
Техническая диагностика и прогнозирование

УДК 681.518.5+656.05

**Д. В. Ефанов, канд. техн. наук,
Д. В. Седых**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Г. В. Осадчий

ЗАО «НТЦ “Мониторинг мостов”»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ НА УЧАСТКЕ ТОРБИНО – БОРОВЕНКА ЛИНИИ СКОРОСТНОГО СООБЩЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – МОСКВА

Анализируются результаты работы подсистемы непрерывного мониторинга вибрационных воздействий на железнодорожную контактную подвеску на опытном участке линии скоростного сообщения Санкт-Петербург – Москва. В ходе изучения диагностической информации обработано свыше миллиона диагностических событий. Полученные статистические данные позволили систематизировать все диагностические события и установить некоторые закономерности, присущие тем или иным нештатным ситуациям в работе железнодорожной контактной подвески, в том числе удалось выделить некоторые типовые предотказные состояния и отказы. Результаты работы подсистемы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески позволяют судить о положительном опыте и необходимости расширения функциональных возможностей системы для дальнейшего ее применения и тиражирования, что немаловажно при строительстве скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей.

железнодорожная инфраструктура; техническая диагностика; непрерывный мониторинг; энергоснабжение; железнодорожная контактная сеть; железнодорожная контактная подвеска; вибрационные воздействия; предотказное состояние

Введение

Повышение уровня отказоустойчивости и, как следствие, безопасности, невозможно без внедрения технических средств оперативного контроля объ-

ектов железнодорожной инфраструктуры. На смену человеку в звеньях управления, эксплуатации и технического обслуживания объектов, реализующих перевозочный процесс, постепенно приходят автоматизированные и автоматические средства. Снижение «человеческого фактора» приводит к повышению качества самого технологического процесса перевозок. В дирекциях инфраструктуры ОАО «РЖД» постепенно внедряются средства непрерывного мониторинга технических объектов различных хозяйств (автоматики и телемеханики, пути и энергоснабжения). Сегодня максимально совершенными среди них являются средства непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Вопросам их развития посвящено немало публикаций, в том числе [1–15]. Постепенно, с развитием научно-технического прогресса, начинают развиваться и средства непрерывного мониторинга остальных составляющих железнодорожной инфраструктуры, прежде всего, объектов, не имеющих 100%-го резервирования.

В конце первого десятилетия XXI в. были высказаны идеи о реализации системы непрерывного мониторинга такой важной составляющей железнодорожной инфраструктуры, как контактной подвески [16, 17]. К сожалению, от идеи до технической реализации прошел не один год. Однако сегодня, к концу 2016 – началу 2017 г. система непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески не только прошла все этапы развития «на бумаге», но и внедрена на опытном участке Торбино – Боровенка Октябрьской железной дороги, на линии скоростного сообщения Санкт-Петербург – Москва [18].

В данной статье описываются результаты опытной эксплуатации системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески с диагностическими приборами, включающими в себя датчики температуры и вибрационных воздействий. Они позволяют определить дальнейшие направления развития системы.

1 Характеристика участка, оборудованного системой мониторинга контактной подвески

Системой непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески оборудован двухпутный участок между станциями Торбино и Боровенка на линии скоростного сообщения Санкт-Петербург – Москва, электрифицированной на постоянном токе (рис. 1).

Объект мониторинга распределен на расстоянии 16 км между станциями Торбино и Боровенка Октябрьской железной дороги. На данном участке используется полностью компенсируемая контактная подвеска типа КС-200-7 с компенсаторами блочно-полиспастного типа. Длины анкерных участков колеблются в промежутке 1027–1405 м. Марка и сечение подвески



Рис. 1. Географическое положение участка внедрения

на каждом анкерном участке – М-120 + 2БрОл-120 + 2А-185. Практически на всех участках несущие тросы установлены в 2000–2001 гг., а контактные провода – в 2008–2009 гг. Данный участок обслуживается Санкт-Петербург-Московской дистанцией электроснабжения.

