

УДК 656.256.3+656.259.2

# О ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДАХ СНИЖЕНИЯ ЧИСЛА СБОЕВ В РАБОТЕ ОСНОВНЫХ ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ

**КУЗЬМИН Владислав Сергеевич**, ассистент кафедры; e-mail: vs.kuzmin@bk.ru

**СТРЯПКИН Леонид Игоревич**, старший преподаватель; e-mail: le-o-nid-s@yandex.ru

**РЯДЧИКОВ Руслан Олегович**, студент; e-mail: meteors771@gmail.com

Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Москва

Нарушения в работе приемного оборудования автоматической локомотивной сигнализации основных локомотивных устройств безопасности ввиду мешающего действия электромагнитных помех (сбои) — достаточно частое явление на сети российских железных дорог. Основной причиной возникновения таких сбоев следует считать изменение электромагнитной обстановки, связанное во многом с активным внедрением современного электрического подвижного состава. С одной стороны, сбои являются следствием несоответствия собственных параметров и алгоритма работы приемного оборудования основных локомотивных устройств безопасности помехе, существующей в канале индуктивной связи автоматической локомотивной сигнализации. С другой стороны — следствием отсутствия нормативной документации с едиными установленными требованиями к параметрам помехи, при воздействии которой основные локомотивные устройства безопасности, в первую очередь построенные на релейной элементной базе, должны обеспечивать штатную работу. За прошедшие десятилетия предпринимались многочисленные и разнообразные по своей технической сущности попытки решить указанные антагонистические противоречия. Настоящая работа является одной из первых попыток обобщить и проанализировать результаты проведенных исследований и разработок. В основе работы — результаты патентного исследования, проведенного авторами с целью выявления тенденций развития технических мер по повышению помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности. На их основе авторами были предложены, подробно описаны и обоснованы основные технические методы снижения числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности. Полученные результаты могут быть интересны специалистам, связанным с техническим обслуживанием, ремонтом, разработкой и совершенствованием основных локомотивных устройств безопасности, и будут использованы в дальнейшем при разработке теории числового кода автоматической локомотивной сигнализации.

**Ключевые слова:** устройство безопасности; автоматическая локомотивная сигнализация; числовой код; помехоустойчивость; электромагнитная совместимость; дешифратор; декодер.

**DOI:** 10.20295/2412-9186-2022-8-02-133-149

## ▼ Введение

В основе любой системы управления или регулирования движения поездов лежит канал связи, по которому осуществляется передача информации о допустимой скорости движения на данном участке пути, а также передача иной дополнительной информации, в частности предупредительного сигнала о допустимой скорости на следующем участке пути и т. п. На отечественных железных дорогах широкое применение нашли системы регулирования движения поездов, построенные на базе

канала индуктивной связи, — так называемые системы автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН). Передача информации в таком канале осуществляется с использованием электромагнитного поля, формируемого вокруг проводников, расположенных вдоль пути следования железнодорожного подвижного состава — чаще всего используют ходовые рельсы — протекающим по ним электрическим током. В качестве приемного оборудования в системах автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) выступают

основные локомотивные устройства безопасности, исчерпывающий перечень которых для сети железных дорог ОАО «РЖД» приведен в разделе III Инструкции<sup>1</sup>.

Изучением систем АЛСН до недавнего времени ученые и специалисты занимались исключительно в рамках теории рельсовых цепей при допущении, что аддитивные помехи существенного влияния на работу основных локомотивных устройств безопасности не оказывают, следовательно, ими можно было пренебрегать. Основным решением задачи помехоустойчивости было увеличение амплитуды сигналов в рельсовых цепях [1]. Тем не менее проблема снижения числа сбоев в работе локомотивных устройств безопасности для электрифицированных железнодорожных линий напрямую связана с вопросами электромагнитной совместимости оборудования используемых каналов связи с силовым оборудованием.

Существенное изменение электромагнитной обстановки вследствие внедрения современного электрического подвижного состава железных дорог, в частности подвижного состава, оборудованного асинхронными тяговыми двигателями, заставило обратить внимание специалистов на проблему электромагнитной совместимости систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) и тяговой сети на электрифицированных участках железных дорог и рассмотреть среди прочего вопрос влияния аддитивных помех на работу приемников сигналов АЛС основных локомотивных устройств безопасности.

Это привело к тому, что для различных помех, в частности для импульсных помех в [2], были получены описывающие их математические модели. В ряде работ, например в [3], решалась задача определения допустимости ввода в эксплуатацию электрического подвижного состава с определенными качествами или характеристиками по условиям электромагнитной совместимости с рельсовыми цепями с путевыми и локомотивными приемниками.

<sup>1</sup> Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту локомотивных устройств безопасности № Л229: распоряжение ОАО «РЖД» от 12 марта 2019 г. № 454/р; в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 6 августа 2020 г. № 1677/р. 648 с.

Кроме того, в ряде работ, в частности в [4], установлено, что основной причиной сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности является невыполнение условий электромагнитной совместимости с электрическим подвижным составом. Осуществлялись работы с целью определения нормативных значений параметров электромагнитной совместимости электрического подвижного состава железных дорог с рельсовыми цепями. В частности, в [5] данная задача была решена для фазочувствительных приемников рельсовых цепей. Разрабатывались структурные схемы индуктивных связей для определения механизма воздействия аддитивной помехи от тягового тока на приемники основных локомотивных устройств безопасности. Наиболее полная из таких моделей приведена в [6]. Ряд работ, например [7], описывают разработку приемной аппаратуры с перспективными алгоритмами обработки сигналов числового кода.

Зарубежные ученые также достаточно часто обращаются к проблеме электромагнитной совместимости, в первую очередь в связи с развертыванием на сети железных дорог современных систем регулирования и управления движением поездов. Так, в [8] рассматриваются эксплуатационно-технические вопросы, связанные с концепцией «Европейская система управления железнодорожным движением» (англ. European Rail Traffic Management System; сокращенно — ERTMS). В работе достаточно подробно описывается механизм возникновения электромагнитных помех, связанных с тяговым током, а также их влияние на функционирование бортового оборудования системы, в том числе принимающего сигналы от точечных датчиков — балис. В ряде работ зарубежных авторов, в частности в [9], приводятся результаты анализа влияния гармоник тягового тока на работу приемников рельсовых цепей. Там же авторами предложен способ подавления гармоник помехи от тягового тока. В работе [10] дается оценка эффективности экранирования источников электромагнитных помех. В [11] приводятся результаты сопоставительного анализа результатов натурного экспериментального исследования электромагнитной обстановки на участке железной

дороги с полученными ранее при помощи специализированного программного комплекса результатами моделирования. В [12] приводятся результаты исследования проблемы электромагнитной совместимости с источниками помех современной путевой микроэлектронной аппаратуры систем ЖАТ. В [13] рассмотрен вопрос влияния контактных проводных линий железнодорожного транспорта на работу кабельных линий связи, проложенных вдоль участка железнодорожного пути. В [14] зарубежными учеными рассмотрен вопрос оценки электромагнитной обстановки, характерной для электрифицированных участков железных дорог посредством компьютерного моделирования. Исследование осуществлено с применением теории многопроводной линии, достаточно часто используемой отечественными учеными для анализа процессов распространения сигналов и помех в линиях индуктивной связи ЖАТ.

Следует заметить, что зарубежные исследователи в последние годы чаще всего затрагивают вопросы электромагнитной совместимости, связанные с эксплуатацией систем ЖАТ на базе радиоканала. Так, в [15] приводятся результаты анализа действия помехи на работу приемопередающего оборудования систем управления движением поездов на базе радиоканала с использованием методов численного моделирования. Данный опыт хотя и может быть использован при развертывании современных систем интервального регулирования движения поездов, использующих радиоканал, в частности для технологии «виртуальной сцепки», но не может быть учтен в рамках настоящего исследования, проводимого в отношении непрерывных типов АЛС с индуктивным каналом передачи информации.

В большинстве своем ранее проводимые исследования были посвящены решению одной из двух задач: или определения границы помех, при которых основные локомотивные устройства безопасности сохраняют заданное качество своего функционирования, или разработки технических средств, способных штатно функционировать при заданных параметрах электромагнитных помех. Фактически в рамках первой задачи определялся

существующий уровень помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности и методы его корректировки при любом изменении электромагнитной обстановки. В рамках второй задачи рассматривался вопрос снижения помехоэмиссии в канале «путь — локомотив» АЛС. Изредка специалистами описывался и подвергался анализу третий способ достижения цели — совершенствование системы технического обслуживания и ремонта основных локомотивных устройств безопасности [16].

Следует отметить, что практически отсутствуют комплексные исследования, посвященные анализу ранее проводимых работ и осуществленных разработок с формированием единого направления по снижению числа технических нарушений в работе основных локомотивных устройств безопасности. Настоящая работа призвана устранить данный недостаток. В соответствии с этим целью настоящей работы является обобщение и анализ опыта по повышению помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности. Для достижения поставленной цели в рамках настоящей работы решаются следующие задачи:

- анализ известных технических мер по снижению числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности в условиях их эксплуатации с выявлением основных тенденций их развития;
- формирование основных положений теории приема сигналов АЛС;
- описание синтезированного технического решения, направленного на снижение числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности.

