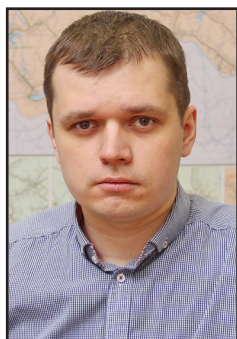


Программные средства системы мониторинга контактной подвески



Дмитрий СЕДУХ
Dmitry V. SEDYKH

Дмитрий ЕФАНОВ
Dmitry V. EFANOV



Герман ОСАДЧИЙ
German V. OSADCHY

*Седых Дмитрий Владимирович — инженер Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС), Санкт-Петербург, Россия.
Ефанов Дмитрий Викторович — кандидат технических наук, доцент ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия.
Осадчий Герман Владимирович — технический директор НТЦ «Мониторинг мостов», Санкт-Петербург, Россия.*

Software Tools for Monitoring Contact Suspension

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 174)

Раскрываются методы построения программных средств системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески, внедренной на линии скоростного сообщения Санкт-Петербург–Москва. Отмечены технические особенности программного обеспечения нижнего и верхнего уровней системы. Показан технологический процесс вывода результатов мониторинга на автоматизированные рабочие места диспетчеров дистанций электрификации и энергоснабжения, службы энергоснабжения и технологов ситуационных центров.

Ключевые слова: железная дорога, контактная подвеска, непрерывный мониторинг, автоматизация, программные средства, АРМ мониторинга.

Важным шагом к совершенствованию технологии обслуживания устройств железнодорожной инфраструктуры является организация систем непрерывного мониторинга и функционального диагностирования составляющих их элементов. Благодаря использованию таких систем становится возможным прогнозирование технического состояния, а также фиксация предотказных состояний объектов диагностирования в процессе непосредственного выполнения ими своих функций.

Среди первых систем непрерывного мониторинга и функционального диагностирования на железных дорогах страны получили известность аппаратно-программные средства диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики [1–3]. Такие системы возникли в конце 90-х годов прошлого века. Уровень автоматизации анализа данных и прогнозирования технического состояния у них оказался достаточно высок [4, 5].

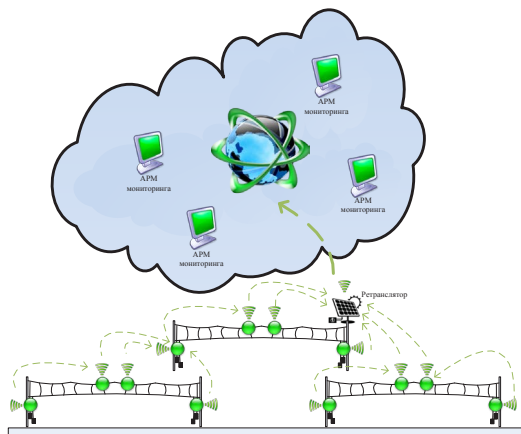


Рис. 1. Структурная схема системы непрерывного мониторинга контактной подвески.

Гораздо хуже обстоит дело с системами непрерывного мониторинга других объектов железнодорожной инфраструктуры — хозяйств пути и энергоснабжения. В отличие от систем мониторинга объектов железнодорожной автоматики, где в основном контролируются электрические параметры устройств, для объектов пути, электрификации и энергоснабжения в качестве диагностических параметров выступают менее однородные показатели: температура, давление, механическое усилие, ускорение и т.д. Кроме того, нельзя не отметить тот факт, что диагностируемые устройства автоматики, как правило, либо централизованы (расположены на одном посту), либо же расположены «точно», на некотором расстоянии друг от друга (например, переездная автоматика или проходные светофоры автоблокировки). Это упрощает процедуру их мониторинга. А объекты верхнего строения пути и контактной подвески относятся к географически распределенным объектам, достигающим больших длин. И отсюда возникают объективные сложности.

