

Техническая диагностика и прогнозирование

УДК 681.518.5+656.05

**Г. Ф. Насонов,
Ю. А. Черногоров,
М. Е. Медведев**

ОАО «РЖД»

Г. В. Осадчий

ЗАО «НТЦ “Мониторинг мостов”»

**Д. В. Седых,
Д. Н. Пристенский**

ООО «Мостовое бюро»

В. Л. Иванов, канд. техн. наук

Университет ИТМО

Д. В. Ефанов, канд. техн. наук

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ НАТЯЖЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ

В статье показано, что для организации безопасного и безостановочного пропуска поездов по железнодорожным линиям недостаточно осуществлять мониторинг объектов только одного хозяйства (автоматики и телемеханики, пути или энергоснабжения). Необходим комплексный мониторинг объектов инфраструктуры, основанный на фундаментальных подходах, одним из которых является теория управления рисками. Именно поэтому выбор элементов и систем, не имеющих резерва, и определение их технического состояния являются приоритетными задачами.

Рассматривается организация системы мониторинга контактной подвески, от качества функционирования которой зависит качество работы всех технических средств реализации перевозочного процесса. Анализируются известные технические решения по организации технического обслуживания и мониторинга контактной сети на железных дорогах Российской Федерации и зарубежный опыт, с учетом действующих в данной области стандартов, как отечественных, так и зарубежных.

Описывается новый способ мониторинга технического состояния контактной подвески, основанный на комплексном подходе к измерениям параметров контактной сети. Предло-

женный в статье способ позволяет диагностировать такие важные события, как полный обрыв несущего троса и контактного провода, ненормативную работу компенсатора, усилия в тросах контактной подвески и т. д. Очевидно, что ряд параметров, фиксируемых разработанной авторами системой, позволяет определять предотказные состояния контактной подвески. Модульный принцип, предложенный при построении системы мониторинга, позволяет универсально использовать канал передачи данных, в том числе для диагностической информации смежных хозяйств, что значительно сокращает капитальные вложения в инфраструктуру.

Экспериментально установлено минимальное количество диагностических приборов, необходимых для качественного и эффективного мониторинга на одном анкерном участке. Организация системы мониторинга технического состояния контактной сети – важный шаг к созданию высоконадежных средств поддержания надежности объектов инфраструктуры, обеспечению эффективной работы всего железнодорожного комплекса, уменьшению затрат на эксплуатацию, сокращению влияния человеческого фактора, позволяющий осуществить переход на обслуживание по состоянию.

техническая диагностика; мониторинг; энергоснабжение; токоприемник; контактная сеть; беспроводная передача данных; радиоканал; предотказное состояние

Введение

Существует прямая зависимость между темпом экономического развития того или иного региона в мире и уровнем развития транспортной инфраструктуры. В Российской Федерации во многом из-за географического положения и сырьевой ориентации экономики именно железнодорожный транспорт с эпохи первой технологической революции (по классификации признанного классика теории постиндустриализма Д. Белла) по настоящее время продолжает оставаться двигателем экономического роста, стимулом развития новых территорий и, как показывает опыт реализации высокоскоростного движения, сферой освоения новых инновационных технологий. Это требует от технического персонала совершенствования процессов управления, отвечающих требованиям существующей экономической модели, постоянного поиска путей повышения эффективности использования имеющейся и новой техники, способов регулирования пропускной и провозной способности дорог в соответствии с потребностями в перевозках пассажиров и грузов при минимальных капитальных вложениях и максимальной надежности.

Таким образом, стоит задача увеличения надежности системы при одновременном снижении ее стоимости – это касается как этапа создания, так и всего периода эксплуатации. Приемлемо согласовать эти взаимоисключающие условия можно с помощью теории управления рисками [1]. Решение требует не только снижения экономических потерь, но и репутационных, что не менее важно. В теории управления рисками принято выделять выбор методов и инструментов управления риском.

Одним из решений указанной задачи, что не раз подчеркивалось руководителями ОАО «РЖД» [2], является развитие научного направления – технической диагностики и мониторинга объектов обеспечения движения поездов. Системы технического диагностирования и мониторинга, предназначенные для контроля средств обеспечения движения поездов, уже более десяти лет поэтапно вводятся в различных хозяйствах ОАО «РЖД» [3–10]. Наиболее совершенными из них являются системы технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) [11–16]. Широко известны и применены на сети железных дорог Российской Федерации такие системы диагностирования устройств ЖАТ, как АПК-ДК, АДК-СЦБ, АСДК. Внедрение этих систем направлено на совершенствование технической эксплуатации систем и устройств ЖАТ через централизацию диагностирования и мониторинга на уровне дистанции и ЕДЦУ дороги.

Однако, как не раз отмечалось в различных статьях [10, 17], требования к этим системам очень высоки. При этом не обеспечивается в необходимом объеме контроль качественных показателей технического обслуживания систем ЖАТ. Большую роль в успешном решении данной задачи играет возможность систем диагностирования и мониторинга прогнозировать состояния процессов благодаря развитию вычислительной техники и смещению акцентов с аппаратной части на интеллектуальное программное обеспечение [18, 19], другими словами, выявлять катастрофические, или предотказные [20], состояния устройств.

Роль средств ЖАТ в обеспечении эффективной работы компании ОАО «РЖД» трудно переоценить, однако эти средства составляют только 5 % от общей стоимости основных фондов. Таким образом, необходимо использование систем технического диагностирования и мониторинга в смежных хозяйствах, что даст реальный экономический эффект не только в хозяйстве автоматики и телемеханики.

Инфраструктура железных дорог включает в себя верхнее строение пути (рельсы, шпалы, соединители, балластная призма и пр.), искусственные сооружения (мосты, путепроводы, тоннели и пр.), комплекс устройств организации электроснабжения подвижного состава (тяговые подстанции, контактная сеть, опоры и пр.), средства регулирования движения поездов (светофоры, рельсовые цепи, средства управления стрелочными электроприводами и пр.). Все эти сооружения функционируют в тесном взаимодействии друг с другом и подвижным составом. Качество обслуживания и состояние одних устройств влияет на состояния объектов смежных хозяйств – например, асимметрия обратного тягового тока приводит к сбоям сигналов автоматической локомотивной сигнализации, а обрывы струн и снижение натяжения контактного провода – к повреждениям пантографов электроподвижного состава в тяговом хозяйстве.

Поддерживать работоспособность технических объектов инфраструктуры и подвижного состава позволяют мероприятия по их обслуживанию и ремонтам, как правило, с привлечением ручного труда. Имеет место влияние двух факторов: 1) «дискретности» процесса определения технического состояния (поскольку невозможно вручную непрерывно производить требуемые измерения и давать оценку технического состояния); 2) «человеческий фактор» (технический персонал может допустить ошибку в работе или же провести процесс обслуживания не с надлежащим качеством). Например, 3 января 2016 г. на одном из перегонов Забайкальской железной дороги по причине излома рельса, должный контроль которого отсутствовал, был допущен сход семи вагонов грузового поезда. Это повлекло за собой большие материальные потери (повреждены 13 грузовых вагонов, 132 м железнодорожного пути, опора контактной сети, 100 м усиливающего провода), а также перерыв в движении поездов [21]. Данный пример еще раз обращает внимание на необходимость повышения надежности объектов реализации перевозочного процесса: внедрение средств мониторинга технического состояния позволяет увеличить периодичность диагностирования технического состояния, а также снизить влияние «человеческого фактора» на перевозочный процесс.

В дирекциях инфраструктуры железных дорог Российской Федерации для организации эффективной работы объектов инфраструктуры выделены специальные подразделения – дистанции пути и сооружений (ПЧ), электрификации и электроснабжения (ЭЧ) и сигнализации, централизации и блокировки (ШЧ), а также предприятия гражданских сооружений и вагонного хозяйства. Все железнодорожные линии разделены на сферы влияния различных дистанций по географическому принципу. В каждой из составляющих инфраструктуры железных дорог используются свои методы обеспечения надежности и безопасности функционирования, в том числе средства непрерывного мониторинга. Наиболее совершенными системами мониторинга, как отмечалось выше, оборудованы объекты сигнализации, централизации и блокировки, так как автоматизация процесса их технического диагностирования является во многих случаях более простой, чем в других хозяйствах. В таких системах с небольшим периодом контролируется набор электрических параметров (практически 100% измерений – это напряжения, токи и сопротивления в выбранных узлах технических решений), дальнейший анализ измеренных значений дает возможность определения технического состояния объекта диагностирования и мониторинга. Более сложной является организация мониторинга объектов пути и электроснабжения.

При анализе диагностических ситуаций важно иметь информацию и о техническом состоянии всех объектов инфраструктуры, а в идеальном варианте также и о состоянии подвижного состава. Однако моментальное внедрение средств мониторинга и их развитие невозможно.

Рассмотрим задачу развития технологии мониторинга в хозяйстве электрификации и электроснабжения.

1 Проблема мониторинга контактной подвески

Контактная подвеска работает в тяжелых условиях: резкие изменения температуры воздуха, ветер, гололед, грозы. Тяговый ток нагревает ее провода. Контактная подвеска не имеет резерва. Поэтому для обеспечения ее надежности при проектировании и строительстве предусматривают повышенные коэффициенты запаса прочности – от 2 до 4. Кроме того, контактную подвеску секционируют, т. е. разделяют на отдельные секции, изолированные в механическом и электрическом отношении друг от друга, что обеспечивает удобство ее эксплуатации.

Стоимость устройств контактной сети составляет 30–35 % общей суммы капитальных вложений в электрификацию дорог (без стоимости электроподвижного состава). Для определения качественных параметров работы контактной сети существует целый ряд нормативных документов [22–28]. Контактная подвеска расположена в отдельном фокусе, а ее неисправности находятся на стыке хозяйств (например, неисправности контактного провода, обслуживаемого специалистами дистанций энергоснабжения, могут привести к повреждениям токоприемников тяговых единиц, обслуживаемых специалистами дистанций тяги) и приводят к различным по тяжести последствиям, в том числе перерывам в движении поездов. Известно большое количество таких случаев [29–34].

