

УДК 656.34

**А. М. Костроминов, д-р техн. наук,
Т. В. Крючкова,
С. А. Рахманин,
О. Н. Тюляндин**

Кафедра «Электрическая связь»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Е. А. Стрекаловский

ГУП «Петербургский метрополитен»

КОНТРОЛЬ RFID-СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ПРИВЯЗКИ К ПУТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА

Статья посвящена вопросам диагностической поддержки системы бесконтактной привязки к координатам пути поездов метрополитена, основанной на RFID-технологии. Подробно освещены назначение и структура системы, главное внимание обращено на решение задачи контроля ридер-антенного тракта. Причиной интереса именно к этой теме послужило несколько случаев пропуска станционных радиочастотных меток при эксплуатации системы. Для объяснения данных инцидентов авторами была выдвинута гипотеза, что пропуски меток могут быть связаны с процессами увеличения переходного сопротивления в разъемах тракта «ридер – антенна» и затекания влаги в разъемные соединения при мойке вагонов. Предложен метод стационарного контроля состояния RFID-тракта аппаратуры системы, позволяющий убедиться в его работоспособности последнего в процессе плановых технических осмотров перед выездом поездов из электродепо на линию. В целях последующего внедрения метода были проведены необходимые экспериментальные исследования, направленные на изучение процесса увеличения затухания в ридер-антенном тракте. Приведены результаты обработки полученных статистических данных. С применением корреляционного анализа верифицированы основные положения предложенного метода. На основании полученных результатов даны рекомендации по применению метода контроля состояния RFID-тракта. Отмечена практическая ценность предложенного решения, позволяющего увеличить надежность функционирования системы за счет минимизации вероятности выхода на линию поездов с неработоспособными RFID-средствами.

RFID-технологии; RFID-тракт; ридер-антенный тракт; контроль состояния; увеличение затухания; система бесконтактной привязки к пути

Введение

Кафедрой «Электрическая связь» ПГУПС разработана и в 2015 г. введена в постоянную эксплуатацию система бесконтактной привязки к пути (СБПП) подвижного состава метрополитена [1–3]. Базовой платформой СБПП является

RFID-технология, использующая методы и средства радиочастотной идентификации [4, 5]. На этой платформе спроектирована, изготовлена, смонтирована, отлажена и введена в постоянную эксплуатацию СБПП многоцелевого назначения в составе комплекса устройств автоведения пассажирских поездов на 4-й линии ГУП «Петербургский метрополитен», а также на вагоне-путеизмерителе.

За период опытной и постоянной эксплуатации СБПП зарекомендовала себя в основном положительно, при этом система совершенствовалась, особенно в направлении повышения точности привязки к пути подвижного состава [6–9].

В настоящее время напольными RFID-средствами (RFID-метками) оборудованы все линии ГУП «Петербургский метрополитен».

Вместе с тем в процессе внедрения СБПП и при ее эксплуатации весьма остро встали вопросы диагностической поддержки как в целом системы, так и отдельных ее составляющих. Так, на этапе отладки взаимодействия СБПП со смежными системами с очевидностью обозначилась необходимость обязательного введения в алгоритмы взаимодействия операции квитирования (подтверждения принятого сообщения). Однако, несмотря на очевидность такой меры, далеко не все смежные системы оказались готовы к этой операции.

В процессе опытной эксплуатации комплекса устройств автоведения, использующих платформу СБПП, возникали ситуации с нарушением алгоритмов и параметров режимов автоведения (в понятие «автоведение» входит и автоуправление информационным обслуживанием пассажиров). Возникали существенные затруднения с определением той системы, входящей в комплекс, отказ или сбой которой привел к зафиксированному машинистом нарушению работы комплекса. Решению этого вопроса способствовало введение в СБПП регистраторов событий, анализ информации которых позволил определять, в какой из систем комплекса автоведения произошел сбой или отказ.

Есть еще одна причина, актуализирующая проблемы контроля RFID-средств. В процессе постоянной эксплуатации СБПП на 4-й линии метрополитена было зафиксировано несколько случаев пропуска вагонной частью СБПП (ридером) станционных меток СТ2. Эти случаи подвигли руководство электродепо, которое обслуживает поезда 4-й линии, поставить вопрос о превентивном контроле ридер-антенного тракта в стационарных условиях электродепо при техническом осмотре головных вагонов. Решению этого вопроса уделено особое внимание в статье.

1 Назначение и структура систем бесконтактной привязки к пути

Для облегчения понимания указанных во введении актуальных вопросов контроля в системе СБПП рассмотрим ее назначение и структурно-функциональную схему [1–3].