Обратим внимание на железнодорожную контактную подвеску [6]. Данный объект функционирует в непростых климатических условиях, подвержен ветровым нагрузкам, снегопадам, перепадам температур, а также непосредственно воспринимает давление пантографа при движении электровоза. На долю контактной подвески приходится свыше 75 % отказов объектов контактной сети [7]. Первые реально действующие системы непрерывного мониторинга контактной подвески появились в России лишь к концу первого десятилетия

XXI века. В частности, подобной системой оснастили несколько анкерных участков в створе на линии скоростного сообщения Санкт-Петербург—Москва [14]. К началу 2016 года была собрана обширная статистика, содержащая результаты вибродиагностики, тензометрических измерений и наблюдения температур, позволяющая ранжировать события, в том числе выделять некоторые отказы и предотказы элементов контактной подвески [15–17].

1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ

Система непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески имеет иерархическую структуру, образованную несколькими функциональными уровнями (рис. 1) [19].

Нижний уровень образован диагностическими приборами, размещаемыми в районе тросов компенсаторов на изолирующих вставках, а также в районе средней анкеровки. Поскольку диагностические приборы расположены на открытом воздухе, к ним предъявлены жесткие требования по эксплуатации, в том числе разработана подсистема автономного питания на основе солнечных батарей и литиевых аккумуляторов. Подсистема уникальна и позволяет снабжать прибор энергией до 10 лет без замены батарей, при этом в отличие от систем непрерывного мониторинга автоматики не требует проводов питания.

В диагностическом приборе, выполненном в жестком корпусе, на печатной плате располагается микроконтроллер, здесь же смонтирован ряд датчиков (вибродиагностики и температуры); к плате через специализированные разъемы подключаются



внешние датчики (например, датчик механического усилия). Микроконтроллер производит первичную обработку диагностической информации и передает ее по радиоканалу с выделенной частотой 868,7 МГц в концентратор линейного поста, расположенный на близлежащей станции. Уровень связи — второй в иерархии, используется собственный протокол передачи данных. Подобный канал для средств непрерывного мониторинга применён в ОАО «РЖД» впервые. Особенности сети передачи данных изложены в [20].

Верхний уровень иерархии — концентратор линейного поста, а также концентраторы центральных постов и ситуационных центров мониторинга. На этом уровне расположены автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчеров дистанций электрификации и энергоснабжения, а также технологов центров мониторинга и руководящего персонала. Здесь диагностическая информация в обработанном и удобном для восприятия виде передается конечному пользователю.

Важной составляющей системы непрерывного мониторинга контактной подвески служит уникальное программное обеспечение, являющееся ее интеллектуальной основой и выполняющее функции обработки диагностической информации, ее передачи и вывода конечному пользователю. Без программных средств система представляла бы собой набор диагностических приборов, каналаобразующего оборудования и компьютерной техники.

2. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

2.1. Модульные уровни

Программные средства подсистемы передачи сообщений и верхнего уровня обработки и отображения результатов мониторинга являются ядром самой системы непрерывного мониторинга и функционального диагностирования.

Все разработанное программное обеспечение не использует специальных коммерческих платформ и модулей, требующих отдельного лицензирования. Серверное программное обеспечение может быть развернуто на большинстве дистрибутивов свободной операционной системы Linux, в том числе собранных и сертифицированных в России. В качестве баз данных воз-

можны как коммерческие программные продукты, так и свободно распространяемые типа MySQL или PostgreSQL российской сборки.

Программная часть системы мониторинга построена по технологии клиент-сервер и состоит из набора программных модулей, которые условно делятся на две категории:

1. Программное обеспечение нижнего уровня для сбора и передачи диагностической информации и управления устройствами системы.

2. Программное обеспечение верхнего уровня для защищенного хранения информации и организации доступа к данным внешних пользователей.

Программное обеспечение нижнего уровня включает в себя программные средства концентратора информации для сбора сообщений с датчиков по радиоканалу или по проводным каналам и сервер приема и обработки сообщений от концентраторов информации.

