



## Система мониторинга устройств железнодорожной автоматики на основе промышленного «Интернета вещей»



*Ефанов Дмитрий Викторович – ООО «ВЕГА Групп», Санкт-Петербург, Российский университет транспорта, Москва, Россия\*.*

**Дмитрий ЕФАНОВ**

Рассматриваются особенности систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава. Описаны основные подходы к организации мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава, отмечены их достоинства и недостатки. Основной целью настоящей работы является представление читателю концептуального видения системы мониторинга устройств и систем обеспечения безопасности движения поездов, использующей технологии передачи диагностической информации по радиоканалу. Используются методы теории технической диагностики и мониторинга.

Внимание сфокусировано на применении технологий беспроводной передачи данных и использовании автономных датчиков промышленной автоматизации при организации систем мониторинга устройств железнодорожной автоматики. Представлена архитектура системы мониторинга. Дано описание самой системы и технологии мониторинга, отмечаются основные преимущества представленного подхода, заключающиеся,

прежде всего, в сокращении объемов проектных работ и снижении энергопотребления системы в целом. Недостатком же является необходимость замены автономных источников питания, обеспечения защищенности сети передачи данных, периодической поверки и калибровки средств измерения.

Приведены основные схемы подключения датчиков измерения физических величин к схемным узлам железнодорожной автоматики. Дан перечень необходимых для качественного и эффективного мониторинга устройств железнодорожной автоматики параметров. Отмечается необходимость как контроля механических и геометрических параметров устройств, так и учёт данных от взаимосвязанных объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

Предложенный подход может найти своё применение в сфере железнодорожной автоматики и, прежде всего, на тех объектах, которые расположены на ограниченных площадях помещений (например, в метрополитенах).

**Ключевые слова:** железная дорога, система мониторинга устройств железнодорожной автоматики, датчики промышленной автоматизации, беспроводная передача данных, диагностический параметр устройства железнодорожной автоматики, эффективность технологии мониторинга.

\*Информация об авторе:

**Ефанов Дмитрий Викторович** – доктор технических наук, доцент, первый заместитель генерального директора – главный инженер ООО «ВЕГА Групп», Санкт-Петербург, профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 27.02.2020, принята к публикации 12.10.2020.

For the English text of the article please see p. 127.

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии мониторинга широко используются во всех областях промышленности и транспорта. Датчиками мониторинга оборудуются уникальные искусственные сооружения и здания, технические средства автоматизации, машины и механизмы. При этом спектр измеряемых параметров и их величин весьма разнообразен, а сами приборы и датчики способны как измерять аналоговые значения и преобразовывать их в цифровой вид, так и выдавать только сигналы о достижении предустановленного порогового значения. Цели мониторинга также различны: в некоторых приложениях требуется учёт произведённой работы, потраченной на неё энергии (например, учёт топлива или учёт работы оператора), в некоторых требуется индикация о достижении опасного (докритического) значения измеренного параметра (мониторинг в строительной отрасли), в некоторых — автоматизация измерения (для автоматизации работ по обслуживанию и определения предостказных состояний), а в некоторых — даже использование этой информации в цепях обратной связи для корректировки режима управления (например, в работе системы управления самолётом).

Используются технологии мониторинга и в сфере систем управления движением на железнодорожном транспорте. Основные технические средства регулирования движения поездов (объекты железнодорожной автоматики), а также бортовые средства автоматизации оборудуются средствами автоматизированного технического диагностирования и мониторинга [1; 2]. Данные от бортовых средств мониторинга передаются непосредственно на бортовые устройства автоматизации, а также персоналу по техническому обслуживанию локомотивов. Данные от систем мониторинга объектов железнодорожной автоматики посредством кабельной сети (реже — по беспроводным каналам [3]) передаются в станционные пункты концентрации данных и далее — на верхние уровни иерархии управления, — на оборудование дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и центров мониторинга [4].

Следует добавить, что кроме использования обозначенных технических средств

измерения параметров устройств автоматизации, производятся мероприятия по периодическому мониторингу состояния верхнего строения пути с помощью дефектоскопов и специализированного подвижного состава, измерению параметров железнодорожной контактной подвески с помощью вагонов-лабораторий, а также производятся измерения параметров подвижных единиц «на ходу» стационарными комплексами контроля технического состояния вагонов и локомотивов. Данные, получаемые от средств измерения состояния пути и контактной сети, аккумулируются и передаются специалистам по их расшифровке. Данные от систем мониторинга параметров поезда «на ходу» анализируются в режиме реального времени и используются для предупреждения аварийных ситуаций в работе подвижного состава.

