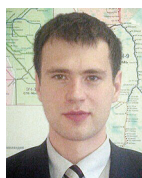


# Системы стационарного мониторинга и цифровая железнодорожная контактная подвеска



**Д. В. Ефанов,**  
д. т. н., доцент, руководи-  
тель направления систем  
мониторинга и диагно-  
стики ООО «ЛокоТех-Сиг-  
нал», профессор кафедры  
«Автоматика, телемеха-  
ника и связь на железно-  
дорожном транспорте»  
Российского университета  
транспорта (РУТ (МИИТ))



**Д. В. Барч,**  
начальник ДЭЛ  
Октябрьской дирекции  
по энергообеспечению  
ОАО «РЖД»



**Г. В. Осадчий,**  
технический директор  
ООО НТЦ «Комплексные  
системы мониторинга»

В статье представлен обобщенный опыт организации стационарных систем мониторинга для элементов конструкции железнодорожной контактной подвески. Сформирована концепция перспективного развития указанных систем, позволяющая перейти к цифровизации железнодорожной контактной подвески. Описана бизнес-модель системы мониторинга ближайшего будущего.

В России сеть электрифицированных железных дорог — одна из самых развитых в мире, их общая длина превышает 40 тыс. км. По этому показателю с РФ сравним только Китай. От качества функционирования элементов поддерживающих конструкций железнодорожной контактной сети напрямую зависит бесперебойность перевозочного процесса и реализация графика движения поездов.

Многие элементы железнодорожной контактной сети нерезервируемые (в отличие, например, от систем управления движением поездов), поэтому их отказы

зачастую приводят к длительным нарушениям технологических процессов [1]. К таким элементам контактной сети относится железнодорожная контактная подвеска, непосредственно взаимодействующая с токоприемником тяговой подвижной единицы. Состояние контактной подвески влияет и на функционирование элементов железнодорожной автоматики и подвижного состава. Примерами служат нарушения в работе аппаратуры рельсовых цепей и автоматической локомотивной сигнализации [2], а также повреждения токоприемников при взаимодействии с контактным проводом неисправной контактной подвески. Согласно статистическим сведениям самые ненадежные элементы конструкции железнодорожной контактной подвески — тросы и провода [3], число отказов которых значительно превышает число отказов остальных элементов поддерживающих конструкций (далее в списке ненадежных элементов идут струны, зажимы и воздушные стрелки). Для обеспечения высокой готовности элементов железнодорожной контактной подвески проводятся мероприятия по ее периодическому техническому диагностированию и мониторингу. Они реализуются сервисным персоналом железных дорог и специалистами вагонов-лабораторий для испытаний контактной сети [4–7]. В последние годы появляются и стационарные системы непрерывного мониторинга различных параметров железнодорожной контактной подвески. Такие системы, позволяющие значительно облегчить эксплуатацию железнодорожной контактной сети, широко распространены за рубежом [8–17].



ФОТО: Д. В. ЕФАНОВ

Станция «Мга» Октябрьской железной дороги. 2007 г.

Одна из первых систем непрерывного мониторинга, ориентированная на особенности железнодорожных контактных подвесок в постсоветском пространстве, — система, описанная в [18]. Она создавалась при участии авторов статьи и предназначалась для анализа вибрационных воздействий на тросы и провода контактной подвески. Опыт эксплуатации системы непрерывного мониторинга на анкерных участках линии скоростного сообщения Москва-Санкт-Петербург показал, что измерений подобного рода для определения предотказных состояний элементов поддерживающих конструкций недостаточно. Функции системы расширили, снабдив ее возможностью измерения не только вибрационных воздействий [19], но и механических усилий в тросах и проводах [20], а также углов отклонения опор [21]. Обновленная система проходит ряд испытаний для использования при интеграции с железнодорожной контактной подвеской. Следует отметить важность подобной разработки и подчеркнуть, что во многих проектах, например, линии высокоскоростного сообщения Москва-Казань, технические решения предусматривают установку диагностических приборов для стационарных систем мониторинга элементов железнодорожной контактной подвески.