С целью организации системы непрерывного мониторинга контактной подвески на несущих тросах и контактных проводах анкерных участках объекта мониторинга установлено 216 диагностических приборов (по 6 приборов на один анкерный участок, фиксируемых на несущем тросе и контактном проводе вблизи компенсаторов на изолирующих вставках и в районе средней анкеровки). В табл. 1 сведены данные об оснащенных системой мониторинга анкерных участках.

Таблица 1. Характеристики объекта диагностирования

Расположение		Номера анкерных участков	Общее количество анкерных участков	Количество установленных диагностических приборов
Станция Торбино	I путь	1а, 1б, 1в	3	18
	II путь	2а, 2б, 2в	3	18
Перегон Торбино – Боровенка	I путь	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23	12	72
	II путь	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24	12	72
Станция Боровенка	I путь	1, 1а, 1б	3	18
	II путь	2, 2а, 2б	3	18
ИТОГО			36	216

Результаты мониторинга передаются по специально разработанному протоколу передачи данных, отличающемуся от протоколов известных промышленных сетей LoRAWAN и «Стриж» [19–21], на линейный пост, развернутый на станции Тосно Октябрьской железной дороги. Далее данные по проводной линии сети отраслевого назначения передаются в ситуационный центр мониторинга, расположенный в здании единого центра управления перевозками Октябрьской железной дороги на Московском вокзале в Санкт-Петербурге.

Диагностическая информация выводится на технологическое окно автоматизированного рабочего места технолога (рис. 2), а сами результаты мониторинга архивируются.

2 Анализ результатов мониторинга

Работа системы мониторинга за период с марта 2015-го по февраль 2016 г. позволила собрать достаточно большой архив диагностических данных (более миллиона воздействий на контактную подвеску). Благодаря этому появилась возможность классификации диагностических событий с разделением их по уровням тревожности (в том числе разделение на некоторые виды предотказных состояний и отказов). Далее приводятся результаты мониторинга вибрационных воздействий на контактную подвеску, зафиксированные диагностическими приборами на объекте мониторинга [22–24].

Во время опытной эксплуатации были зафиксированы критические уровни, характерные для возникновения того или иного события. Они представлены в табл. 2. В таблице указаны минимальные и максимальные значения ускорений, фиксируемые акселерометром, при возникновении соответствующего события.

Следует отметить, что в текущей версии программного обеспечения операции с компенсатором фиксируются как обычные технологические события. Данные события трудно отличить от критических событий системы. Для их определения необходимо иметь информацию о текущих работах, проводимых с контактной сетью на объекте мониторинга (проверка подвески, прокачка грузов, замены элементов контактной подвески и пр.). События «удар» по контактной подвеске относятся к воздействиям повышенного уровня и на данном этапе развития технологии мониторинга требуют детального анализа с привлечением специалистов по эксплуатации.

Архив результатов мониторинга вибрационных воздействий на участке Торбино – Боровенка содержит детальные данные о событиях, зафиксированных системой мониторинга. В табл. 3 по месяцам приведены данные о воздействиях с повышенными уровнями ускорения по осям акселерометра. В 32 случаях из 1079 это оказались удары по контактной подвеске.

Таблица 2. Предельные значения ускорений

Событие	Диапазон значений ускорений, $g, m/s^2$		
	$X_{\min} \div X_{\max}$	$Y_{\min} \div Y_{\max}$	$Z_{\min} \div Z_{\max}$
Проследование поезда	0,1÷5,0	0,1÷5,0	0,1÷5,0
Воздействие с повышенным уровнем ускорения	0,5÷9,0	0,1÷9,0	0,5÷9,0
Обрыв жилы несущего троса или контактного провода	1,0÷12,0	1,0÷12,0	4,0÷12,0
Обрыв несущего троса или контактного провода	1,0÷20,0	1,0÷20,0	10,0÷20,0

Примечание. Оси X и Y акселерометра направлены перпендикулярно несущему тросу (контактному проводу), ось Z направлена вдоль троса (контактного провода).

