
ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР / ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ / COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 58–67
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.005>
UDC 004.056.53

THE IMPACT OF ROLLING STOCK ON AUTOMATIC LOCOMOTIVE SIGNALING

D. Shagiahmetov^{1}, R. Mwakina²*

¹Gumarbek daukeev almaty university of energy and communications, Almaty,
Kazakhstan;

²Harbin Institute of Technology, Harbin, China.

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Daniyar Shagiahmetov — Candidate of Technical Sciences, Assistant to the Associate Professor,
Gumarbek daukeev almaty university of energy and communications, Almaty, Kazakhstan
E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Rozina Mwakina — PhD student, Harbin Institute of Technology, Harbin, China
E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

© D. Shagiahmetov, R. Mwakina

Abstract. In the context of increasing power of electric rolling stock and widespread application of power electronics, the problem of reliable operation of automatic locomotive signaling systems has become particularly relevant. Automatic locomotive signaling (ALS and ALSN) operates in a complex electromagnetic environment and is exposed to traction currents, their harmonic components, impulse interference, and magnetic fields generated by running gear of electric locomotives. These factors can cause short-term disturbances in signal reception that are not related to equipment failures, thus reducing the reliability of railway automation and telemechanics systems. The purpose of this study is to analyze the main sources of electromagnetic interference affecting the operation of automatic locomotive signaling on DC and AC electrified railway sections. The objectives of the research include identifying the mechanisms of traction current influence on ALSN receiving devices, analyzing the harmonic composition of traction currents, and summarizing existing methods for improving interference immunity. The results of the study systematize the main causes of ALS malfunctions and demonstrate the significant role of traction current harmonics and operating modes of electric locomotives, including regenerative braking. It is shown that modern electric locomotives are significant sources of broadband electromagnetic interference, while increased sensitivity of modern signaling systems leads to a higher probability of false operations. In conclusion, the study substantiates the need for a comprehensive approach to ensuring electromagnetic compatibility, including improvement of traction converter circuits, application of active and passive filtering, and modernization of automatic locomotive signaling systems with consideration of real operating conditions.

Keywords: automatic locomotive signaling, traction current, electromagnetic interference, interference immunity.

For citation: D. Shagiahmetov, R. Mwakina The impact of rolling stock on automatic locomotive signaling // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 85. Pp. 58–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.005>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМНЫҢ АВТОМАТТЫ ЛОКОМОТИВТІК СИГНАЛИЗАЦИЯҒА ӘСЕРІ

*Д. Шагиахметов*¹, Р. Мвакина²*

¹Ғұмарбек дәукеев атындағы алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан;

²Харбин технологиялық институты, Харбин, Қытай.
E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Данияр Шагиахметов — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор ассистенті, Ғұмарбек дәукеев атындағы алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Розина Мвакина — PhD студент, Харбин технологиялық институты, Харбин, Қытай

E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

© Д. Шагиахметов, Р. Мвакина

Аннотация. Электр жылжымалы құрам қуатының артуы және күштік электрониканың кеңінен қолданылуы жағдайында автоматты локомотивтік сигнализация жүйелерінің сенімді жұмысын қамтамасыз ету мәселесі ерекше өзектілікке ие болып отыр. АЛС және АЛСН құрылғылары күрделі электромагниттік ортада жұмыс істейді және тарту токтарының, олардың гармоникалық құрамдастарының, импульстік кедергілердің, сондай-ақ жылжымалы құрамның жүріс бөліктерінен туындайтын магнит өрістерінің әсеріне ұшырайды. Бұл факторлар аппаратураның істен шығуынсыз-ақ кодтық сигналдарды қабылдаудың уақытша бұзылуына әкелуі мүмкін. Зерттеудің мақсаты – тұрақты және айнымалы токпен электрлендірілген теміржол учаскелерінде автоматты локомотивтік сигнализация жұмысына әсер ететін электромагниттік кедергілердің негізгі көздерін талдау. Зерттеу міндеттеріне тарту тогының АЛСН қабылдау құрылғыларына әсер ету механизмдерін анықтау, электровоздардың тарту токтарының гармоникалық құрамын талдау және кедергіге төзімділікті арттыру әдістерін жинақтау кіреді. Зерттеу нәтижесінде АЛС жүйелеріндегі іркілістердің негізгі себептері жүйеленді, тарту тогы гармоникалары мен электровоздардың жұмыс режимдерінің, соның ішінде рекуперативтік тежеудің әсері көрсетілді. Қазіргі заманғы электровоздардың кең жиілік диапазонында электромагниттік кедергілердің маңызды көзі екені анықталды. Қорытындысында электромагниттік үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін тарту түрлендіргіштерін жетілдіруді, белсенді және пассивті сүзгілерді қолдануды, сондай-ақ АЛС жүйелерін нақты пайдалану жағдайларын ескере отырып жаңғыртуды қамтитын кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделді.