В настоящей статье внимание сосредоточено на перспективных направлениях развития систем непрерывного мониторинга контактной подвески с учетом многолетнего опыта эксплуатации железнодорожной контактной сети.

### Пути развития стационарных систем мониторинга

Основные, наиболее важные и повреждаемые элементы контактной подвески — провода и тросы, поэтому на них следует обращать внимание в первую очередь. Для определения состояния проводов контактной подвески предлагается контролировать параметры вибрации и натяжения [19, 20]. Контроль вибрации даст возможность установить обрывы проводов/тросов, обрывы жил несущего троса, удары токоприемника. Состояние/исправность устройств грузокompенсации (заклинивание блоков, факты хищения грузов, их ненормативное положение и др.), а также подвижность консолей (факт заклинивания) определяются с помощью



Станция «Мга» Октябрьской железной дороги. 2007 г.

контроля натяжения проводов в середине анкерного участка. Отметим, что от натяжения проводов контактной сети зависит качество токосъема.

При низкой отрицательной температуре известны случаи обрыва усиливающих проводов, поэтому стоит рассмотреть установку датчиков натяжения и на усиливающие провода (А-185, АС-185, М-120). Целесообразно проверять факты обрывов жил усиливающих проводов для принятия решения по установке датчиков вибрации, а в слу-

чае двух или трех усиливающих проводов нужно уточнять места установки датчиков.

Предлагаемая схема установки датчиков на элементы железнодорожной контактной подвески представлена на рис. 1.

К важным устройствам контактной сети относятся поддерживающие конструкции — опоры [21]. Восстановление движения по участку, если упадет опора контактной сети, занимает значительно больше времени,

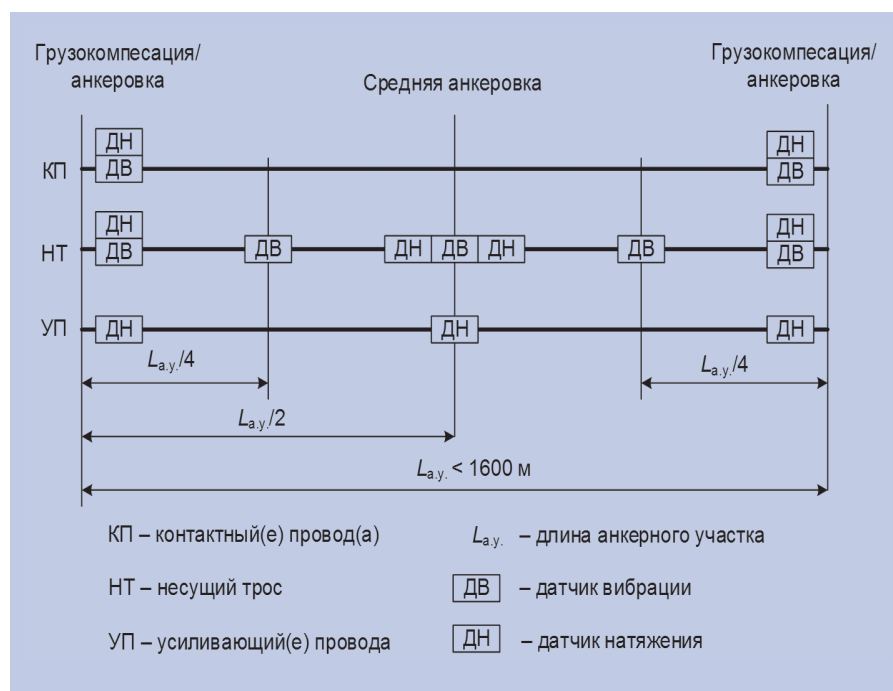


Рис. 1. Схема установки датчиков системы мониторинга

чем в случаях других повреждений (кроме жестких и гибких поперечин), стоимость замены одной опоры крайне велика (в 2016 г. – около 6 тыс. долл.). Целесообразно контролировать по опорам контактной сети угол и параметры вибрации, чтобы отслеживать ухудшение состояния опоры и/или ее фундамента [22]. На участках постоянного тока следует проверять токи утечки для предотвращения электрокоррозии опор контактной сети, на участках переменного тока – только токи утечки в работе системы автоматической локомотивной сигнализации.

