и обеспечения безопасности (построенных на базе КЛУБ-У, БЛОК, БЛОК-М, СОБ-400, ССПС-КХ, Единой системы управления и обеспечения безопасности). Результаты работ включают комплексные исследования, алгоритмы и программное обеспечение;

2. При разработке технических требований к локомотивным устройствам безопасности нового поколения, утверждены Главным инженером ОАО «РЖД» Кобзевым С.А. распоряжением № 2995/р от 30.12.2020 и концепции развития локомотивных устройств безопасности, утверждена Главным инженером ОАО «РЖД» Кобзевым С.А. распоряжением №123/р от 28.01.2020;

3. При разработке АО «НИИАС» принципов построения технических средств для режимов автоведения («Виртуальная сцепка»);

4. При разработке АО «НИИАС» комплексов регистрации и диагностики автоматической локомотивной сигнализации, а также автоблокировки;

5. При внедрении АО «НИИАС» отечественных вычислителей в структуру бортовых приборов обеспечения безопасности и автоблокировки.

Заместитель Генерального директора –
Руководитель НТК СУ и ОБДП
АО «НИИАС»



Е.Е. Шухина
«26» мая 2021 г.

По месту требования

АКТ
ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты диссертационного исследования Батраева Владимира Владимировича на тему: «Повышение эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий» были применены АО «ЭЛАРА» при разработке и совершенствовании автоблокировки АБТЦ-МЩ, а также в рамках планов АО «ЭЛАРА» по развитию и внедрению новой техники и прогрессивных технологий.

Использование новых принципов обработки фазоманипулированных сигналов и комплексных исследований в области импортозамещения, описанных в работе, позволило качественно сократить количество сбоев и стоимость вычислительных узлов, а также повысить информационную безопасность в целом.

Главный конструктор по ГТ



А.Н Гуляев

По месту требования

АКТ
ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты диссертационной работы Батраева Владимира Владимировича на тему: «Повышение эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий» были применены ООО «НПО САУТ» при разработке и совершенствовании бортовых приборов безопасности БЛОК и БЛОК-М, а также в рамках программы импортонезависимости.

Области применения результатов исследований включали аспекты построения систем в целом (в том числе на отечественных вычислителях «Миландр»), развитие систем регистрации сигналов АЛС и АЛС-ЕН, а также системного программного обеспечения.

Директор ООО «НПО САУТ»



Е.В. Веселов

14.10.2021

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Батраева В.В. на тему: «Повышение эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий» обладают актуальностью, представляют научно-практический интерес в области железнодорожных систем интервального регулирования и были использованы на кафедре «Тяговый подвижной состав» РУТ (МИИТ) при разработке Концепции развития локомотивных устройств безопасности, (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 28.01.2019 №123/р), в рамках договора с ОАО «РЖД» от 26.07.2018 г № 3001243 по теме «Разработка концепции развития локомотивных устройств безопасности», шифр работы – 7.349, категория РТП.

Руководитель работ,
заведующий кафедрой
«Тяговый подвижной состав»,
д.т.н., профессор

А.С. Космодамианский

Подпись Космодамианского А.С. заверено:



СПЕЦИАЛИСТ
ПО КАДРОВОМУ
ДЕЛОПРОИЗВОДСТВУ
ПОПОВА Т.Ю.

21.09.2021г.

По месту требования

АКТ
ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты диссертационной работы Батраева Владимира Владимировича на тему: «Повышение эффективности использования пропускной способности железнодорожных линий» были применены ООО «ИРЗ-Локомотив» при разработке и внедрении:

- бортовых приборов безопасности КЛУБ-У, ССПС-КХ и СОБ-400, как в части новых структурных аппаратных элементов, так и системного программного обеспечения с новыми функциями;
- системы автоблокировки АБТЦ-М;
- систем регистрации и дешифрации сигналов АЛС и АЛС-ЕН;
- программы импортозамещения.

Разработки имеют массовое внедрение на железной дороге.

Главный конструктор
ООО «ИРЗ-Локомотив»

А.Б. Филиппов
23.09.2021г.