1.1 Назначение

Система бесконтактной привязки к пути подвижных единиц метрополитена является многофункциональной и предназначена для решения следующих задач согласно требованиям ПТЭ РФ метрополитенов и ТЗ на данные системы:

- способствовать выполнению графика движения поездов на линии, задаваемого центральным пунктом комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления ЦП КАС ДУ (разработка кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС);
- обеспечивать необходимой информацией исполнительные устройства для остановки поездов на станциях и на путях оборота с заданной точностью;
- обеспечивать необходимой информацией исполнительные устройства открытия и закрытия дверей вагонов поездов на станциях при остановке поездов в установленных местах;
- обеспечивать необходимой информацией исполнительные устройства, которые включают и отключают тяговые двигатели моторных вагонов поездов на станциях и перегонах и выполняют подтормаживание на перегонах в целях выполнения заданного режима ведения поездов;
- осуществлять точную привязку к точкам пути диагностических и других подвижных единиц метрополитена;
- обеспечивать информационное обслуживание пассажиров поезда;
- осуществлять управление режимами работы смежной системы бортовых устройств регистрации (БУР);
- обеспечивать синхронизацию времени бортовых устройств СБПП с системой единого времени ЦП КАС ДУ;
- обеспечивать информационную поддержку машинистов поездов с помощью поездных устройств индикации (ПУИ);
- стать основой для создания координатной системы интервального регулирования движения поездов на базе определения текущих точных координат поездов.

СБПП является программируемым устройством и состоит из технических средств и программного обеспечения.

1.2 Структура СБПП

Технические и программные средства СБПП, используемые в составе комплекса автоведения поездов, подразделяются на вагонные, станционные и линейные напольные (RFID-метки на перегонах, станциях, в тупиках) (рис. 1).

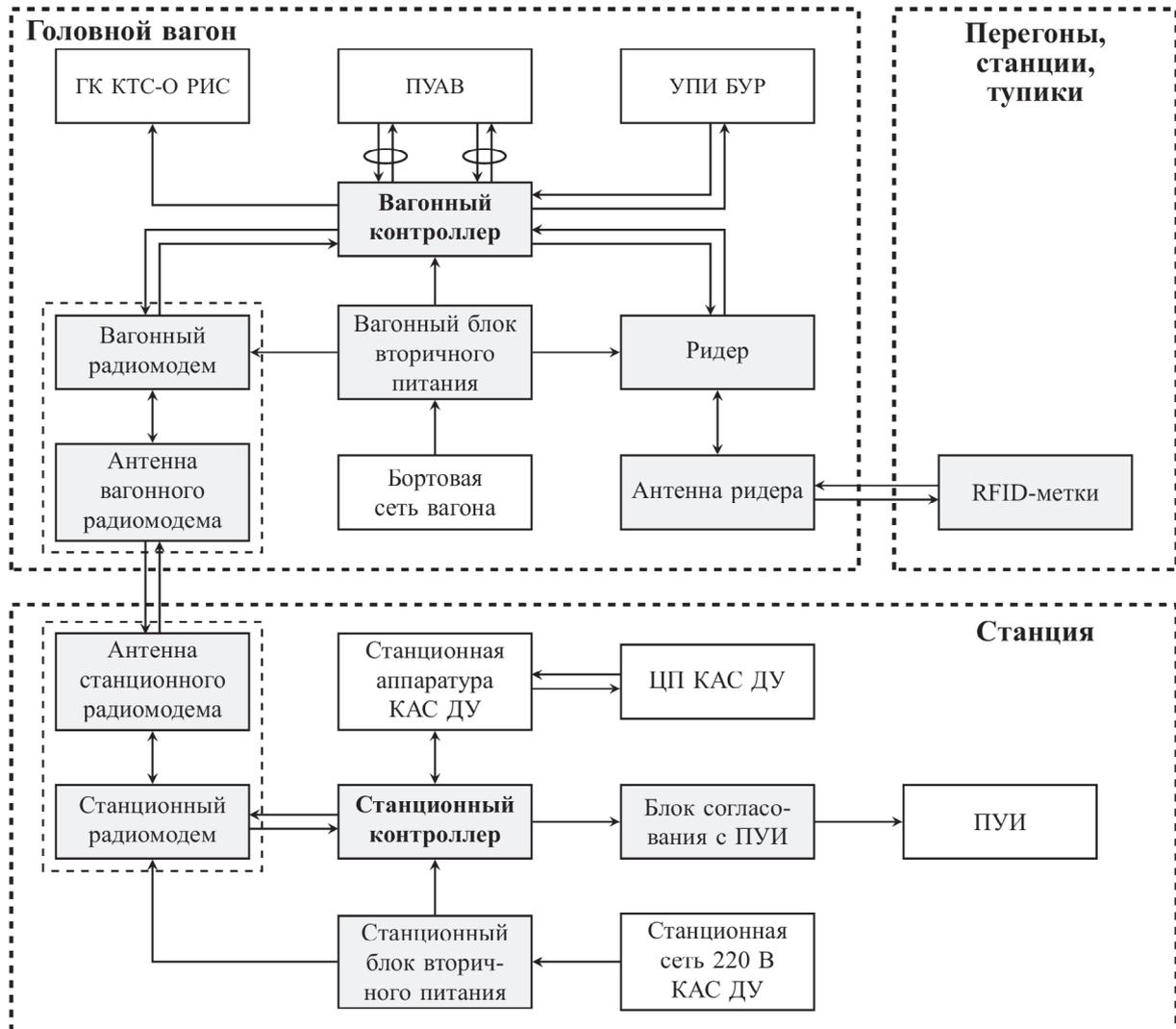


Рис. 1. Структурно-функциональная схема СБПП в комплексе с сопряженными системами:

ПУАВ – поездное устройство автоведения, реализует управление двигателями, тормозами, дверьми вагонов поездов и выполняет ряд других функций;
 ГК КТС-О РИС – головной контроллер комплекса технических средств рекламно-информационной системы; УПИ БУР – устройство передачи информации БУР

Вагонная часть СБПП содержит следующие блоки:

- ридер (приемопередатчик);
- антенна ридера;
- вагонный контроллер;
- вагонный радиомодем;
- антенна вагонного радиомодема (входит в состав радиомодема);
- вагонный блок вторичного питания.