Остановимся на проблеме мониторинга состояния объектов железнодорожной автоматики [5]. В хозяйстве автоматики и телемеханики системы мониторинга уже давно образовали отдельный класс устройств СЦБ [6; 7]. Существуют стандарты, регламентирующие применение данных средств автоматизации, типовые материалы по проектированию отдельных систем и прочее. Постоянно разрабатываются и совершенствуются подходы к получению, обработке и анализу диагностических данных [8–13].

Одной из сложностей, возникающих в процессе внедрения систем мониторинга устройств железнодорожной автоматики, является необходимость разработки сложного проекта с учётом прокладки кабелей для подключения диагностических приборов. Кроме того, для самих средств технического диагностирования и мониторинга требуется учёт потребляемой электроэнергии.

*Целью* настоящей статьи является описание подхода к построению системы мониторинга постовых устройств железнодорожной автоматики на основе датчиков промышленной автоматизации с автономным энергоснабжением и передачей данных с использованием собственного «Интернета вещей», при этом использованы *методы* теории технической диагностики и мониторинга.





Рис. 1. Устройство измерения напряжения и тока с беспроводной передачей данных.

Подобные датчики и технологии передачи информации уже давно хорошо рекомендовали себя в большом числе приложений [14], а их внедрение в области железнодорожной автоматики сдерживается, разве что, консерватизмом отрасли, но никак не техническими возможностями современных систем автоматизации. Использование предлагаемого подхода к организации системы мониторинга позволяет снизить затраты на её проектирование, а также упростить процедуру её последующей эксплуатации.

### АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, СОСТАВ ДАТЧИКОВ И СХЕМЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Современные системы мониторинга устройств железнодорожной автоматики используют как широко применяемые датчики и приборы промышленной автоматизации, так и унифицированные измерительные контроллеры компаний-производителей, примеры которых есть и в [6; 7], и на сайтах разработчиков. Такие приборы внесены в реестр средств измерения, для них также требуется периодическая поверка. Данные от диагностических приборов, поступающие в программные средства хранения, обработки и анализа, считаются достоверными.

Недостатком же измерительных приборов собственной разработки является их высокая цена и отсутствие рекомендованных аналогов – типовые материалы по проектированию исключают использование иных средств, чем те, что обозначены в проекте.

В качестве альтернативы широко распространённым диагностическим прибо-

рам собственной разработки производителей могут быть рассмотрены устройства измерений напряжений и токов промышленных производителей с беспроводной передачей данных и автономным питанием [15]. Пример такого устройства изображён на рис. 1. Такие приборы предназначены для преобразования физических величин напряжения и тока в цифровой сигнал. При измерениях с частотой опроса датчика в 10 сек (этого вполне достаточно для решения задач мониторинга медленнопротекающих процессов в устройствах железнодорожной автоматики) батареи служат более полутора лет. Можно отметить альтернативу применения источников батарейного питания и постоянного питания для таких датчиков. Сами технические описания устройств с их особенностями можно найти на сайтах производителей.

Преимуществами применения устройств с беспроводной передачей данных и автономным энергоснабжением являются возможность установки практически в любые точки для съёма данных, отсутствие необходимости применения кабельных обвязок и сложных проектных работ. Недостатки же связаны с необходимостью периодической замены источников питания (которые, к слову, производятся не столь часто, а сами работы не столь трудоёмки).

Использование беспроводных датчиков получения физических величин позволяет организовать систему мониторинга по архитектуре, приведённой на рис. 2. В ней датчики физических величин располагаются непосредственно в помещениях, где устанавливаются релейные стивы системы электрической централизации стрелок и сигналов, а также в зависимости от размеров помещений выбираются дополнительные средства связи (компоненты усиления и ретрансляции сигналов к концентратору). Данные от датчиков через беспроводную сеть поступают в концентратор информации, где накапливаются, обрабатываются и анализируются. В отличие от традиционных систем мониторинга, используемых в области железнодорожной автоматики, предлагаемая система не имеет кабельных трактов передачи данных. Это является несомненным достоинством системы и крайне востребовано может оказаться там, где размеры помещений