Таблица 3. Результаты мониторинга вибрационных воздействий

Год, месяц	Зафиксированные воздействия с повышенным уровнем ускорения/удары по контактной подвеске
2015, март	80
2015, апрель	2
2015, май	35
2015, июнь	89
2015, июль	87/2
2015, август	31
2015, сентябрь	170/20
2015, октябрь	201/10
2015, ноябрь	152
2015, декабрь	163
2016, январь	45
2016, февраль	24
ИТОГО ЗА ГОД	1079/32

По результатам эксплуатации системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески можно сделать следующие важные выводы:

1. Система работоспособна и позволяет отслеживать основные воздействия на контактную подвеску в реальном режиме времени.
2. Чувствительность датчиков позволяет отслеживать уровни воздействия на контактную подвеску, начиная от нормативного движения поездов и заканчивая нарушениями при движении поездов.

3. За время эксплуатации системы обнаружены нетиповые воздействия на контактную подвеску, данные о них ранжированы по уровням воздействия и хронометрированы по датам воздействий.

4. За время эксплуатации опасных отказов оборудования контактной подвески не обнаружено.

5. В результате наблюдений вибрационных воздействий от подвижного состава на анкерных участках можно однозначно диагностировать следующие события:

5.1. Прохождение подвижной единицы по конкретному анкерному участку (тип события – «воздействие»), что не определяет в настоящее время ни одна из установленных систем управления и контроля (за исключением GPS). Следует отметить, что данная информация имеет принципиальное значение, так как разделение на блок-участки интервального регулирования движения на перегоне (баланс службы автоматики и телемеханики) не совпадает с разделением на анкерные участки (баланс службы энергоснабжения). При возникновении частичных (локальных) повреждений на анкерном участке (обрыв струны, обледенение, ненормативные провисания, изменение эластичности в результате заклинивания грузов компенсаторов) можно предупредить локомотивную бригаду с помощью энергодиспетчеров или автоматически о проследовании по опасному участку. При дальнейшем развитии системы мониторинга и управления движением поездов можно, например, реализовать функцию автоматического опускания токоприемника при наличии повреждения (отдельным вопросом, однако, становится обеспечение достоверности диагностической информации, что решается путем применения избыточных кодов, специально разработанных для использования в системах диагностирования и мониторинга [25, 26]).

5.2. Ненормативные воздействия на контактный провод определенного анкерного участка. Это предотказное состояние. Данное событие может быть вызвано как изменением регулировок токоприемника, так и разрегулировкой контактной подвески.

5.3. Удары могут быть как следствием волновых колебаний, вызванных ветровым резонансом (автоколебания, галопирование проводов), так и гололедных отложений, продольной волны.

5.4. Удары, приводящие к повреждениям контактного провода. Из-за данных событий уменьшается прочность контактного провода и срок его службы, увеличивается износ на участках.

5.5. Обрывы жил. Это предотказное состояние конструкции элементов несущего троса.

6. Данный вид контроля, в общем виде, является аналогом систем диагностирования подвижного состава на ходу [27]. При этом система мониторинга работает не в зоне контроля «колесо – рельс», а в верхней зоне токосъема.

Заключение

Реализация подсистемы вибродиагностики в системе непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески – один из первых этапов на пути создания интеллектуального комплекса непрерывного мониторинга контактной сети и других объектов железнодорожной инфраструктуры. Впервые в Российской Федерации удалось расположить диагностические приборы с автономным питанием на географически распределенном железнодорожном объекте и, более того, объединить их в реально функционирующую сеть с минимальным количеством базовых станций.

Результаты анализа работы системы за год опытной эксплуатации позволили систематизировать диагностическую информацию и разделить ее на категории событий, в том числе выделив предотказные состояния и отказы. Тем не менее следует отметить, что мониторинга вибрационных воздействий не хватает для получения полной картины о техническом состоянии контактной подвески. В совокупности с датчиками, работающими на других физических эффектах, можно увеличить глубину диагностирования и получить гораздо больше информации для последующего прогнозирования технического состояния контактной подвески. Такие датчики уже сейчас внедряются в описываемой системе непрерывного мониторинга [28–30].

