

УДК 656.256.3+656.259.2+629.488.2

Анализ особенностей организации технического обслуживания автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене

А. И. Швойн, В. С. Кузьмин, Н. О. Жухин

Российский университет транспорта, Российская Федерация, 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Для цитирования: Швойн А. И., Кузьмин В. С., Жухин Н. О. Анализ особенностей организации технического обслуживания автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 2. — С. 407–418. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-407-418

Аннотация

Цель: Установить возможности существующего технологического процесса технического обслуживания в условиях депо поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене в части определения причин возникновения кратковременных сбоев, в частности типа «отсутствие частоты» (сокращенно — ОЧ), в условиях эксплуатации и сформировать соответствующие рекомендации по его совершенствованию. **Методы:** Анализ научной и технической литературы, посвященной проблеме сбоев в работе поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене. Структурно-функциональное моделирование для описания основных технологических операций, выполняемых при обслуживании поездных устройств. Сопоставление процессов обслуживания поездных устройств на метрополитене и основных устройств безопасности на магистральном железнодорожном транспорте. Выявление технологических разрывов, не позволяющих определить причины возникновения сбоев в работе поездных устройств на метрополитене. Формирование рекомендаций по совершенствованию технологического процесса обслуживания поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене в условиях депо для снижения числа сбоев в их работе. **Результаты:** Сформировано подробное описание технологического процесса обслуживания поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации. Определены основные технологические разрывы, препятствующие определению условий и причин возникновения кратковременных сбоев в работе оборудования в условиях эксплуатации. Указано на необходимость формирования системы тестовых воздействий, позволяющей определить условия и причины возникновения кратковременных сбоев в работе поездных устройств. **Практическая значимость:** Показана необходимость повышения уровня автоматизации технологического процесса обслуживания поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене, а также повышения полноты и достоверности контроля технического состояния оборудования, осуществляющего прием и обработку сигналов автоматической локомотивной сигнализации, для снижения числа сбоев в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: Метрополитен, автоматическая локомотивная сигнализация, поездные устройства, техническое обслуживание, числовая защита, сбои, отсутствие частоты, генератор комплексной проверки системы регулирования скорости.

Введение

Системы автоматической локомотивной сигнализации нашли широкое применение в ответственном технологическом процессе регулирова-

ния движения поездов не только на магистральном железнодорожном транспорте. Так, в условиях метрополитенов применяется система автоматической локомотивной сигнализации с автомати-

ческим регулированием скорости (АЛС-АРС), отличительной особенностью которой является большая значность в сравнении с системой непрерывного типа АЛСН магистральных железных дорог, а также применение частотной (в ряде случаев фазоразностной) модуляции для формирования сигналов, содержащих информацию о допустимой и предупредительной скоростях движения [1].

Функционирование поездных устройств АЛС-АРС осуществляется в условиях сложной электромагнитной обстановки, формируемой электрическим подвижным составом. В связи с вводом в эксплуатацию электрического подвижного состава с асинхронным тяговым приводом и выводом из эксплуатации релейной аппаратуры, имеющей меньшую чувствительность и несколько большую инерционность в сравнении с микропроцессорной, наблюдается увеличение числа кратковременных сбоев в работе поездных устройств, в частности сбоев типа «отсутствие частоты» (сокращенно — ОЧ), проявляющихся наиболее часто в срабатывании так называемой «числовой защиты» — выдачи поздними устройствами сигнала на применение торможения (электрического/электропневматического) при приеме 3 частот и более в режиме «2/6» и 2 частот и более в режиме «1/6» (для АРС с дублирующим автономным устройством ДАУ). Такие сбои приводят к возникновению подтормаживаний из-за чувствительности системы интервального регулирования движения поездов на базе АЛС-АРС, к задержкам поездов и, как следствие, к нарушению графика движения поездов [2].

Для решения задачи снижения числа сбоев был проведен ряд научных исследований. Так, в работе [3] авторы описали характер зависимости ЭДС, наводимой в приемной катушке, от частоты тока в рельсовой линии. В работах [4–6] исследована электромагнитная обстановка в условиях метрополитенов и сформулированы положения методики выбора параметров сигнала

автоматической локомотивной сигнализации. В работе [7] для анализа условий их возникновения была предложена математическая модель, позволяющая говорить о превышении в условиях эксплуатации уровней отдельных гармоник тягового тока над нормируемым уровнем помех. В работе [8] предложены методы определения норм опасного и мешающего влияния помех на систему АЛС-АРС. В работе [9] авторами предложен метод контроля изменения условий электромагнитной совместимости, который при необходимости может быть адаптирован и для поездных устройств.

Следует отметить, что для повышения надежности и безопасности функционирования поездной аппаратуры АЛС-АРС аналогично ее магистральному аналогу в условиях депо реализуют процесс технического обслуживания. При этом вопрос соответствия технологического процесса технического обслуживания поездных устройств АЛС-АРС существующей электромагнитной обстановке в условиях эксплуатации ранее, как и сам процесс, имеющий ряд существенных отличий от своего магистрального аналога, не поднимался и не рассматривался. С учетом этого целью настоящей работы выбрано установление возможности существующего технологического процесса технического обслуживания в условиях депо поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене в части определения причин возникновения кратковременных сбоев, в частности типа «отсутствие частоты», в условиях эксплуатации и формирование соответствующих рекомендаций по его совершенствованию.