При заданных условиях эксплуатации контактный провод имеет нормативное провисание и обеспечивает хороший съем тягового тока пантографом локомотива. Однако при токосъеме возникает износ контактного провода, что приводит к изменению натяжения и, как следствие, к ухудшениям условий съема тягового тока.

При организации высокоскоростного движения компенсированную контактную подвеску используют обязательно [35]. Внешний вид контактной подвески с компенсаторами представлен на рис. 1. Детализированный вид с блочно-грузовыми компенсаторами приводится на рис. 2. Два блока компенсатора имеют жесткое крепление к опоре, а третий имеет возможность перемещаться в горизонтальном направлении при изменении длины несущего троса или контактного провода [36, 37]. Повышение натяжения проводов подвески существенно влияет на улучшение статических и динамических характеристик, повышает жесткость подвески и позволяет повысить качество токосъема. Струны такой подвески при изменении температуры сохраняют вертикальное положение, смещаясь вправо или влево вместе с несущим тросом и контактным проводом.

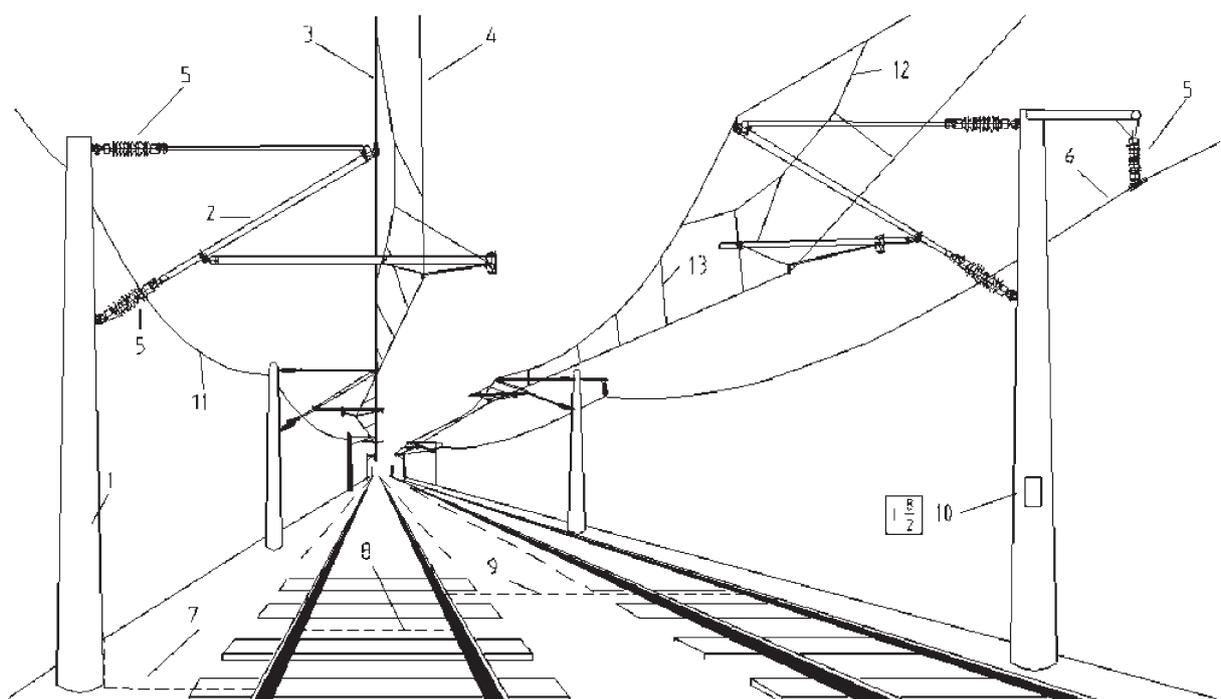


Рис. 1. Цепная контактная подвеска:

1 – опора контактной сети; 2 – консоль; 3 – несущий трос; 4 – контактный провод;
 5 – консольный изолятор; 6 – усиливающий провод; 7 – габарит опоры; 8 – ширина колеи;
 9 – ширина междупутья; 10 – маркировка опоры; 11 – провод обратного тока;
 12 – рессорный трос; 13 – струна

Большое количество неисправностей контактной сети связано именно с контактной подвеской (более 75% отказов), к частым отказам которой относятся износ контактного провода, провисание подвески, обрывы струн и т. д. Для контроля технического состояния элементов контактной подвески используют мероприятия по их техническому обслуживанию и ремонтам.

2 Зарубежный опыт мониторинга контактной подвески

Мониторинг технического состояния контактной подвески является эффективным средством предупреждения ее неисправностей на многих железных дорогах мира [28, 38–40].

Например, на железных дорогах Франции для снижения эксплуатационных расходов при высокоскоростном движении используется система CAT IRIS [28], фиксирующая поднятие контактного провода под воздействием пантографа во время движения поездов. Если достигаются установленные пороги превышения поднятия контактного провода, информация о наличии дефекта передается в специальный центр мониторинга. Данная система мониторинга, помимо диагностической информации о состоянии

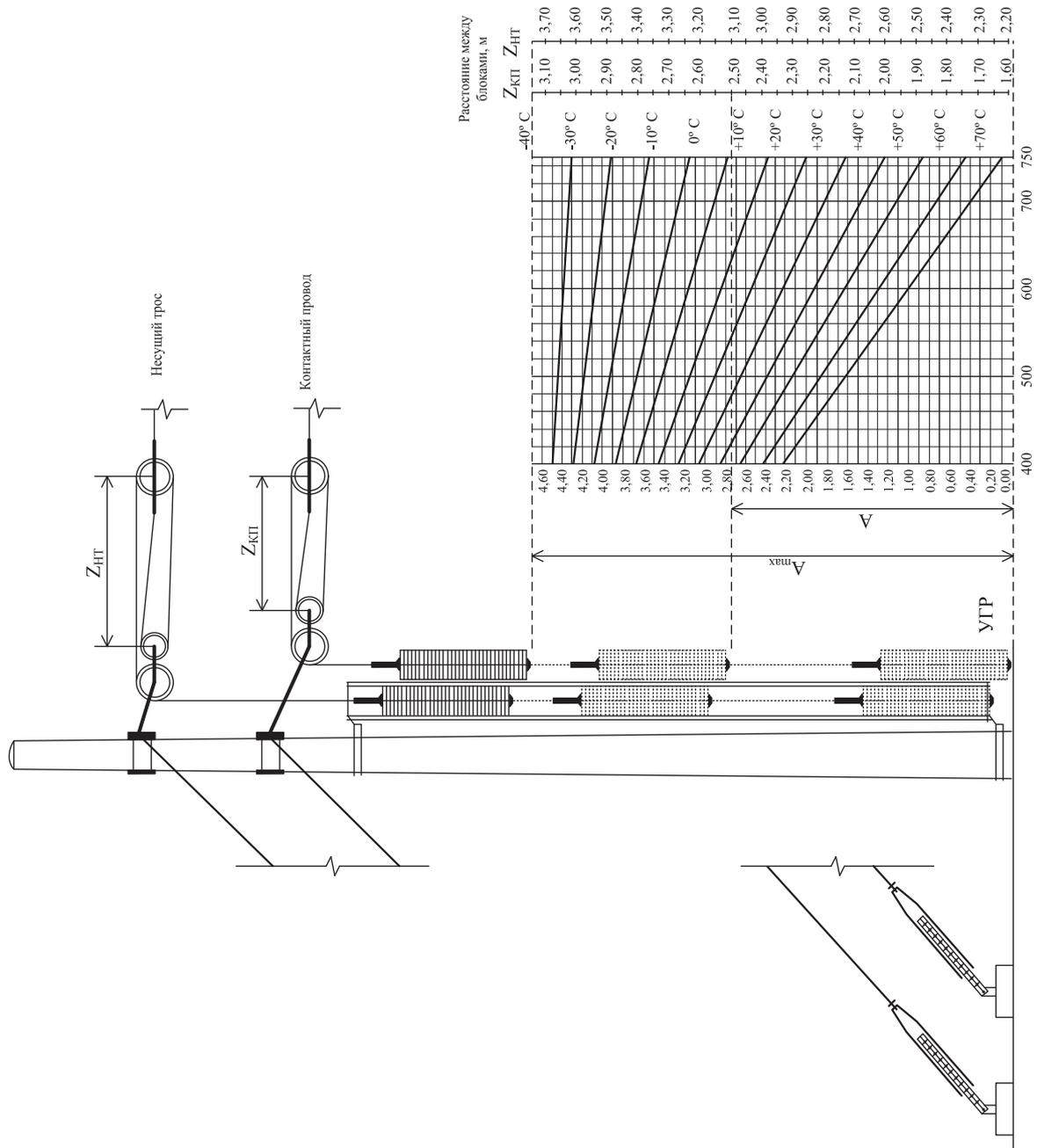


Рис. 2. Компенсированная цепная контактная подвеска

контактного провода, передает данные о скорости поезда, скорости и направлении ветра и т. п.

Система CAT IRIS имеет четыре электромагнитные педали, расположенные на входе и на выходе зоны измерений (счетчик осей), а также метеорологические датчики, датчики поднятия и постового оборудования, где сгруппированы все приборы измерения и обработки. В системе имеется возможность предупреждения повреждений, вызываемых ошибками в регулировании пантографов и контактных лент.