Результаты использования системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески на опытном участке Торбино – Боровенка могут быть учтены, помимо прочего, при создании систем непрерывного мониторинга воздействий на тросы и провода городского электрического транспорта.

Библиографический список

1. Федорчук А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) : учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетый, В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2008. – 444 с.
2. Молодцов В. П. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А. А. Иванов. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 140 с.
3. Лыков А. А. Обнаружение и предотвращение неисправностей в ТРЦ / А. А. Лыков, Н. А. Богданов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 10. – С. 17–21.
4. Годяев А. И. Система автоматизированного мониторинга параметров физических величин, оказывающих непосредственное влияние на функционирование систем обеспечения безопасности движения / А. И. Годяев, А. А. Онищенко // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 29–34.

5. Нестеров В. В. Развитие систем СТДМ, АСУ-Ш-2 и АОС-ШЧ / В. В. Нестеров // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 12. – С. 45–46.
6. Москвина Е. А. Опыт организации ЦУСИ / Е. А. Москвина // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 9. – С. 22–25.
7. Волков А. А. Выявление предотказов стрелочных электроприводов / А. А. Волков, Д. С. Першин, С. Н. Григорьев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 16–18.
8. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
9. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
10. Бочкарев С. В. Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 40–50.
11. Никитин А. Б. Совершенствование диагностики систем / А. Б. Никитин // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 11. – С. 14–15.
12. Иванов А. А. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 282–297.
13. Иванов А. А. Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 65–80.
14. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 124–148.
15. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
16. Долинский К. Ю. Система удаленного мониторинга состояния железнодорожной контактной сети / К. Ю. Долинский, А. А. Лыков, В. Б. Соколов, В. А. Соколов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С. 44–47.
17. Пат. 2444449 С1 Российская Федерация. Способ и система диагностики и удаленного мониторинга контактной сети железной дороги / В. Г. Непомнящий, Г. В. Осадчий, Д. Н. Пристенский, А. А. Лыков, В. А. Соколов, В. Б. Соколов, К. Ю. Долинский. – № 2010137656/11 ; заявл. 07.09.2010 ; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7. Патентообладатель – ООО «Мостовое бюро». – 10 с.
18. Осадчий Г. В. Непрерывный мониторинг контактной подвески – шаг в будущее железных дорог без транспортных происшествий / Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов, Д. В. Седых // РЖД-Партнер. – 2016. – № 13–14 (июль). – С. 34.
19. Ефанов Д. В. Особенности организации передачи данных по радиоканалу в системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры железнодорож-

- ного транспорта / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 6. – С. 29–33.
20. Насонов Г. Ф. Радиоканал для передачи данных в системах непрерывного мониторинга / Г. Ф. Насонов, Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 11. – С. 2–5.
 21. Насонов Г. Ф. Перспективная сеть передачи данных с собственным протоколом, позволяющим оптимизировать условия эксплуатации систем непрерывного мониторинга / Г. Ф. Насонов, В. Ф. Танаев, Г. В. Осадчий, Д. Н. Пристенский, Д. В. Седых, Д. В. Ефанов // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 5. – С. 29–32.
 22. Ефанов Д. В. Подсистема мониторинга вибрационных воздействий на провода и тросы контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский, Д. В. Барч // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 36–42.
 23. Насонов Г. Ф. Вибродиагностика контактной подвески на линии Санкт-Петербург – Москва / Г. Ф. Насонов, Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 2–3. – С. 49–53.
 24. Efanov D. Monitoring system of vibration impacts on the structure of overhead catenary of high-speed railway lines / D. Efanov, G. Osadchy, D. Sedykh, D. Pristensky, D. Barch // Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS`2016), Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016. – Pp. 201–208.
 25. Sapozhnikov Val. New Sum Code for Effective Detection of Double Errors in Data Vectors / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, V. Dmitriev // Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS`2015), Batumi, Georgia, September 26–29, 2015. – Pp. 154–159.
 26. Сапожников Вал. В. Организация систем функционального контроля комбинационных схем на основе модифицированного кода с суммированием взвешенных переходов (начало) / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев, М. Р. Черепанова // Электронное моделирование. – 2015. – Т. 37. – № 6. – С. 49–68.
 27. Марюхненко В. С. Особенности контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда / В. С. Марюхненко, А. В. Пультяков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 272–287.
 28. Ефанов Д. В. Способ непрерывного мониторинга механического усилия в проводах и тросах контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, В. Л. Иванов, М. Е. Медведев, Г. Ф. Насонов, Ю. А. Черногоров // Транспорт Урала. – 2016. – № 1. – С. 9–15.
 29. Efanov D. Development of Rail Roads Health Monitoring Technology Regarding Stressing of Contact-Wire Catenary System / D. Efanov, G. Osadchy, D. Sedykh // Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016.
 30. Насонов Г. Ф. Непрерывный мониторинг натяжения контактной подвески / Г. Ф. Насонов, Ю. А. Черногоров, М. Е. Медведев, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский, В. Л. Иванов, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 228–258.