В качестве объекта исследования выступает процесс эксплуатации основных локомотивных устройств безопасности с индуктивным каналом передачи информации в условиях изменяющейся электромагнитной обстановки. Предметом исследования являются технические решения, направленные на повышение помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности.

В качестве основного метода в настоящей работе использован общеизвестный метод

анализа, примененный к результатам проведенной авторами прикладной научно-исследовательской работы в форме патентного исследования с учетом требований, предъявляемых к такому виду работ<sup>2</sup>. Для создания перспективных технических решений с учетом тенденций развития предмета исследования использован общеизвестный метод синтеза.

## **1. Анализ технических решений, направленных на снижение числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности**

### **1.1. Общие положения**

Для выявления тенденций развития технических решений, направленных на снижение числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности, авторами было проведено исследование уровня техники в Российской Федерации с глубиной поиска 20 лет в форме патентного исследования. Глубина поиска определена с учетом того, что именно на эти годы пришлись активные разработка и внедрение современного электрического подвижного состава с асинхронным тяговым приводом, начатые в 1998 г. с выпуска одной единицы электровоза ЭП10 [17].

С учетом предмета исследования, сформулированного ранее, были определены следующие наиболее подходящие группы Международной патентной классификации (МПК): B61L 1, B61L 3, B61L 13, B61L 15, B61L 23, B61L 25, B61L 27, B61L 99. При задании поисковых терминов использовались следующие ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, защита рельсовых цепей, защита локомотивных устройств безопасности, защита автоматической локомотивной сигнализации, интервальное регулирование. Поиск осуществлен по реферативной базе Федерального института промышленной собственности.

В результате поиска было отобрано 49 патентных документов. Результаты поиска актуальны на дату 20 марта 2022 г.

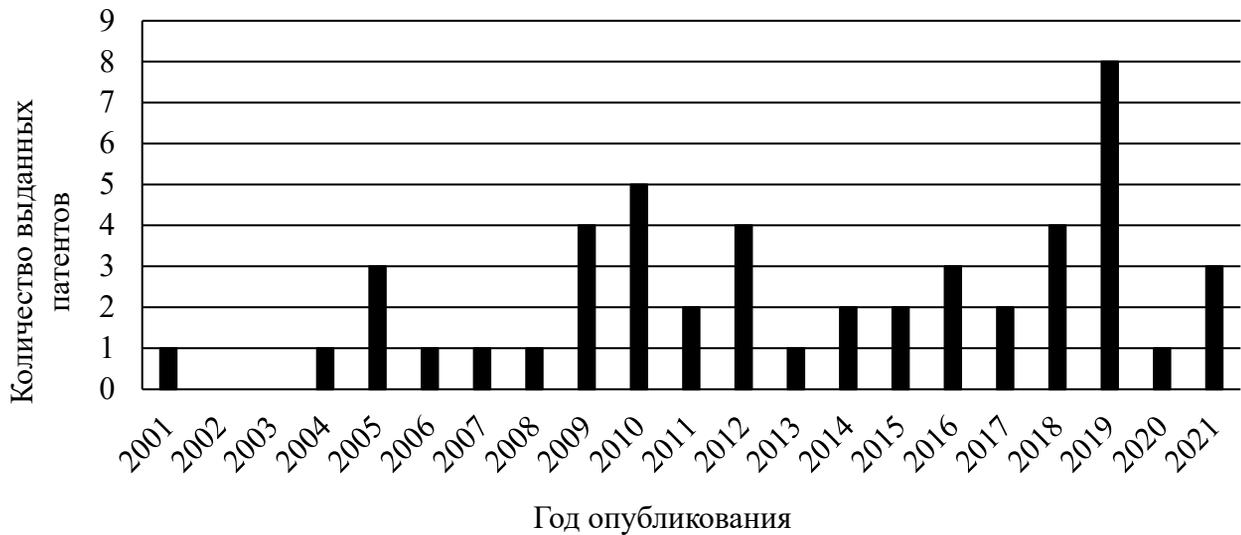
<sup>2</sup> ГОСТ Р 15.011—96. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. М., 2006. III. 16 с. (Система разработки и постановки продукции на производство).

### **1.2. Оценка количественных результатов патентного исследования**

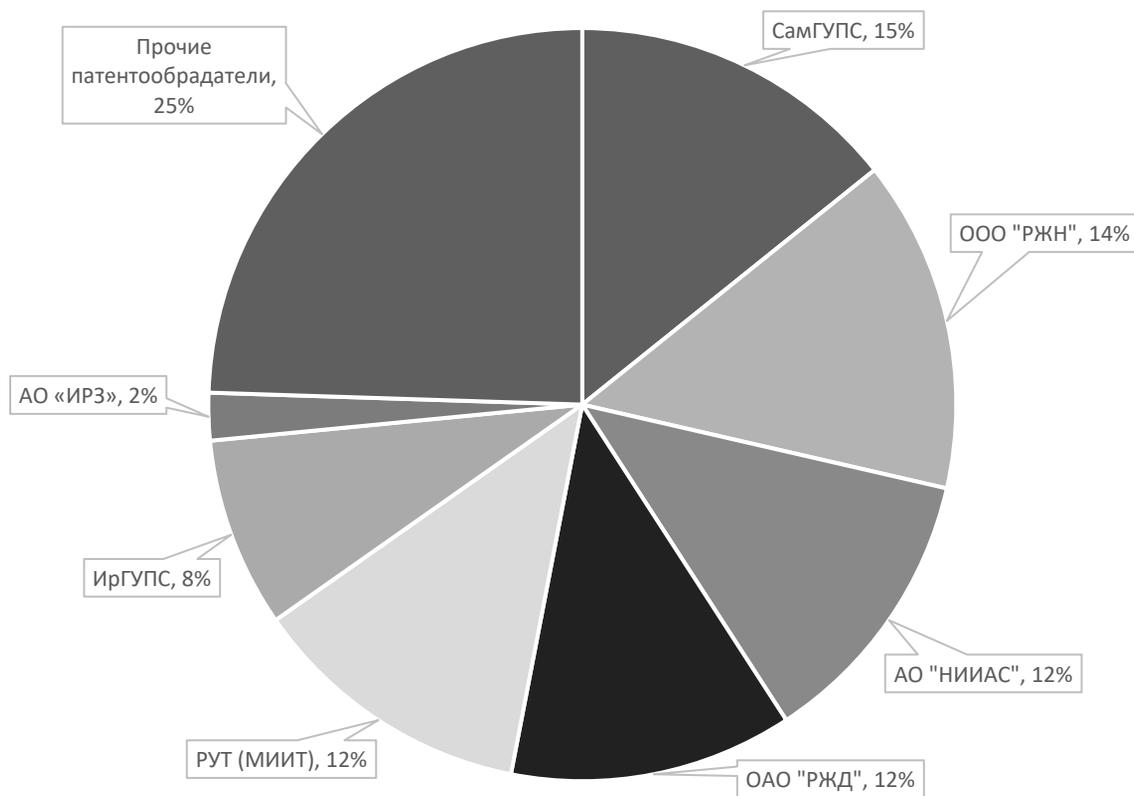
Проанализируем количественные результаты проведенного патентного исследования. Для этого необходимо построить две гистограммы: распределение числа выданных патентов по годам и числа выданных патентов по патентообладателям. Первая (рис. 1) позволит определить всплески изобретательской активности для данного предмета исследования. Вторая (рис. 2) позволит выявить основных патентообладателей, обладающих компетенциями по предмету настоящего патентного исследования.

В распределении числа выданных патентов по годам очевидны два всплеска изобретательской активности, которые приходились на 2010 и 2019 годы. Первый всплеск изобретательской активности связан с двумя принципиальными вопросами: обеспечением электромагнитной совместимости при тяжеловесном движении на участках железных дорог со сложным профилем и электрической тягой переменного тока с уже эксплуатируемым электрическим подвижным составом (работы под руководством д.т.н., проф. В. И. Шаманова [18–20]) и первыми результатами эксплуатации электровозов с асинхронными тяговыми двигателями серии ЭП10 (работы за авторством и под руководством д.т.н., проф. Ю. А. Кравцова [21–24]).

Второй всплеск связан с тем, что в Российской Федерации в 2010 г. был впервые представлен магистральный электровоз 2ЭС10 [25], в том же году завершен проект электровоза ЭП20 [26]: начинаются активные разработка и внедрение на сети железных дорог ОАО «РЖД» современного электрического подвижного состава с асинхронным тяговым приводом. Последующее отсутствие снижения числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности в течение длительного времени, разумеется, снова привлекло внимание ученых к вопросу электромагнитной совместимости электрического подвижного состава и приемного оборудования основных локомотивных устройств безопасности; теперь уже с учетом опыта эксплуатации устройств и систем ЖАТ в изменившейся электромагнитной обстановке на целых участках железных



**Рис. 1.** Распределение числа выданных патентов по годам



**Рис. 2.** Распределение числа выданных патентов по патентообладателям

дорог. На фоне этого непрерывно продолжались работы, связанные с совершенствованием технических и программных средств Комплексного локомотивного устройства безопасности и Безопасного локомотивного объединенного комплекса.