Особенности алгоритма работы поездных устройств АЛС-АРС

Прежде всего следует отметить, что в настоящее время поездная аппаратура АЛС-АРС как одна из трех подсистем входит в состав системы

управления, безопасности движения и технической диагностики «СКИФ-М» и ее модификаций, в частности «СКИФ-М20», устанавливаемой в современных вагонах серии «Москва» [10, 11]. Другими подсистемами являются подсистема управления движением, работой тягового привода и электропневматическим тормозом и подсистема управления работой вспомогательного оборудования. С учетом этого основные различия в организации процесса технического обслуживания поездной аппаратуры АЛС-АРС и аппаратуры АЛСН продиктованы различиями в алгоритмах работы этих устройств безопасности.

К отличительным особенностям алгоритма работы поездных устройств АЛС-АРС согласно [1, 12] следует относить:

- необходимость непрерывного подтверждения бдительности при движении в условиях отсутствия сигналов разрешения на движение от путевой аппаратуры (ОЧ), в частности по некодированным участкам пути;
- выдачу при следовании в режиме тяги сигнала на разбор схемы на тягу при отсутствии подтверждения бдительности в условиях ОЧ при непревышении допустимой V_d скорости в 20 км/ч;
- выдачу при следовании в режиме тяги сигнала на разбор схемы на тягу при достижении фактической скорости V_f значения, меньшего на величину 1 км/ч текущего значения допустимой скорости V_d ;
- выдачу сигнала на применение торможения (электрического/электропневматического) в случае срабатывания при приеме 3 частот и более в режиме «2/6» и 2 частот и более в режиме «1/6» (так называемая числовая защита);
- выдачу сигнала на применение торможения (электрического/электропневматического) при достижении равенства фактической V_f и допустимой V_d скоростей движения;
- выдачу сигнала на применение экстренного (пневматического) торможения после примене-

ния торможения по условию равенства фактической V_f и допустимой V_d скоростей движения при отсутствии в течение 3,6 с снижения фактической V_f скорости вследствие разрыва петли безопасности и срабатывания электропневматического клапана (ЭПК);

– выдачу сигнала на применение торможения (удержание) при скоростях движения ниже 2 км/ч в положении контроллера машиниста «Выбег»;

– применение экстренного торможения для исключения скатывания поезда при установленном с помощью контроллера режиме тяги.

Структурно-функциональное моделирование процесса технического обслуживания поездных устройств в условиях депо

Процесс технического обслуживания аппаратуры АЛС-АРС предполагает два объема проведения испытаний и проверок, которые можно условно обозначить как эксплуатационное обслуживание, проводимое 1 раз в 24 часа, и техническое обслуживание, проводимое по достижении некоторой заданной величины пробега. Анализ технологических операций в рамках каждого из объемов далее будем осуществлять с использованием методов структурно-функционального моделирования, для чего построим соответствующие блок-схемы алгоритмов (рис. 1–5).

Эксплуатационное обслуживание предполагает проведение минимального числа проверок аппаратуры АЛС-АРС (рис. 1), в частности проверки работоспособности устройств контроля бдительности машиниста: кнопки КБ и педали ПБ бдительности — переключения между режимами «Тяга» и «Торможение» с использованием основного контроллера и резервных кнопок, применения экстренного торможения при переходе с основного реверсора (РВ) на резервный. С учетом указанного набора проверок при эксплуатационном обслуживании не предполагается