На линиях Кёльн – Франкфурт (Германия) и Мадрид – Сеговия – Вальядолид (Испания) используется система мониторинга контактной сети Sicat CMS фирмы Siemens [41]. Данная система основана на применении специальных магнитных датчиков и качающегося рычага, позволяющих фиксировать изменения натяжений несущего троса и контактного провода (рис. 3) [42].

На линии Чунгбук (Корея) применяется система мониторинга, базирующаяся на использовании специальных датчиков, устанавливаемых в местах крепления контактного провода к фиксаторам (рис. 4). Основное оборудование, фиксирующее изменения, устанавливается на консоли. Данные мониторинга передаются в центр контроля с использованием беспроводной связи в формате передачи данных ZigBee [43–45].

Проблемы использования зарубежных технологий мониторинга для контроля отечественных контактных сетей в первую очередь связаны с тем, что их конструкции имеют коренные отличия. Типовыми проектными решениями для отечественных контактных сетей являются КС-160, КС-200 и КС-250. В их основе лежит блочно-полиспастный механизм (принцип действия показан на рис. 2) [37]. Зарубежный механизм натяжения контактной подвески, например для высокоскоростных линий, использует механизм зубчатого натяжения (см. рис. 3). Разница в том, что полиспастный механизм проще

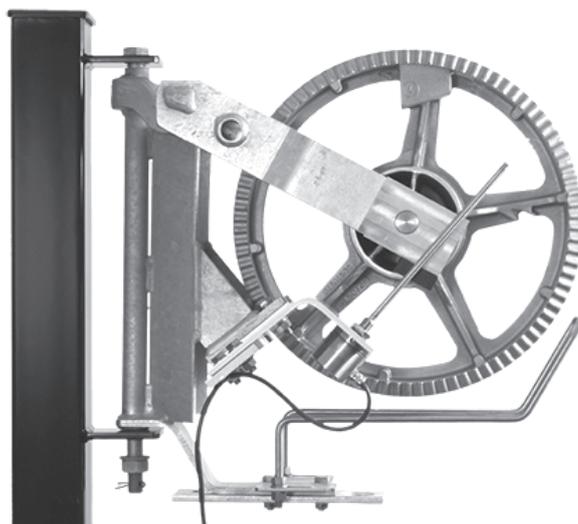


Рис. 3. Контрольное устройство в системе Sicat CMS



Рис. 4. Система мониторинга контактной сети на железных дорогах Кореи

в эксплуатации, а зарубежный аналог требует высокого качества исполнения как на этапе строительства, так и в эксплуатации. На железных дорогах Российской Федерации одним из первых упоминаний о необходимости использования систем непрерывного мониторинга является пример Приволжской железной дороги (2008 г.), где целью внедрения автоматической системы мониторинга было предотвращение ущерба от гололедно-ветрового воздействия. Данная система, по отзывам специалистов ОАО «РЖД», помимо оптимизации процесса технического обслуживания, позволила сократить расходы на электроэнергию, необходимую для исключения ненормативных воздействий [46].

3 Система удаленного контроля и мониторинга контактной сети

3.1 Структура системы

В 2011 г. по заданию старшего вице-президента ОАО «РЖД» В. А. Гапановича научной группой российских специалистов была разработана система удаленного контроля и мониторинга контактной сети (СДУМ КС) [47–49]. В 2012 г. в рамках НИОКР новой системой мониторинга были оборудованы два анкерных участка по 1-му и 2-му путям в створе между станциями Рябово и Любань Октябрьской железной дороги (скоростная магистраль Санкт-Петербург – Москва).

СДУМ КС позволяет в режиме реального времени определять состояние контактной подвески в процессе ее эксплуатации, передавать в центр диагностирования и мониторинга хозяйства электрификации и энергоснабжения (ЦДМЭ), а также в центр управления содержанием инфраструктуры (ЦУСИ) информацию о предотказных и аварийных ситуациях.

Принцип работы системы мониторинга основан на определении напряженно-деформированного (статического) и вибрационного (динамического) состояния с применением специально разработанного прибора, устанавливаемого в контрольных точках на несущем тросе (рис. 5) [50].

Сама СДУМ КС имеет иерархический принцип построения (рис. 6). В ее структуре выделяются подсистемы сбора и первичной обработки диагностической информации, беспроводной передачи данных в центр мониторинга и подсистема энергоснабжения и автономного питания диагностических приборов. Измерительные датчики, входящие в подсистему сбора и первичной обработки диагностической информации, получают некоторый набор диагностических параметров от объектов диагностирования и мониторинга. В разделе 4 статьи подробно будет рассмотрен принцип получения диагностической информации о механическом усилии в тросах и проводах контактной подвески. Посредством беспроводной сети передачи данных информация от измерительных датчиков поступает в концентраторы, расположенные на близлежащих станциях, где проходит обработку, а затем передается в центр мониторинга – на верхний иерархический уровень.

На рис. 7 показана детализированная структурная схема СДУМ КС на опытном участке линии Санкт-Петербург – Москва.



Рис. 5. Диагностические устройства на анкерном участке вблизи станции Любань в процессе эксплуатации



Рис. 6. Структура СДУМ КС

В СДУМ КС фиксируются следующие дефекты и события:

- обрывы одной или нескольких жил несущего троса;
- полный обрыв несущего троса и контактного провода;
- удары по контактному проводу;
- ненормативная работа компенсатора;
- усилия в тросах контактной подвески;
- возникновение автоколебаний и вибраций в несущем тросе и контактном проводе;
- протоколирование выполнения работ по техническому обслуживанию.

В настоящее время система находится в опытной эксплуатации на участке Любань – Рябово Октябрьской железной дороги (скоростная магистраль Санкт-Петербург – Москва), по результатам работы системы ведется сбор статистических данных с целью определения номинальных значений для датчиков системы по определяемым событиям, в том числе по фиксации предотказных состояний.

3.2 Подсистема передачи диагностической информации

Результаты мониторинга передаются от диагностического устройства в концентратор информации по радиоканалу на частоте 868,7 МГц. В зависимо-

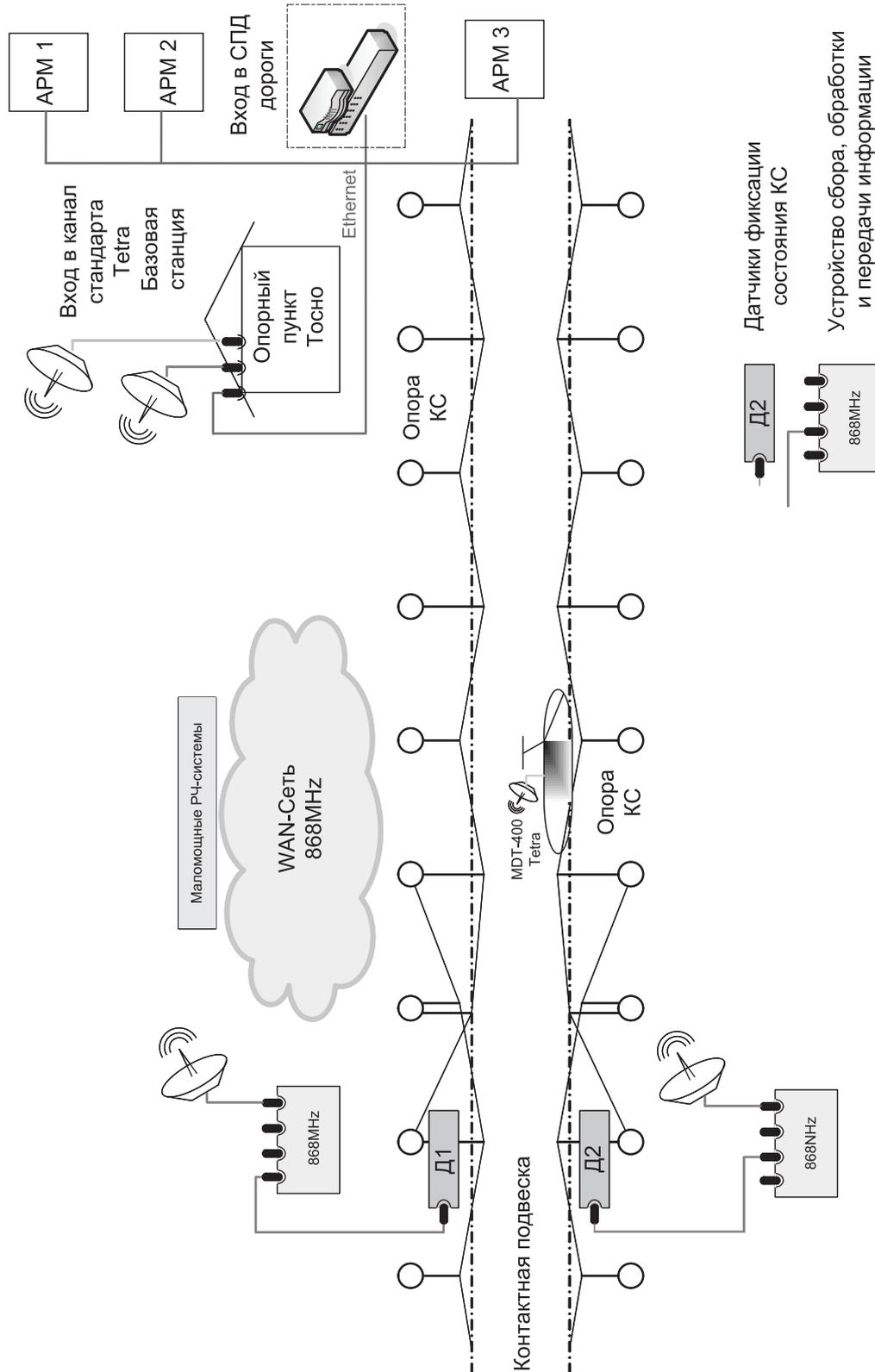


Рис. 7. Детализированная организационная структура СДУМ КС на опытном участке линии Санкт-Петербург – Москва

сти от особенностей анкерного участка информация может быть передана в концентратор напрямую или через ретрансляторы сигналов. Технически предусмотрена передача данных и по проводным волоконно-оптическим каналам.