Анализ второй гистограммы (см. рис. 2) показал, что компетенциями, связанными

с совершенствованием технических средств основных локомотивных устройств безопасности, обладают всего шесть юридических лиц. При этом в основном патенты принадлежат или непосредственно ОАО «РЖД», или научным и образовательным организациям в области железнодорожного транспорта. Один патент принадлежит заводу-изготовителю

оборудования. Незначительная доля патентов (10 %) принадлежит физическим лицам. Это, а также малая доля действующих патентов (33 %) от их выданного числа указывают на малую долю непосредственно внедренных технических решений и на сложность такого внедрения с учетом существующего уровня техники, ввиду необходимости осуществления мероприятий, направленных на доказательство безопасности.

### 1.3. Анализ существенных признаков отобранных патентных документов

Рассмотрим подробнее наиболее существенные признаки, использованные авторами для повышения помехоустойчивости работы приемной аппаратуры основных локомотивных устройств безопасности.

В работе [27] авторами рассмотрен вопрос реализации безопасного микропроцессорного основного локомотивного устройства безопасности с двухканальной архитектурой. В [28] решена проблема экстренных торможений из-за скачкообразного изменения координаты локомотива. Реализация микропроцессорного устройства с дублированным каналом обработки информации продолжена в [29, 30]. В [31] для исключения сбоев показаний локомотивного светофора на лунно-белый при наличии помехи прекращают дешифрацию сигналов, поступающих по каналу индуктивной связи, и переходят к резервному каналу связи — радиоканалу — и резервному источнику информации о наличии впереди железнодорожного подвижного состава — центральному посту радиоблокировки. В [32] авторами предложено исключить операцию дифференцирования смеси сигнала и помехи при ее передаче из рельсовой линии на вход локомотивного приемника путем использования датчиков Холла, что позволило бы снизить уровень высокочастотных помех и импульсных помех на входе локомотивного приемника. Далее идея получила развитие в [33], при этом дополнительно решалась проблема так называемой боковой качки. В [34] для установления причины сбоя в работе основных локомотивных устройств безопасности предложено осуществлять регистрацию величины тягового тока. Отдельного

внимания заслуживает [35], где информацию о сигнальном показании светофора предложено передавать по проводу тягового тока. При этом защита от помехи, связанной с электрической дугой, реализуется в данной работе за счет передачи двух одинаковых сигналов в разных частотных диапазонах. В работе [36] осуществляют корреляционное сравнение спектральных плотностей двух кодовых комбинаций: текущей и предыдущей. В случае совпадения спектральную плотность далее корреляционно сравнивают с эталонными для всех типов кодовых комбинаций и формируют по результатам сравнения (по наибольшей величине коэффициента корреляции) соответствующий сигнал локомотивного светофора. В [37] для подавления импульсной помехи используют динамическое пороговое устройство.

Для исключения воздействия помехи в [38] предложено использовать однополосный прием сигналов отдельно для верхней и нижней боковой составляющих спектральной плотности амплитудно-модулированного сигнала АЛС с последующим сравнением результатов вычисления средних мощностей смеси сигнала и помехи для нижней и верхней боковой составляющих. При неравенстве этих величин сигнал локомотивной сигнализации принимают по результату работы приемника той боковой составляющей, для которой средняя мощность смеси сигнала и помехи оказалась меньше.

В [39] реализована структура, представляющая собой, по существу, приемник амплитудно-манипулированных сигналов. В рамках предложенной структуры сначала осуществляют жесткое амплитудное ограничение, затем дискретизацию, квантование по уровню и цифровую фильтрацию. Сигнал на выходе преобразуют в аналоговый, представляющий собой последовательности видеоимпульсов. В [40] для компенсации помехи в приемных катушках, связанной с асимметрией тягового тока в рельсах, используют дополнительные компенсирующие катушки, расположенные над основными катушками таким образом, что при полной симметрии их геометрического положения относительно уровня головки рельсов и оси железнодорожного пути

коэффициент их связи с соответствующими рельсовыми нитями равен нулю. При «боковой качке» кузова локомотива ЭДС, наведенная в них, компенсирует ЭДС помехи, наведенную в основных приемных катушках. В [41] схожее техническое решение с дополнительными катушками использовано для компенсации помехи при прохождении локомотивом кривых. В [42] используются система фильтров, выделяющих из смеси сигнала и помехи помеховые составляющие выше и ниже частоты несущего сигнала, после чего с учетом изменения фазы при прохождении фильтров вычитают их из первоначальной смеси сигнала, и помехи, вследствие чего на вход локомотивного приемника поступает только полезный сигнал. В [43] использовано бланкирование, которое в моменты появления импульсной помехи исключает передачу на вход локомотивного приемника смеси сигнала и помехи.

В [44–47] рассмотрен вопрос защиты основных локомотивных устройств безопасности от помех, возникающих при движении по участкам железнодорожных линий, пересекаемых линиями электропередач. Повышение помехоустойчивости достигается, в частности, за счет изменения алгоритма работы релейного дешифратора путем добавления в него дополнительной цепочки питания реле соответствия СР.

Анализ технических решений, изложенных в рассмотренных патентных документах, позволяет сформулировать следующие тенденции развития предмета исследования:

- в технических решениях реализуют технические меры, направленные на учет влияния различных электромагнитных помех, характерных для канала индуктивной связи «путь — локомотив», в частности помехи при движении в кривых, при боковой качке кузова, при пересечении линий электропередачи, при действии импульсной помехи и т. д.;
- технические меры, исключающие ложное — под действием помехи — изменение сигнала локомотивного светофора, используют: изменение алгоритма работы дешифратора (в большинстве случаев увеличивают инерционность системы при проследовании участков, где

действуют помехи значительных уровней на время проследования таких участков), блокирование передачи смеси сигнала и помехи на вход локомотивного приемника на время действия помехи значительного уровня или еще один канал связи — чаще всего радиоканал — для дублирования информации о допустимой скорости движения (расстояния до точки прицельного торможения);

- высокая эффективность технических решений, использующих принципы теории оптимального приема сигналов, в частности корреляционный прием сигналов, оптимальную линейную фильтрацию.

С учетом того, что модернизация оборудования путем полной или частичной замены ее функциональных блоков является экономически нецелесообразной, остановимся более подробно на вопросе частичной модернизации существующих основных локомотивных устройств безопасности, в частности построенных на релейной элементной базе. Из вышеперечисленных тенденций данному направлению полностью соответствует корректировка алгоритма работы релейного дешифратора. Для того чтобы обосновать такие изменения в работе центрального обработчика основных локомотивных устройств безопасности (дешифратора/декодера) с точки зрения повышения помехоустойчивости его работы, сформулируем далее основные положения теории приема сигналов АЛС.

## **2. Основные положения теории приема сигналов автоматической локомотивной сигнализации в условиях действия аддитивных помех**

Сигналы автоматической локомотивной сигнализации поступают в рельсовую линию непрерывно, вследствие чего можно сформулировать первую характеристику числового кода: числовой код является кодом с повторением. Реализация непрерывной передачи сигнала связана среди прочего с тем, что его «накачка» в рельсовую линию обеспечивает однозначную реакцию приемного оборудования основных локомотивных устройств безопасности на отсутствие сигнала — начало

реализации торможения. Оборудование переходит в защитное состояние: на локомотивном светофоре включен белый или красный огонь; введены существенные ограничения на допустимую скорость движения.

Для того чтобы сформулировать теорию приема сигналов АЛС, требуется четко разделить условия, при которых прием сигналов будет осуществляться, а при каких — нет. Это удобно осуществить посредством критерия помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности.

В общем случае, когда речь идет об аналоговом виде модуляции (сигналы АЛСН), в качестве критерия помехоустойчивости работы оборудования следует использовать соотношение сигнал — помеха на входе приемника. Применить данный критерий по отношению к локомотивной сигнализации — не реализуемая на практике задача. Все дело в том, что отсутствует единое мнение о предельных параметрах помехи (амплитудно-частотной ее характеристике), при которой должна наблюдаться штатная работа приемного оборудования основных локомотивных устройств безопасности. При этом агрегирование всех возможных помех в условиях эксплуатации и условий их возникновения приведет к тому, что оценка помехоустойчивости будет выполняться бесконечно долго и без очевидного и удобного для применения критерия.

Для отыскания критерия помехоустойчивости корректным видится анализировать не работу отдельных блоков, а работу оконечного устройства, принимающего решение о включении сигнального показания на локомотивном светофоре. В качестве такого устройства в релейной аппаратуре выступает релейный дешифратор числового кода типа ДКСВ.