*Dmitry V. Efanov,
Dmitry V. Sedykh*

«Automation and remote control on railways» department,
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

German V. Osadchy
ZAO NTTs «Monitoring mostov»

Results of using the continuous monitoring system for railway overhead catenary at the section Torbino – Borovenka of speed line St. Petersburg – Moscow

The paper analyzes the results of the subsystem for continuous monitoring of vibration impacts on the railway catenary on the tension sections at the pilot facility of speed line St. Petersburg – Moscow. During the processing of diagnostic information more than 1 million diagnostic events have been considered. These statistics data allowed to systematize all diagnostic events and to establish some patterns for one or another emergency situations in the railway catenary, including the allocation of some typical pre-failure conditions and failures. The results of operation of the subsystem for continuous monitoring of vibration impacts on the railway catenary provide the insights into the best practices and the necessity of expanding the system's functional capabilities for its further implementation and replication, which is quite important during the construction of speed and high-speed main railway lines.

railway infrastructure; technical diagnostics; continuous monitoring; power supply; railway catenary; railway overhead catenary; vibration impacts; pre-failure condition

References

1. Fedorchuk A. E., Sepety A. A., Ivanchenko V. N. (2008). New information technologies: automation of technical diagnostics and monitoring of ZhAT devices (ADK-SCB system) [Novyye informatsionnyye tekhnologii: avtomatizatsiya tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv ZhAT (sistema ADK-STsB)], textbook for vocational training and colleges of railway transport. Rostov-on-Don, RGUPS, 444 p.
2. Molodtsov V. P., Ivanov A. A. (2010). Dispatching control and railway automation and remote control monitoring systems [Sistemy dispetcherskogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], textbook. St. Petersburg, PSTU (PGUPS), 140 p.
3. Lykov A. A., Bogdanov N. A. (2010). Locating and preventing of failures in TRTs [Obnaruzheniye i predotvrashcheniye neispravnostey v TRTS]. Automation,

- communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 10, pp. 17–21.
4. Godyaev A. I., Onishchenko A. A. (2012). System of automated monitoring of physical parameters, that directly influence on operation of traffic safety system [Sistema avtomatizirovannogo monitoringa parametrov fizicheskikh velichin, okazyvayushchikh neposredstvennoye vliyaniye na funktsionirovaniye sistem obespecheniya bezopasnosti dvizheniya]. Bulletin of Volga region transport [Vestnik transporta Povolzh'ya], issue 2, pp. 29–34.
 5. Nesterov V. V. (2012). Development of STDM, ASU-Sh-2 and AOS-ShCh systems [Razvitiye sistem STD, ASU-Sh-2 i AOS-ShCh]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 12, pp. 45–46.
 6. Moskvina E. A. (2013). Organization of TsUSI. Experience [Opyt organizatsii TsUSI]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 9, pp. 22–25.
 7. Volkov A. A., Pershin D. S., Grigor'ev S. N. (2014). Determination of pre-failures for points electric motors [Vyyavleniye predotkazov strelochnykh elektroprivodov]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 4, pp. 16–18.
 8. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2013). Monitoring of audio-frequency track circuits parameters [Monitoring parametrov rel'sovykh tsepey tonal'noy chastoty]. Ural Transport [Transport Urala], issue 1, pp. 36–42.
 9. Efanov D. V. (2015). Some aspects of developing of concurrent error detection systems of railway automation and remote control devices [Nekotoryye aspekty razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Ural Transport [Transport Urala], issue 1, pp. 35–40.
 10. Bochkarev S. V., Lykov A. A., Markov D. S. (2015). Improving of methods for point switch diagnostics [Sovershenstvovaniye metodov diagnostirovaniya strelochnogo perevodnogo ustroystva]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1, pp. 40–50.
 11. Nikitin A. B. (2015). Improvement of system diagnostics [Sovershenstvovaniye diagnostiki sistem]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 11, pp. 14–15.
 12. Ivanov A. A., Legon'kov A. K., Molodtsov V. P. (2015). New railway automation parameter register devices in APK-DK system (STDM) [Novyye pribory registratsii parametrov ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki v sisteme APK-DK (STDM)]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 3, pp. 282–297.
 13. Ivanov A. A., Legon'kov A. K., Molodtsov V. P. (2016). Data transfer from the APK-DK hardware of crossing equipment with absence of physical line and 24 hours a day watch [Peredacha dannykh s ustroystv oborudovaniya pereyezda apparaturoy APK-DK pri otsutstvii fizicheskoy linii i kruglosutochnogo dezhurstva]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1, pp. 65–80.
 14. Efanov D. V. (2016). Formation and future of development of concurrent error detection and monitoring systems of railway automation and remote control devices [Stanovleniye i perspektivy razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya i monitoringa

- ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 1, pp. 124–148.
15. Efanov D. V. (2016). Operational management and monitoring of railway automation and remote control devices [Funktsional'nyy kontrol' i monitoring ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], monograph. St. Petersburg, Publishing house of Petersburg Transport University [Izdatel'stvo Peterburgskogo Universiteta Putej Soobshcheniya], 171 p.
 16. Dolinsky K. Yu., Lykov A. A., Sokolov V. B., Sokolov V. A., Osadchy G. V. (2010). System of remote monitoring of railway catenary condition [Sistema udalennogo monitoringa sostoyaniya zheleznodorozhnoy kontaktnoy seti]. Transport of the Russian Federation [Transport Rossiyskoy Federatsii], issue 5, pp. 44–47.
 17. Method and systems of diagnostics and remote monitoring of railway catenary (2012). [Sposob i sistema diagnostiki i udalennogo monitoringa kontaktnoy seti zheleznoy dorogi], Russian Federation Patent (RU 2444449 C1). Application 2010137656/11 dd. 07.09.2010. Published: 10.03.2012 Bul. N 7. Patent holder: CJSC «Mostovoe byuro», authors: V. G. Nepomnyaschy, G. V. Osadchy, D. N. Pristensky, A. A. Lykov, V. A. Sokolov, V. B. Sokolov, K. Yu. Dolinsky, 10 p.
 18. Osadchy G. V., Efanov D. V., Sedykh D. V. (2016). Continuous monitoring of overhead catenary – is a step forward the future of railway without transport accidents [Neprieryvnyy monitoring kontaktnoy podveski – shag v budushcheye zheleznykh dorog bez transportnykh proisshestviy]. RZD-Partner, issue 13–14 (July), 34 p.
 19. Efanov D. V., Osadchy G. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N. (2016). Features of organization of data transfer using the radio channel in continuous monitoring systems for infrastructure facilities of railway transport [Osobennosti organizatsii peredachi dannykh po radiokanal v sistemakh neprieryvnogo monitoringa ob'yektov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta]. Industrial automation [Avtomatizatsiya v promyshlennosti], issue 6, pp. 29–33.
 20. Nasonov G. F., Osadchy G. V., Efanov D. V., Sedykh D. V. (2016). Radio channel for data transfer in continuous monitoring systems [Radiokanal dlya peredachi dannykh v sistemakh neprieryvnogo monitoringa]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 11, pp. 2–5.
 21. Nasonov G. F., Tanaev V. F., Osadchy G. V., Pristensky D. N., Sedykh D. V., Efanov D. V. (2016). Promising network of data transfer with its own protocol, that allows to optimize operational conditions of continuous monitoring systems [Perspektivnaya set' peredachi dannykh s sobstvennym protokolom, pozvolyayushchim optimizirovat' usloviya ekspluatatsii sistem neprieryvnogo monitoringa]. Transport of the Russian Federation [Transport Rossiyskoy Federatsii], issue 5, pp. 29–32.
 22. Efanov D. V., Osadchy G. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N., Barch D. V. (2016). Subsystem of vibration impacts monitoring on the cables and cords of overhead catenary [Podsystema monitoringa vibratsionnykh vozdeystviy na provoda i trosy kontaktnoy podveski]. Ural Transport [Transport Urala], issue 3, pp. 36–42.
 23. Nasonov G. F., Osadchy G. V., Efanov D. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N. (2016). Vibration monitoring of overhead catenary at St. Petersburg – Moscow line [Vibro-