Частотный диапазон получил все необходимые согласования в управляющем аппарате ОАО «РЖД» и рекомендован для передачи диагностической информации службы электрификации и энергоснабжения и других хозяйств. Для оптимальной передачи данных разработан собственный протокол передачи сообщений, который в связке с разработанной аппаратной частью позволяет достичь следующих характеристик:

- высокая энергетическая эффективность (до полутора лет работы от автономных источников питания при температуре от -50 до $+60$ °С);
- настройка маршрутов передачи данных до концентраторов системы по различным сценариям: через ретрансляторы сигнала, соседние датчики, напрямую к концентратору и т. д.;
- автоматическое динамическое перестроение маршрутов в случае отказа отдельных узлов сети (возможна отправка данных через соседние ретрансляторы и даже через соседние датчики, которые временно становятся ретрансляторами для передачи сообщений);
- настраиваемые приоритеты сообщений в системе: авария, диагностирование системы, обновление программного обеспечения;
- гарантированная передача сообщений между устройствами;
- автоматическое обновление программного обеспечения аппаратных средств системы в полностью автоматическом режиме;
- непрерывный мониторинг состояния аппаратных средств самой системы, уровней сигнала, характеристик среды радиопередачи.

При передаче данных расстояние между датчиками может достигать 2 км. Скорость передачи данных позволяет обрабатывать данные от 250 датчиков с использованием двух концентраторов. Система имеет резервы по увеличению скорости и дальности передачи данных путем перехода на другие мощностные характеристики и при использовании более высоких частот радиопередающего модуля.

Поскольку тракт передачи данных между источником информации (датчиком) и концентратором использует свой протокол и объекты функционируют в условиях электромагнитных помех, вопрос обеспечения достоверной передачи данных становится особенно актуальным. К тому же сам трафик обладает рядом особенностей – должны учитываться скорость передачи, объем данных и топология сети. В свою очередь, диагностический прибор, работающий от автономного источника, требует минимизации энергозатрат. Это накладывает ограничения на длину пакета передаваемого сообщения и на способ обеспечения надежной передачи информации. В данном исследо-

вании задача была решена с применением специально разработанных кодов с суммированием с высокой кодовой скоростью и обнаружением максимального количества ошибок с малыми кратностями в информационных векторах [51].

В настоящий момент разработанная авторами статьи система радиопередачи может применяться практически для любой системы сбора и передачи диагностической информации в ОАО «РЖД». Она может использоваться в тех случаях, когда затраты на прокладку коммуникаций до объектов контроля или управления слишком велики или невозможны без остановки процесса перевозок на особо важных участках.

Во многих случаях разработанная система передачи позволяет отказаться от использования сотовых модемов, которые все еще применяются для различных систем сбора информации. Отказ от использования сотовых модемов позволяет исключить:

- дополнительные постоянные траты по закупке услуг передачи данных у сторонних операторов (сотовой связи стандарта 3G, 4G);
- финансовые риски непроизводительных трат средств на корпоративных счетах у сотовых операторов;
- возможность кибератак через внешние сети передачи данных, неподконтрольные ОАО «РЖД».

3.3 Программное обеспечение системы

Важной составляющей системы является специально разработанное программное обеспечение подсистемы передачи сообщений и программное обеспечение верхнего уровня. Программная часть системы построена по технологии «клиент – сервер» и состоит из следующих компонентов:

- модуль концентратора информации для сбора сообщений с датчиков;
- сервер приема и обработки сообщений от концентраторов информации;
- база данных SQL, представляющая собой защищенное хранилище всей информации о самой системе, а также состоянии контролируемых устройств в любой момент времени;
- автоматизированные рабочие места диспетчеров (АРМ мониторинга).

АРМ могут быть установлены локально или доступны через облако и предоставляют доступ к данным для дежурного ЭЧК, технолога Центра мониторинга и диагностирования устройств электрификации и электроснабжения.

Серверная часть системы обеспечивает передачу сообщений по сети передачи данных ОАО «РЖД», а также хранение данных на выделенных серверах. Протокол передачи был специально разработан под задачи систем мониторинга.

Разработанные АРМ предоставляют полный набор функций, облегчающих работу не только работникам сферы энергоснабжения, но и администраторам вычислительных средств.

Основные функции программного обеспечения верхнего уровня:

- развертывание программного обеспечения;
- обновление программного обеспечения;
- авторизация пользователей;
- 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.

Рассмотрим типовой режим работы программы. Все устройства работают в штатном режиме, критических событий нет. На схеме серым (в реальности зеленым цветом) обозначены объекты контроля, оснащенные системой мониторинга. Объектами мониторинга, в порядке укрупнения, являются: опора, анкерный участок, ЭЧК, ЭЧ, дорога (рис. 8).

Все виды сообщений системы фиксируются в зоне вывода сообщений (нижняя часть экрана). Новые сообщения добавляются в начало списка, со сдвигом списка вниз.

Основная и оперативная информация выводится прямо на схему, т. е. при наступлении события объект, на котором оно произошло, подсвечивается заданным цветом (по умолчанию: желтым или красным). Подсветка осуществляется на всех видимых уровнях иерархии. Звучит ежесекундный звуковой сигнал. Над мигающим блоком события обозначаются его время и дата, если событий несколько – дата и время последнего. Пока пользователь не подтвердит просмотр события, индикатор события будет продолжать мигать нужным цветом. Отметку о просмотре события пользователь выполняет, щелкая один раз левой кнопкой мыши по объекту, в котором оно произошло. После этого событие считается просмотренным, индикатор перестает мигать, но до его квитирования продолжает быть выделено необходимым цветом. Событие считается полностью просмотренным тогда, когда пользователь, нажав кнопку «Закреть события», подтверждает их просмотр и исполнения действия по ним.

При обнаружении критического события, например обрыва троса, информация о событии автоматически возникает на экране: она добавляется вверху списка событий, а также отображается на графической схеме контролируемого участка. Через динамик воспроизводится звук для привлечения внимания пользователя. Цвет фона объекта мониторинга меняется на красный.

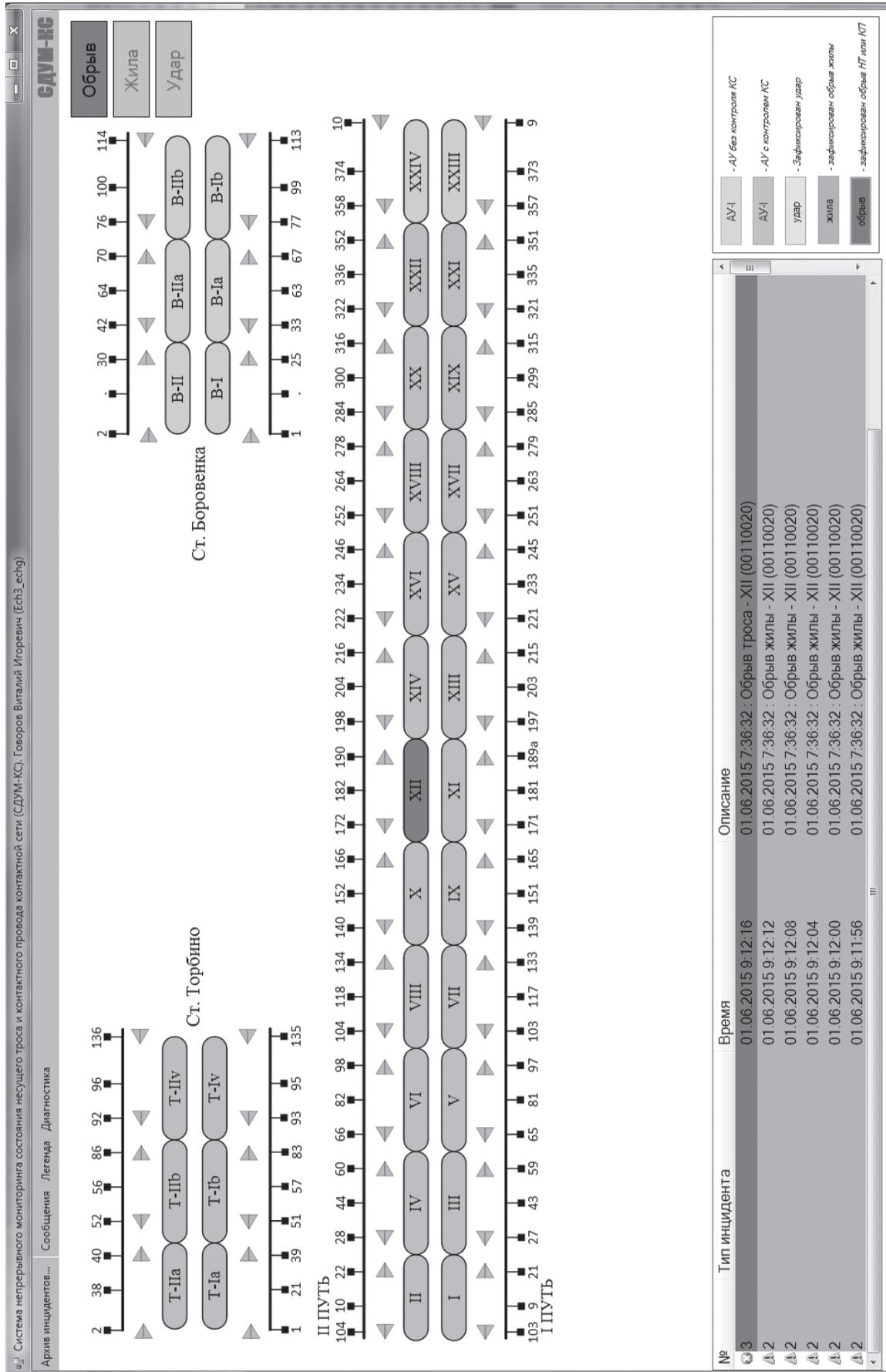


Рис. 8. Технологическое окно программы мониторинга

В ячейке вместо имени объекта будет написан следующий текст: «Обрыв» (см. рис. 8).