Дело в том, что именно дешифратор по последовательности импульсов и пауз, формируемой локомотивным приемником, управляет огнями локомотивного светофора и осуществляет периодическую проверку бдительности машиниста тягового подвижного состава. Сигнал на его входе является смесью полезного сигнала и всех помех, которые только могли бы быть: это и помехи из рельсовой линии (в том числе от тягового тока); помехи, связанные

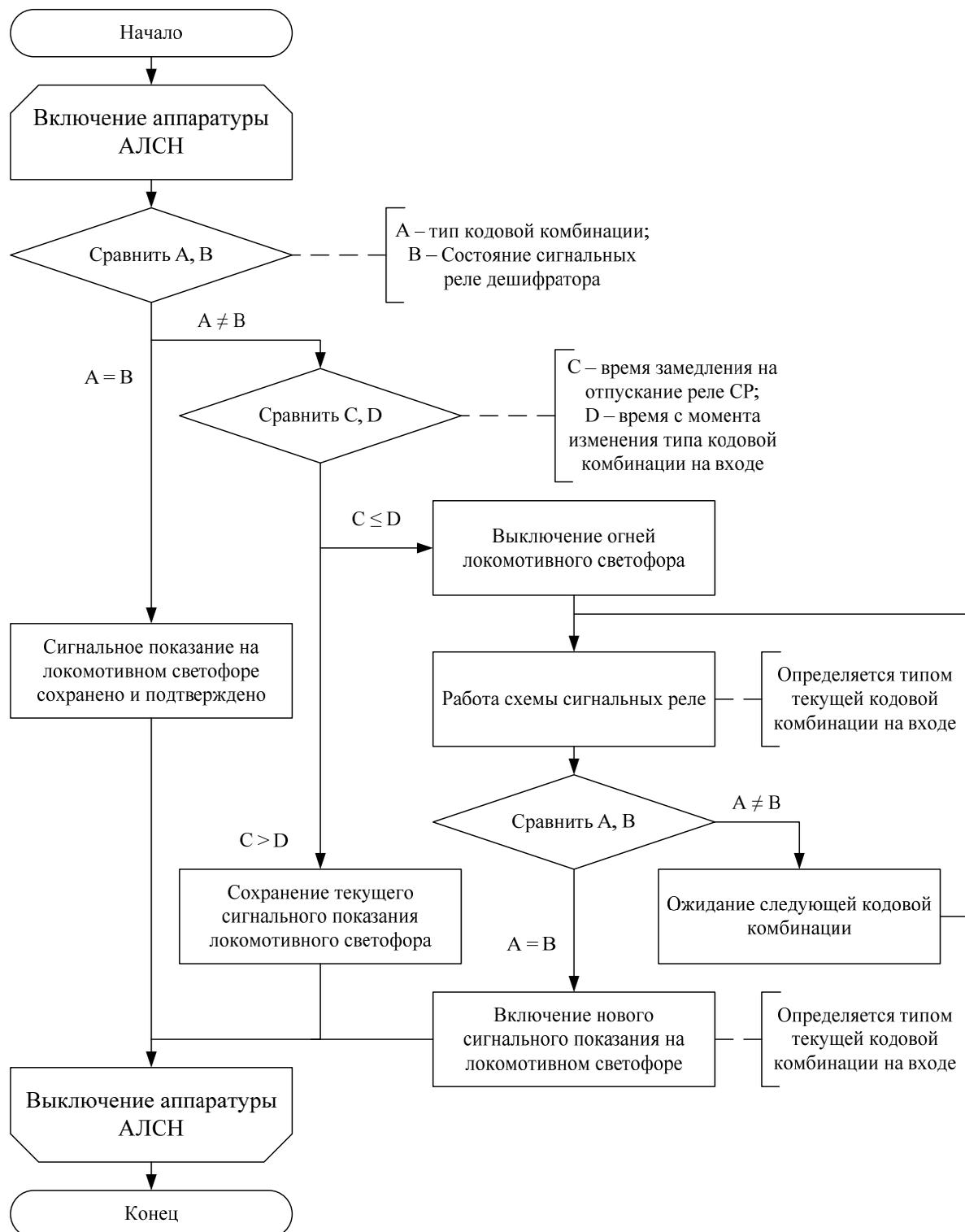
с асимметрией положения приемных катушек относительно ходовых рельсов; помехи от работы фильтра и усилителя.

Если помеха все же дошла до дешифратора числового кода, то парировать ее придется именно ему за счет своего алгоритма работы, а если его алгоритм не сможет с этим справиться, то и весь комплект аппаратуры не будет устойчив к воздействию помехи.

В состав дешифратора числового кода входят четыре схемы, при этом интерес с точки зрения реализации приема кода с повторением представляют схема реле соответствия и управляемая ею схема сигнальных реле, алгоритм работы которых описан на рис. 3. Работа схемы реле соответствия аналогична алгоритму работы детектора «свой — свой»: последовательность действий дешифратора по управлению показаниями локомотивного светофора выбирается на основе сравнения вида этой кодовой комбинации и текущего показания локомотивного светофора или, если точнее, состояния сигнальных реле дешифратора. Схема реле соответствия тем самым является по существу самонастраиваемым (по текущему показанию локомотивного светофора) детектором, решающим задачу обнаружения сигнала (кодовой комбинации, соответствующей текущему показанию локомотивного светофора), но никак не различения разных типов кодовых комбинаций числового кода. В связи с выполняемой дешифратором числового кода задачей уровень помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности, построенных на данном принципе, оказывается достаточно низким.

За счет этого реализуется основное свойство кода с повторением, связанное с тем, что вероятность неправильного декодирования последовательности кодовых комбинаций тем меньше, чем больше передается в этой последовательности подряд следующих одинаковых кодовых комбинаций, так как, в свою очередь, вероятность исказить две и более кодовых комбинаций подряд меньше, чем вероятность искажения одной отдельной кодовой комбинации.

Следует также отметить, что дешифратору безразличны характеристики искажений поступающей на его вход кодовой комбинации,



**Рис. 3.** Алгоритм работы схемы реле соответствия СР и схемы сигнальных реле

если параметры ее длительностей импульсов и пауз не соответствуют предельно возможным при текущей регулировке замедлений на срабатывание и отпускание реле дешифратора длительностям импульсов и пауз для типа кодовой

комбинации, соответствующей текущему показанию локомотивного светофора. Иными словами, искажение отдельной кодовой комбинации для схемы реле соответствия СР эквивалентно отсутствию сигнала на его входе в

течение периода следования кодовой комбинации данного типа, соответствующего текущему показанию локомотивного светофора.

Пользуясь этим, можно сформулировать и принять следующее положение в рамках теории числового кода: кодовую комбинацию числового кода можно считать единым целым, так как информацию о допустимой скорости содержит не отдельный импульс кодовой комбинации, а кодовая комбинация в целом; любое количественное изменение импульсов и пауз в кодовой комбинации или искажение временных параметров импульсов и пауз, которое может привести к неправильному определению дешифратором типа поступившей кодовой комбинации, приводит к изменению алгоритма работы дешифратора (декодера).

В соответствии с этим представляется возможным в последующем применить критерии, свойственные цифровым сигналам, т. е. перейти к вероятности ошибки  $P_{ОШ}$ . Только такая вероятность ошибки  $P_{ОШ}$  будет рассматриваться не в отношении отдельного элементарного импульса, как это было бы в случае цифрового сигнала (коим, напомним читателю, сигналы, применяемые в АЛСН, не являются), а в отношении кодовой комбинации числового кода в целом.

Приведем некоторые формулы, поясняющие и развивающие идею предложенного критерия. Пусть  $P_{И}$  — вероятность изменения (в случае действия помехи соответствует вышеописанной  $P_{ОШ}$ ) отдельной кодовой комбинации, т. е. такого изменения кодовой комбинации, при котором дешифратор воспримет ее как отличную от текущего состояния схемы сигнальных реле;  $P_{В}$  — вероятность возникновения события «выключение огней локомотивного светофора» (событие предшествует изменению состояния схемы сигнальных реле и включения нового сигнального показания на локомотивном светофоре);  $N$  — число следующих подряд кодовых комбинаций; тогда имеет место формула (1), описывающая соотношение между вероятностью искажения отдельной кодовой комбинации, количеством таких кодовых комбинаций и вероятностью возникновения события «выключение огней локомотивного светофора»:

$$P_{В} = P_{И}^N. \quad (1)$$

Очевидно, что число  $N$  зависит от времени, в данном случае от времени замедления на отпущение реле СР, которое мы обозначили как  $C$ , и периода следования кодовых комбинаций  $T$ . Тогда формулу (1) возможно записать в виде:

$$P_{В} = P_{И}^{(C/T)}, \quad (2)$$

при этом результат деления  $C$  на  $T$  следует всегда округлять к большему целому числу. Вероятность же смены сигнального показания при поступлении последовательности изменений кодовых комбинаций  $P_{СМ}$  может быть выражена следующей формулой:

$$P_{СМ} = P_{В} \cdot P_{И}^F = P_{И}^{(C/T)} \cdot P_{И}^F = P_{И}^{(C/T) + F}, \quad (3)$$

где  $F$  — параметр, равный нулю, если выключение огней локомотивного светофора пришлось на первую половину кодовой комбинации, и единице, если выключение огней локомотивного светофора пришлось на вторую половину кодовой комбинации. Введение такого параметра необходимо в связи с тем, что сбор схемы сигнальных реле осуществляется преимущественно во время длинной паузы, отделяющей между собой отдельные кодовые комбинации, и, если выключение огня локомотивного светофора пришлось на длинную паузу, схема реле соответствия может не успеть собраться и реле соответствия СР может не встать под ток, обеспечив тем самым подключение сигнальных реле к плюсовому полюсу питания через цепочки их самоблокировки. Таким образом, для смены сигнального показания на локомотивном светофоре может потребоваться  $N$  или  $(N+1)$  кодовых комбинаций. Чем больше число  $N$ , тем выше помехоустойчивость работы аппаратуры локомотивной сигнализации. Однако число  $N$  не должно быть очень большим, так как это существенно влияет на безопасность движения поездов.