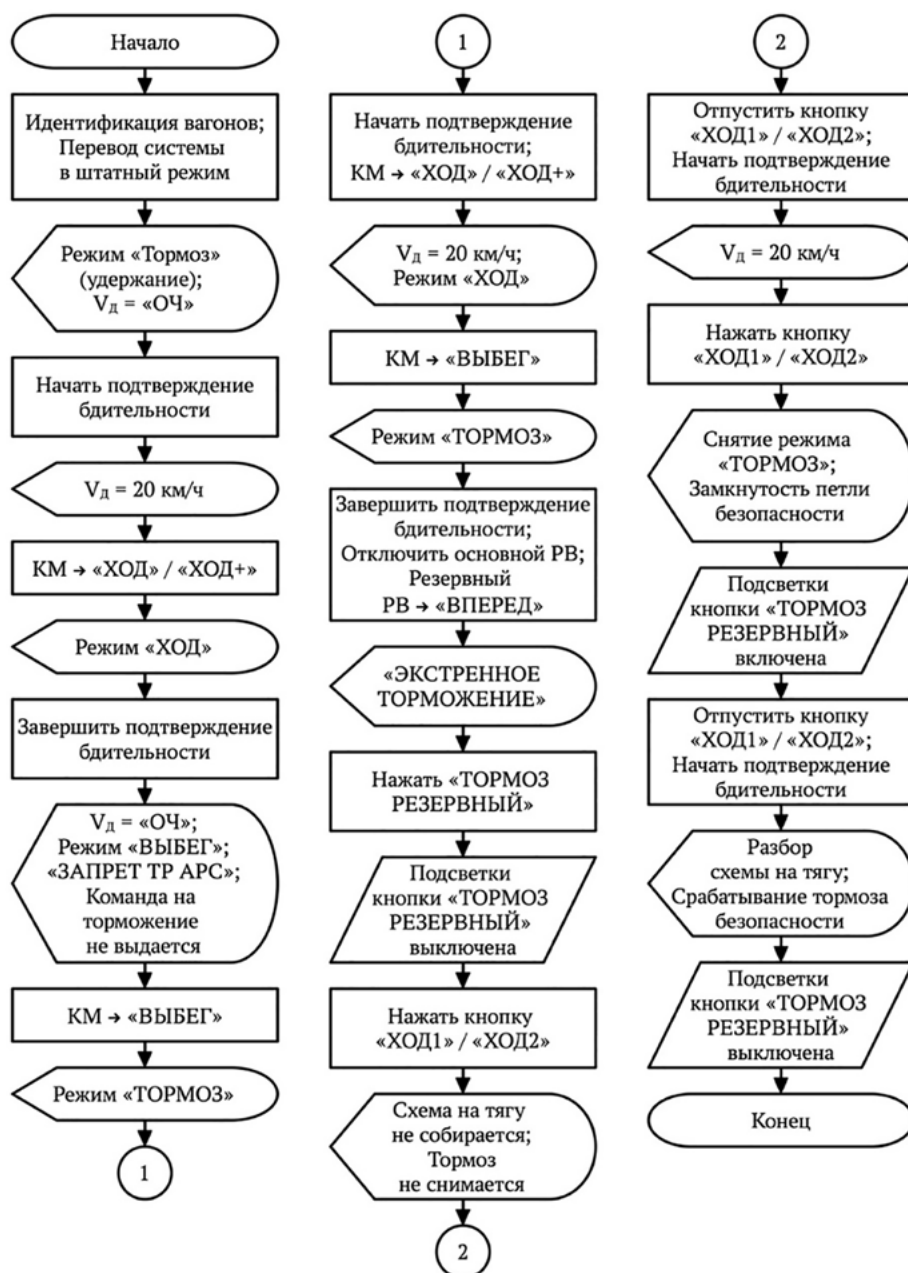


Рис. 1. Блок-схема алгоритма, описывающая процесс эксплуатационного обслуживания поездных устройств АЛС-АРС

применение устройств формирования сигналов АЛС-АРС. Задание начальных условий для выполнения проверок осуществляется за счет взаимодействия со штатными средствами пульта машиниста. Контроль результатов выполнения проверок осуществляется с использованием многофункционального дисплея управления (МФДУ-М).

Объем работ в рамках так называемого технического обслуживания, в свою очередь, предполагает выполнение всего комплекса проверок, в частности на:

- соответствие индикации сигналам, подаваемым с использованием путевых устройств (рис. 2);
- работу при управлении поездом с использованием основного и резервного реверсора (в том

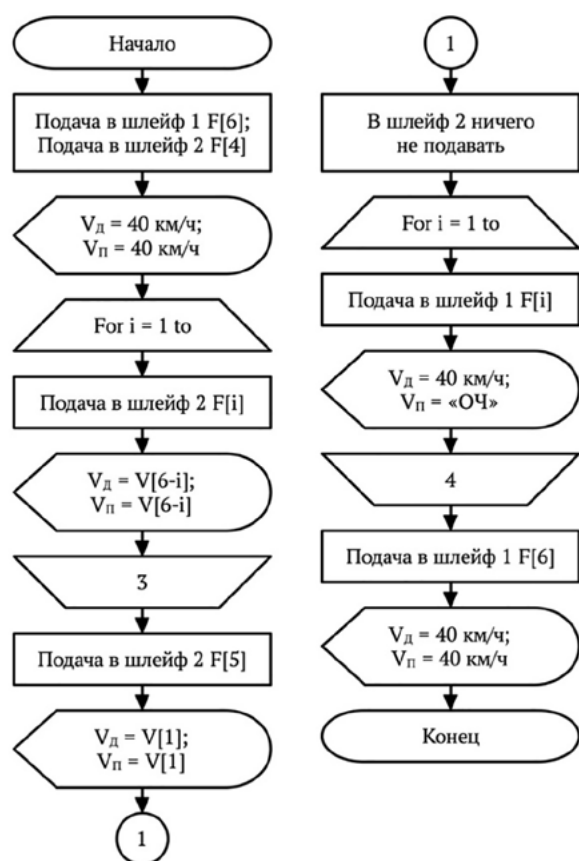


Рис. 2. Блок-схема алгоритма, описывающая процесс проверки соответствия индикации МФДУ-М сигналам, подаваемым с использованием путевых устройств

числе проверки на выдачу сигналов на разборты и применение торможения, рис. 3);

- алгоритм применения экстренного торможения в условиях ОЧ при начале движения без подтверждения бдительности и команды от контроллера машиниста КМ (рис. 4);

- работу «числовой защиты» (рис. 5);

- восприятие сигналов абсолютной остановки (амплитудно модулированного сигнала с частотой несущей 275 Гц).