4 Контроль механического усилия в тросах и проводах контактной подвески

4.1 Датчик контроля механического усилия

Рассмотрим более подробно функцию контроля механического усилия в тросах контактной подвески, реализованную в СДУМ КС.

На уровне сбора и передачи информации в СДУМ КС имеется некоторый набор диагностических приборов, в состав которых входят:

- датчик тензометрии;
- автономный источник питания (рис. 9);
- микропроцессорное устройство для первичной аналогово-цифровой обработки информации, поступающей с датчиков блока;
- устройство радиосвязи между блоком и размещаемым на узловой станции промежуточным концентратором информации, который соединен посредством проводной или беспроводной связи с единым концентратором информации о состоянии элементов контактной сети железной дороги.

Экспериментально установлено, что для эффективного мониторинга технического состояния контактной сети на одном анкерном участке необходима установка не менее шести комплектов устройств. Диагностические устройства получают и передают информацию об усилии несущего троса и контактного провода, фиксируемого непосредственно за роликами блоков компенсатора и/или над гирляндами грузов компенсаторов, размещенных на анкерных опорах контактной сети, а также в других доступных для эксплуатации местах на напряженных элементах конструкции контактной подвески (например, в районе средней анкеровки).

При изменении механического усилия (вынуждающей силы) происходит деформация твердого тела, которая вызвана механическими напряжениями, преобразующимися в электрический сигнал, предназначенный для последующей передачи, преобразования и регистрации. В настоящее время разработано большое количество датчиков измерения механического напряжения. Наибольшее распространение получили тензодатчики сопротивления на основе тензорезисторов.

Действие тензорезисторов основано на их свойстве изменять под влиянием деформации (растяжения или сжатия) свое электрическое сопротивление (тензорезистивный эффект). Особенности расчета тензорезисторов и их конструкции приведены в [52]. Для использования в СДУМ КС выбран тензодатчик Н922 (рис. 10, также см. рис. 5, слева на каждом проводе), характеристики которого подходят для решаемой задачи [53].



Рис. 9. Специально разработанная солнечная батарея

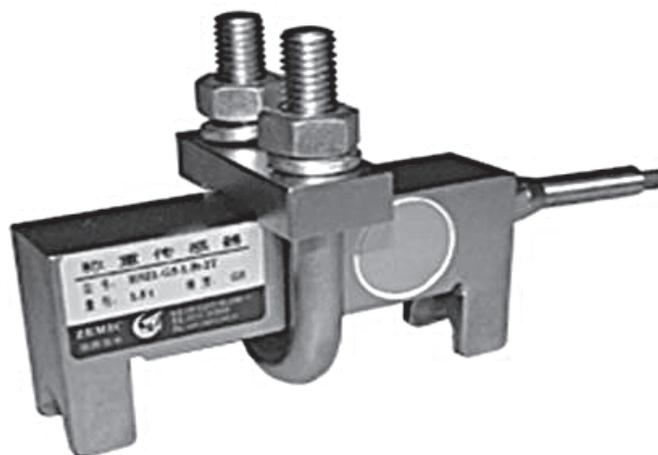


Рис. 10. Внешний вид тензодатчика Н9Z2

Блок сбора и передачи информации в диагностическом устройстве осуществляет анализ параметров изменения натяжения с частотой до 400 раз в секунду, регистрируя быстротекущие процессы. Посредством микропроцессорного устройства, входящего в блок сбора и передачи информации, осуществляются управление и первичная обработка информации с датчиков.

4.2 Экспериментальные результаты

Для оценки эффективности мониторинга были проведены экспериментальные исследования качества работы диагностических приборов в полевых условиях. На анкерном участке вблизи станции Любань Октябрьской железной дороги 22 декабря 2015 г., согласно программе методики, были проведены испытания по последовательному снятию и последующей установке двух грузов (датчик расположен на несущем тросе участка, отходящего к анкерной опоре). Результаты эксперимента показаны на рис. 11. На рисунке ось абсцисс – ось времени в секундах, ось ординат – ось усилия натяжения в ньютонах (Н).

Данные на графиках отображают значения усилия натяжения несущего троса, полученные путем интерпретации 24-битных значений напряжения аналого-цифрового преобразователя, подключенного к тензодатчику. Значения нагрузки в килограммах на тросе компенсатора были сопоставлены со значениями напряжений на аналогово-цифровом преобразователе. Для перевода этих значений в килограммы необходимо было знать два значения натяжения троса (Н) и соответствующие им значения напряжений на аналогово-цифровом преобразователе.

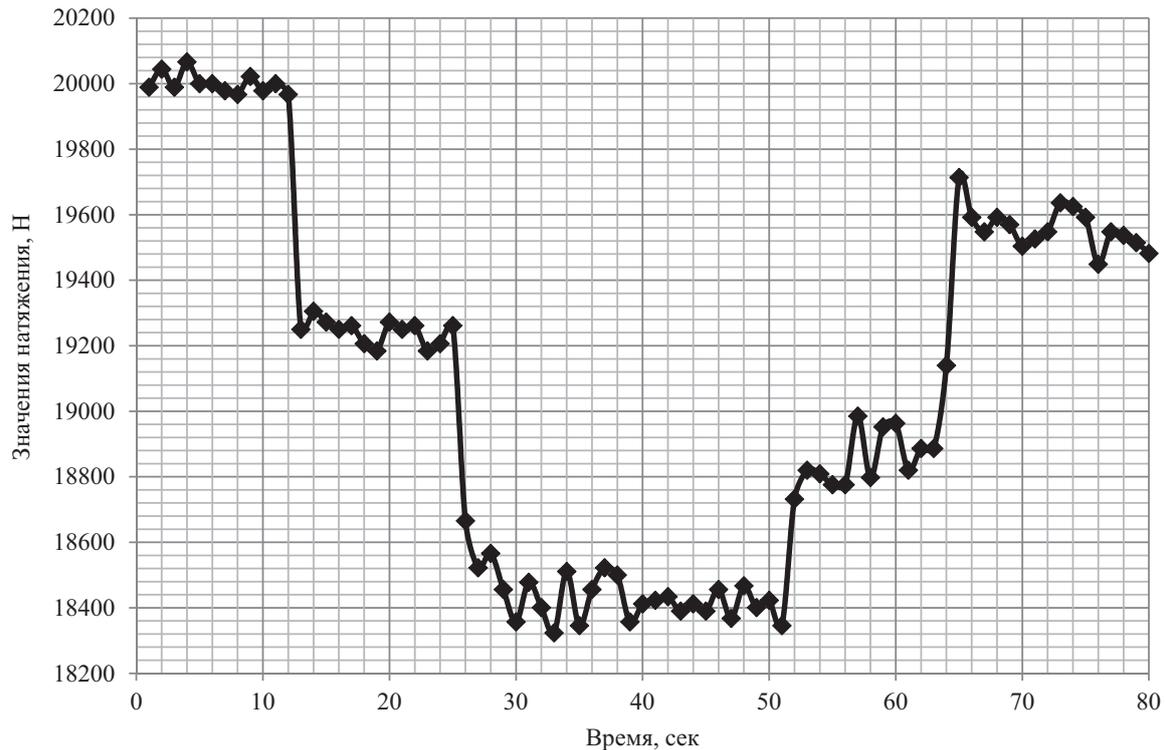


Рис. 11. Тест тензметра на перегоне Любань – Рябово (значения натяжения)

Для правильной работы необходимо:

1. После установки датчика зафиксировать значение натяжения – W_1 (Н) и значение на аналогово-цифровом преобразователе – V_1 .
2. Ослабить натяжение, сняв один груз, и зафиксировать значение натяжения – W_2 (Н) и значение на аналогово-цифровом преобразователе – V_2 .
3. Рассчитать натяжение – W_x для любого значения на аналогово-цифровом преобразователе – V_x :

$$W_x = W_1 - (V_1 - V_x)K_w; \quad (1)$$

$$K_w = \frac{W_1 - W_2}{V_1 - V_2}. \quad (2)$$

Заключение

Контактная подвеска является наименее надежным элементом железнодорожной инфраструктуры и, как было отмечено выше, не имеет резервирования, а ее неисправности приводят к значительным перерывам в движении поездов на электрифицированных линиях железных дорог. Мероприятий по техническому обслуживанию объектов контактной сети недостаточно

для получения полной картины о ее техническом состоянии и возможностей прогнозирования дальнейших их изменений. Проблему повышения эффективности обслуживания контактной подвески решает разработанная система технического диагностирования и мониторинга, основанная на контроле изменений натяжения несущего троса и контактного провода. Следует отметить, какие именно последствия могут привести к изменению натяжения контактного провода:

- заклинивание роликов из-за погодных условий (замерзание);
- заклинивание роликов из-за повреждений пластиковых втулок в конструкции роликов блочно-полиспастного механизма;
- кража грузов.

Для организации СДУМ КС на каждом анкерном участке необходимо как минимум шесть диагностических приборов, измеряющих усилия натяжения несущего троса и контактного провода. Диагностические данные передаются с использованием радиоканала в концентраторы диагностической информации, а затем в ситуационные центры мониторинга. Такая организация системы мониторинга позволяет, при минимальных затратах на оборудование анкерного участка и эксплуатацию самой системы мониторинга (включая техническое обслуживание), максимально эффективно использовать полученную диагностическую информацию.