- diagnostika kontaktnoy podveski na linii Sankt-Peterburg – Moskva]. Transport of the Russian Federation [Transport Rossiyskoy Federatsii], issues 2–3, pp. 49–53.
24. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D., Pristensky D., Barch D. (2016). Monitoring system of vibration impacts on the structure of overhead catenary of high-speed railway lines. Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016, pp. 201–208.
 25. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D., Dmitriev V. (2015). New Sum Code for Effective Detection of Double Errors in Data Vectors. Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29, 2015, pp. 154–159.
 26. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V., Dmitriev V. V., Cherepanova M. R. (2015). Concurrent error detection system organization for combinational circuits, based on sum code with weighted transitions [Organizatsiya sistem funktsional'nogo kontrolya kombinatsionnykh skhem na osnove modifitsirovannogo koda s summirovaniyem vzveshennykh perekhodov]. Electronic simulation [Elektronnoe modelirovanie], vol. 37, issue 6, pp. 49–68.
 27. Maryukhnenko V. S., Pul'tyakov A. V. (2016). Features of technical condition control of rolling stock during train moving [Osobnosti kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya podvizhnogo sostava na khodu poyezda]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 2, pp. 272–287.
 28. Efanov D. V., Osadchy G. V., Sedykh D. V., Ivanov V. L., Medvedev M. E., Nasonov G. F., Chernogorov Yu. A. (2016). Method of continuous monitoring of mechanical stress in the cables and cords of overhead catenary [Sposob nepreryvnogo monitoringa mekhanicheskogo usiliya v provodakh i trosakh kontaktnoy podveski]. Ural Transport [Transport Urala], issue 1, pp. 9–15.
 29. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D. (2016). Development of Rail Roads Health Monitoring Technology Regarding Stressing of Contact-Wire Catenary System. Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
 30. Nasonov G. F., Chernogorov Yu. A., Medvedev M. E., Osadchy G. V., Sedykh D. V., Pristensky D. N., Ivanov V. L., Efanov D. V. (2016). Continuous monitoring of straining the overhead catenary [Nepreryvnyy monitoring natyazheniya kontaktnoy podveski]. Transport automation [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 2, pp. 228–258.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила в редакцию 01.09.2016, принята к публикации 29.09.2016*

ЕФАНОВ Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I; член IEEE.

e-mail: TrES-4b@yandex.ru

СЕДЫХ Дмитрий Владимирович – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: sedyhdmitriy@gmail.com

ОСАДЧИЙ Герман Владимирович – технический директор ЗАО НТЦ «Мониторинг мостов».
e-mail: osgerman@mail.ru

© Ефанов Д. В., Седых Д. В., Осадчий Г. В., 2017