Такой подход позволяет однозначно определить заданное качество функционирования — критерий, характеризующий уровень устойчивости к электромагнитной помехе (уровень помехоустойчивости) — и выразить его числом

подряд искаженных кодовых комбинаций на входе дешифратора  $N$  путем анализа работы самого дешифратора. Практика применения предложенного критерия показала его эффективность и при анализе помехоустойчивости работы микропроцессорных устройств безопасности.

С учетом вышеизложенного были синтезированы соответствующие технические решения, направленные на повышение помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности и снижения числа сбоев в их работе в условиях сложной электромагнитной обстановки. Рассмотрим принцип их работы на одном из примеров более подробно.

### 3. Снижение числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности путем изменения алгоритма декодирования кодовых комбинаций

Авторами был предложен вариант измененного алгоритма декодирования кодовых комбинаций числового кода, основанный на увеличении времени принятия решения о передаваемом показании путевого светофора при определенных вариантах смены и искажений кодовых сигналов в рельсовой линии.

Данный алгоритм может быть применен как для релейной, так и для микропроцессорной аппаратуры. Для реализации этого способа снижения интенсивности сбоев в микропроцессорной аппаратуре требуется только корректировка программного обеспечения, не затрагивающая аппаратную часть системы обеспечения безопасности. Применение способа в релейном дешифраторе сводится к незначительным схмотехническим изменениям, связанным с добавлением блока изменения алгоритма работы дешифратора (сокращенно — БИАР), схема которого приведена на рис. 4. По предварительным прогнозам, себестоимость блока БИАР с учетом пусконаладочных работ в десятки раз ниже себестоимости комплекса мероприятий по полному переоборудованию локомотивов с заменой устройств на более современные.

Представленная схема обеспечивает изменение замедлений сигнальных реле дешифратора КЖР, ЖР, БР (выводы X1–X3). Алгоритм дешифрации кодовых комбинаций числового кода при использовании БИАР позволяет реализовать принятие решения о смене сигнального показания на локомотивном светофоре по четвертому циклу после белого и по пятому циклу после прочих сигнальных показаний.

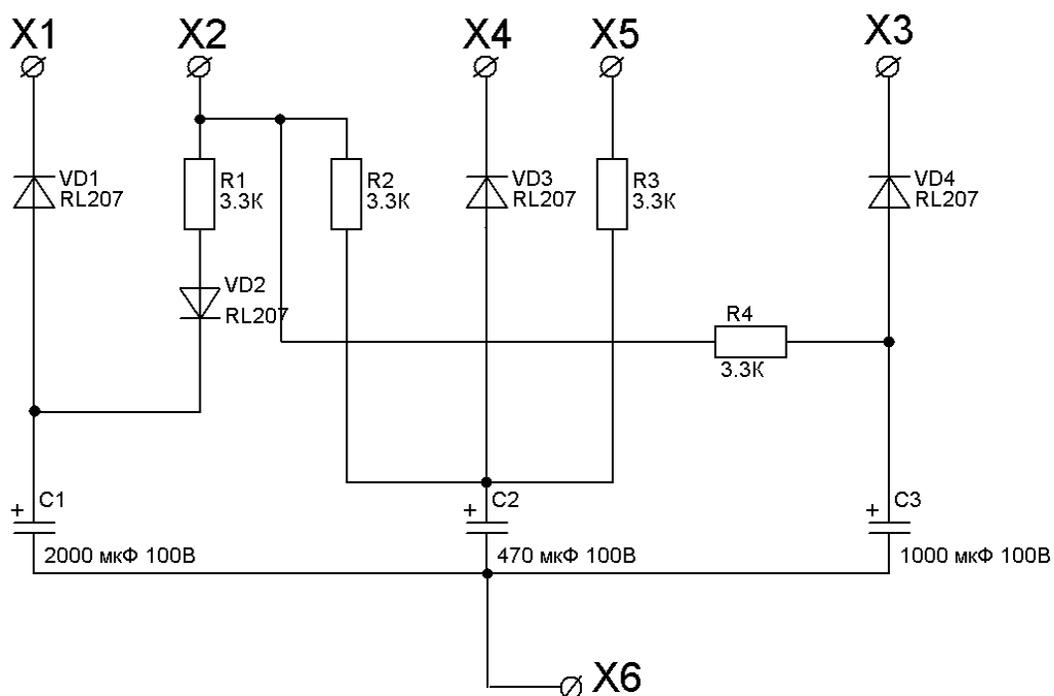


Рис. 4. Принципиальная схема БИАР

Работа модернизированного дешифратора проверялась в лабораторных и эксплуатационных условиях, в частности были проведены две испытательные поездки на грузовых электровозах серии ВЛ10 приписки эксплуатационного депо ТЧЭ-38 «Рыбное». Испытуемые электровозы были выбраны исходя из наихудших значений интенсивности сбоев за предшествующий период эксплуатации. Перед выпуском в опытную эксплуатацию модернизированных дешифраторов были проведены сравнительные испытания в условиях контрольно-ремонтного пункта обслуживания устройств АЛСН локомотивного ремонтного депо ТЧР-16 «Москва — Сортировочная», показавшие положительные результаты.

В ходе первой испытательной поездки с электровозом ВЛ10 и мобильным измерительным комплексом автоматики и радиосвязи по маршруту Москва — Черусти — Орехово-Зуево — Москва было установлено, что особое внимание при модернизации дешифратора следует уделять условию постоянства времени смены сигнальных показаний на локомотивном светофоре (постоянство числа  $N$  кодовых комбинаций, необходимых для изменения сигнального показания локомотивного светофора), так как при увеличении данной временной задержки увеличивается и длительность свистка электропневматического клапана автостопа при смене показаний локомотивного светофора, что значительно влияет на комфортность ведения поезда локомотивной бригадой. К моменту второй испытательной поездки (на электровозе ВЛ10 с грузовым поездом весом 5000 т по маршруту Москва — Рыбное — Москва) это условие было учтено, что привело к незначительной корректировке схемы БИАР. В ходе испытательных поездок осуществлялась непрерывная регистрация осциллограмм кодовых сигналов, сбоев в работе аппаратуры релейных основных локомотивных устройств безопасности не произошло. Было также подтверждено, что модернизированный дешифратор позволяет парировать так называемые технологически обоснованные сбои, происходящие при двойной смене передаваемых кодов. По результатам испытательных поездок было принято решение

оборудовать модернизированными дешифраторами три маневровых тепловоза ЧМЭЗ приписки депо ТЧЭ-6 «Москва — Сортировочная», результаты этих испытаний также свидетельствуют об эффективности предложенного технического решения.

### Заключение

В результате проведенного исследования были получены следующие основные результаты.

1. Были определены основные тенденции развития предмета исследования — технических решений, направленных на повышение помехоустойчивости работы основных локомотивных устройств безопасности. Установлено, что представленные технические решения направлены в первую очередь на учет влияния различных электромагнитных помех, характерных для канала индуктивной связи «путь — локомотив», в частности на учет помехи при движении в кривых, при боковой качке кузова, при пересечении линий электропередачи, при действии импульсной помехи. Для исключения ложного изменения сигнального показания локомотивного светофора используют меры по корректировке алгоритма работы дешифратора (увеличивают инерционность системы при проследовании участков, где действуют помехи значительных уровней на время проследования таких участков), блокируют передачу смеси сигнала и помехи на вход локомотивного приемника на время действия помехи значительного уровня или организуют еще один канал связи — чаще всего радиоканал — для дублирования информации о допустимой скорости движения (расстояния до точки прицельного торможения). В ряде решений используют принципы и подходы, лежащие в основе теории оптимального приема сигналов, в частности использование корреляционного приема сигналов.

2. С учетом тенденций развития в качестве базового принципа повышения помехоустойчивости и снижения числа сбоев в работе основных локомотивных устройств безопасности выбран способ изменения алгоритма работы дешифратора (декодера) сигналов числового кода. Данный способ позволяет решить

поставленную техническую задачу с наименьшими затратами на переоборудование парка локомотивов. Были сформулированы основы теории приема сигналов числового кода АЛС. В качестве критерия помехоустойчивости выбрано число подряд искаженных кодовых комбинаций на входе дешифратора  $N$ , не приводящее к изменению сигнального показания локомотивного светофора. Критерий был сформулирован на основе анализа работы релейного дешифратора числового кода и оказывается справедливым при оценке помехоустойчивости работы локомотивных устройств безопасности, построенных на микропроцессорной элементной базе.

3. С учетом анализа работы приемного оборудования основных локомотивных устройств безопасности была предложена конструкция блока изменения алгоритма работы дешифратора. Использование БИАР позволяет дешифратору основного локомотивного устройства безопасности принимать решение по четвертому циклу после белого и по пятому циклу после прочих сигнальных показаний. Результаты опытной эксплуатации БИАР позволили судить о его эффективности.