В настоящее время система находится в эксплуатации, ведется сбор статистических данных для аналитического контроля состояний контактной сети на участке Любань – Рябово скоростной линии Санкт-Петербург – Москва с целью определения номинальных значений для датчиков системы по определяемым диагностическим событиям.

Стоимость системы складывается из двух составляющих: стоимости полного технологического оборудования (датчиков, концентраторов, батарей и т. п.) и элементов централизации (сети передачи данных, серверов, автоматизированных рабочих мест и т. п.). При оборудовании одного анкерного участка стоимость системы мониторинга составляет менее 5% стоимости затрат на капитальное строительство самой контактной сети.

Эксплуатация СДУМ КС особенно актуальна при строительстве и эксплуатации скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий. В настоящее время на территории Российской Федерации действуют высокоскоростные линии Хельсинки – Санкт-Петербург и Санкт-Петербург – Москва, строится линия Москва – Казань с последующим продлением до Екатеринбурга.

Внедрение системы мониторинга контактной подвески позволяет повысить надежность и безопасность перевозочного процесса в целом, увеличить конкурентоспособность железнодорожного транспорта на рынке перевозочных услуг.

Авторы статьи выражают благодарность кандидату технических наук, профессору Уральского государственного университета путей сообщения Александру Васильевичу Ефимову и профессору, доктору технических наук, заведующему кафедрой «Электроснабжение железных дорог» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I Александру Николаевичу Марикину за активное обсуждение результатов работы и ценные замечания, позволившие значительно улучшить текст рукописи, а также поставить новые задачи в области непрерывного мониторинга объектов железнодорожной контактной сети.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54504–2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте : утв. и введ. 23.11.2011. – М. : Федер. агентство по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 50 с.
2. Заседание научно-технического совета ОАО «РЖД» по вопросу «Об основных направлениях развития систем диагностики и мониторинга объектов путевого хозяйства (путь, земляное полотно и искусственные сооружения) ОАО «РЖД» на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rzd-expo.ru/developments/detail.php?ID=194708>. – Загл. с экрана.
3. Плотников Ю. И. Точность и достоверность контроля при тепловизионном диагностировании оборудования электрифицированных линий / Ю. И. Плотников // Железные дороги мира. – 2006. – № 3. – С. 38–46.
4. Хазанов В. В. Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению / В. В. Хазанов, А. В. Мизинцев, Ю. И. Плотников, Ю. М. Федоришин, В. Ф. Грачев, С. В. Демидов // Железные дороги мира. – 2006. – № 9. – С. 54–62.
5. Русакова Е. А. Мониторинг состояния инфраструктуры железных дорог / Е. А. Русакова // Транспорт Урала. – 2011. – № 4. – С. 22–25.
6. Ефанов Д. В. Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3. – С. 44–48.
7. Плотников Ю. И. Методы и средства повышения достоверности электронно-оптического диагностирования изоляции контактной сети / Ю. И. Плотников, Д. А. Скороходов, А. Л. Стариченков // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 6. – С. 66–70.
8. Железнов М. М. Координатная система для решения задач мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути / М. М. Железнов // Вестник НИИ железнодорожного транспорта. – 2012. – № 1. – С. 39–41.
9. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 5. – С. 67–72.

10. 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.
11. Domingues J. L. M. Diagnostic Levels in Railway Applications / J. L. Domingues // Signal + Draht. – 2004. – № 1/2. – Pp. 31–34.
12. Eker O. F. A Simple State-Bases Prognostic Model for Railway Turnout Systems / O. F. Eker, F. Camci, A. Guclu, H. Yilboga, M. Sevkli, S. Baskan // Proceedings of IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2010. – Vol. 58. – Issue 5. – Pp. 1718–1726.
13. 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.
14. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
15. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.
16. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
17. Никитин А. Б. Совершенствование диагностики систем ЖАТ / А. Б. Никитин // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 11. – С. 14–15.
18. Ефанов Д. В. Метод автоматизации проверки логики функционирования объектов диагностирования в системах удаленного контроля и мониторинга / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2014. – № 3. – С. 58–62.
19. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
20. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 12. – С. 6–8.
21. Сход вагонов в Приамурье и Забайкалье 3 января произошел из-за повреждения ж.-д. пути [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kommersant.ru/doc/2889869>. – Загл. с экрана.
22. Анализ параметров, являющихся определяющими для сохранения технической и эксплуатационной совместимости железнодорожной системы колеи 1520 мм на границе СНГ-ЕС. Подсистема : Энергоснабжение. Контактная Группа ОСЖД-ЕЖДА. – [М.], 2010. – 5 с.
23. ГОСТ 32793–2014. Токосъем токоприемником железнодорожного электроподвижного состава. Номенклатура показателей качества и методы их определения. – Введ. 2015-09-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 14 с.
24. CENELEC EN 50317. Railway Applications – Current Collection Systems – Requirements For and Validation of Measurements of the Dynamic Interaction

- Between Pantograph and Overhead Contact Line. 2012.01.01, European Committee for Electrotechnical Standardization. – 18 p.
25. BSI – BS EN 50119. Railway Applications – Fixed Installations – Electric Traction Overhead Contact Lines. 2010.01.31, British Standards Institution. – 94 p.
 26. BSI – BS EN 50367. Railway Applications – Current Collection Systems – Technical Criteria For the Interaction Between Pantograph And Overhead Line (to Achieve Free Access). 2012-05-31, British Standards Institution. – 48 p.
 27. Безопасность движения поездов в хозяйстве электрификации и электроснабжения // Вести Евразия. – 2011. – № 1. – С. 13.
 28. Инновационная контактная сеть СНЦФ V350, испытанная скоростью свыше 500 км/ч // Вести Евразия. – 2014. – № 6. – С. 22.
 29. Поезда «Аллегро» задерживаются из-за обрыва проводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://47news.ru/articles/70069>. – Загл. с экрана.
 30. В движении поездов Москва – Петербург произошел сбой из-за обрыва провода [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rbc.ru/society/08/12/2015/56666b549a79470d2d2fbd41>. – Загл. с экрана.
 31. Из-за обрыва провода контактной сети был задержан ряд поездов на Ленинградском направлении Октябрьской железной дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ozd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=4069&refererLayerId=4069&id=152827. – Загл. с экрана.
 32. К обрыву контактной сети на железной дороге в Сочи привела цепочка событий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sochi-express.ru/sochi/news/sochi/58422>. – Загл. с экрана.
 33. Из-за обрыва проводов в Химках 17.12.2015 встали электрички на Москву [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.topnews.ru/news_id_84965.html. – Загл. с экрана.
 34. Аэроэкспресс и электричка остановились из-за обрыва провода в Подмосковье [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://govoritmoskva.ru/news/63934>. – Загл. с экрана.
 35. Альбом KCF200F07 : Схемные решения узлов контактной сети постоянного тока на участке Мстинский Мост – Бологое для скоростей движения до 250 км/ч. – СПб. : Универсал – контактные сети, 2007. – 149 с.
 36. Бондарев Н. А. Контактная сеть : учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Н. А. Бондарев, В. Е. Чекулаев. – М. : Маршрут, 2006. – 590 с.
 37. Высокоскоростное железнодорожное движение : цикл лекций президента «Сименс» в России Дитриха Мёллера. – М. : Московский гос. ун-т путей сообщения (МИИТ), 2014. – 80 с.
 38. Kobayasi T. Current collecting performance of overhead contact line-pantograph system at 425 km/h / T. Kobayasi, Y. Fujihasi, T. Tsuburaya, J. I. Satoh, Y. Oura, Y. Fujii // *Electrical Engineering in Japan*. – 1998. – Vol. 124. – Issue 3. – Pp. 73–81.
 39. Theune N. Online Catenary Temperature Monitoring at New High-Speed Rail Line Cologne-Rhine/Main / N. Theune, T. Bosselmann, J. Kaiser, M. Willsch, H. Hertsch, R. Puschmann // *WCRR*. – 2003. – Vol. 18. – Issue 5. – Pp. 1038–1043.

40. Mizan M. Monitoring odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej / M. Mizan, K. Karwowski, D. Karkosiński // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – R89. – N 12. – Pp. 154–160.
41. Bechmann J. Überwachungseinrichtung für Oberleitungskettenwerke / J. Bechmann, A. Dolling, G. Hahn [et al] // Elektrische Bahnen. – 2008. – Bd 106. – H. 8–9. – S. 400–407.
42. Sicut CMS Catenary monitoring system for overhead contact line systems. – Siemens AG. – 2010. – 8 p.
43. Park Y. Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application / Y. Park, Y.H. Cho, K. Lee, H. Jung, H. Kim, S. Kwon, H. Park // 8th World Congress on Railway Research. – COEX, Seoul, Korea. – 2008. – 18–22 May.
44. Park Y. Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire / Y. Park, S. Y. Kwon, J. M. Kim // The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. – 2012. – Vol. 61, N 8. – Pp. 1216–1220.
45. Park Y. 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 / Y. Park, K. Lee, C. Park, J.-K. Kim, A. Jeon, S. Kwon, Y.H. Cho. – 2013. – Vol. 62. – Issue 9. – Pp. 1343–1347.
46. В Волгограде (Приволжская железная дорога) состоялось сетевое совещание специалистов хозяйства электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=656&layer_id=4069&id=64896. – Загл. с экрана.
47. 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.
48. Шапиро К. С. Системы мониторинга контактной сети на железной дороге / К. С. Шапиро, В. А. Соколов, В. Б. Соколов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 99–107.
49. Соколов В. Б. Система непрерывного мониторинга состояния контактной подвески инфраструктуры железнодорожного транспорта на участках высокоскоростного движения / В. Б. Соколов, Г. В. Осадчий, В. А. Соколов // Материалы XL Международной конференции и дискуссионного научного клуба. Майская сессия. «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе IT+SE`12» : Украина, Крым, Ялта – Гурзуф, 2012. – С. 89–93.
50. Пат. Российская Федерация RU 2444449 С1. Способ и система диагностики и удаленного мониторинга контактной сети железной дороги / Непомнящий В. Г., Осадчий Г. В., Пристенский Д. Н., Лыков А. А., Соколов В. А., Соколов В. Б., Долинский К. Ю. ; заявка 2010137656/11, 07.09.2010; опубл. : 10.03.2012, Бюл. № 7. патентообладатель ООО «Мостовое бюро». – 10 с.
51. 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.