На рис. 1–5 для упрощения приняты следующие обозначения: F — массив частот несущих сигналов, $F = \{75, 125, 175, 225, 275, 325\}$; V — массив скоростей, используемых в системе АЛС-АРС, $V = \{0, 40, 60, 70, 80\}$; индексация

элементов обоих указанных массивов начинается с единицы.

Анализ построенных обобщенных блок-схем алгоритмов (рис. 1–5), описывающих порядок проведения отдельных проверок в рамках эксплуатационного и технического обслуживания, а также их сопоставление с процессом обслуживания основных устройств безопасности на магистральных железных дорогах, описанным в инструкции Л229, показал наличие ряда особенностей, формирующих предпосылки для технологических разрывов, не позволяющих определить причину сбоя в работе поездных устройств АЛС-АРС. Рассмотрим их более подробно.

Первой особенностью технологического процесса на метрополитене является то, что проверка чувствительности приемника по номинальной величине тока в рельсовой линии, характерная для магистральной АЛСН, в отношении оборудования АЛС-АРС не выполняется. Соответствующий технологический разрыв не позволяет определить влияние электрических параметров приемных катушек и их геометрического положения на работу комплекта оборудования, а также косвенно оценить соотношение сигнал/помеха на входе приемника сигналов АЛС-АРС.

Отсутствие проверки чувствительности приемника, вероятно, связано с тем, что допустимая высота подвеса приемных катушек относительно уровня головки рельса зафиксирована в нормативной документации в достаточно узком диапазоне (180 ± 5) мм, что, однако, не исключает ее изменения в условиях движения поезда в более широких пределах (кроме того, ранее допускался более широкий диапазон высот подвеса, в частности минимальная высота могла быть равна 120 мм [1]), а, кроме того, изменения в процессе эксплуатации электрических параметров приемных катушек. Однако указанная норма позволяет существенно снизить влияние помех, связанных

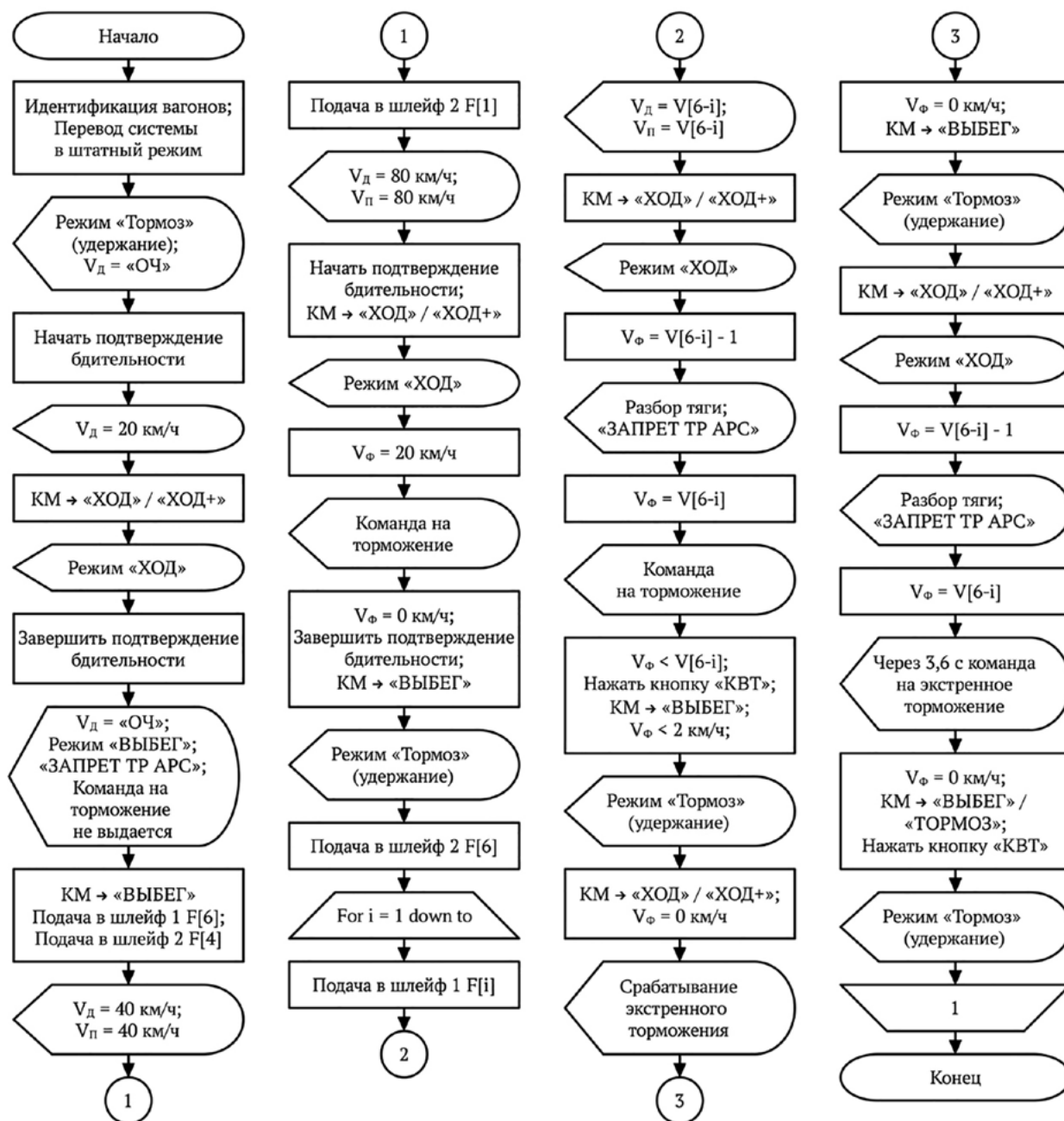


Рис. 3. Блок-схема алгоритма, описывающая процесс проверки функционирования комплекта поездных устройств АЛС-АРС при управлении поездом