Серверная система нижнего уровня обеспечивает передачу данных отраслевого назначения ОАО «РЖД», а также хранение получаемой информации на выделенных серверах. Сам протокол передачи данных был специально разработан под задачи систем мониторинга, позволяет организовывать сеть передачи с автоматически реконфигурируемой топологией, решает задачу оптимизации работы системы мониторинга, в том числе даёт минимизировать энергопотребление датчиков и максимально увеличить скорость передачи сообщений без отключения абонентов [20]. В этом его ключевое отличие от известных промышленных сетей «LoRaWAN» и «Стриж» [21, 22].

Сервер непосредственно поддерживает взаимодействие со всеми устройствами в системе мониторинга, а также осуществляет процедуру самодиагностики (контролирует все подключенные устройства), удаленную настройку и управление устройствами.

Выделим особенности разработанного программного обеспечения нижнего уровня:

— специализированный протокол для взаимодействия со всеми компонентами системы, в том числе устройствами, пользующимися радиоканалом;

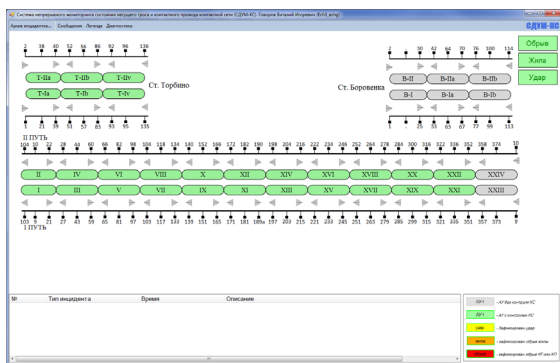


Рис. 2. Главное технологическое окно АРМ мониторинга.

- подсистема логирования всех данных;
- подсистема экспорта данных во внешние БД;
- интегрированная система обновления программного обеспечения подключенных устройств.

Программное обеспечение верхнего уровня включает в себя базу данных SQL и автоматизированные рабочие места диспетчеров службы электрификации и энергоснабжения (АРМ системы мониторинга). База данных SQL, представляющая собой защищенное хранилище всей информации о самой системе, а также о состоянии контролируемых устройств в любой момент времени. Сервер с базой данных обеспечивает хранение и доступ к информации для пользователей системы: диспетчеров, механиков, руководителей различных уровней. В настоящее время реализовано взаимодействие с двумя широко используемыми базами данных: MS SQL Server и MySQL, система также в случае необходимости адаптируется к базе данных PostgreSQL. АРМ существуют локально или доступны через облако. АРМ мониторинга предоставляет доступ к данным для дежурного дистанции электрификации и энергоснабжения, а также диспетчера центра мониторинга и диагностирования. Автоматизированные рабочие места предоставляют полный набор функций, облегчающих труд не только работникам энергоснабжения, но и администраторам вычислительных средств. Функции АРМ для конкретного пользователя могут отличаться в зависимости от его прав и решаемых задач. Типовое технологическое окно пользователя программы представлено на рис. 2.

К особенностям разработанного программного обеспечения верхнего уровня относятся:

- 1) Для администраторов:
 - автоматическая система развертывания программного обеспечения;
 - автоматическая система обновления программного обеспечения;
 - администрирование пользователей системы;
 - администрирование порогов срабатывания системы для различных классов событий (доступ только у специальных лиц, изменения только по согласованию с руководством железной дороги);
 - мониторинг действий пользователей в системе.
- 2) Для пользователей:
 - авторизация;
 - отображение событий в реальном режиме времени;
 - отображение данных в табличном или графическом виде;
 - построение отчетов по заданию пользователя;
 - просмотр содержимого архива событий в любой промежуток времени;
 - диагностирование состояния компонентов самой системы;
 - звуковые и графические уведомления;
 - протоколирование действий пользователя;
 - доступ к технической документации участков контроля встроенными средствами программного обеспечения.