52. Электрические измерения неэлектрических величин / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина, В. С. Гутников, С. А. Спектор, И. А. Зограф, Б. Э. Аршанский, В. Г. Кноринг, П. Д. Пресняков ; под ред. П. В. Новицкого. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1975. – 576 с.
53. Тензодатчик Н9З2 : краткое описание. – ZEMIC Russia. – 2 с.

Nasonov Gennady F., Chernogorov Yurij A., Medvedev Michail E.
LTD «Russian Railways»

Osadtchy German V.
STC «Monitoring mostov»

Sedykh Dmitriy V., Pristensky Dmitriy N.
STC «Mostovoje Bjuro»

Ivanov Vladimir L.
ITMO University

Efanov Dmitriy V.
«Automation and remote control on railways» department
Petersburg state transport university

Health monitoring of mechanical force in cables of overhead catenary

The article shows, that for organisation of safe and non-stop train handling at the railways, the monitoring of only one type of hardware (automation and remote control, track or power supply) is not enough. Complex monitoring of all infrastructure objects, that is based on the fundamental approaches, and one of them is risk management theory. For this very reason the selection of components and systems, that do not have a backup, and determination of its technical state is a key problem.

The paper examines the organisation of the overhead system monitoring – from the quality of its operation the performance of all transportation facilities depends on. The article provides the analysis of known technical solutions for overhead system maintenance and monitoring organisation within railways of the Russian Federation, as well as international practices, taking into account national and foreign standards of this field.

There is a description of a new method of overhead system technical state monitoring, based on complex approach to the measurements of those parameters, that can influence as on the characteristics of current-collecting, and on the assessment of the overhead catenary state. The method, suggested in the article, allows to diagnose such important events as: breaking of one or several cores of span wire; complete breaking of span cable and overhead conductor; impacts with overhead conductor; non-normative performance of weight-compensating gear; forces in the ropes of overhead catenary; rising of self-oscillations and vibrations in the span wire and overhead conductor, etc. Obviously, several parameters, registered by the designed system, allow to determine pre-failure conditions of overhead catenary. Modular method, suggested for building of monitoring system, allows a multi-purpose use of the data transfer channel, including for diagnostics data from

the adjacent facilities, that significantly decreases capital investments into infrastructure. Experimentally confirmed, that for quality and efficient monitoring at one section it is necessary to install at least 6 diagnostics units, that transfer the monitoring results, using wireless channel, conforming to IEEE802.15. Organisation of the overhead system technical state monitoring structure is an important step to the creation of highly reliable devices for keeping the infrastructure objects fault-free, for providing the efficient operation of all railway complex, for decreasing the operation costs, reduction of the influence of human factor aspect, and it allows to change over to condition-based maintenance.

technical diagnostics; monitoring; power supply; collector; catenary system; wireless data transmitting; radio channel; pre-failure state

References

1. GOST R 54504–2011. Bezopasnost' funktsional'naya. Upravleniye riskami na zheleznodorozhnom transporte [Functional safety. Policy and programe of safety provision. Safety proof of the railway objects]. Approved and put into effect 23.11.2011. Moscow, Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2011. – 50 p.
2. Meeting of scientific and engineering board of JSC «RZhD» «Ob osnovnykh napravleniyakh razvitiya sistem diagnostiki i monitoringa ob'yektov putevogo khozyaystva (put', zemlyanoye polotno i iskusstvennyye sooruzheniya) OAO RZhD na period do 2025 goda» [On principal directions of development of diagnostics and monitoring systems for railway equipment (track, roadbed, engineering structures) of JSC RZhD for the period up to 2025] [electronic resource], <http://www.rzd-expo.ru/developments/detail.php?ID=194708>.
3. Plotnikov Yu. I. Tochnost' i dostovernost' kontrolya pri teplovizionnom diagnostirovaniy oborudovaniya elektrifitsirovannykh liniy [Accuracy and reliability of testing, using thermal-imaging diagnostics of electrical railway lines equipment]. Zheleznyye dorogi mira [Railways of the World], 2006, N 3. – Pp. 38–46.
4. Khazanov V. V., Mizintsev A. V., Plotnikov Yu. I., Fedorishin Yu. M., Grachev V. F., Demidov P. V. Mobil'naya sistema diagnostiki izolyatorov kontaktnoy seti po ul'traioletovomu izluchenyu [Portable system for diagnostics of catenary system insulators using UV radiation]. Zheleznyye dorogi mira [Railways of the World], 2006, N 9. – Pp. 54–62.
5. Rusakova E. A. Monitoring sostoyaniya infrastruktury zheleznykh dorog [Monitoring of railway infrastructure]. Ural Transport (Transport Urala), 2011, N 4. – Pp. 22–25.
6. Efanov D. V., Plekhanov P. A. Obespecheniye bezopasnosti dvizheniya za schet tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Traffic safety protection by technical diagnostics and monitoring of railway automation and remote control devices]. Ural Transport (Transport Urala), 2011, N 3. – Pp. 44–48.
7. Plotnikov Yu. I., Skorokhodov D. A., Starichenkov A. L. Metody i sredstva povysheniya dostovernosti elektronno-opticheskogo diagnostirovaniya izolyatsii kontaktnoy seti [Methods and measures of reliability improvement of electron-optical diagnostics of catenary system insulation]. Transport of the Russian Federation (Transport Rossiiskoi Federatsii), 2011, N 6. – Pp. 66–70.

8. Zheleznov M. M. Koordinatnaya sistema dlya resheniya zadach monitoringa i tekhnicheskogo obsluzhivaniya zheleznodorozhnogo puti [System of reference for solving of the problems of monitoring and technical maintaining of railway track]. Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of Science and Research institute of Railway transport], 2012, N 1. – Pp. 39–41.
9. Lykov A. A., Efanov D. V., Vlasenko P. V. Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i monitoring sostoyaniya ustroystv ZhAT [Technical diagnosis and monitoring of ZhAT devices state]. Transport of the Russian Federation (Transport Rossiiskoi Federatsii), 2012, N 5. – Pp. 67–72.
10. Efanov D. V. Stanovleniye i perspektivy razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Formation and perspectives of CED systems and monitoring of railway automation and remote control devices]. Transport automatics (Avtomatika na transporte), 2016, vol. 2, N 1. – Pp. 124–148.
11. Domingues J. L. M. Diagnostic Levels in Railway Applications//Signal + Draht, 2004, N 1/2. – Pp. 31–34.
12. Eker O. F., Camci F., Guclu A., Yilboga H., Sevkli M., Baskan S. A Simple State-Bases Prognostic Model for Railway Turnout Systems. Proceedings of IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, vol. 58, issue 5. – Pp. 1718–1726.
13. Molodtsov V. P., Ivanov A. A. Sistemy dispetcherskogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Systems of supervisory control and monitoring of railway automation and remote control devices]: textbook. – St. Petersburg, St. Petersburg State University of Communication, 2010. – 140 p.
14. Efanov D. V., Bogdanov N. A. Avtomatizatsiya kontrolya na strelkakh [Automation of switch control]. Mir transport [World of transport], 2011, N 2. – Pp. 54–59.
15. Efanov D. V., Lykov A. A. Osnovy postroyeniya i printsipy funktsionirovaniya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Fundamentals of architecture and principles of operations of technical diagnosis and monitoring systems for railway automation and remote control devices]: manual. St. Petersburg, St. Petersburg State University of Communication, 2012. – 59 p.
16. Efanov D. V., Bogdanov N. A. Monitoring parametrov rel'sovykh tsepey tonal'noy chastoty [Monitoring of track circuit parameters of voice frequency]. Ural Transport (Transport Urala), 2013, N 1. – Pp. 36–42.
17. Nikitin A. B. Sovershenstvovaniye diagnostiki sistem ZhAT [ZhAT systems diagnostics improvement]. Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), 2015, N 11. – Pp. 14–15.
18. Efanov D. V. Metod avtomatizatsii proverki logiki funktsionirovaniya ob'yektov diagnostirovaniya v sistemakh udalennogo kontrolya i monitoringa [Method of automation of operation logic test for diagnostics objects within remote control and monitoring systems]. Ural Transport (Transport Urala), 2014, N 3. – Pp. 58–62.
19. Efanov D. V. Nekotoryye aspekty razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Certain aspects of systems for operational control of railway automation and remote control devices]. Ural Transport (Transport Urala), 2015, N 1. – Pp. 35–40.

20. Sapozhnikov V.I., Lykov A.A., Efanov D.V. Ponyatiye predotkaznogo sostoyaniya [Concept of pre-failure condition]. Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), 2011, N 12. – Pp. 6–8.

21. Skhod vagonov v Priamur'ye i Zabaykal'ye 3 yanvarya proizoshel iz-za povrezhdeniya zh/d puti [Derailment in Amur river and Trans Baikal region on 3rd of January is caused by the damage of railway track] [electronic resource], <http://www.kommersant.ru/doc/2889869>.

22. Analiz parametrov, yavlyayushchikhsya opredelyayushchimi dlya sokhraneniya tekhnicheskoy i ekspluatatsionnoy sovместимости zheleznodorozhnoy sistemy kolei 1520 mm na granitse SNG-YES. Podсистема: Energосnabzheniye. Kontaktnaya Gruppy OSZhD-YeZhDA [Analysis of parameters, that are principal for keeping technical and operational compatability of rail gage 1520 mm at the border of CIS-EU. Subsystem: Power supply. Contact group OSZhD-YeZhDA], 2010. – 5 p.