Кроме того, на станциях предлагается выполнять контроль нажатия токоприемника на контактный(-е) провод(а), определяя расстояние между основным и дополнительным фиксаторами подвески в момент прохождения электропоездов (для научных изысканий можно рассматривать параметры «волны» на высокоскоростных участках движения).

Предлагаемая схема установки датчиков приведена на рис. 2.

С учетом опыта эксплуатации железнодорожной контактной сети наметим перспективы развития стационарных систем мониторинга:

- разработка датчиков и подсистемы мониторинга токов утечки;
- разработка датчика нажатия токоприемника на контактный провод (целесообразно предусмотреть фотовидеокамеру, чтобы получать изображение высокого качества для визуальной оценки токоприемников);
- установка датчиков температуры в местах подключения питающих линий и дроссель-трансформаторов на разъединители;
- использование датчиков частичных разрядов для контроля изоляции на высоковольтной линии 10 кВ, линии ДПР (два провода – рельс), контактной сети переменного тока (для участков контактной сети переменного тока требуются испытания для определения влияния искрообразования на работу датчиков);
- реализация измерений токов в несущем тросе, усиливающих проводах для определения параметров растекания тока (можно дополнить контролем состояния струн и электросоединителей);
- обеспечение контроля токов утечки для мониторинга ограничителей

перенапряжения нелинейных (ОПН) и разрядников;

- разработка системы мониторинга воздушных стрелок по параметрам вибрации, натяжения, искрообразования и т. д.;
- разработка системы мониторинга жестких и гибких поперечин на основе параметров вибрации (углов наклона для жестких поперечин и механического натяжения для гибких поперечин);
- разработка системы мониторинга полозов токоприемников на основе анализа фото- и видеоданных;
- разработка системы контроля изоляции на участках постоянного тока;
- разработка системы мониторинга секционных изоляторов на основе контроля искрообразования и т. д.;
- реализация системы мониторинга моторных приводов разъединителей на основе контроля токов и напряжений.

### Бизнес-модели внедрения систем мониторинга

При обосновании внедрения систем мониторинга зачастую используют бизнес-модель оптимизации штата персонала по обслуживанию объекта. Суть такой модели состоит в следующем. Имеется ряд регламентных работ, выполняемых сервисной бригадой с некоторой периодичностью. При внедрении системы мониторинга часть работ автоматизируется, что позволяет оптимизировать штат сервисной бригады.

Даже при регламентном обслуживании и автоматизации части работ сервисной бригады случаются аварийные происшествия. Причины этому могут быть различными: катастрофические отказы или пропущенные при обслуживании возникающие и развивающиеся на ранней стадии дефекты, природные катаклизмы. К сожалению, и полная автоматизация работ по обслуживанию не устраняет аварийность на объекте мониторинга, но уменьшает вероятность нежелательных случаев нарушений технологических процессов.

При обосновании внедрения систем мониторинга такая бизнес-модель может оказаться не совсем верной. При внедрении средств автоматизации, обеспечивающих снижение влияния человеческого фактора, повышение надежности и безопасности, неизбежны серьезные затраты. Приведем пример. Внедрение микропроцессорных