Состав блоков станционной части СБПП следующий:

- станционный радиомодем;
- антенна станционного радиомодема (входит в состав радиомодема);

- станционный контроллер;
- блок согласования с поездными устройствами индикации ПУИ;
- станционный блок вторичного питания.

Напольная линейная составляющая СБПП представлена RFID-меткой (пассивным транспондером).

Бесконтактная пассивная программируемая RFID-метка (в дальнейшем – метка) – устройство, работающее на принципе RFID-технологии, хранит во внутренней памяти необходимую информацию и передает ее по факту обращения к ней по радиоканалу с соблюдением RFID-протокола Gen2 [10]. Запрограммированная в метках информация (табл. 1) обеспечивает реализацию метода автоведения поездов по напольным программам.

Обращение к метке производится с использованием приемопередающего устройства – ридера, реализующего RFID-протокол. Для управления

Таблица 1. Оперативная информация, программируемая в метках

Обозначение меток в КД	Функциональное назначение и информационное содержание меток
СТ1 (для станций)	Первая ступень торможения. Метка содержит код расстояния до остановки первого вагона (ОПВ) и код номера пути линии.
СТ1 (для тупиков)	Первая ступень торможения. Метка содержит код расстояния до ОПВ и код номера пути тупика.
СТ2 (для станций)	Вторая ступень торможения. Метка содержит код расстояния до ОПВ, код номера пути линии, код станции для УПИ БУР и код команды включения каналобразующих устройств вагонного радиомодема для связи со станционными устройствами СБПП.
СТ2 (для тупиков)	Вторая ступень торможения. Метка содержит код расстояния до ОПВ, код номера пути в тупике.
ОПВ (для станций)	Остановка первого вагона. Метка содержит коды стороны открытия дверей ДЛ (ДП)*, номинального времени стоянки, режима двигателей Х2 (Х3), времени включенного состояния тяговых двигателей при отпращивании поезда со станции, наименования станции, номера пути, номера линии.
ОПВ (для тупиков)	Остановка первого вагона. Метка содержит коды наименования станции, номера пути тупика, номера линии.
ОД	Отключение двигателей. Метка содержит код команды на выключение питания тяговых двигателей.
Х2	Режим двигателей Х2. Метка содержит код включения тяговых двигателей вагонов в режиме Х2.
Х3	Режим двигателей Х3. Метка содержит код включения тяговых двигателей вагонов в режиме Х3.
ТП	Подтормаживание. Метка содержит код команды на переключение тяговых двигателей в генераторный режим и код времени электроторможения.

* Датчик левой стороны и датчик правой стороны.

ридером, а также обработки информации, полученной из метки, используется контроллер, формирующий предусмотренные заданным алгоритмом команды для ПУАВ, управляющего двигателями, тормозами, дверьми вагонов поезда, для УПИ БУР и КТС-О, обеспечивающих оповещение пассажиров, для ЦП КАС ДУ, координирующей и корректирующей график движения поезда. При отсутствии связи с ЦП КАС ДУ автоведение поездов осуществляется по номинальным параметрам, запрограммированным в метках (время стоянки на станциях, время разгона поезда и режим работы двигателей).

Метки, вагонный и станционный контроллеры, ридер с антенной, бортовой и станционный радиомодемы с антеннами, элементы питания образуют СБПП.

Что касается пропуска ридером СБПП станционных меток СТ2, то анализ позволил предположить, что наиболее вероятной причиной этих событий может быть увеличение затухания сигналов в тракте «ридер – антенна» вследствие повышения переходного сопротивления в разъемах кабельного соединения ридера с антенной, а также возможного затекания влаги в разъемные соединения при мойке вагонов. Была сформулирована задача – разработать метод контроля состояния RFID-тракта «ридер – антенна», позволяющий убедиться в его работоспособности в процессе плановых технических осмотров перед выездом поездов из электродепо на линию.

2 Предлагаемый способ стационарного контроля RFID-тракта

Рассмотрим предлагаемый метод контроля состояния RFID-тракта аппаратуры СБПП. Вначале введем ряд уточняющих понятий.

Во-первых, условимся под *расстоянием* между радиометкой и антенной ридера понимать длину пространственного отрезка, соединяющего центры излучающей плоскости антенны и радиометки, причем последние располагаются друг напротив друга.

Во-вторых, введем условное понятие *предельного расстояния* между радиометкой и антенной ридера. Логично предположить, что из-за ограниченности мощности в выходной цепи ридера существует некоторое предельное расстояние между радиометкой и антенной, при котором возможно установление сеанса обмена информацией в RFID-системе (подробнее о процедуре установления сеанса связи можно ознакомиться в [10]).

И, в-третьих, определим понятие *ширины зоны радиовидимости*. В широком смысле под шириной зоны радиовидимости следует понимать максимально достижимую длину пространственного отрезка, параллельного излучающей плоскости антенны и совпадающего с осью движения метки, на котором возможно установление сеанса обмена информацией в RFID-системе. В узком смысле (справедливо при эксплуатации поездов) ширина

зоны радиовидимости – это метрическое перемещение поезда от момента начала установления сеанса связи с меткой до момента обрыва обмена информацией.