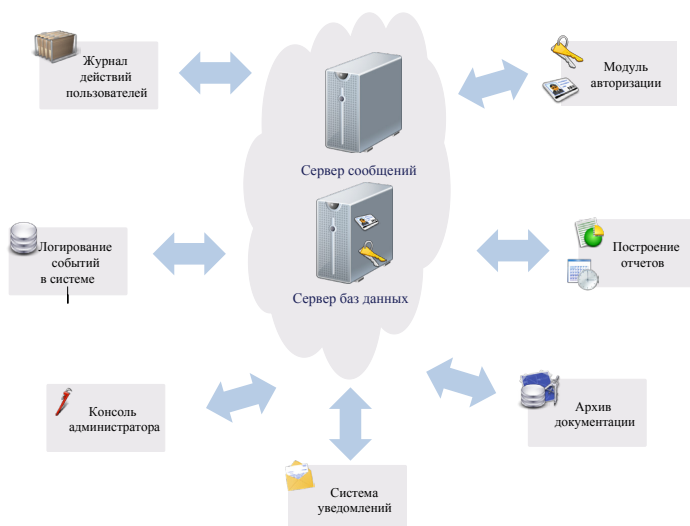
Общая схема модулей программного обеспечения верхнего уровня представлена на рис. 3.

2.2. Главное технологическое окно программной оболочки

Рассмотрим типовой режим работы программной оболочки АРМ системы мониторинга. Все устройства действуют в штатном режиме, критических событий нет. Объектами мониторинга в порядке



Рис. 3. Структура модулей программного обеспечения верхнего уровня.



укрупнения являются: опора, анкерный участок, зона обслуживания (ЭЧК), дистанция электрификации и энергоснабжения (ЭЧ), дорога (рис. 2).

Для возможности вывода диагностической информации разработана собственная система условных обозначений. Линиями показан весь участок контактной подвески, оборудованный системой непрерывного мониторинга. В виде черных квадратов, соединенных линиями с основным участком объекта диагностирования, показаны опоры контактной сети и их номера по каждому из путей, в непосредственной близости от которых установлены диагностические приборы. Каждый анкерный участок изображен в виде овала с соответствующей его номеру римской цифрой. Черные квадраты, относящиеся к опорам, равномерно распределены между всеми анкерными участками: по три опоры. Две крайние опоры участка и опора в районе средней анкеровки.

Таким образом, системой оборудован участок железнодорожной линии, включающий в себя 36 анкерных участков по шесть диагностических приборов на каждом. Сами диагностические приборы на схеме не обозначаются, в случае наступления события показываются только объекты контактной сети, на которые осуществлено воздействие: это может быть сам анкерный участок и отдельно компенсирующие устройства. На схеме они показаны условно серыми треугольниками, разделенными пополам (верхняя часть соответствует грузам компенсатора на несущем тросе, а ниж-

няя — компенсатора на контактном проводе).

Все виды сообщений в системе мониторинга фиксируются в зоне их вывода (нижняя часть экрана на технологическом окне рис. 2). Новые сообщения всегда добавляются в начало списка, при этом сам список сдвигается вниз.

Основная и оперативная информация выводятся прямо на мнемосхему, то есть при наступлении события объект, где оно произошло, подсвечивается заданным цветом (по умолчанию желтым или красным в зависимости от уровня опасности — желтый соответствует предотказному состоянию, а красный — отказу). Подсветка происходит на всех видимых уровнях иерархии. Также при возникновении тревожного события (отказа или предотказа) звучит ежесекундный звуковой сигнал. Над мигающим блоком события обозначается его время и дата. Если событий несколько, то указываются дата и время последнего из них. До того времени, как пользователь не подтвердит просмотр события, оно будет продолжать мигать установленным для него цветом. Пользователь может сделать отметку о просмотре события, но до его квитирования оно продолжит быть выделенным соответствующим цветом. Событие считается полностью разрешенным тогда, когда пользователь подтверждает его просмотр и исполнение действий по нему.

В зависимости от настроек системы по параметрам выводимых пользователю событий при их наступлении происходят различные действия.