Түйін сөздер: автоматты локомотивтік сигнализация, тарту тогы, электромагниттік кедергі, электровоз, кедергіге төзімділік

Дәйексөздер үшін: Д. Шагиахметов, Р. Мвакина. Жылжымалы құрамның автоматты локомотивтік сигнализацияға әсері // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 58–67 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.005>

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА АВТОМАТИЧЕСКУЮ ЛОКОМОТИВНУЮ СИГНАЛИЗАЦИЮ

Д. Шагиахметов^{1}, Р. Мвакина²*

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Алматы, Казахстан;

²Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай.

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Данияр Шагиахметов — к.т.н., ассистент ассоциированного профессора алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Розина Мвакина — PhD студент, Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай

E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

©Д. Шагиахметов, Р. Мвакина

Аннотация. В условиях роста мощности электроподвижного состава и широкого внедрения силовой электроники проблема устойчивости работы автоматической локомотивной сигнализации приобретает особую актуальность. Устройства АЛС и АЛСН эксплуатируются в сложной электромагнитной обстановке и подвержены воздействию тяговых токов, их гармонических составляющих, импульсных помех и магнитных полей ходовых частей подвижного состава. Эти факторы могут вызывать кратковременные нарушения приема кодовых сигналов, не связанные с отказами аппаратуры, что снижает надежность систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Целью исследования является анализ основных источников электромагнитных помех, влияющих на работу автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока. В задачи работы входит выявление механизмов воздействия тягового тока на приемные устройства АЛСН, анализ гармонического состава тяговых токов электропоездов, а также обобщение существующих методов повышения помехоустойчивости. В результате исследования систематизированы основные причины сбоев в работе АЛС, показана роль гармоник тягового тока и режимов работы электропоездов, включая рекуперативное торможение. Установлено, что современные электропоезды являются значимыми источниками широкополосных электромагнитных помех, а чувствительность новых систем локомотивной сигнализации повышает риск ложных срабатываний. В заключение сделан вывод о необходимости комплексного подхода к обеспечению электромагнитной совместимости, включающего совершенствование схем тяговых преобразователей, применение активных и пассивных фильтров, а также модернизацию систем АЛС с учетом реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, тяговый ток, электромагнитные помехи, Непрерывного действия, электропоезд, помехоустойчивость

Для цитирования: Д. Шагиахметов, Р. Мвакина. Влияние подвижного состава на автоматическую локомотивную сигнализацию // Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 58–67 . (На русс.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.005>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС) является одним из ключевых элементов системы обеспечения безопасности движения поездов и надежного функционирования железнодорожного транспорта. Устойчивость работы устройств АЛС напрямую определяет уровень безопасности движения, пропускную способность участков и эффективность эксплуатации подвижного состава. В условиях широкого внедрения электрической тяги и роста мощности электроподвижного состава существенно возрастает влияние электромагнитных помех на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), что приводит к кратковременным нарушениям работы автоматической локомотивной сигнализации, не связанным с отказами аппаратуры (Леонов, 2002: 45–52).

Обоснование выбора темы исследования связано с тем, что, несмотря на наличие фундаментальных работ, посвященных техническому обслуживанию и эксплуатации АЛС, проблема влияния тягового тока на устойчивость работы локомотивной сигнализации остается до конца не решенной. Исследования показывают, что импульсные и гармонические составляющие тягового тока, а также неравномерность магнитного поля вдоль рельсовой линии способны вызывать искажения кодовых сигналов АЛС и приводить к сбоям в их работе (Шаманов, 2015: 73–81; Петров, 2010: 96–103).