Перейдем к обоснованию и описанию предлагаемого метода контроля.

Перечислим необходимые аксиоматические сведения об исследуемом радиотракте:

- в выходной цепи ридеров поездной аппаратуры СБПП есть возможность изменения уровня мощности p_{cir} ;

- уровень мощности p_{rad} , излучаемой антенной, равен разнице между уровнем мощности в выходной цепи ридера и величиной «паразитного» затухания a_0 в ридер-антенном тракте, дБм:

$$P_{rad} = P_{cir} - a_0; \quad (1)$$

- «паразитное» затухание в исправном радиотракте принимается равным нулю;

- имеет место функциональная зависимость предельного расстояния между радиометкой и антенной d_m от уровня излучаемой мощности;

- существует функциональная зависимость ширины зоны радиовидимости l на некотором расстоянии между радиометкой и антенной от уровня излучаемой мощности.

Выберем параметр, подходящий для контроля состояния RFID-тракта. На первый взгляд может показаться, что таковым является значение «паразитного» затухания; но по нему сложно нормировать тракт «ридер – антенна», так как отклонения в работе системы остаются скрытыми.

С нашей точки зрения рациональнее в качестве контрольного параметра использовать ширину зоны радиовидимости на расстоянии между радиометкой и антенной – такую же, как в тоннеле метрополитена (около 215 см). Причина такого выбора заключается в прямой зависимости количества сеансов связи между ридером и меткой от ширины зоны радиовидимости при эксплуатации системы. Нетрудно заметить, что именно с увеличением числа сеансов связи увеличивается надежность функционирования RFID-системы.

Наконец, сформулируем двухэтапный метод контроля тракта, являющийся дедуктивным следствием изложенных аксиом.

На *первом этапе* проверки необходимо оценить значение «паразитного» затухания. Для этого следует:

- поместить метку на некотором контрольном расстоянии от антенны d_c (выбирается в зависимости от внешних условий: малое расстояние между смежными путями в электродепо, препятствие в виде стены и т. д.);

- подобрать уровень мощности p_c в выходной цепи ридера (например, последовательным перебором), при которой контрольное расстояние совпадет с предельным;

– после успешного подбора вычислить значение «паразитного» затухания, дБм:

$$a_0 = p_c - p_{rad}(d_c), \quad (2)$$

где $p_{rad}(d_c)$ – уровень излучаемой мощности исправным оборудованием, соответствующий предельному расстоянию d_c .

На *втором этапе* – оценить эксплуатационную ширину зоны радиовидимости. Для этого сначала вычислить фактический уровень излучаемой мощности (как разность уровня мощности в выходной цепи ридера и значения полученного «паразитного» затухания); а затем с помощью найденного значения по известной функциональной зависимости оценить искомый параметр.

Очевидно, что для реализации предложенного метода контроля необходимо исследовать функциональные зависимости между различными параметрами, характеризующими RFID-тракт, так как априорно они неизвестны.

3 Исследования RFID-тракта

Согласно предложенному методу контроля требуется экспериментальное изучение следующих функциональных зависимостей:

- зависимости предельного расстояния между меткой и антенной от уровня излучаемой мощности;
- зависимости эксплуатационной ширины зоны радиовидимости от уровня излучаемой мощности.

Для исследований этих зависимостей был разработан и реализован испытательный стенд, включающий в себя исправное каналообразующее RFID-оборудование аппаратуры СБПП (ридер, антенну, разъемы, высокочастотный кабель) и ноутбук со специальным программным обеспечением.

Отметим, что стенд не дает возможности вносить физически «паразитное» затухание. При исследовании зависимости эксплуатационной ширины зоны радиовидимости от уровня излучаемой мощности изменение последней осуществлялось путем изменения уровня мощности в выходной цепи ридера. Результативность этого метода была подтверждена экспериментально.

В представленных исследованиях принималась во внимание случайная природа чувствительности радиометок. Дисперсия параметров исправных каналообразующих устройств не рассматривалась. Используемый объем выборки составлял $n = 20$ меток.

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований.

Начнем с зависимости предельного расстояния между антенной и радиометкой от уровня излучаемой мощности. При ее исследовании использовалось стендовое оборудование (напомним, что в таком случае «паразитное»

затухание отсутствует и уровень излучаемой мощности равен уровню мощности в выходной цепи ридера).

Для каждого p , принадлежащего набору уровней мощности, излучаемой каналобразующей аппаратурой $p_{rad} = \{5, 10, 15\}$ дБм, было статистически исследовано предельное расстояние между антенной и радиометкой. Большие значения уровня мощности не рассматривались, так как при них контрольное расстояние превышает межпутевое расстояния в условиях электродепо.

Результаты исследований в графической форме представлены на рис. 2, где горизонтальными штрихами обозначен статистический интервал предельных расстояний, покрывающий диапазон возможных значений с вероятностью не менее 0,95.