Первое событие условно названо «событий нет». Это штатный режим системы мониторинга при исправности всех датчиков диагностических приборов (рис. 2). На мнемосхеме зеленым цветом обозначаются объекты диагностирования, которые оснащены системой мониторинга. Сама схема отображения может содержать произвольное количество уровней и быть детализирована до каждого датчика при необходимости.

Второе событие – «обнаружение отказа». Оно фиксируется при наличии событий с критическим уровнем нагрузки на контактную подвеску (обрыв несущего или контактного тросов). Цвет фона объекта мониторинга меняется на красный. В технологической ячейке вместо имени объекта появляется текст «обрыв». Информация о событии автоматически всплывает на экране монитора АРМ: она добавляется вверх списка событий, а также отображается на графической схеме контролируемого участка. Через динамик воспроизводится звук для привлечения внимания пользователя (рис. 4).

Третьим событием системы является «обнаружение обрыва жилы троса» (фактически это не обрыв, но повышение нагрузки, например, сильный удар токоприемника). Информация, как и о событии предыдущего вида, добавляется вверх списка событий, а через динамик воспроизводится звук для привлечения внимания пользователя. Цвет фона объекта мониторинга меняется на оранжевый. В ячейке вместо имени объекта будет написан текст «жила».

Четвертое событие связано с «обнаружением сильного воздействия на контактную подвеску» (фактически это тоже не обрыв троса или жил, но повышение нагрузки, например, сильный удар токоприёмником). Аналогично информация данного типа добавляется вверх списка событий, а через динамик подается звуковой сигнал. Цвет фона объекта мониторинга меняется на желтый. В ячейку вместо имени объекта записывается «удар».

Любое сообщение о событии содержит следующую информацию:

- идентификатор события в системе (его уникальный номер), заключаемый в квадратные скобки;

- время наступления события;
- тип события (проследование поезда, критическая нагрузка и т.д.);
- наименование сработавшего датчика;
- место установки датчика (например, номер опоры).

После наступления событий с уровнями выше нормального (штатного режима действия устройств) пользователю необходимо отработать событие, проверить данные по событиям, зафиксировать предпринятые действия, затем может быть выключена звуковая и световая индикация на данном участке. После квитирования события цветовой режим вернется в цвета «по умолчанию» до наступления следующих критических событий в системе.

2.3. Работа с архивными данными

АРМ содержит встроенные функции построения отчетов по произошедшим событиям. Для этого предназначен раздел «Архив событий». При его активизации запускается специальный модуль. Отчет может быть напечатан и экспортирован в Microsoft Excel встроенными средствами. Он содержит следующие поля:

- «#» уровень события, по умолчанию от нуля до трех (чем больше цифра, тем больше «тревожность» события);
- «Уровень тревоги» (текстовое поле с описанием типа события);
- «Датчик» (имя, с которого поступил сигнал);
- «Место» (где произведена установка датчика; как правило, место совпадает с номером опоры контактной сети);
- «Дата» (наступления события по часам сервера базы данных);
- «Время» (наступления события с точностью до тысячных долей секунды по часам сервера базы данных);
- «Продолжительность» (воздействия на контактную подвеску в секундах);
- «Х» (максимальное значение ускорения движения вибродатчика по оси Х);
- «Y» (максимальное значение ускорения движения вибродатчика по оси Y);
- «Z» (максимальное значение ускорения движения вибродатчика по оси Z).

Модуль работы с отчётами включает стандартные механизмы для фильтрации и группировки данных, аналогичные стандартным средствам электронных таблиц.



Рис. 4. Главное технологическое окно АРМ мониторинга при обнаружении обрыва жилы несущего троса.