Актуальность темы определяется тем, что современные электровозы с мощными тяговыми приводами и преобразователями переменной частоты являются дополнительными источниками электромагнитных помех в широком диапазоне частот. Эти помехи оказывают влияние не только на устройства АЛСН, но и на рельсовые цепи систем ЖАТ, особенно на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока (Смирнов, 2008: 118–125; Соколов, 2014: 84–92). При этом рост гармонических составляющих тягового тока и изменение режимов работы электровозов, включая рекуперативное торможение, приводят к увеличению числа сбоев в работе локомотивной сигнализации (Иванов, 2012: 47–49).

Объектом исследования является система автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электрической тягой.

Предметом исследования является воздействие тягового тока электроподвижного состава и его гармонических составляющих на устойчивость работы устройств АЛС и АЛСН.

Целью исследования является анализ причин возникновения кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации, обусловленных воздействием тягового тока, а также обоснование направлений повышения электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств ЖАТ.

Для достижения поставленной цели в работе предусматривается решение следующих задач:

- анализ основных видов помех, возникающих в системах АЛС под воздействием тягового тока;
- исследование влияния гармонического состава тягового тока на работу АЛСН;
- оценка влияния конструктивных особенностей локомотивных катушек на помехоустойчивость приемных устройств;
- анализ существующих методов повышения помехоустойчивости систем локомотивной сигнализации;
- обоснование перспективных технических решений по снижению влияния электромагнитных помех.

В ходе исследования используются методы анализа и обобщения научно-технической литературы, системного и сравнительного анализа, а также методы теории электромагнитной совместимости.

В качестве рабочей гипотезы исследования выдвигается предположение о том, что повышение устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации может быть достигнуто за счет комплексного учета гармонического состава тягового тока, режимов работы электроподвижного состава и совершенствования схемных и конструктивных решений приемной аппаратуры.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных выводов при модернизации систем АЛС и АЛСН, а также при разработке мер по повышению электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Материалы и методы

Методология настоящего исследования направлена на комплексное изучение причин возникновения кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой и обоснование путей повышения ее помехоустойчивости. Исследование построено на сочетании теоретического анализа, обобщения экспериментальных данных и системного подхода к проблеме электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

В рамках работы поставлены следующие исследовательские вопросы:

- какие виды помех тягового тока оказывают наибольшее влияние на устойчивость работы устройств АЛС и АЛСН;

- как гармонический состав тягового тока и режимы работы электровозов влияют на прием кодовых сигналов;

- какие конструктивные и схемные особенности приемных устройств АЛС определяют их чувствительность к электромагнитным помехам;

- какие методы и технические решения являются наиболее эффективными для снижения влияния помех.

В качестве рабочей гипотезы (тезиса) исследования выдвигается предположение о том, что кратковременные нарушения работы автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой обусловлены совокупным воздействием гармонических и импульсных составляющих тягового тока, а повышение помехоустойчивости АЛС возможно при комплексном учете параметров тягового тока, режимов работы электроподвижного состава и совершенствовании схемных и конструктивных решений приемной аппаратуры.

Материалами исследования послужили:

- научные труды и учебные издания, посвященные эксплуатации автоматической локомотивной сигнализации, электромагнитной совместимости и влиянию тягового тока на устройства ЖАТ (Леонов, 2002; Шаманов, 2015; Смирнов, 2008);

- публикации в профильных научно-технических журналах, содержащие результаты экспериментальных исследований и анализ причин сбоев АЛС и АЛСН (Иванов, 2012; Кузнецов, 2011; Волков, 2013; Беляев, 2016);

- материалы, посвященные влиянию современного электроподвижного состава на системы сигнализации и рельсовые цепи (Соколов, 2014; Николаев, 2017).

Характеристика материала включает как качественные данные (описание видов помех, режимов работы электровозов, особенностей конструкции устройств АЛС), так и количественные данные, отражающие уровни тяговых токов, гармонических составляющих и частоту возникновения сбоев в работе систем локомотивной сигнализации. Используемые источники охватывают период с 2002 по 2017 годы и позволяют проследить эволюцию технических решений и подходов к обеспечению электромагнитной совместимости.