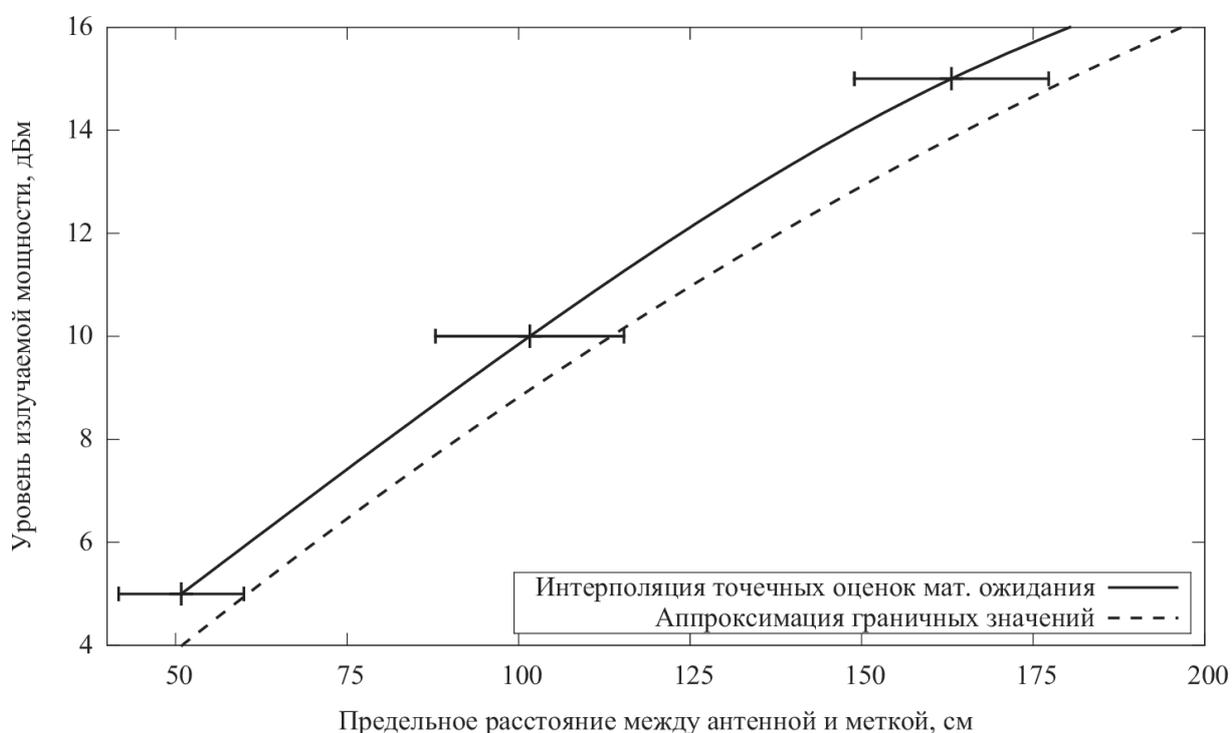


Рис. 2. Зависимость предельного расстояния между радиометкой и антенной от уровня излучаемой антенной мощности

Рассмотрим зависимость эксплуатационной ширины зоны радиовидимости от уровня излучаемой мощности. Напомним, что при эксплуатации расстояние между антенной и радиометкой составляет 215 см.

Для каждого p , принадлежащего набору уровней излучаемой мощности $p_{rad} = \{30, 28, 26, 24, 22, 20, 18\}$ дБ, была статистически исследована эксплуатационная ширина зоны радиовидимости меток.

Графически результаты исследований представлены на рис. 3. Вертикальными штрихами показан интервал возможных значений ширины зоны радиовидимости, покрывающий диапазон возможных значений с вероятностью не менее 0,95.