с асимметрией в канале индуктивной связи из-за положения контактного рельса.

Другой отличительной особенностью процесса технического обслуживания поездной аппаратуры АЛС-АРС является отсутствие применения стационарных испытательных шлейфов. Вместо них используются переносные шлейфы

и устройства, в частности получившие широкое распространение генераторы комплексной проверки системы регулирования скорости типа КПСРС [13]. Основной особенностью КПСРС является возможность как формирования рабочих сигналов АЛС-АРС, так и формирование сигналов, соответствующих датчику скорости.

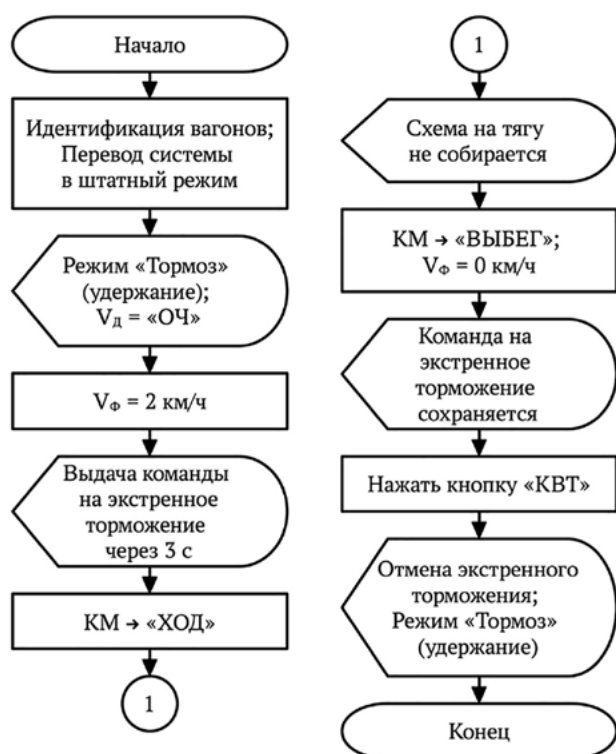


Рис. 4. Блок-схема алгоритма, описывающая процесс проверки функционирования комплекта поездных устройств АЛС-АРС при ОЧ и ненулевой скорости

Такой вариант выполнения устройства проверки позволяет создавать сценарии для проведения контроля формирования приказов на разбор схемы тяги, а также на применение торможения.

Первый технологический разрыв, связанный с применением КПСРС, заключается в том, что процесс обслуживания поездных устройств АЛС-АРС выполняется преимущественно вручную, а контроль исполнения операций возлагается на обслуживающий персонал. КПСРС не позволяет автоматически протоколировать результаты выполнения проверок путем их считывания с МФДУ-М, что не дает реализовать автоматический или автоматизированный процесс протоколирования выполнения технологии обслуживания оборудования, получаемых результатов проверок и определения на их основе причин возникновения сбоев в работе оборудования.