Полученные результаты могут быть использованы как при совершенствовании самих технических средств основных локомотивных устройств безопасности, так и при совершенствовании технологии их обслуживания и ремонта. ▲

### Библиографический список

1. Лисенков В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход): монография — М.: ВИНТИ РАН, 2014. — 202 с.
2. Бестемьянов П. Ф. Методика статистического моделирования электромагнитных помех в каналах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте / П. Ф. Бестемьянов // Электротехника. — 2015. — № 9. — С. 2–8.
3. Баранов Л. А. Метод оценки изменения электромагнитной обстановки в местах функционирования систем интервального регулирования движения поездов / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, В. Г. Сидоренко, Е. Г. Щербина // Наука и техника транспорта. — 2013. — № 3. — С. 035–040.
4. Табунщиков А. К. Как повысить помехоустойчивость работы АЛСН / А. К. Табунщиков, Ю. А. Барышев, Е. В. Горенбейн, Л. И. Стряпкин // Локомотив. — 2013. — № 4(676). — С. 32–33.
5. Щербина Е. Г. Характеристики помехоустойчивости фазочувствительных реле для расчета нормативов электромагнитной совместимости / Е. Г. Щербина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2010. — № 3(39). — С. 82–88.
6. Дорош В. Э. Анализ индуктивных связей в системе автоматической локомотивной сигнализации / В. Э. Дорош, Д. В. Десятков, А. О. Шилин // Образование — наука — производство: материалы V Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Чита, 07 октября 2021 года. — Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта — филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2021. — С. 98–99.
7. Кравцов Ю. А. Интервальное регулирование при наличии помех / Ю. А. Кравцов, В. М. Сафро, А. Б. Черуров // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10. — № 4(42). — С. 66–70.
8. Midya S. An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System / S. Midya, R. Thottappillil // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2008. — Vol. 16. — I. 5. — Pp. 515–534.
9. Feng J. Analysis and Research on Electromagnetic Compatibility of High Speed Railway Traction Current Harmonics to Track Circuit / J. Feng, J. G. Cao, Z. H. Wu // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. — 2021. — Vol. 31. — I. 8. — Pp. 1–4. — DOI: 10.1109/TASC.2021.3090347.
10. Zhang D. Simulation of electromagnetic environment inside railway / D. Zhang, Y. Wen, J. Zhang, Q. Shan, L. Ma // Proceedings of 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA). — 2014. — Pp. 569–573. — DOI: 10.1109/ICEAA.2014.6903924.
11. Ruddle A. R. Computation of electromagnetic fields in the vicinity of a railway catenary / A. R. Ruddle // Proceedings of IEE Colloquium on EMC in Electric Traction and Signalling. — 1995. — Pp. 2/1–2/4. — DOI: 10.1049/ic:19951249.
12. Jaekel B. W. Investigation and control methods for the EMC of interlocking systems in the railway environment / B. W. Jaekel // Proceedings of 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. — 2003. — Vol. 1. — Pp. 418–421. — DOI: 10.1109/ICSMC2.2003.1428280.
13. Yang L. Induced voltage study and measurement for communication system in railway / L. Yang, L. C. Hian, L. W. Leong, O. M. C. Kevin // Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC). — 2018. — Pp. 32–35. — DOI: 10.1109/IEMC.2018.8393733.
14. Zhang L. Simulation and Analysis for Electromagnetic Environment of Traction Network / L. Zhang, Y. Zhu, S. Chen, D. Zhang // Proceedings of 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS). — 2021. — Pp. 1–4. — DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560338.
15. Hou W. Hybrid Numerical Modeling of Electromagnetic Interference in Train Communication Systems / W. Hou, X. Zhang, J. Wang, C. D. Sarris // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. — 2020. — Vol. 62. — I. 3. — Pp. 715–724. — DOI: 10.1109/TEMC.2019.2920656.

16. Кузьмин В. С. Устройства проверки АЛС: прошлое, настоящее и ближайшее будущее / В. С. Кузьмин, П. М. Меркулов, Н. А. Гаврилюк // Локомотив. — 2021. — № 6(775). — С. 37–39.
17. Система управления и диагностики электровоза ЭП10. Научно-техническое издание / Под ред. С. В. Покровского. — М.: Интекст, 2009. — 356 с.
18. Воротилкин А. В. Проблемы влияния тяжеловесных поездов на приборы безопасности при электротяге переменного тока / А. В. Воротилкин, А. П. Хоменко, В. И. Шаманов // Железнодорожный транспорт. — 2006. — № 10. — С. 17–21.
19. Швердин И. Н. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛСН / И. Н. Швердин, В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов, А. В. Пулятьков // Автоматика, связь, информатика. — 2006. — № 10. — С. 16–19.
20. Шаманов В. И. Влияние условий эксплуатации на устойчивость работы АЛСН / В. И. Шаманов, А. В. Пулятьков, Ю. А. Трофимов // Железнодорожный транспорт. — 2009. — № 5. — С. 46–50.
21. Патент № 2249508 С1 Российская Федерация, МПК В60L 3/00. Устройство контроля тягового тока электровоза по условиям электромагнитной совместимости с фазочувствительными рельсовыми цепями железнодорожной автоматики: № 2003128084/11: заявл. 19.09.2003: опубл. 10.04.2005 / М. Д. Рабинович, Б. Д. Никифоров, Ю. А. Кравцов и др.; заявитель Закрытое акционерное общество «Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий». — 6 с.
22. Бестемьянов П. Ф. Методика оценки работоспособности рельсовых цепей тональной частоты при воздействии тока электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / П. Ф. Бестемьянов, Ю. А. Кравцов, Е. Г. Щербина, А. Б. Чегуров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2012. — № 1(45). — С. 87–92.
23. Кравцов Ю. А. Нормативы по электромагнитной совместимости подвижного состава и рельсовых цепей и методы их проверки / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, А. А. Антонов, М. Е. Бакин // Наука и техника транспорта. — 2014. — № 2. — С. 65–71.
24. Кравцов Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. — 2015. — Т. 1. — № 1. — С. 7–27.
25. История СТМ // Машиностроительный холдинг железнодорожной техники — Синара — Транспортные Машины: URL: <https://sinaratm.ru/about/history/> (дата обращения: 26.03.2022).
26. История Трансмашхолдинга // ТМХ. URL: [https://www.tmholding.ru/about\\_us/history\\_tm/](https://www.tmholding.ru/about_us/history_tm/) (дата обращения: 26.03.2022).
27. Патент № 2248899 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/04. Комплексное локомотивное устройство безопасности унифицированное (клуб-у): № 2003129732/11: заявл. 08.10.2003: опубл. 27.03.2005 / А. Ю. Елагин, В. И. Зорин, С. В. Киселева и др.; заявитель ООО «Транспортные системы безопасности и автоматической локомотивной сигнализации» (ООО «СБ-ТРАНС-АЛС»). — 9 с.
28. Патент № 2653667 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Устройство бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации: № 2017129701: заявл. 22.08.2017 : опубл. 11.05.2018 / С. В. Киселева, Г. К. Кисельгоф, Д. М. Красовицкий и др.; заявитель Акционерное общество Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте. — 18 с.
29. Патент на полезную модель № 112138 U1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Система автоматической локомотивной сигнализации с контролем бдительности машиниста и скорости движения локомотива: № 2010111367/11: заявл. 25.03.2010: опубл. 10.01.2012 / А. М. Вайгель, А. Н. Капустин, Б. Д. Никифоров и др.; заявитель Открытое акционерное общество «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» (ОАО «РЖД»). — 16 с.
30. Патент № 2420418 С2 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Комплексное локомотивное устройство безопасности: № 2007145632/11: заявл. 11.12.2007: опубл. 10.06.2011 / В. И. Зорин, С. А. Перевозчиков, А. С. Рычков и др.; заявитель Открытое акционерное общество «Ижевский радиозавод». — 15 с.
31. Патент № 2513341 С1 Российская Федерация, МПК В61L 3/20. Способ автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа и устройство автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа: № 2012143287/11: заявл. 10.10.2012: опубл. 20.04.2014 / В. В. Висков, А. В. Гурьянов, Г. К. Кисельгоф и др.; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». — 6 с.
32. Патент № 2652676 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Устройство автоматической локомотивной сигнализации с интегрированием принимаемых сигналов: № 2017107858: заявл. 10.03.2017: опубл. 28.04.2018 / А. К. Табунчиков, В. С. Кузьмин, Л. И. Стряпкин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» МГУПС (МИИТ). — 7 с.
33. Патент на полезную модель № 202178 U1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06, В61L 3/16. Устройство для снижения числа сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации: № 2020132953: заявл. 06.10.2020: опубл. 05.02.2021 / В. С. Кузьмин. — 11 с.
34. Патент на полезную модель № 159957 U1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Устройство автоматической локомотивной сигнализации: № 2015114247/11: заявл. 16.04.2015: опубл. 20.02.2016 / В. Б. Леушин, А. И. Ледовских. — 6 с.
35. Патент № 2241620 С2 Российская Федерация, МПК В61С 17/12, В61L 3/08, В61L 3/20. Способ передачи данных через проводник тягового тока, проводящий электрический приводной ток для транспортных средств: № 2001125935/11: заявл. 22.02.2000: опубл. 10.12.2004 / Г. Грипентрог, Р. Майер, Э. Шнайдер, П. Прибе. — 10 с.
36. Патент № 2304061 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Адаптивный приемник сигналов автоматической локомотивной сигнализации: № 2005137093/11: заявл. 30.11.2005: опубл. 10.08.2007 / В. М. Абрамов, Б. Д. Никифоров, А. Э. Правдолюбов и др.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «АВП-Технология». — 7 с.