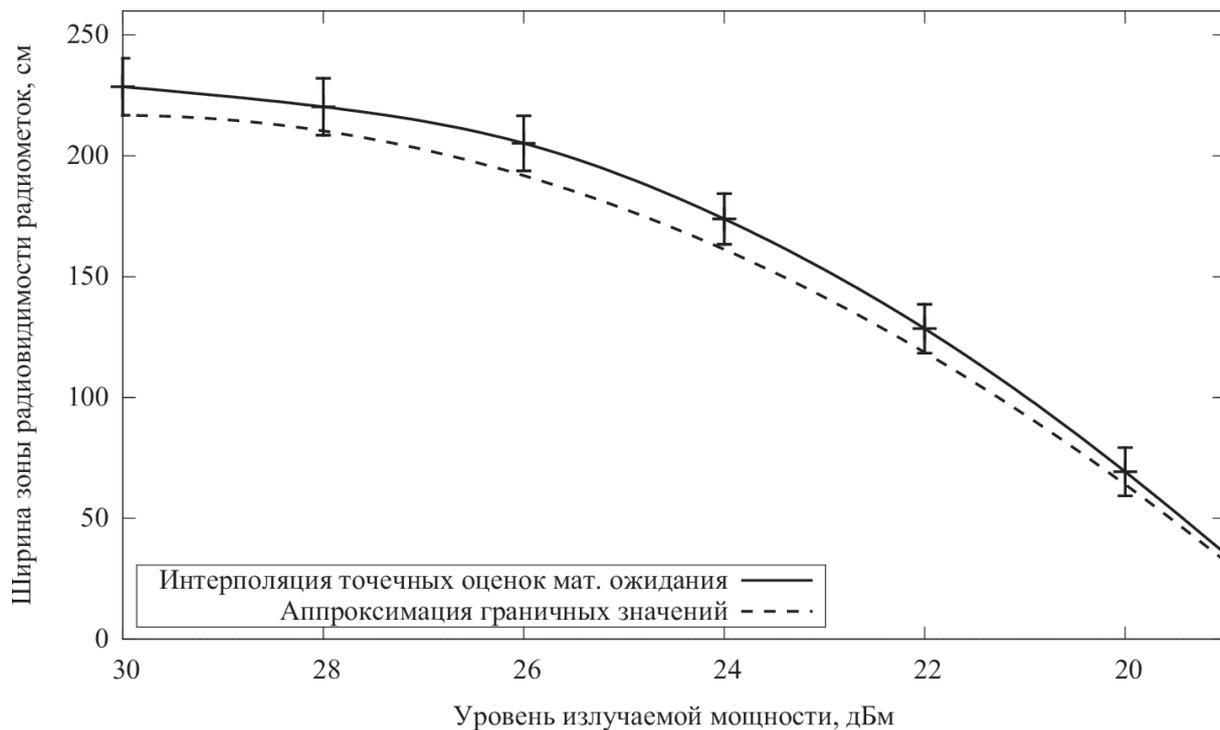


Рис. 3. Зависимость эксплуатационной ширины зоны радиовидимости от уровня излучаемой антенной мощности

При контроле состояния ридер-антенного тракта оценивалось значение «паразитного» затухания на контрольном расстоянии между антенной и меткой, выбираемом в зависимости от внешних условий. Анализируя корреляционную зависимость, оценим, насколько сильно влияние дисперсии чувствительности контрольной радиометки на полученный результат.

Для этого введем многомерную случайную величину $\mathbf{R} = (r_5, r_{10}, r_{15})^T$, где r_5, r_{10}, r_{15} — случайные величины предельного расстояния между антенной и радиометкой на уровне излучаемой мощности $p = 5, 10, 15$ дБм соответственно. Подробнее с многомерными случайными величинами и корреляцией можно ознакомиться в [11, 12].

С помощью свободного программного обеспечения Maxima¹ вычислим корреляционную матрицу многомерной случайной величины \mathbf{R} :

$$\text{Corr}(\mathbf{R}) = \begin{pmatrix} 1,000 & 0,963 & 0,832 \\ 0,963 & 1,000 & 0,813 \\ 0,832 & 0,813 & 1,000 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Полученный результат подтверждает справедливость предлагаемого решения: погрешность оценки «паразитного» затухания из-за дисперсии чув-

¹ <http://maxima.sourceforge.net>.

ствительности радиометки при изменении контрольного расстояния крайне мала.

4 Анализ результатов и рекомендации

Согласно предложенному методу контроля на первом этапе необходимо вычислить значение «паразитного» затухания в тракте по формуле (2). Сразу возникает логичный вопрос: по какой экспериментальной кривой определять уровень излучаемой антенной мощности для исправного оборудования?

В качестве эталонной предлагается выбрать кривую, соответствующую наихудшим возможным условиям. Данному требованию соответствует кривая, проходящая через граничные точки экспериментально полученной зависимости, как показано на рис. 2.

Аппроксимация предложенной кривой полиномом второй степени (использован метод наименьших квадратов [13, 14]) описывается следующим уравнением, дБм:

$$P_{rad}(d_m) = -0,0002d_m^2 + 0,1228d_m - 1,8322. \quad (4)$$

На втором этапе контроля по полученному значению «паразитного» затухания оценивается ширина зоны радиовидимости. Поступим аналогичным образом при выборе функциональной зависимости, характеризующей влияние «паразитного» затухания на ширину зоны радиовидимости, и выберем наихудшие условия (см. рис. 3). Аппроксимация интересующей функции полиномом второй степени имеет следующий вид, см:

$$l(a_0) = -1,507a_0^2 + 90,626a_0 - 1145,69. \quad (5)$$

На рис. 4 представлен возможный алгоритм контроля состояния радиотракта, выполненный с использованием псевдокода [15].

Заключение

В рамках статьи предложен стационарный метод контроля состояния ридер-антенного тракта аппаратуры системы бесконтактной привязки пути, основанный на функциональной связи зоны радиовидимости меток с мощностью излучения ридера и позволяющий оценить эксплуатационную ширину зоны радиовидимости l конкретного комплекта RFID-оборудования в условиях электродепо метрополитена.

Входные данные: контрольное расстояние d_c	
Выходные данные: оценка ширины зоны радиовидимости l	
/* Обозначим максимальный уровень мощности в выходной цепи ридера $p_m \leftarrow 30$;	*/
/* Определим эксплуатационный уровень мощности в выходной цепи ридера $p_e \leftarrow 30$;	*/
Инициализация ридера;	
/* Зададим начальное значение уровня мощности в выходной цепи ридера $p \leftarrow 6$;	*/
пока выполняется условие «метка не видна», выполнять	
$p \leftarrow p + 1$;	
если $p > p_m$ тогда	
Вывести сообщение «Метку не удалось обнаружить»;	
Прервать дальнейшее выполнение алгоритма;	
конец	
конец	
$p \leftarrow p - 1$;	
пока выполняется условие «метка не видна», выполнять	
$p \leftarrow p + 0,1$;	
если $p > p_m$, тогда	
Вывести сообщение «Метку не удалось обнаружить»;	
Прервать дальнейшее выполнение алгоритма;	
конец	
конец	
/* Вычислим номинальный уровень мощности для d_c $p_0 \leftarrow -0,0002 d_c^2 + 0,1228 d_c - 1,8322$;	*/
/* Оценим значение «паразитного» затухания в тракте a_0 $a_0 \leftarrow p - p_0$;	*/
/* Оценим ширину зоны радиовидимости l $l \leftarrow -1,507 (p_e - a_0)^2 + 90,626 (p_e - a_0) - 1145,69$;	*/