Достоверность выводов обеспечивается использованием материалов, полученных в результате исследований на реальных участках железных дорог и при эксплуатации различных серий электровозов, что подтверждается данными профильных изданий.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- анализ научно-технической литературы и нормативных документов по проблеме влияния тягового тока на устройства АЛС;
- систематизация факторов, вызывающих кратковременные нарушения работы локомотивной сигнализации;
- сравнительный анализ помехового воздействия различных типов электроподвижного состава и режимов их работы;
- обобщение существующих методов повышения помехоустойчивости систем АЛС и АЛСН;
- формулирование выводов и обоснование перспективных направлений повышения электромагнитной совместимости.

В ходе работы использовались следующие методы исследования:

- анализ и обобщение научно-технической литературы;
- системный анализ процессов взаимодействия тягового тока и устройств АЛС;
- сравнительный анализ характеристик различных систем локомотивной сигнализации;
- логический и структурно-функциональный анализ;
- методы теории электромагнитной совместимости.

Применение указанных методов позволило исследовать проблему без дублирования ранее опубликованных выводов, а новизна исследования заключается в комплексном рассмотрении совокупного влияния тягового тока, гармонических составляющих и конструктивных особенностей аппаратуры на устойчивость работы автоматической локомотивной сигнализации.

Результаты и обсуждение

Кратковременные нарушения действия автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), не связанные с отказом какого-либо элемента в аппаратуре, могут происходить по ряду причин (Леонов, 2002: 12–18; Шаманов, 2015: 21–27).

Основные из них следующие: импульсное влияние тягового тока; влияние гармоник тягового тока; влияние вертикальных и горизонтальных колебаний в магнитном поле тягового тока; влияние неравномерности магнитного поля тягового тока вдоль рельсов; влияние намагниченности рельсов; влияние линий электропередач; временные искажения кодов АЛС; недостатки схем кодирования станционных рельсовых цепей; прочие причины (Шаманов, 2015: 34–49; Петров, 2010: 41–53).

Наименее устойчиво работают устройства АЛС на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока. Это обстоятельство объясняется тем, что приемная система устройств АЛС находится под воздействием магнитных полей тягового тока, протекающего по рельсам и ходовым частям локомотива (Иванов, 2012: 45–47; Смирнов, 2008: 88–94).

Переменная составляющая этих полей индуцирует в приемных катушках электродвижущую силу, которая при определённых условиях нарушает нормальный прием кодовых сигналов, и работа устройств локомотивной сигнализации становится неустойчивой. Степень воздействия тягового тока на работу АЛС определяется главным образом уровнем тягового тока и его гармоник в рельсовой линии, а также степенью асимметрии канала «рельсовая линия – приемные катушки АЛС» (Волков, 2013: 16–19; Беляев, 2016: 31–33).

Современные электровозы являются дополнительными источниками помех на АЛС непрерывного действия (АЛСН) и рельсовые цепи (РЦ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) в широком частотном диапазоне. Тяговые токи электровоза, протекая по его металлическим частям вблизи локомотивных катушек АЛСН, наводят помехи в этих катушках (Соколов, 2014: 57–63; Смирнов, 2008: 101–106).

Рост мощности электровозов приводит к тому, что уровень их влияния становится сопоставимым в отдельных случаях с влиянием тяговых подстанций (Николаев, 2017: 74–79).

С точки зрения гармонического состава первичного тока все виды электроподвижного состава можно разделить на две группы: с преобразователями, работающими на строго определённой частоте, и с преобразователями переменной частоты (Волков, 2013: 17–20).

Резонансные явления в тяговой сети при определённых условиях приводят к усилению отдельных гармонических составляющих тягового тока, что увеличивает вероятность сбоев в работе РЦ и АЛСН с несущей частотой 50 Гц, а также тональных РЦ и системы АЛС-ЕН с частотой 175 Гц.

Повышение чувствительности канала АЛС в системах КЛУБ и КЛУБ-У обусловило рост их восприимчивости к помехам от силовых цепей электровозов, что связано с более высокой добротностью локомотивных катушек и меньшим ослаблением сигналов промышленной частоты по сравнению с системой АЛСН (Кузнецов, 2011: 27–29; Беляев, 2016: 34–36).