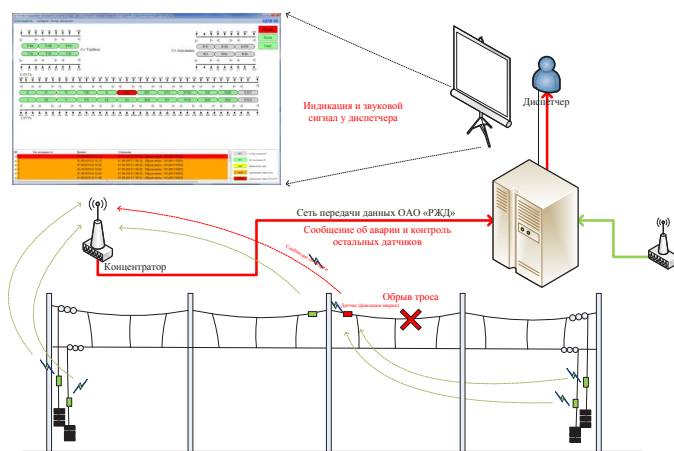
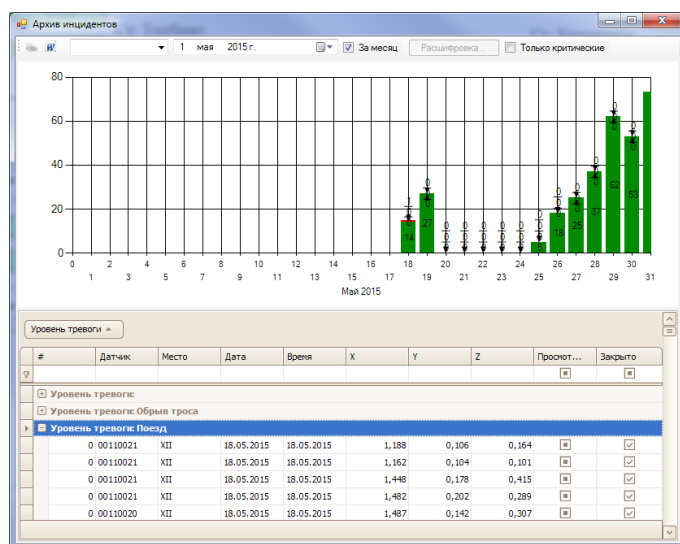


Рис. 5. Технологическое окно архива событий.



Например, все события можно сгруппировать по датам и показать только события с конкретной опоры контактной сети. Для этого следует перетащить в заголовок таблицы заголовок столбца, по которому необходимо сгруппировать данные, а при фильтрации нужно навести курсор мыши на нужный столбец или задействовать фильтр по выборке данных (рис. 5).

Для более детального изучения причин событий предназначен специальный режим просмотра по всем данным, по объектам диагностирования и устройствам. Сам отчет имеет встроенные средства вывода на печать и средства экспорта во все распространенные форматы данных.

В связи с расширением функционала системы сейчас проводится модернизация программного обеспечения нижнего и верхнего уровней для поддержки работы с новыми задачами мониторинга:

- непрерывный мониторинг усилия натяжения тросов контактной подвески;
- непрерывный мониторинг угла установки опор контактной сети.

Кроме того, модернизируются диагностические функции и методы отображения данных для новых направлений мониторинга. Разработаны специальный язык и средства описания мнемосхем для отображения данных как на экране персонального компьютера, так и на видеостенах центров мониторинга. Подсистемы хранения данных, подсистема отображения мнемосхем и отображения событий построены таким образом, что позволяют дать любые сведения по мониторингу как для задач энергоснабжения, так и задач других хозяйств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Недостаточно просто получить диагностическую информацию, важно провести ее

первичную обработку, осуществить передачу данных на центральный пост, а также вывести ее в удобном и понятном виде пользователю. Именно такими важными свойствами и обладает разработанная программная оболочка нижнего и верхнего уровней системы непрерывного мониторинга железнодорожной контактной подвески.