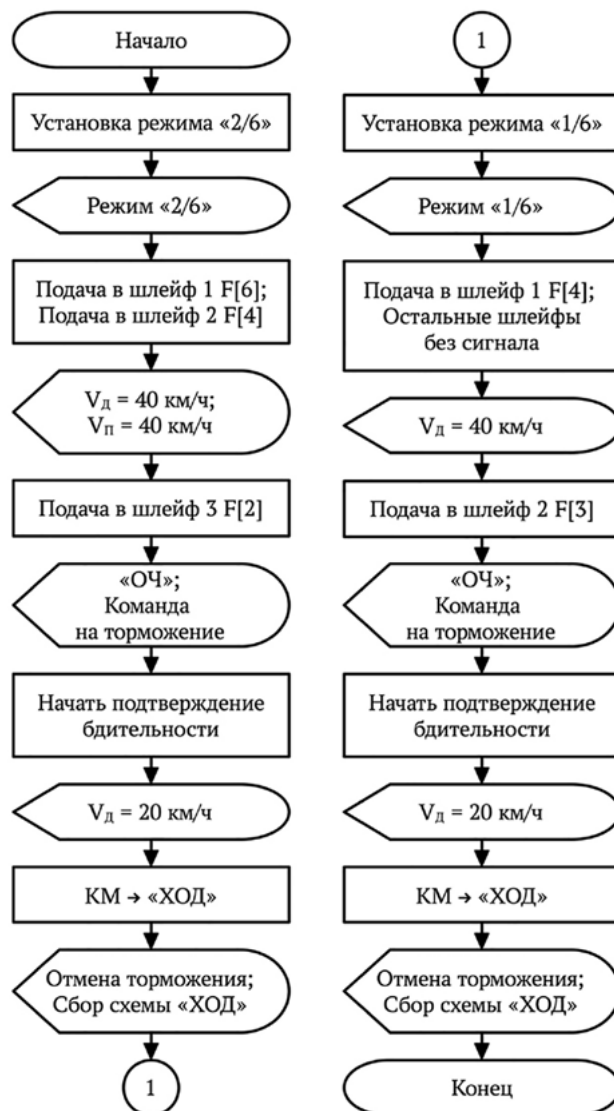


Рис. 5. Блок-схема алгоритма, описывающая процесс проверки «числовой защиты» поездных устройств АЛС-АРС

Второй технологический разрыв, связанный с применением КПСРС, заключается в том, что применение переносных испытательных шлейфов в отсутствие целого ряда мер по эквивалентированию условиям эксплуатации параметров электромагнитного поля, формируемого с их помощью, приводит к невозможности проведения достоверной оценки чувствительности приемника АЛС-АРС по номинальной величине тока в рельсовой линии.

Внедрение асинхронного тягового привода делает актуальным вопрос обеспечения электромагнитной совместимости поездных устройств АЛС-АРС и современного электрического подвижного состава [14]. Это связано с тем, что применение асинхронного тягового привода, использующего частотное регулирование, может потенциально приводить к возникновению гармоник тягового тока на частотах несущих сигналов АЛС-АРС [15].

Следует, однако, отметить, что существующая технология обслуживания не предполагает, за исключением воздействий для проверки «числовой защиты», применение специально синтезированных тестовых воздействий для выполнения определения степени помехоустойчивости работы поездных устройств АЛС-АРС и оценки их защищенности от опасных и мешающих влияний тягового тока, описанных на примере системы БАРС в работе [14]. С учетом этого получаемые результаты проверок не позволяют в полной мере судить о причинах сбоев, связанных с обработкой сигналов от путевых устройств и возникающих в условиях эксплуатации [16]. Это является еще одним технологическим разрывом.

Рекомендации по совершенствованию процесса технического обслуживания поездных устройств АЛС-АРС в условиях депо

Для полноценного решения задачи снижения числа сбоев в работе поездных устройств АЛС-АРС необходимо наряду с оценкой электромагнитной обстановки выполнить работы, направленные на совершенствование процесса технического обслуживания оборудования в условиях депо. При этом следует:

- осуществить повышение уровня автоматизации процесса за счет применения средств считывания результатов работы системы с МФДУ-М и их сопоставления с заданным воздействием;

- обеспечить повышение достоверности и полноты сведений о ходе реализации процесса обслуживания в условиях депо поездных устройств АЛС-АРС за счет контроля исполнения последовательности необходимых технологических операций и проверок;

- разработать и внедрить систему тестовых воздействий, позволяющую определить, с одной стороны, условия возникновения кратковременных сбоев типа ОЧ из-за срабатывания «числовой защиты», а с другой стороны — причины реакции поездных устройств на такие воздействия при соответствии параметров приемного оборудования канала индуктивной связи установленным нормам.

Заключение

В работе с использованием методов структурно-функционального моделирования были определены основные особенности организации технического обслуживания поездной аппаратуры АЛС-АРС на метрополитене:

- выполняемые проверки нацелены в первую очередь на контроль формирования поездными устройствами АЛС-АРС приказов на разбор схемы тяги и на применение торможения (электрического/электропневматического, экстренного) и требуют для своей реализации применение технических средств, одновременно формирующих сигналы АЛС-АРС и сигналы датчика скорости;

- в существующем технологическом процессе имеет место ряд технологических разрывов, приводящих к невозможности определения причин и условий возникновения сбоев в работе поездных устройств АЛС-АРС в пути следования. В частности, не производятся проверки, связанные с оценкой чувствительности приемника по величине тока в рельсовой линии;

- при проведении проверок не используют специальные тестовые сигналы, направленные

на определение условий и анализ причин возникновения сбоев в работе оборудования и оценку его помехоустойчивости; единственной проверкой со сходным содержанием является проверка «числовой защиты», однако она в полной мере дать необходимую оценку помехоустойчивости работы оборудования не позволяет;

– сформулированы рекомендации по совершенствованию технологического процесса обслуживания поездных устройств автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене для снижения числа сбоев и нарушений в их работе.

Полученные результаты будут использованы авторами в дальнейшем при формировании перспективной технологии комплексной проверки поездных устройств АЛС-АРС с возможностью определения причин возникновения сбоев в их работе, а также при разработке соответствующих технических средств.