с расположенными средствами автоматизации ограничены (к примеру, в метрополитенах). Необходимо заметить, что использование беспроводной передачи данных новым в области сигнализации, централизации и блокировки не является. В [16] представлена система мониторинга передаточного механизма стрелочного электропривода, в которой датчики монтируются непосредственно в корпусе стрелочного электропривода, а передача данных также является беспроводной между приборами и сервером мониторинга. В [17] предложены способы контроля геометрических параметров стрелочного перевода (расположения и состояния острижков относительно рамных рельсов) с беспроводным интерфейсом. В [3] авторы предлагают использование для передачи информации с объектов переездной автоматизации в зонах железнодорожных линий, оборудованных полуавтоматической блокировкой, радиоканала и GSM-модулей. Приведённые примеры указывают на международный опыт в области применения беспроводных технологий передачи данных и их особенности в предлагаемых решениях.

Условная схема расположения датчиков физических величин в релейном помещении представлена на рис. 3. Данные от датчиков поступают в концентратор информации, располагаемый в этом же помещении, синхронизируются и записываются в базу данных. Далее, по мере накопления измеренных значений, осуществляется анализ диагностической информации,



Рис. 2. Организационная структура системы.

определяются тенденции изменения измеренных параметров, а также производятся процедуры по диагностированию и прогнозированию с учётом особенностей измеряемых величин, совокупности влияющих

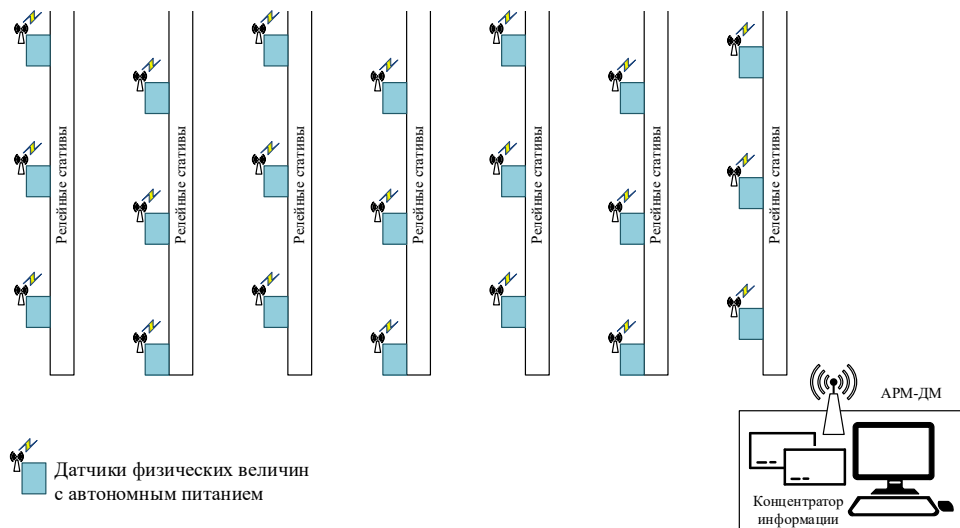


Рис. 3. Принципы размещения оборудования в релейных помещениях.