Использование программных средств системы мониторинга позволяет техническому персоналу дистанций электрификации и энергоснабжения оперативно реагировать на появление неисправностей (возникновение предостказов и отказов), а также своевременно вырабатывать рекомендации исполнителям, обслуживающим контактную подвеску. Все это в совокупности с имеющимися мероприятиями по техническому обслуживанию и ремонтам помогает улучшить работу нерезервируемых объектов контактной подвески и способствует повышению надежности и безопасности перевозочного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефанов Д. В., Плеханов П. А. Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. — 2011. — № 3. — С. 44–48.
2. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. — 2016. — № 1. — С. 124–148.
3. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Монография. — СПб.: ПГУПС, 2016. — 171 с.
4. Бочкарев С. В., Лыков А. А., Марков Д. С. Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства // Автоматика на транспорте. — 2015. — № 1. — С. 40–50.
5. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. — 2015. — № 1. — С. 35–40.
6. Марквардт К. Г. Контактная сеть. — М.: Транспорт, 1994. — 335 с.
7. Ковалев А. А., Несмелов Ф. С. Применение современных методов моделирования для повышения надежности устройств контактной сети железнодорожного транспорта // Инновационный транспорт. — 2012. — № 1. — С. 49–52.
8. Park Y., Cho Y. H., Lee K., Jung H., Kim H., Kwon S., Park H. Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application // 8th World Congress on Railway Research, COEX, Seoul, Korea, 2008, 18–22 May.
9. Park Y., Kwon S. Y., Kim J. M. Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire // The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2012, Vol. 61, No. 8, pp. 1216–1220.
10. Hisa T., Kanaya M., Sakai V., Hamaoka K. Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic // Hitachi Review. — 2012. — Vol. 61. — No. 7. — Pp. 325–330.
11. Mizan M., Karwowski K., Karkosiński D. Monitoring odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej // Przegląd Elektrotechniczny, 2013, R89, nr 12, pp. 154–160.
12. Park Y., Lee K., Park C., Kim J.-K., Jeon A., Kwon S., Cho Y. H. Video Image Analysis in Accordance with Power Density of Arcing for Current Collection System in Electric Railway Journal title: The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers. — 2013. — Vol. 62. — Issue 9. — Pp. 1343–1347.
13. Инновационная контактная сеть ШЦФ V350, испытанная скоростью свыше 500 км/ч // Вести Евразии. — 2014. — № 6. — С. 22.
14. Осадчий Г. В., Ефанов Д. В., Седых Д. В. Непрерывный мониторинг контактной подвески — шаг в будущее железных дорог без транспортных происшествий // РЖД-Партнер. — 2016. — № 13–14 (июль). — С. 34.
15. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Седых Д. В. и др. Способ непрерывного мониторинга механического усилия в проводах и тросах контактной подвески // Транспорт Урала. — 2016. — № 1. — С. 9–15.
16. Насонов Г. Ф., Осадчий Г. В., Ефанов Д. В., Седых Д. В., Пристенский Д. Н. Вибродиагностика контактной подвески на линии Санкт-Петербург—Москва // Транспорт Российской Федерации. — 2016. — № 2–3. — С. 49–53.
17. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Седых Д. В., Пристенский Д. Н., Барч Д. В. Подсистема мониторинга вибрационных воздействий на провода и тросы контактной подвески // Транспорт Урала. — 2016. — № 3. — С. 36–42.
18. Специальные технические условия: Железнодорожное электроснабжение участка Москва—Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва—Казань—Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству. — СПб., 2014. — 46 с.
19. Насонов Г. Ф., Черногоров Ю. А., Медведев М. Е. и др. Непрерывный мониторинг натяжения контактной подвески // Автоматика на транспорте. — 2016. — № 2. — С. 228–258.
20. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Седых Д. В., Пристенский Д. Н. Особенности организации передачи данных по радиоканалу в системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта // Автоматизация в промышленности. — 2016. — № 6. — С. 29–33.
21. Верхулевский К. Технология LoRa компании Semtech: новый импульс развития «Интернета вещей» // Беспроводные технологии. — 2015. — № 3. — С. 8–14.
22. LPWAN-технология «Стриж». [Электронный ресурс]: <http://strij.net/tehnologiya-strizh>. Доступ 01.08.2016.

Координаты авторов: **Седых Д. В.** — sedyhdmitriy@gmail.com, **Ефанов Д. В.** — TrES-4b@yandex.ru, **Осадчий Г. В.** — osgerman@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.08.2016, принята к публикации 23.09.2016.