Список источников

1. Махмутов К. М. Устройства интервального регулирования движения поездов на метрополитене / К. М. Махмутов. — М.: Транспорт, 1986. — 351 с.
2. Линьков В. И. Методология разбивки на блок-участки / В. И. Линьков // Мир транспорта. — 2010. — Т. 8. — № 1(29). — С. 18–25.
3. Бестемьянов П. Ф. К исследованию тракта передачи сигналов с пути на локомотив / П. Ф. Бестемьянов, Д. П. Захаров // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2013. — № 5. — С. 5–10.
4. Бестемьянов П. Ф. Статистические модели амплитуды и длительности импульсных электромагнитных помех в каналах автоматики и телемеханики метрополитена / П. Ф. Бестемьянов, И. Г. Горлин // Электротехника. — 2016. — № 9. — С. 3–7.
5. 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.
6. Бестемьянов П. Ф. Методика выбора параметров сигналов автоматической локомотивной сигнализации в системе интервального регулирования движения поездов с временным разделением каналов / П. Ф. Бестемьянов, Д. П. Захаров // Электротехника. — 2014. — № 8. — С. 2–11.
7. Шевлюгин М. В. Гармонические помехи тягового тока в системе электроснабжения метрополитена / М. В. Шевлюгин, В. Ф. Данг // Мир транспорта. — 2015. — Т. 13. — № 6(61). — С. 88–101.
8. Кабецкий А. Г. Нормы и методы определения электромагнитной совместимости современных систем автоматической локомотивной сигнализации и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом на метрополитене / А. Г. Кабецкий, А. Д. Манаков // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 4. — С. 503–521. DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-503-521.
9. 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.
10. Гулятьев А. С. Поезд метро «Москва-2020»: рост эффективности и комфорта / А. С. Гулятьев, С. С. Заярко // Железные дороги мира. — 2020. — № 12. — С. 59–69.
11. Полухов Н. А. Вагоны метро серии 81-765/766/767 «Москва» / Н. А. Полухов // Железные дороги мира. — 2017. — № 8. — С. 41–47.
12. Данилов Е. Б. Вагоны метрополитена моделей 81-765/766/767: учебное пособие по изучению электрооборудования / Е. Б. Данилов. — М.: ИПЦ Маска, 2018. — 189 с.
13. Продукция // СТІВ.ru. — URL: <https://www.stiw.ru/index.html> (дата обращения: 04.01.2024).
14. Манаков А. Д. Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства АЛС-АРС системы БАРС Петербургского метрополитена / А. Д. Манаков,

А. А. Блюдов, А. Г. Кабещкий, А. А. Трошин // Автоматика на транспорте. — 2015. — Т. 1. — № 1. — С. 28–39.

15. 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.

16. Кочетков А. А. Московский метрополитен. Аварийность, проблемы, перспективы / А. А. Кочетков. — М.: Эдитус, 2020.

Дата поступления: 18.03.2025

Решение о публикации: 19.05.2025

Контактная информация:

ШВОЙН Андрей Иванович — аспирант; shvoyn@mail.ru

КУЗЬМИН Владислав Сергеевич — канд. техн. наук, доц.; vs.kuzmin@bk.ru

ЖУХИН Никита Олегович — канд. техн. наук, ассистент, зав. лабораторией; rzd1997@mail.ru

Technical Maintenance Analysis of the Automatic Locomotive Signalling in the Metro System

A. I. Shvojn, V. S. Kuz`min, N. O. Zhuxin

Russian University of Transport, 9, bld. 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

For citation: Shvojn A. I., Kuz`min V. S., Zhuxin N. O. Technical Maintenance Analysis of the Automatic Locomotive Signalling in the Metro System. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 2, pp. 407–418. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-407-418

Summary

Purpose: To establish the potential of the current technical maintenance procedures for automatic locomotive signalling devices in the Metro depot. The primary focus is to identify the causes of short-term failures, particularly, ‘lack of frequency’ failure (abbreviated as ‘LF’) occurring under operational conditions. The study will also formulate the appropriate recommendations for their improvement. **Methods:** Analysis of scientific and technical literature devoted to the issue of failures in the operation of train devices of automatic locomotive signalling in the Metro system. Structural and functional modelling for describing the main technological operations performed during train device maintenance. Comparative analysis of the maintenance procedures of train devices in the metro and the basic safety devices in the mainline railway transport. The identification of technological gaps is imperative in order to determine the causes of failures in the operation of train devices in the Metro system. The development of recommendations is intended to enhance the technical maintenance procedures for train automatic locomotive signalling devices at the Metro depot. The objective of this development is to reduce failures during the operation of these. **Results:** A detailed description of the technical maintenance of train devices of automatic locomotive signalling has been presented. The main technological gaps that prevent the determination of the conditions and causes of short-term failures in the operation of equipment have been identified. The necessity for developing a system of test effects allowing determining the conditions and causes of short-term failures in the operation of train devices has been highlighted. **Practical significance:** The study has demonstrated the necessity to enhance the level of automation of the technical maintenance of train devices of automatic locomotive signalling in the Metro. Furthermore, there is a need for comprehensive and reliable monitoring of the technical condition of the equipment that receives and processes automatic locomotive signalling data. This will serve to reduce the number of failures under operating conditions.

Keywords: Metro system, automatic locomotive signalling, train devices, maintenance, digital protection, failures, lack of frequency, generator of a comprehensive test of the speed control system.