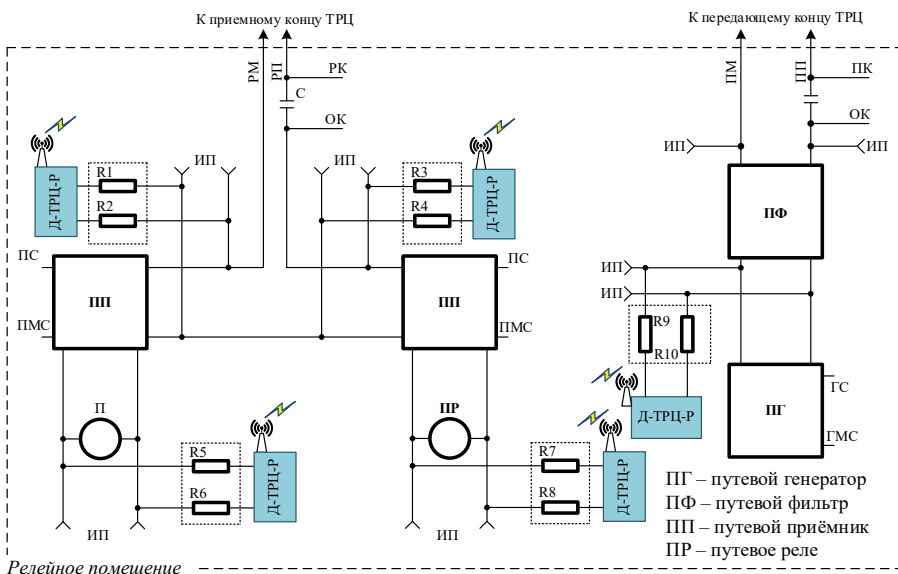


Рис. 4. Подключение датчиков напряжения к рельсовой цепи тональной частоты.

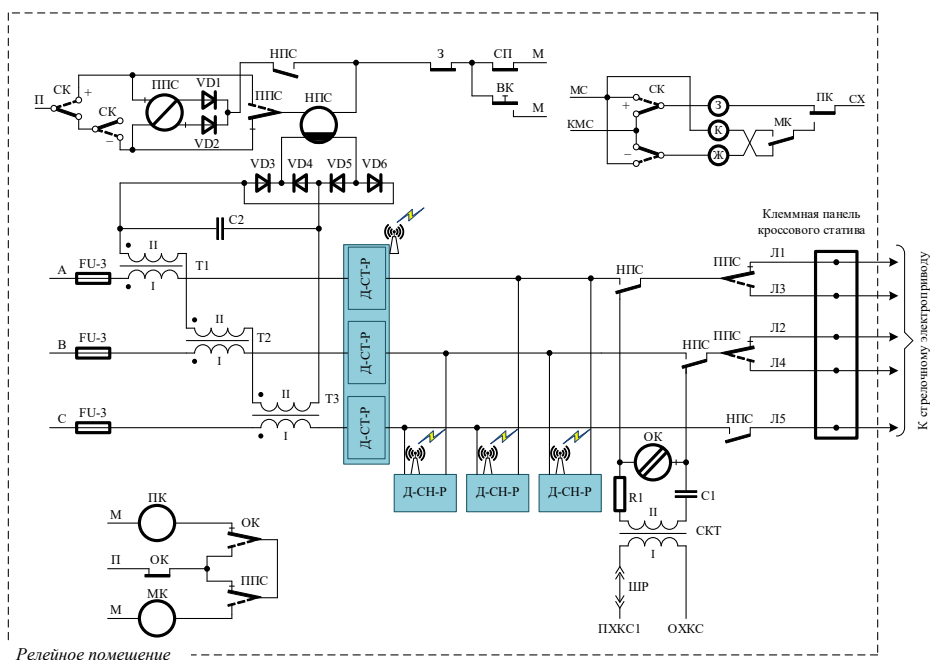


Рис. 5. Подключение датчиков тока и напряжения к схеме управления железнодорожной стрелкой.

друг на друга параметров. Данные дополняются информацией о климатических условиях в помещении и непосредственно в зоне расположения объекта диагностирования («в поле»).

На рис. 4–6 изображены ставшие уже типовыми схемы подключения измерительных датчиков в схемные узлы железнодорожной автоматики. Беспроводные датчики обозначены как Д-ТРЦ-Р (датчик

получения данных от рельсовых цепей тональной частоты с передачей по радиоканалу), Д-СТ-Р (датчик получения данных от стрелки с передачей по радиоканалу), Д-СН-Р (датчик получения данных от светофора с передачей по радиоканалу).

При подключении датчиков должны быть обеспечены условия безопасности и отсутствия влияния приборов на ответственные цепи управления [18].