23. GOST 32793–2014. Tokos'yem tokopriyemnikom zheleznodorozhного электродвизного состава. Nomenklatura pokazateley kachestva i metody ikh opredeleniya [Current collection by electric rolling stock current collector. The nomenclature of current collection quality indicators and method of its calculation.]. Put into effect 01.09.2015. Moscow, Standartinform, 2015. – 14 p.

24. CENELEC EN 50317. Railway Applications – Current Collection Systems – Requirements For and Validation of Measurements of the Dynamic Interaction Between Pantograph And Overhead Contact Line. 2012.01.01, European Committee for Electro-technical Standardization. – 18 p.

25. BSI – BS EN 50119. Railway Applications – Fixed Installations – Electric Traction Overhead Contact Lines. 2010.01.31, British Standards Institution. – 94 p.

26. BSI – BS EN 50367. Railway Applications – Current Collection Systems – Technical Criteria For the Interaction Between Pantograph And Overhead Line (to Achieve Free Access). 2012–05–31, British Standards Institution. – 48 p.

27. Bezopasnost' dvizheniya poyezdov v khozyaystve elektrifikatsii i elektrosnabzheniya [Safety of train traffic within electrification and railway power supply equipment]. Vesti Yevraziya [EuroAsia news], 2011, N 1. – P. 13.

28. Innovatsionnaya kontaktnaya set' SNTsF V350, ispytannaya skorost'yu svyshe 500 km/ch [Innovative catenary system SNTsF V350, test with speed more than 500 km/h]. Vesti Yevraziya [EuroAsia news], 2014, N 6. – P. 22.

29. Poyezda «Allegro» zaderzhivayutsya iz-za obryva provodov [Allegro trains are delayed because of wire breakage] [electronic resource], <http://47news.ru/articles/70069>.

30. V dvizhenii poyezdov Moskva – Peterburg proizoshel sboy iz-za obryva provoda [Moscow – Saint-Petersburg trains were delayed because of wire breakage] [electronic resource], <http://www.rbc.ru/society/08/12/2015/56666b549a79470d2d2fbd41>.

31. Iz-za obryva provoda kontaktnoy seti byl zaderzhan ryad poyezdov na Leningradskom napravlenii Oktyabr'skoy zheleznoy dorogi [At Leningrad direction of Oktyabrskaya railway a number of trains were delayed because of the catenary wire breakage] [electronic resource], http://ozd.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=4069&refererLayerId=4069&id=152827.

32. K obryvu kontaktnoy seti na zheleznoy doroge v Sochi privela tseepochka sobytiy [Catenary wire breakage at Sochi railway was cause by a series of events] [electronic resource], <http://www.sochi-express.ru/sochi/news/sochi/58422>.

33. Iz-za obryva provodov v Khimkakh 17.12.2015 vstali elektrichki na Moskvu [Electric trains to Moscow stopped at Khimki because of wire breakage on 17.12.2015] [electronic resource], http://www.topnews.ru/news_id_84965.html.
34. Aeroekspress i elektrichka ostanovleno iz-za obryva provoda v Podmoskov'ye [Aeroexpress and electric train have been stopped because of wire breakage near Moscow] [electronic resource], <http://govoritmoskva.ru/news/63934>.
35. Al'bom KSF200F07: Skhemnyye resheniya uzlov kontaktnoy seti postoyannogo toka na uchastke Mstinskiy Most – Bologoye dlya skorostey dvizheniya do 250 km/ch. [Album KSF200F07: Circuit solutions for DC catenary junctions at the section Mstinsky bridge – Bologoye for speed up to 200 km/h]. St. Petersburg, Universal-kontaktnyye seti, 2007. – 149 p.
36. Bondarev N.A., Chekulaev V.E. Kontaktnaya set' [Catenary system]. Textbook for students of railway transport vocational technical schools and colleges. Moscow, Marshrut, 2006. – 590 p.
37. Vysokoskorostnoye zheleznodorozhnoye dvizheniye [High-speed railway traffic]: set of lectures of Dietrich Moeller, President of Siemens Russia and Central Asia. Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), 14.02.2014. – 80 p.
38. Kobayasi T., Fujihasi Y., Tsuburaya T., Satoh J. I., Oura Y., Fujii Y. Current collecting performance of overhead contact line-pantograph system at 425 km/h. *Electrical Engineering in Japan*, 1998, vol. 124, issue 3. – Pp. 73–81.
39. Theune N., Bosselmann T., Kaiser J., Willsch M., Hertsch H., Puschmann R. On-line Catenary Temperature Monitoring at New High-Speed Rail Line Cologne-Rhine/Main. *WCRR*, 2003, vol. 18, issue 5. – Pp. 1038–1043.
40. Mizan M., Karwowski K., Karkosiński D. Monitoring odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, R89, N 12. – Pp. 154–160.
41. Bechmann J., Dolling A., Hahn G. et al. Überwachungseinrichtung für Oberleitungskettenwerke. *Elektrische Bahnen*, 2008, Bd 106, H. 8–9. – S. 400–407.
42. Sicut CMS Catenary monitoring system for overhead contact line systems. Siemens AG, 2010. – 8 p.
43. 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.
44. 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, N 8. – Pp. 1216–1220.
45. Park Y., Lee K., Park p., 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.
46. V Volgograde (Privolzhskaya zheleznaya doroga) sostoyalos' setevoye soveshchaniye spetsialistov khozyaystva elektrifikatsii i elektrosnabzheniya OAO «RZhD» [Meeting of experts in electrification and power supply of JSC RZhD took place in Volgograd (Privolzhskaya railway)] [electronic resource], http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=656&layer_id=4069&id=64896.

47. Dolinsky K. Yu., Lykov A. A., Sokolov V. B., Sokolov V. A., Osadchy G. V. Sistema udalennogo monitoringa sostoyaniya zheleznodorozhnoy kontaktnoy seti [System of remote monitoring of railway catenary network state]. Transport of the Russian Federation (Transport Rossiiskoi Federatsii), 2010, N 5. – Pp. 44–47.

48. Shapiro K. P., Sokolov V. A., Sokolov V. B. Sistemy monitoringa kontaktnoy seti na zheleznoy doroge [Monitoring systems for railway catenary]. Bulletin of Petersburg Transport University, 2011, N 3. – Pp. 99–107.

49. Sokolov V. B., Osadchy G. V., Sokolov V. A. Sistema nepreryvnogo monitoringa sostoyaniya kontaktnoy podveski infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta na uchastkakh vysokoskorostnogo dvizheniya [System of non-stop monitoring of overhead catenary for railway transport infrastructure at high-speed track sections]. Materialy XL mezhdunarodnoy konferentsii i diskussionnogo nauchnogo kluba. Mayskaya sessiya. «Informatsionnyye tekhnologii v nauke, sotsiologii, ekonomike i biznese IT+SE`12» [Materials of XXXX International conference and debating academic club. May meetings. «Information technologies in science, sociology, economy and business IT+SE`12». Ukraine, Crimea, Yalta-Gurzuf, 2012. – Pp. 89–93.

50. Sposob i sistema diagnostiki i udalennogo monitoringa kontaktnoy seti zheleznoy dorogi [Method and system of diagnostics and remote monitoring of railway catenary] – RF Patent (RU 2444449 C1). Application 2010137656/11, 07.09.2010. Published: 10.03.2012 Bul. N 7. Patent holder – ООО «Mostovoye byuro», authors: Nepomnyashiy V. G., Osadchy G. V., Pristensky D. N., Lykov A. A., Sokolov V. A., Sokolov V. B., Dolinsky K. Yu. – 10 p.

51. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D., Dmitriev V. 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.

52. Elektricheskiye izmereniya neelektricheskikh velichin [Electrical measuring of non-electrical variables], 5th edition, revised and enlarged. Turichin A. M., Novitsky P. V., Levshina E. S., Gutnikov V. S., Spektor S. A., Zograf I. A., Arshansky B. E., Knoring V. G., Presnyakov P. D.; Edited by Novitsky P. V., Leningrad, Energiya, Leningrad branch, 1975. – 576 p.

53. Tenzodatchik H9Z2. Kratkoye opisaniye [Strain gage H9Z2. Brief description]. – ZEMIC Russia. – 2 p.

Статья представлена к публикации членом редколлегии

Вал. В. Сапожниковым

Поступила в редакцию 28.01.2016, принята к публикации 29.02.2016

НАСОНОВ Геннадий Федорович – заместитель начальника Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» (по развитию системы управления).
e-mail: nasonov.gennadiy@mail.ru

ЧЕРНОГОРОВ Юрий Анатольевич – главный инженер Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» (ЦДИ).
e-mail: chernogorova@center.rzd.ru

МЕДВЕДЕВ Михаил Евгеньевич – главный инженер службы электрификации и электроснабжения Октябрьской дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД».
e-mail: medvedevm81@gmail.com

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

СЕДЫХ Дмитрий Владимирович – инженер ООО «Мостовое бюро».
e-mail: sedyhdmitriy@gmail.com

ПРИСТЕНСКИЙ Дмитрий Николаевич – ведущий инженер ООО «Мостовое бюро».
e-mail: dn@ad-c.info

ИВАНОВ Владимир Леонидович – кандидат технических наук, декан факультета «Холодильная, криогенная техника и кондиционирование», заведующий кафедрой АБиТП Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО).
e-mail: vniig-audit@mail.ru

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

© Насонов Г. Ф., Черногоров Ю. А., Медведев М. Е., 2016

© Осадчий Г. В., Седых Д. В., Пристенский Д. Н., 2016

© Иванов В. Л., Ефанов Д. В., 2016