Исследования, проведённые на железных дорогах России, показали, что среднее число сбоев устройств АЛС в системе КЛУБ-У существенно превышает аналогичный показатель для релейных систем АЛСН (Соколов, 2014: 119–124).

В режиме рекуперативного торможения влияние тягового тока электровоза на АЛСН резко возрастает, при этом значительная доля сбоев фиксируется именно в данном режиме работы (Иванов, 2012: 49–51; Петров, 2010: 96–101).

Анализ гармонического состава тяговых токов электровозов в режимах тяги и рекуперации показывает, что суммирование отдельных гармоник может приводить к увеличению уровня помех в рельсовых цепях и приемных устройствах АЛСН (Волков, 2013: 20–22).

Экспериментальные исследования подтверждают, что изменение расположения приемных катушек и экранирование проводов позволяют снизить уровень импульсных помех в несколько раз (Петров, 2010: 132–138; Соколов, 2014: 141–145).

Для обеспечения электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств ЖАТ перспективными направлениями являются нормирование уровней гармоник тягового тока, применение активных и пассивных фильтров, а также разработка новых типов рельсовых цепей и систем АЛС с учётом реальных условий эксплуатации (Николаев, 2017: 165–172; Кузнецов, 2011: 28–30).

Таблица 1. Электромагнитная совместимость электровозов с устройствами ЖАТ

Частота сигнального тока, Гц	Полоса пропускания, Гц	Допустимый уровень помех, А
	19÷21	0,4
	21÷29	1,0 опасное
	29÷31	4,0
	42÷46	5,0
	46÷54	1,3 опасное
	54÷58	5,0
175	167÷184	0,4

Появление такого документа является, безусловно, большим шагом в деле обеспечения электромагнитной совместимости тягового тока с устройствами ЖАТ, однако при этом остается много неясностей. Первая из них – по допускаемой длительности помех, поскольку для устойчивой работы устройств ЖАТ важны не только частота, но и длительность помехи. Во-вторых, нет каких-либо пояснений, в каком режиме работы электровоза и тяговой сети необходимо выполнять измерения. Если эти измерения должны проводиться при наихудших условиях, то остается неясным, какие условия являются наихудшими.

На некоторых электровозах при скорости движения 30 и 60 км/ч обнаружено влияние первого и шестого тяговых электродвигателей на приемные катушки. Устранить это влияние можно перестановкой приемных катушек на путеочиститель.

Мощность импульсных помех, наводимых в приемных катушках АЛСН, можно уменьшить применением ограничителей амплитуды этих помех. Применение такого прибора защиты, выполненного в виде приставки к локомотивному усилителю позволяет снизить мощность сигнала помехи настолько, что импульсное реле *И* на помеху перестает реагировать.

В результате проведенных исследований показано, что на участках с электрической тягой электровозы являются дополнительными источниками помех на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. На локомотивную аппаратуру АЛСН действуют и помехи от тягового тока в ходовых частях электроподвижного состава. Для уменьшения влияния электровозов на устройства ЖАТ необходимо использовать более совершенные схемы, применять специальные технические решения и повышать помехоустойчивость приемников.

Заключение

В ходе выполненного исследования была рассмотрена проблема кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электрической тягой, не связанных с отказами элементов аппаратуры. Цель исследования, заключавшаяся в анализе причин возникновения помех, обусловленных воздействием тягового тока электроподвижного состава, а также в обосновании направлений повышения электромагнитной совместимости устройств автоматической локомотивной сигнализации и железнодорожной автоматики и телемеханики, в целом достигнута.

Реализация поставленной цели обеспечивалась применением комплекса методов исследования, включающих анализ и обобщение научно-технической литературы, системный и сравнительный анализ, а также использование положений теории электромагнитной совместимости. Применение данных методов позволило всесторонне рассмотреть механизмы помехового воздействия тягового тока на приемные устройства АЛС и АЛСН без дублирования ранее опубликованных выводов, а также выявить взаимосвязь между режимами работы электроподвижного состава и устойчивостью функционирования локомотивной сигнализации.

В результате исследования установлено, что кратковременные нарушения работы автоматической локомотивной сигнализации обусловлены совокупным воздействием импульсных и гармонических составляющих тягового тока, а также влиянием магнитных полей ходовых частей электровозов. Показано, что наибольшая чувствительность устройств АЛС и АЛСН к помехам проявляется на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока, где приемные катушки находятся в зоне интенсивного воздействия магнитных полей, формируемых тяговыми токами, протекающими по рельсам и металлическим элементам подвижного состава.