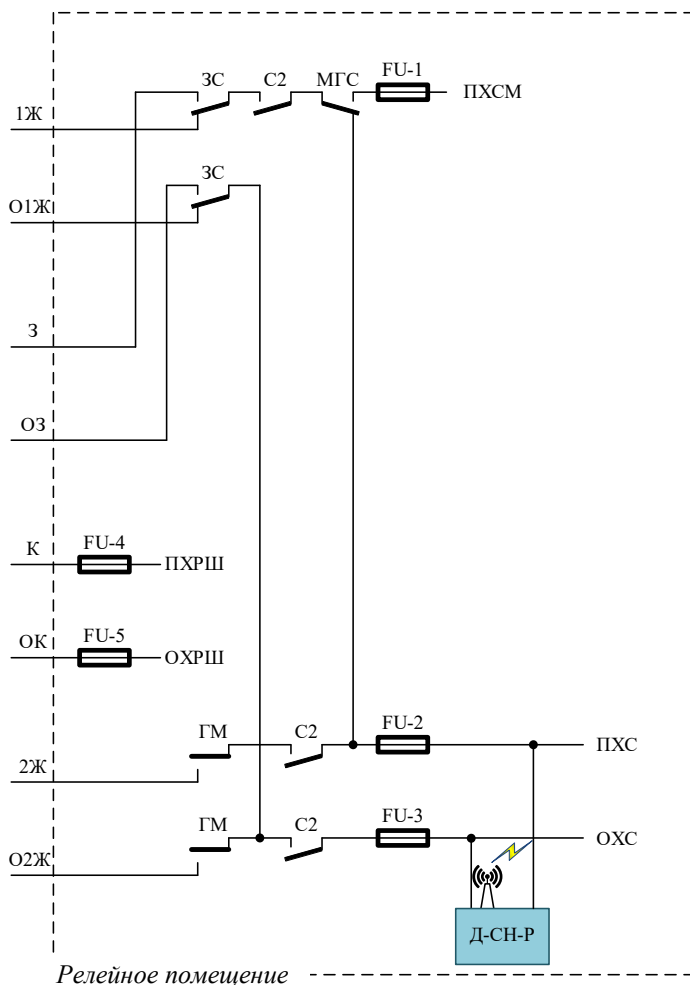


Рис. 6. Подключение датчиков напряжения к схеме управления огнями светофора.

Отдельный интерес представляет вопрос выбора периода опроса датчиков. Для некоторых объектов диагностирования необходимы измерения с малым периодом опроса (доли секунды), а для некоторых достаточно менее частых измерений. В этой связи, измерения в рабочих цепях управляемых объектов под нагрузкой рекомендуется выполнять не реже того, как это реализовано в существующих измерительных контроллерах. В этом случае существует несколько способов работы самих датчиков – с настраиваемым на срабатывание пусковых цепей порогом включения и непрерывным измерением, с измерением и накоплением данных с передачей в ближайший установленный период, с неавтономным питанием и т.д. Вопрос технической реализации и настройки режимов работы решается с учё-

том специфики конкретного объекта мониторинга. К примеру, особенности работы беспроводных диагностических приборов в области железнодорожного транспорта при высокой энергоэффективности рассмотрены в [19].

### ПОЛНОТА И ГЛУБИНА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Отдельным вопросом является обеспечение полноты и глубины технического диагностирования. При использовании современных действующих систем мониторинга указанные параметры диагностирования, очевидно, неудовлетворительны. Причинами тому зачастую являются невозможность технической реализации самого измерения или экономически неэффективное решение [18]. Анализ показал, что для



повышения качества технологии мониторинга необходимо расширение диагностических параметров для устройств и систем железнодорожной автоматики.

Приведём здесь перечень основных диагностических параметров основных устройств железнодорожной автоматики (как уже измеряемых, так и необходимых для измерения):

#### **1. Дискретные данные об объектах диагностирования:**

- состояния датчиков контроля свободы пути (рельсовых цепей, систем счёта осей и пр.);
- состояния ламп светофоров;
- крайние положения железнодорожных стрелок;
- состояния объектов переездной автоматизации;
- состояния объектов энергоснабжения и т.д.

#### **2. Аналоговые данные об объектах диагностирования:**

##### **2.1. Данные о рельсовых цепях 25, 50 и 75 Гц:**

- напряжения на питающем конце;
- напряжения на релейных концах рельсовых цепей;
- сопротивление изоляции жил кабеля;
- временные параметры кодов автоматической локомотивной сигнализации;
- токи автоматической локомотивной сигнализации при вступлении поезда на участок пути по началу передачи кодов;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.);
- измерения сопротивления балласта.