37. Патент № 2618616 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06, Н04В 15/00. Устройство подавления импульсных помех на входе локомотивного приемника АЛС: № 2015154775: заявл. 21.12.2015: опубл. 04.05.2017 / И. А. Аргунов, Н. Ю. Вихрова, Е. В. Горенбейн и др.; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». — 7 с.
38. Патент № 2629831 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00. Способ защиты устройств автоматической локомотивной сигнализации от аддитивных сосредоточенных помех: № 2016137520: заявл. 20.09.2016: опубл. 04.09.2017 / А. С. Архипов, А. А. Горчаков, В. А. Коляда и др.; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС»). — 9 с.
39. Патент № 2727077 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Однополосный цифровой фильтр для автоматической локомотивной сигнализации: № 2019114631: заявл. 13.05.2019: опубл. 17.07.2020 / М. Э. Скоробогатов, А. В. Пулятьков, В. В. Демьянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИргГУПС). — 8 с.
40. Патент на полезную модель № 158579 U1 Российская Федерация, МПК В61L 3/20. Устройство автоматической локомотивной сигнализации с дополнительной компенсацией помех на входе приемника: № 2015118934/11: заявл. 20.05.2015: опубл. 10.01.2016 / А. К. Табунщиков, Ю. А. Барышев, И. А. Аргунов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» МГУПС (МИИТ). — 10 с.
41. Патент на полезную модель № 87984 U1 Российская Федерация, МПК В61L 23/34. Устройство автоматической локомотивной сигнализации: № 2009117398/22: заявл. 08.05.2009: опубл. 27.10.2009 / Ю. А. Барышев, А. К. Табунщиков; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ). — 4 с.
42. Патент № 2533942 С2 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Устройство повышения электромагнитной совместимости автоматической локомотивной сигнализации с обратной тяговой сетью: № 2013109329/11: заявл. 01.03.2013: опубл. 27.11.2014 / А. В. Пулятьков, Ю. А. Трофимов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО ИргГУПС). — 7 с.
43. Патент на полезную модель № 47307 U1 Российская Федерация, МПК В61L 25/06. Приемное устройство автоматической локомотивной сигнализации: № 2005105403/22: заявл. 25.02.2005: опубл. 27.08.2005 / Р. Р. Юсупов, В. Б. Леушин, К. Э. Блачев; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарская государственная академия путей сообщения» (СамГАПС). — 13 с.
44. Патент № 2344958 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/02. Способ защиты работы устройств автоматической локомотивной сигнализации от помех линий электропередач: № 2007113294/11: заявл. 09.04.2007: опубл. 27.01.2009 / Ю. И. Полевой, Л. В. Полевая, Д. В. Аграфенин; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарская государственная академия путей сообщения» (СамГАПС). — 5 с.
45. Патент № 2466897 С2 Российская Федерация, МПК В61L 25/02. Устройство защиты работы устройств автоматической локомотивной сигнализации от помех линий электропередач: № 2011108178/11: заявл. 02.03.2011: опубл. 20.11.2012 / Ю. И. Полевой, Д. В. Аграфенин, А. В. Вайшнарас; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС). — 6 с.
46. Патент № 2475395 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/02. Устройство защиты работы устройств автоматической локомотивной сигнализации от помех линий электропередач: № 2011127276/11: заявл. 01.07.2011: опубл. 20.02.2013 / Ю. И. Полевой, А. М. Косолапов; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС). — 7 с.
47. Патент № 2656682 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/02. Универсальный способ защиты работы устройств АЛС от помех: № 2017117093: заявл. 17.05.2017: опубл. 07.06.2018 / Ю. И. Полевой, А. В. Горелик. — 11 с.

*TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 133–149*  
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-133-149

### **On Technical Methods to Reduce Failure Number in Safety Locomotive Major Device Operation**

#### **Information about authors**

**Kuzmin V. S.**, Assistant at the Department. E-mail: vs.kuzmin@bk.ru

**Stryapkin L. I.**, Senior Lecturer. E-mail: le-o-nid-s@yandex.ru

**Ryadchikov R. O.**, Student. E-mail: meteors771@gmail.com

Russian University of Transport (MIIT), Department of Automation, Telemechanics and Communication on Railway Transport, Moscow

**Abstract:** Violations in operation of receiving equipment of safety locomotive major devices due to the hindering effect of electromagnetic interference (failures) are a rather frequent phenomenon on the railway network of the Open Joint Stock Company «Russian Railways» in the conditions of electromagnetic environment that has changed dramatically with active introduction of modern electric rolling stock. On the one hand, failures are the result of discrepancy of own parameters and operation algorithm of receiving equipment of safety locomotive major devices opposite interference, existing in inductive coupling channel of automatic locomotive signaling. On the other hand, it is a consequence of the lack of regulatory documentation with uniform established requirements for interference parameters under the influence of which, safety locomotive major devices, primarily built on a relay element base, shall provide for regular operation. Over the past decades, numerous and different by their technical

essence attempts have been made to resolve these antagonistic contradictions. This work is one of the first attempts to generalize and analyze the results of pursued research and developments. The work is based on the results of a patent study conducted by the authors in order to identify trends in technical measure development to improve noise immunity in operation of safety locomotive major devices. On their basis, the authors proposed, described in detail and substantiated main technical methods for reducing failure number in the operation of safety locomotive major devices. The obtained results may be of interest to specialists involved in technical servicing, repairment, development and improvement of safety locomotive major devices and will be used further in the development of the theory of locomotive automatic signaling numerical code.

**Keywords:** safety device; locomotive automatic signaling; numeric code; interference immunity; electromagnetic compatibility; decoder.