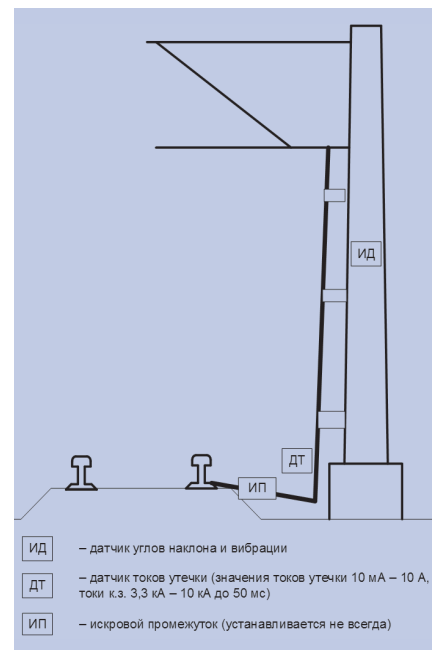


Рис. 2. Схема установки датчиков для мониторинга состояния опор

систем управления движением на железнодорожных станциях позволяет автоматизировать задание маршрутов (работу стрелок и светофоров). Капиталовложения в систему, а затем и затраты на эксплуатацию оказываются весьма высокими. Гораздо дешевле поставить в двух горловинах станции стрелочные посты с дежурными, которые будут переводить и запирают стрелки вручную. Автоматизация требует от владельца производства капиталовложений и затрат на эксплуатацию, часть из них в дальнейшем окупится.

При внедрении систем мониторинга можно придерживаться следующей бизнес-модели. Разработчик продает не технические средства, а информацию в качестве события «предотказное состояние» (или «предотвращение аварии», «нарушение технологического процесса» и т. п.). В этом случае разработчик использует собственные технические средства, чтобы добиться результата, который заказчик получает в виде безостановочного технологического процесса. В рассматриваемом случае такая бизнес-модель видится весьма привлекательной: при отказе контактной подвески неизбежны длительные перерывы в движении поездов, повреждения инфраструктуры и тягового подвижного состава. Кроме того, разработчик может брать на себя полный жизненный цикл системы мониторинга.

В предложенной бизнес-модели затраты владельца объекта на первом эта-

пе минимизируются, так как система мониторинга будет для него средством информатизации и снижения аварийности. Со временем, когда при эксплуатации отказы неизбежно возникнут, эффект будет достигнут и для разраб-отчика.

Приведенные авторами способы расширения функциональных возможностей стационарных систем мониторинга позволяют охватить широкий спектр диагностических параметров и возникающих технологических ситуаций в работе железнодорожной контактной подвески. После реализации представленных способов непрерывный мониторинг устройств контактной сети будет выведен на новый уровень. При этом создаются условия не только получения диагностической картины для контактной подвески, но и создания ее цифровых копий, чтобы следить в режиме реального времени за состоянием ее элементов. Использование цифровой железнодорожной контактной подвески позволяет оптимизировать процесс движения поездов с минимизацией потерь и затрат на энергоснабжение. В перспективе цифровизации железных дорог [23] можно предсказать использование систем мониторинга в цепях обратных связей систем автоматического управления движением поездов, передаче данных не только энергодиспетчеру, но и машинистам для грамотной оценки поездной обстановки и предотвращения аварийных ситуаций.

В заключение следует добавить, что ряд представленных направлений развития стационарных систем мониторинга контактной подвески можно использовать для организации мониторинга состояния подвесок городского электрического транспорта. Это будет свидетельствовать о наступлении очередного этапа в формировании концепции цифрового города.

Развитие технологий мониторинга сооружений транспортной инфраструктуры неизбежно и со временем станет более стремительным, охватывая новые, ранее труднодоступные компоненты действующих и строящихся комплексов. ■

#### Литература

1. Liu Z. Detection and Estimation Research of High-Speed Railway Catenary. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2017. 287 p.
2. Иваненко А. А., Зенкович Ю. И., Щербина Е. Г. Защита рельсовых цепей