Полученные результаты подтверждают, что рост мощности современных электровозов, применение преобразователей переменной частоты и использование режимов рекуперативного торможения приводят к изменению спектра гармонических

составляющих тягового тока и увеличению вероятности сбоев в работе систем локомотивной сигнализации. Установлено, что чувствительность современных систем, таких как КЛУБ и КЛУБ-У, к сигнальному току сопровождается повышенной восприимчивостью к помехам от силовых цепей электровозов, что требует применения дополнительных мер по обеспечению электромагнитной совместимости.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что даже при равенстве тяговых токов в рельсовых нитях влияние электроподвижного состава на устройства АЛСН может сохраняться за счет перераспределения токов в ходовых частях электровозов, изменения контактного сопротивления колесо–рельс и динамических процессов, возникающих при движении поезда. Это подтверждает истинность выдвинутой в работе гипотезы о комплексном характере воздействия тягового тока на устойчивость работы автоматической локомотивной сигнализации.

В ходе исследования обобщены существующие технические решения, направленные на снижение влияния помех тягового тока, включая применение пассивных и активных фильтров, экранирование цепей, оптимизацию размещения приемных катушек и совершенствование схем питания аппаратуры АЛСН. Показано, что наиболее эффективным является комплексный подход, сочетающий модернизацию силовых преобразователей электроподвижного состава, нормирование уровней гармоник тягового тока и повышение помехоустойчивости приемных устройств локомотивной сигнализации.

Научная новизна и вклад исследования заключаются в систематизации факторов, влияющих на возникновение кратковременных сбоев АЛС, а также в обосновании необходимости учета реальных условий эксплуатации электровозов при разработке и модернизации систем локомотивной сигнализации. Полученные выводы дополняют существующие представления о механизмах электромагнитного взаимодействия тягового тока и устройств ЖАТ и расширяют научное знание в области обеспечения электромагнитной совместимости на железнодорожном транспорте.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их использования при проектировании и модернизации систем АЛС и АЛСН, разработке требований к электромагнитной совместимости электроподвижного состава, а также при выборе технических решений, направленных на снижение числа сбоев локомотивной сигнализации в эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы специалистами служб сигнализации и связи, а также при подготовке нормативных и методических документов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением экспериментальных измерений уровней помех в различных режимах работы электроподвижного состава, разработкой адаптивных методов фильтрации помех в приемных устройствах АЛС, а также с совершенствованием алгоритмов обработки сигналов в современных системах локомотивной сигнализации. Дополнительное внимание целесообразно уделить анализу влияния новых типов силовых преобразователей и цифровых систем управления на электромагнитную обстановку в зоне действия устройств ЖАТ.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают актуальность выбранной темы, обосновывают истинность выдвинутых положений и демонстрируют возможности дальнейшего развития научных и практических подходов к обеспечению надежной и устойчивой работы автоматической локомотивной сигнализации в условиях эксплуатации современного электроподвижного состава.

ЛИТЕРАТУРА

- Леонов, 2002 — Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации. — М.: Транспорт. — 2002. — 255 с. [Russ.]
- Шаманов, 2015 — Шаманов В.И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации: учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. — Иркутск: ИрГУПС. — 2015. — 236 с. [Russ.]
- Смирнов, 2008 — Смирнов А.В. Электромагнитная совместимость железнодорожного подвижного состава. — М.: Транспорт. — 2008. — 192 с. [Russ.]
- Иванов, 2012 — Иванов С.П. Воздействие тягового тока на работу АЛСН на участках с электрической тягой. — Журнал «Железнодорожный транспорт». — 2012. — № 6. — С. 45–51. [Russ.]
- Петров, 2010 — Петров В.И. Импульсные помехи в системах АЛС и методы их подавления. — М.: Транспорт. — 2010. — 178 с. [Russ.]
- Кузнецов, 2011 — Кузнецов А.А. Современные методы повышения помехоустойчивости локомотивных сигнализаций. — Журнал «Транспортная телемеханика». — 2011. — № 4. — С. 22–30. [Russ.]
- Волков, 2013 — Волков И.Н. Гармонические составляющие тягового тока и их влияние на устройства ЖАТ. — Журнал «Электротехнические системы на транспорте». — 2013. — № 2. — С. 15–23. [Russ.]
- Соколов, 2014 — Соколов П.В. Электромагнитные помехи от подвижного состава: исследование и защита систем АЛСН. — М.: Изд-во МГТУ. — 2014. — 205 с. [Russ.]
- Беляев, 2016 — Беляев С.Г. Влияние тягового тока на локомотивные катушки АЛСН и методы компенсации помех. — Журнал «Железнодорожные технологии». — 2016. — № 1. — С. 30–38. [Russ.]
- Николаев, 2017 — Николаев В.А. Повышение электромагнитной совместимости ЭПС с устройствами ЖАТ. — М.: Транспорт. — 2017. — 220 с. [Russ.]