##### **2.2. Данные о рельсовых цепях тональной частоты:**

- токи и напряжения на входах путевых приёмников;
- напряжение на выходах путевого приёмника;
- ток и напряжение на выходе путевого генератора;
- напряжение на выходе путевого фильтра;
- сопротивление изоляции жил кабеля;
- частота сигнала (несущая и манипулирующая);
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

##### **2.3. Данные о стрелочных электроприводах:**

- ток перевода стрелки с двигателем постоянного тока;
- фазные токи перевода стрелки с двигателем переменного тока;
- напряжения между фазами;
- контроль исправности рабочей цепи стрелочного электропривода при выключенном двигателе;
- сопротивления изоляции жил кабеля;
- время перевода;
- механические параметры автопереключателя (ход ножей);
- вибрационные воздействия на стрелочный привод;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

##### **2.4. Данные о средствах оптической сигнализации:**

- напряжения питания огней светофоров;
- токи в цепях питания огней светофоров;
- состояния ламп в выключенном состоянии;
- времена горения нитей ламп светофоров;
- времена замедления выключения сигнальных показаний;
- сопротивления изоляции жил кабеля;
- контроль коррозии мачты (датчики вибродиагностики и инклинометрии);
- контроль габарита мачты (датчики вибродиагностики и инклинометрии);
- времена горения основных нитей светодиодных ламп;
- времена горения резервных нитей светодиодных ламп;
- напряжения питания светодиодных ламп;
- токи в цепях питания светодиодных ламп;
- напряжение питания светодиодных ламп маршрутных указателей;
- времена работы светодиодных светоптических систем (ССС) от основного источника питания (от резервного источника питания);
- времена переключения огней с разрешающих на запрещающее показание;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

##### **2.5. Данные о дроссель-трансформаторах:**

- фактическая температура и уровень масла;

- ток на вторичной обмотке дросселя;
- сопротивление изоляции жил кабеля;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

#### 2.6. Устройства электропитания:

- параметры работы электропитающей установки, дизель-генераторного агрегата и устройств бесперебойного питания;
- качество электроэнергии;
- сопротивление изоляции жил кабеля;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

#### 2.7. Устройства переездной автоматизации:

- токи и напряжения в цепях управления автошлагбаумами и устройствами заграждения пути;
- видеоконтроль состояния переезда в зоне непосредственного пересечения автомобильной и железной дорог;
- вибрационные воздействия на оборудование переездной автоматизации;
- состояние окружающей среды (влажности, температуры и т.д.).

Представленные выше параметры являются ключевыми и требуются для комплексного мониторинга состояния объектов железнодорожной автоматики. Так как на них оказывают влияние также и объекты железнодорожной инфраструктуры (путь и контактная сеть), а также сам подвижной состав, то данную информацию целесообразно дополнять и информацией от систем мониторинга обозначенных технических средств и сооружений. К сожалению, на данный момент развития железных дорог, как минимум в Российской Федерации, отмеченное расширение спектра диагностических параметров невозможно в силу специфики функционирования самого железнодорожного комплекса и особенностей эксплуатации самих объектов железнодорожной инфраструктуры. В перспективе такое расширение достигнуто, несомненно, будет [20; 21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие технологий в управлении и мониторинге технических средств автоматизации идёт по пути совершенствования методов и принципов управления, снижения влияния человека на сами процессы, протекающие в системах, повышения надёжности, безопасности и готовно-

сти устройств и т.д. Это в полной мере касается и технологий управления и мониторинга в сфере железнодорожной автоматизации и телемеханики. Микропроцессорные системы управления на железнодорожном транспорте получили распространение по всему миру, а технологии обработки данных шагнули от анализа единичных параметров в сравнении с пороговыми значениями к сложным системам машинного обучения при решении данных задач. Наблюдается постепенная интеграция и технологий, основанных на применении промышленного «интернета вещей». Первыми системами железнодорожной автоматизации, в которых это сегодня и возможно, и доступно, и необходимо являются системы мониторинга, к которым не предъявляются требования по обеспечению безопасности функционирования (за исключением опасного влияния на объекты диагностирования). Это позволяет устанавливать диагностические датчики непосредственно на распределённые и удалённые объекты диагностирования, а получаемую информацию передавать с использованием беспроводных каналов передачи данных.

Предложенный в статье подход к организации систем мониторинга объектов железнодорожной автоматики позволяет отказаться от традиционных структур систем мониторинга, упростить процесс их проектирования и эксплуатации, а также выработать технические решения, расширяющие множество диагностических признаков и повышающие тем самым полноту и глубину диагностирования и прогнозирования. Особый интерес к представленной технологии может возникнуть в случае ограниченных габаритов помещений, где устанавливаются объекты диагностирования, например, в метрополитенах.