## References

- Lisenkov V. M. *Metody analiza i sinteza rel'sovyh cepej (statisticheskij podhod)* [Methods of analysis and synthesis of rail circuits (statistical approach)]. Moscow: VINITI RAN Publ., 2014. 202 p. (In Russian)
- Bestem'yanov P. F. Metodika statisticheskogo modelirovaniya elektromagnitnyh pomekh v kanalah avtomatiki i telemekhaniki na zheleznodorozhnom transporte [Method of statistical modelling of electromagnetic interference in automation and telemechanics channels on railway transport]. *Elektrotehnika* [Electrotehnika]. 2015, I. 9, pp. 2–8. (In Russian)
- Baranov L. A., Bestem'yanov P. F., Sidorenko V. G., Spcperbina E. G. Metod ocenki izmeneniya elektromagnitnoj obstanovki v mestah funkcionirovaniya sistem interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov [Method for assessing changes in electromagnetic environment in places of operation of interval train control systems]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of Transport]. 2013, I. 3, pp. 035–040. (In Russian)
- Tabunshchikov A. K., Baryshev Yu. A., Gorenbejn E. V., Stryapkin L. I. Kak povysit' pomekhoustojchivost' raboty ALSN [How to increase the interference immunity of ALSN operation]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 2013, I. 4 (676), pp. 32–33. (In Russian)
- Shcherbina E. G. Harakteristiki pomekhoustojchivosti fazochuvstvitel'nyh rele dlya rascheta normativov elektromagnitnoj sovmestimosti [Noise immunity characteristics of phase-sensitive relays for calculation of electromagnetic compatibility standards]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya* [VESTNIK RGUPS]. 2010, I. 3(39), pp. 82–88. (In Russian)
- Dorosh V. E., Desyatkov D. V., Shilin A. O. Analiz induktivnyh svyazey v sisteme avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii [Analysis of inductive coupling in automatic locomotive signalling system]. «*Obrazovanie - nauka - proizvodstvo*» [«Education - science - production»]. Chita, 2021, pp. 98–99. (In Russian)
- Kravcov Yu. A., Safro V. M., Chegurov A. B. Interval'noe regulirovanie pri nalichii pomekh [Interval control in the presence of interference]. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation]. 2012, vol. 10, I. 4(42), pp. 66–70. (In Russian)
- Midya S., Thottappillil R. An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2008, vol. 16, I. 5, pp. 515–534.
- Feng J, Cao J. G., Wu Z. H. Analysis and Research on Electromagnetic Compatibility of High Speed Railway Traction Current Harmonics to Track Circuit. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2021, vol. 31, I. 8, pp. 1–4. DOI: 10.1109/TASC.2021.3090347.
- Zhang D, Wen Y., Zhang J., Shan Q., Ma L. Simulation of electromagnetic environment inside railway. *Proceedings of 2014 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, 2014, pp. 569–573. DOI: 10.1109/ICEAA.2014.6903924.
- Ruddle A. R. Computation of electromagnetic fields in the vicinity of a railway catenary. *Proceedings of IEE Colloquium on EMC in Electric Traction and Signalling*, 1995, pp. 2/1–2/4. DOI: 10.1049/ic:19951249.
- Jaekel B. W. Investigation and control methods for the EMC of interlocking systems in the railway environment. *Proceedings of 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2003, vol. 1, pp. 418–421. DOI: 10.1109/ICSMC.2003.1428280.
- Yang L., Hian L. C., Leong L. W., Kevin O. M. C. Induced voltage study and measurement for communication system in railway. *Proceedings of 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC)*, 2018, pp. 32–35. DOI: 10.1109/ISEMC.2018.8393733.
- Zhang L., Zhu Y., Chen S., Zhang D. Simulation and Analysis for Electromagnetic Environment of Traction Network. *Proceedings of 2021 XXXIVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)*, 2021, pp. 1–4. DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560338.
- Hou W., Zhang X., Wang J., Sarris C. D. Hybrid Numerical Modeling of Electromagnetic Interference in Train Communication Systems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2020, vol. 62, I. 3, pp. 715–724. DOI: 10.1109/TEMC.2019.2920656.
- Kuz'min V. S., Merkulov P. M., Gavriljuk N. A. Ustrojstva proverki ALS: proshloe, nastoyashchee i blizhajshee budushchee [ALS checking devices: past, present and near future]. *Lokomotiv* [Locomotive]. 2021, I. 6 (775), pp. 37–39. (In Russian)
- Sistema upravleniya i diagnostiki elektrovoza EP10* [Control and diagnostics system of electric locomotive EP10]. Moscow: Intext Publ., 2009. 356 p. (In Russian)
- Vorotilkin A. V., Homenko A. P., Shamanov V. I. Problemy vliyaniya tyazhelovesnyh poezdov na pribory bezopasnosti pri elektrotyage peremennogo toka [Problems of the influence of heavy trains on safety devices for AC electric traction]. *Zheleznodorozhnyj transport* [Railway transport]. 2006, I. 10, pp. 17–21. (In Russian)
- Sheverdin I. N., Shamanov V. I., Trofimov Yu. A., Pul'tyakov A. V. Vliyaniye tyazhelovesnyh poezdov na rel'sovye cepi i ALSN [Influence of heavy trains on track circuits and ALSN]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, informatics]. 2006, I. 10, pp. 16–19. (In Russian)
- Shamanov V. I., Pul'tyakov A. V., Trofimov Yu. A. Vliyaniye uslovij ekspluatatsii na ustojchivost' raboty ALSN [Influence of operating conditions on the stability of ALSN operation]. *Zheleznodorozhnyj transport* [Railway transport]. 2009, I. 5, pp. 46–50. (In Russian)
- Pat. 2249508 (RU). *Ustrojstvo kontrolya tyagovogo toka elektrovoza po usloviyam elektromagnitnoj sovmestimosti s fazochuvstvitel'nymi rel'sovymi cepiyami zheleznodorozhnoj avtomatiki* [Pat. 2249508 (RU). Device for monitoring the traction current of an electric locomotive according to the conditions of electromagnetic compatibility with phase-sensitive track circuits of railway automation]. 2005. (In Russian)
- Bestem'yanov P. F., Kravcov Yu. A., Shcherbina E. G., Chegurov A. B. Metodika ocenki rabotosposobnosti rel'sovyh cepej tonal'noj chastoty pri vozdejstvii toka elektropodvzhnogo sostava s asinhronnym tyagovym privodom [Method for assessing the performance of tone-frequency track circuits under the influence of the current of an electric rolling stock with an asynchronous traction drive]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya* [VESTNIK RGUPS]. 2012, I. 1(45), pp. 87–92. (In Russian)
- Kravcov Yu. A., Arhipov E. V., Antonov A. A., Bakin M. E. Normativy po elektromagnitnoj sovmestimosti podvzhnogo sostava i rel'sovyh cepej i metody ih proverki [Standards for electromagnetic compatibility of rolling stock and track circuits and methods for their verification]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of Transport]. 2014, I. 2, pp. 65–71. (In Russian)
- Kravcov Yu. A. Elektromagnitnaya sovmestimost' rel'sovyh cepej i elektropodvzhnogo sostava s asinhronnym tyagovym privodom [Electromagnetic compatibility of track circuits and electric rolling stock with asynchronous traction drive]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2015, vol. 1, I. 1, pp. 7–27. (In Russian)
- History 2021. «Sinara - Transport Machines». Available at: <https://sinaratm.ru/about/history/> (accessed: March 26, 2022).
- History of Transmashholding. TMH Engineering Company. Available at: [https://www.tmholding.ru/about\\_us/history\\_tm/](https://www.tmholding.ru/about_us/history_tm/) (accessed: March 26, 2022).

27. Pat. 2248899 (RU). *Kompleksnoe lokomotivnoe ustrojstvo bezopasnosti unificirovanoe (KLUB-U)* [Pat. 2248899 (RU). Complex unified locomotive safety device (KLUB-U)]. 2005.
28. Pat. 2653667 (RU). *Ustrojstvo bortovoj apparatury avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 2653667 (RU). Device for on-board automatic locomotive signalling equipment]. 2018. (In Russian)
29. Pat. 112138 (RU). *Sistema avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii s kontrolem bditel'nosti mashinista i skorosti dvizheniya lokomotiva* [Pat. 112138 (RU). System of automatic locomotive signalling with driver vigilance and locomotive speed control]. 2012. (In Russian)
30. Pat. 2420418 (RU). *Kompleksnoe lokomotivnoe ustrojstvo bezopasnosti* [Pat. 2420418 (RU). Complex locomotive safety device]. 2011. (In Russian)
31. Pat. 2513341 (RU). *Sposob avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii nepreryvnogo tipa i ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii nepreryvnogo tipa* [Pat. 2513341 (RU). Method of automatic continuous type locomotive signalling and automatic continuous type locomotive signalling device]. 2014. (In Russian)
32. Pat. 2652676 (RU). *Ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii s integrirovaniem prinimaemykh signalov* [Pat. 2652676 (RU). Automatic locomotive signalling device with integration of received signals]. 2018. (In Russian)
33. Pat. 202178 (RU). *Ustrojstvo dlya snizheniya chisla sboev v rabote avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 202178 (RU). Device for reduction of failures in automatic locomotive signalling]. 2021. (In Russian)
34. Pat. 159957 (RU). *Ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 159957 (RU). Automatic locomotive signalling device]. 2016. (In Russian)
35. Pat. 2241620 (RU). *Sposob peredachi dannykh cherez provodnik tyagovogo toka, provodyashchij elektricheskij privodnoj tok dlya transportnykh sredstv* [Pat. 2241620 (RU). Method of data transmission through a traction current conductor conducting electric drive current for vehicles]. 2004. (In Russian)
36. Pat. 2304061 (RU). *Adaptivnyj priemnik signalov avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 2304061 (RU). Adaptive receiver for automatic locomotive signalling signals]. 2007. (In Russian)
37. Pat. 2618616 (RU). *Ustrojstvo podavleniya impul'snykh pomekh na vhode lokomotivnogo priemnika ALS* [Pat. 2618616 (RU). Impulse interference suppression device at the input of the ALS locomotive receiver]. 2017. (In Russian)
38. Pat. 2629831 (RU). *Sposob zashchity ustrojstv avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii ot additivnykh sosredotochennykh pomekh* [Pat. 2629831 (RU). Method of protection of automatic locomotive signalling devices against additive concentrated disturbances]. 2017. (In Russian)
39. Pat. 2727077 (RU). *Odnopolosnyj cifrovij fil'tr dlya avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 2727077 (RU). Single-band digital filter for automatic locomotive signalling]. 2020. (In Russian)
40. Pat. 158579 (RU). *Ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii s dopolnitel'noj kompensaciej pomekh na vhode priemnika* [Pat. 158579 (RU). Automatic locomotive signalling device with additional interference compensation at the receiver input]. 2015. (In Russian)
41. Pat. 87984 (RU). *Ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 87984 (RU). Automatic locomotive signalling device]. 2009. (In Russian)
42. Pat. 2533942 (RU). *Ustrojstvo povysheniya elektromagnitnoj sovmestimosti avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii s obratnoj tyagovoj set'yu* [Pat. 2533942 (RU). Electromagnetic compatibility enhancement device for automatic locomotive signalling with reverse traction network]. 2014. (In Russian)
43. Pat. 47307 (RU). *Priemnoe ustrojstvo avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii* [Pat. 47307 (RU). Receiving device for automatic locomotive signalling]. 2005. (In Russian)
44. Pat. 2344958 (RU). *Sposob zashchity raboty ustrojstv avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii ot pomekh linij elektroperedach* [Pat. 2344958 (RU). Method of protection of automatic locomotive signalling devices against power line disturbances]. 2009. (In Russian)
45. Pat. 2466897 (RU). *Sposob zashchity raboty ustrojstv avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii ot pomekh linij elektroperedach* [Pat. 2466897 (RU). Method of protection of automatic locomotive signalling devices against power line disturbances]. 2012. (In Russian)
46. Pat. 2475395 (RU). *Ustrojstvo zashchity raboty ustrojstv avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii ot pomekh linij elektroperedach* [Pat. 2475395 (RU). Device for protection of automatic locomotive signalling devices against power line disturbances]. 2013. (In Russian)
47. Pat. 2656682 (RU). *Ustrojstvo zashchity raboty ustrojstv avtomaticheskoy lokomotivnoj signalizacii ot pomekh linij elektroperedach* [Pat. 2656682 (RU). Device for protection of automatic locomotive signalling devices against power line disturbances]. 2018. (In Russian)