Рис. 4. Алгоритм контроля радиотракта

Чтобы принять решение о пригодности для эксплуатации этой аппаратуры на линии, следует сравнить полученное значение с допустимой эксплуатационной шириной зоны радиовидимости l_n , указанной в технической документации. При этом возможны два исхода:

– $l \geq l_n$; в таком случае оборудование признается работоспособным и допускается к эксплуатации;

– $l < l_n$; тогда контролируемое оборудование следует считать неработоспособным и требуется произвести его замену.

Таким образом, разработанный двухэтапный способ контроля состояния RFID-тракта аппаратуры СБПП в стационарных условиях электродепо позволяет решить задачу, актуальную для эксплуатации системы бесконтактной привязки к пути, базирующейся на RFID-технологии. С помощью этого метода при плановом техническом осмотре или после выполнения плановых технических ремонтов можно выявить в стационарных условиях депо повышенное затухание в ридер-антенном тракте и принять превентивные меры по приведению его в нормальное состояние до выхода поезда на линию.

Отметим актуальность дальнейших исследований в данном направлении с целью разработки автоматического метода контроля состояния ридер-антенного тракта непосредственно при обращении поездов на линии.

Библиографический список

1. Костроминов А. М. Применение RFID-технологий в системе автоведения поездов метрополитена / А. М. Костроминов, М. Ю. Королёв, В. В. Гаврилов, Т. В. Крючкова // Известия Петербургского гос. ун-та путей сообщения. – 2009. – № 3. – С. 91–97.
2. Костроминов А. М. Алгоритм функционирования системы управления движением электроподвижного состава в метрополитене на базе RFID-технологии / А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова // Известия Петербургского гос. ун-та путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 42–48.
3. Костроминов А. М. Регрессионная модель зоны радиовидимости для системы бесконтактной привязки к пути подвижного состава метрополитена / А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова // Транспорт Урала. – 2012. – Т. 34. – № 3. – С. 49–53.
4. Дшхунян В. Л. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Л. Дшхунян, В. Ф. Шаньгин. – М. : ООО «Издательство АСТ» : НТ Пресс, 2004. – С. 695.
5. Dobkin D. The RF in RFID: Passive UHF RFID in practice / D. Dobkin. – Newton, MA, USA : Newnes, 2007. – P. 504.
6. Пат. 104133 Рос. Федерация. Система управления движением электроподвижного состава. № 2010148951/11 / Королёв М. Ю., Костроминов А. М., Крючкова Т. В. ; заявл. 30.11.10 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 13. – 3 с.
7. Пат. 148447 Рос. Федерация. Система управления движением электроподвижного состава. № 2014130356/11 / Королёв М. Ю., Костроминов А. М., Гаврилов В. В., Тюляндин О. Н. ; заявл. 22.07.14 ; опубл. 10.12.14, Бюл. № 34. – 3 с.
8. Пат. 154201 Рос. Федерация. Система управления движением электроподвижного состава. № 2014152627/11 / Костроминов А. М., Колодкин М. Н., Тюляндин О. Н., Смирнов Б. О., Гаврилов В. В., Рахманин С. А. ; заявл. 24.12.14 ; опубл. 20.08.15, Бюл. № 23. – 3 с.
9. Пат. 154202 Рос. Федерация. Система управления движением электроподвижного состава. № 2014152629/11 / Костроминов А. М., Королёв М. Ю., Колодкин М. Н., Тюляндин О. Н., Смирнов Б. О., Рахманин С. А. ; заявл. 24.12.14 ; опубл. 20.08.15, Бюл. № 23. – 3 с.
10. EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID [Online] // GS1 EPCglobal Inc. 2015. – URL : http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/Gen2_Proto-col_Standard.pdf.
11. Freedman D. Statistics. International student edition / D. Freedman, R. Pisani, R. Purves. – 4th edition. – N. Y., USA : W. W. Norton & Company, 2007. – 720 p.
12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – 4-е изд. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

13. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю. В. Линник. – 2-е изд. – Л. : Физматгиз, 1962. – 352 с.
14. Rao C. R. Linear Models : Least Squares and Alternatives / C. R. Rao, H. Toutenburg. – 2nd edition. – N. Y., USA : Springer, 1999. – 427 p.
15. Introduction to Algorithms / T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, C. Stein. – 3rd edition. – Cambridge, MA, USA : The MIT Press, 2009. – 1312 p.