- от ложной занятости при гололедообразовании на контактном проводе // Автом., связь, информ. 2011. № 4. С. 29–31.
3. Барч Д. В. Совершенствование системы обслуживания устройств энергоснабжения на основе мониторинга и диагностики // Изв. Петерб. ун-та путей сообщения. 2012. № 3. С. 103–110.
4. Злобин В. К., Кузнецов А. Е., Пронченко Р. С. Система мониторинга состояния контактной сети железнодорожного транспорта // Вестн. Рязан. гос. радиотехн. ун-та. 2008. № 2. С. 28–33.
5. Плотников Ю. И., Скороходов Д. А., Стариченков А. Л. Методы и средства повышения достоверности электронно-оптического диагностирования изоляции контактной сети // Транспорт РФ. 2011. № 6. С. 66–70.
6. Определение положения контактного провода с помощью ультразвука // Жел. дор. мира. 2012. № 1. С. 51–55.
7. Шевяков С. М., Сиротинин В. И., Сафин В. Г. и др. Видеоизмерительные системы диагностики контактной сети // Вести Евразия. 2017. № 11. С. 23.
8. Hofler H., Dambacher M., Dimopoulos N. et al. Monitoring and Inspecting Overhead Wires and Supporting Structures // Proceed. IEEE Intel.Vehicles Symp. Parma, Italy, 2004. P. 512–517. doi: 10.1109/IVS.2004.1336436.
9. Theune N., Bosselmann T., Kaiser J. et al. Online Catenary Temperature Monitoring at New High-Speed Rail Line Cologne-Rhine/Main // WCRR. 2003. Vol. 18. Is. 5. P. 1038–1043.
10. Park Y., Cho Y. H., Lee K. et al. Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application // Proceed. 8th World Congr. Railway Research. COEX, Seoul, Korea, 2008.
11. Yu J., Wu M. Development of a Detection System for the Catenary Vibration Monitoring // Proceed. Intern. Conf. Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences. Nanjing, Jiangsu, China, 2011. Vol. 1. P. 76–79. doi: 10.1109/ICM.2011.155.
12. Park Y., Kwon S. Y., Kim J. M. Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire // Transact. Korean Inst. Electrical Engineers. 2012. Vol. 61. No. 8. P. 1216–1220.
13. Hisa T., Kanaya M, Sakai V. et al. Rail and Contact Line Inspection Technology for Safe and Reliable Railway Traffic //

- Hitachi Rev. 2012. Vol. 61. Is. 7. P. 325–330.
14. Mizan M., Karwowski K., Karkosiński D. Monitoring odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej // Przegląd Elektrotechn. 2013. № 12. P. 154–160.
15. Инновационная контактная сеть СНЦФ V350, испытанная скоростью свыше 500 км/ч // Вести Евразия. 2014. № 6. С. 22.
16. Sicat CMS. Catenary Monitoring System for Overhead Contact Line Systems. – Product information, Version 1.1.4, Siemens AG, 2016. 8 p.
17. Wang H., Núñez A., Liu Z. et al. Intelligent Condition Monitoring of Railway Catenary Systems: A Bayesian Network Approach // Proceed. 25th Intern. Symp. Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD 2017). Rockhampton, Australia, 2017. P. 1–6.
18. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Седых Д. В. Непрерывный мониторинг железнодорожной контактной подвески // Транспорт РФ. 2017. № 3. С. 20–24.
19. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D. et al. Monitoring System of Vibration Impacts on the Structure of Overhead Catenary of High-Speed Railway Lines // Proceed, 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016). Yerevan, Armenia, 2016. P. 201–208. doi: 10.1109/EWDTs.2016.7807691.
20. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D. Development of Rail Roads Health Monitoring Technology Regarding Stressing of Contact-Wire Catenary System // Proceed. 2nd Intern. Conf. Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Chelyabinsk, Russia, 2016. P. 1–5. doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911431.
21. Efanov D., Sedykh D., Osadchy G. et al. Permanent Monitoring of Railway Overhead Catenary Poles Inclination // Proceed. 15th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2017). Novi Sad, Serbia, 2017. P. 163–167. doi: 10.1109/EWDTs.2017.8110142.
22. Ковалев А. А., Маслов В. М., Аксенов Н. А. Применение мобильных средств диагностики опор контактной сети // Трансп. Урала. 2018. № 2. С. 77–79.
23. Bauer T., Benito D. N. Digital Railway Stations for Increased Throughput and a Better Passenger Experience // Sign.+Draht. 2018. Is. 7+8. P. 6–12.