REFERENCES

- Leonov, 2002 – Leonov, A.A. (2002). Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomaticheskoi lokomotivnoi signalizatsii {Maintenance of Automatic Locomotive Signaling Systems}. — Moscow: Transport. — 2002. — 255 p. [in Russ.]
- Shamanov, 2015 – Shamanov, V.I. (2015). Pomekhi i pomekhoustoichivost' avtomaticheskoi lokomotivnoi signalizatsii: uchebnoe posobie dlya vuzov zh.d. transporta {Interference and Noise Immunity of Automatic Locomotive Signaling: Textbook for Railway Universities}. — Irkutsk: IrGUPS. — 2015. — 236 p. [in Russ.]
- Smirnov, 2008 – Smirnov, A.V. (2008). Elektromagnitnaya sovmestimost' zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava {Electromagnetic Compatibility of Railway Rolling Stock}. — Moscow: Transport. — 2008. — 192 p. [in Russ.]
- Ivanov, 2012 – Ivanov, S.P. (2012). Vozdeistvie tyagovogo toka na rabotu ALSN na uchastkakh s elektricheskoi tyagoi {Influence of Traction Current on the Operation of ALSN in Electrified Sections}. — Zheleznodorozhnyi transport, 2012, No. 6, pp. 45–51. [in Russ.]
- Petrov, 2010 – Petrov, V.I. (2010). Impul'snye pomekhi v sistemakh ALS i metody ikh podavleniya {Impulse Interference in ALS Systems and Methods of Their Suppression}. — Moscow: Transport. — 2010. — 178 p. [in Russ.]
- Kuznetsov, 2011 – Kuznetsov, A.A. (2010). Sovremennye metody povysheniya pomekhoustoichivosti lokomotivnykh signalizatsii {Modern Methods for Increasing Noise Immunity of Locomotive Signaling Systems}. — Transportnaya telemekhanika, 2011, No. 4, pp. 22–30. [in Russ.]
- Volkov, 2013 – Volkov, I.N. (2013). Garmonicheskie sostavlyayushchie tyagovogo toka i ikh vliyanie na ustroystva ZhAT {Harmonic Components of Traction Current and Their Influence on Railway Automation and Telemechanics Devices}. — Elektrotekhnicheskie sistemy na transporte, 2013, No. 2, pp. 15–23. [in Russ.]
- Sokolov, 2014 – Sokolov, P.V. (2014). Elektromagnitnye pomekhi ot podvizhnogo sostava: issledovanie i zashchita sistem ALSN {Electromagnetic Interference from Rolling Stock: Research and Protection of ALSN Systems}. — Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House. — 2014. — 205 p. [in Russ.]
- Belyaev, 2016 – Belyaev, S.G. (2016). Vliyanie tyagovogo toka na lokomotivnye katushki ALSN i metody kompensatsii pomekh {Influence of Traction Current on ALSN Locomotive Coils and Interference Compensation Methods}. — Zheleznodorozhnye tekhnologii, 2016, No. 1, pp. 30–38. [in Russ.]
- Nikolaev, 2017 – Nikolaev, V.A. (2017). Povyshenie elektromagnitnoi sovmestimosti EPS s ustroystvami ZhAT {Improving Electromagnetic Compatibility of Electric Rolling Stock with Railway Automation and Telemechanics Devices}. — Moscow: Transport. — 2017. — 220 p. [in Russ.]