*Alexander M. Kostrominov,
Tatyana V. Kryuchkova,
Sergey A. Rakhmanin,
Oleg N. Tyulyandin*
«Electrical communication» department,
Petersburg state transport university

*Evgeniy A. Strekalovskiy,
St. Petersburg subway SUE*

On the problem of RFID means control within the system of non-contact track coordinate dimensioning system to subway rolling stock path

The article concentrates on the review and the solving of the problems of the diagnostics support of non-contact track coordinate dimensioning system (SBPP) of subway trains, based on RFID technologies. In the text there is a detailed discussion of the problems of assignment and of SBPP structure, but the main attention is paid to the solution of the problem of reader-antenna path control. The reason for the growing interest specifically to this subject were few cases of missing of station radio-frequency tags during the system operation. To explain that the authors have developed a hypothesis that interprets the missing of tags by the processes of increasing the intermediate resistance in connectors of reader-antenna path and of inflowing of the moisture into detachable connections during carriage washing. The article proposes, using axiomatic-deductive reasoning method, a method for controlling a stationary mode of SBPP equipment's RFID path, that allows to ensure the efficiency of the latter during the process of planned maintenance inspection before departure of trains from the railway depot to the line. To enable the possibility of further implementation of the method the necessary experimental research have been carried out, that were aimed at studying of the process of attenuation increasing in the reader-antenna path. The article provides the results obtained by processing the statistical data. The basic provisions of the proposed method are verified by using correlation analysis. Based on these results the article gives recommendations on the application of the method of the RFID path state control of the RFID. The practical value of the proposed solution, that

allows to increase the system operational reliability by minimizing the possibility of putting into operation the train line with inoperative RFID hardware, is also noted.

RFID technologies; RFID path; reader-antenna path; state control; attenuation increasing; non-contact track coordinate dimensioning system

References

1. Kostrominov A. M., Korolev M. Yu., Gavrilov V. V., Kryuchkova T. V. (2009). RFID-technology application for automatic subway train operation. Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya PGUPS), N 3, pp. 91–97.
2. Kostrominov A. M., Kryuchkova T. V. (2014). Operational algorithm for the traffic management system of subway electric stock based on RFID-technology. Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya PGUPS), N 2, pp. 42–48.
3. Kostrominov A. M., Kryuchkova T. V. (2012). Regression model of tags radio visibility zone for the system of non-contact binding to the subway track. Transport of the Ural (Transport Urala), vol. 34, N 3, pp. 49–53.
4. Dshhunyan V. L., Shan'gin V. F. (2007). Electronic Identification: contactless electronic identifiers and smart cards. Moscow, LLC «Izdatel'stvo AST», «NT Press», 2004, 695 p.
5. Dobkin D. (2007). The RF in RFID: Passive UHF RFID in practice. Newton, MA, USA, Newnes, 504 p.
6. Korolev M. Yu., Kostrominov A. M., Kryuchkova T. V. (2011). The traffic management system of electric stock: pat. 104133 Russian Federation. № 2010148951/11. Published 10.05.11. 3 p.
7. Korolev M. Yu., Kostrominov A. M., Gavrilov V. V., Tyulyandin O. N. (2014). The traffic management system of electric stock: pat. 148447 Russian Federation. № 2014130356/11. Published 10.12.14. 3 p.
8. Kostrominov A. M., Kolodkin M. N., Tyulyandin O. N., Smirnov B. O., Gavrilov V. V., Rakhmanin S. A. (2015). The traffic management system of electric stock: pat. 154201 Russian Federation. № 2014152627/11. Published 20.08.15. 3 p.
9. Kostrominov A. M., Korolev M. Yu., Kolodkin M. N., Tyulyandin O. N., Smirnov B. O., Rakhmanin S. A. (2015). The traffic management system of electric stock: pat. 154202 Russian Federation. № 2014152629/11. Published 20.08.15. 3 p.
10. EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID [Online]. GS1 EPCglobal Inc. 2015. URL: http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/Gen2_Proto-col_Standard.pdf.
11. Freedman D., Pisani R., Purves R. (2007). Statistics. International student edition. 4th edition, N. Y., USA, W. W. Norton & Company, 720 p.
12. Ventcel' E. S. (1969). Probability Theory. Moscow, Nauka, 576 p.
13. Linnik Yu. V. (1962). Method of least squares and principles of the theory of observations. 2nd edition, Leningrad, Fizmatgiz, 352 p.
14. Rao C. R., Toutenburg H. (1999). Linear Models: Least Squares and Alternatives. 2nd edition, N. Y., USA, Springer, 427 p.
15. Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein C. (2009). Introduction to Algorithms. – 3rd edition, Cambridge, MA, USA, The MIT Press, 1312 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила в редакцию 20.04.2016, принята к публикации 22.05.2016*

КОСТРОМИНОВ Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: triak@spb.grozon.ru

КРЮЧКОВА Татьяна Валентиновна – старший преподаватель кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: t.kruchkova@mail.ru

РАХМАНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: beethovin@mail.ru

ТЮЛЯНДИН Олег Николаевич – аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: tyulyandin@vklay.ru

СТРЕКАЛОВСКИЙ Евгений Александрович – заместитель начальника технического отдела управления ГУП «Петербургский метрополитен».
e-mail: strekalovski@metro.spb.ru

© Костроминов А. М., © Крючкова Т. В., © Рахманин С. А., 2016
© Тюляндин О. Н., Стрекаловский Е. А., 2016