References

1. Maxmutov K. M. *Ustroystva interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov na metropolitene* [Interval control devices for train traffic on the subway]. Moscow: Transport Publ., 1986. 351 p. (In Russian)
2. Lin'kov V. I. Metodologiya razbivki na blok-uchastki [Methods to sectionize railway blocks]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2010, vol. 8, Iss. 1(29), pp. 18–25. (In Russian)
3. Bestem'yanov P. F., Zaxarov D. P. K issledovaniyu trakta peredachi signalov s puti na lokomotiv [To the Research of Signal Transmission path from Track to the Locomotive]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and electrical equipment of transport]. 2013, Iss. 5, pp. 5–10. (In Russian)
4. Bestem'yanov P. F., Gorlin I. G. Statisticheskie modeli amplitudy i dlitel'nosti impul'snykh elektromagnitnykh pomekh v kanalakh avtomatiki i telemekhaniki metropolitena [On statistical models of the amplitude and the duration of pulsed electromagnetic interference in automatic-control and telemechanic channels of subway lines]. *Elektrotehnika* [Electrical Engineering]. 2016, Iss. 9, pp. 3–7 (In Russian)
5. Bestem'yanov P. F., Kravczov Yu. A., Shherbina E. G. et al. Metodika otsenki rabotosposobnosti rel'sovykh tsepey tonal'noy chastoty pri vozdeystvii toka elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom [Method for Tonal Frequency rail circuits operational integrity estimation under the influence of the rolling stock equipped with asynchronous propulsion motor]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya* [Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering]. 2012, Iss. 1(45), pp. 87–92. (In Russian)
6. Bestem'yanov P. F., Zaxarov D. P. Metodika vybora parametrov signalov avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii v sisteme interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov s vremennym razdeleniem kanalov [A method of selecting parameters for automated cab-signaling signals in a system of train separation with time-division channeling]. *Elektrotehnika* [Electrical Engineering]. 2014, Iss. 8, pp. 2–11. (In Russian)
7. Shevlyugin M. V., Dang V. F. Garmonicheskie pomexi tyagovogo toka v sisteme elektrosnabzheniya metropolitena [Harmonic interference of traction current in metro power supply system]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2015, vol. 13, Iss. 6(61), pp. 88–101. (In Russian)
8. Kabeczkiy A. G., Manakov A. D. Normy i metody opredeleniya elektromagnitnoy sovmestimosti sovremennykh sistem avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii i elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom na metropolitene [Norms and methods for determining the electromagnetic compatibility of modern automatic locomotive signaling systems and electric rolling stock with an asynchronous traction drive on the subway]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2021, vol. 7, Iss. 4, pp. 503–521. DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-503-521. (In Russian)
9. Baranov L. A., Bestem'yanov P. F., Sidorenko V. G. et al. Metod otsenki izmeneniya elektromagnitnoy obstanovki v mestakh funktsionirovaniya 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, Iss. 3, pp. 035–040. (In Russian)
10. Gul'tyaev A. S., Zayarko S. S. Poezd metro “Moskva-2020”: rost effektivnosti i komforta [Moscow-2020 metro train: increasing efficiency and comfort]. *Zheleznnye dorogi mira* [Rail International]. 2020, Iss. 12, pp. 59–69. (In Russian)
11. Poluxov N. A. Vagony metro serii 81-765/766/767 “Moskva” [Metro cars of the 81-765/766/767 “Moscow” series]. *Zheleznnye dorogi mira* [Rail International]. 2017, Iss. 8, pp. 41–47. (In Russian)
12. Danilov E. B. *Vagony metropolitena modeley 81-765/766/767: uchebnoe posobie po izucheniyu elektrooborudovaniya* [Subway cars of models 81-765/766/767: a tutorial on studying electrical equipment]. Moscow: IPC Maska Publ., 2018, 189 p. (In Russian)
13. *Produktsiya* [Products]. STEVE.ru. Available at: <https://www.stiw.ru/index.html> (accessed: January 4, 2025) (In Russian)
14. Manakov A. D., Blyudov A. A., Kabeczkiy A. G. et al. Normy opasnogo i meshayushchego vliyaniya pomekh na

ustroystva ALS-ARS sistemy BARS Peterburgskogo metropolitena [Standards of dangerous and disturbing influence of interference on ALS-ARS devices of the BARS system of the St. Petersburg metro]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2015, vol. 1, Iss. 1, pp. 28–39. (In Russian)

15. Kravczov Yu. A. Elektromagnitnaya sovместimost' rel'sovykh tsepey i elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom [Electromagnetic compatibility of track circuits and electric rolling stock with asynchronous traction drive]. *Avtomatika na transporte* [Automation on transport]. 2015, vol. 1, Iss. 1 pp. 7–27. (In Russian)

16. Kochetkov A. A. *Moskovskiy metropoliten. Avariynost', problemy, perspektivy* [Moscow Metro. Accidents, Problems, Prospects]. Moscow: Editus, 2020, 157 p. (In Russian)

Received: March 18, 2025

Accepted: May 19, 2025

Author's information:

Andrej I. SHVOJN — Postgraduate Student;
shvoyn@mail.ru

Vladislav S. KUZ'MIN — PhD in Engineering,
Associate Professor; vs.kuzmin@bk.ru

Nikita O. ZHUXIN — PhD in Engineering,
Assistant, Head of Laboratory; rzd1997@mail.ru