Недостатки предложенного подхода очевидны: необходимо учитывать срок службы автономных источников питания при работе датчиков, организовывать защищённые от помех каналы связи, а также выполнять периодическую поверку и калибровку средств измерения. Несмотря на отмеченные недостатки, технологии мониторинга с использованием беспроводных каналов передачи данных развиваются и будут развиваться и внедряться на боль-





шом числе технически сложных и уникальных сооружений. Их использование в транспортной отрасли, в том числе в сфере железнодорожной автоматики — перспективы ближайшего десятилетия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лакин И. К., Павлов В. В., Мельников В. А. «Умный локомотив»: диагностирование тяговых электродвигателей тепловозов с использованием методов машинного обучения // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — №1. — С. 53–56. [Электронный ресурс]: <http://rostransport.com/transportrf/download.php?src=/transportrf/pdf/74/1994-831X-2018-1-53-56.pdf>. Доступ 12.06.2020.
2. Ефанов Д. В., Барч Д. В., Осадчий Г. В. Системы стационарного мониторинга и цифровая железнодорожная контактная подвеска // Транспорт Российской Федерации. — 2019. — № 4. — С. 41–44. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-statsionarnogo-monitoringa-i-tsifrovaya-zheleznodorozhnaya-kontaktная-podveska/pdf>. Доступ 12.06.2020.
3. Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П. Передача данных с устройств оборудования поездов аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства // Автоматика на транспорте. — 2016. — Том 2. — № 1. — С. 65–80. [Электронный ресурс]: [http://atjournal.ru/ru/Home/Download?path=articles%2F2016\\_Vol.%202\\_No.%201\\_5\\_molodtsov.pdf](http://atjournal.ru/ru/Home/Download?path=articles%2F2016_Vol.%202_No.%201_5_molodtsov.pdf). Доступ 12.06.2020.
4. Нестеров В. В. Развитие систем СТДМ, АСУ-Ш-2 и АОС-ШЧ // Автоматика, связь, информатика. — 2012. — № 12. — С. 45–46. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18259709>. Доступ 12.06.2020.
5. Theeg, G., Vlasenko, S. Railway Signalling & Interlocking: 3<sup>rd</sup> Edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42536131>. Доступ 12.06.2020.
6. Молодцов В. П., Иванов А. А. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. — СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. — 140 с.
7. Федорчук А. Е., Сепетый А. А., Иванченко В. Н. Автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ). — М.: УМЦ ЖДТ, 2013. — 400 с. [Электронный ресурс]: <https://b-ok.global/dl/2900845/33264с>. Доступ 12.06.2020.
8. Domingues, J. L. M. Diagnostic Levels in Railway Applications. Signal+Draht, 2004, No. 1/2, pp. 31–34.
9. Asada, T. Novel Condition Monitoring Techniques Applied to Improve the Dependability of Railway Point Machines. University of Birmingham, UK, Ph.D. thesis, May 2013, 149 p. [Электронный ресурс]: <http://etheses.bham.ac.uk/4155/1/Asada13PhD.pdf>. Доступ 12.06.2020.
10. Jin, W., Shi Z., Siegel, D., Dersin, P., Douzich, C., Pugnali, M., La Cascia, P., Lee, J. Development and Evaluation of Health Monitoring Techniques for Railway Point Machines. 2015 IEEE Conference on Prognostics and Health Management (PHM), 22–25 June 2015, Austin, TX, USA, DOI: 10.1109/ICPHM.2015.7245016.
11. Böhm, T. Remaining Useful Life Prediction for Railway Switch Engines Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines. International Journal of Prognostics and Health Management 8 (Special Issue on Railways & Mass Transportation), December 2017, 15 p. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Thomas\\_Boehm5/publication/322603073\\_Remaining\\_Useful\\_Life\\_Prediction\\_for\\_Railway\\_Switch\\_Engines\\_Using\\_Artificial\\_Neural\\_Networks\\_and\\_Support\\_Vector\\_Machines/links/5a62479a4585158bca4c39d4/Remaining-Useful-Life-Prediction-for-Railway-Switch-Engines-Using-Artificial-Neural-Networks-and-Support-Vector-Machines.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Boehm5/publication/322603073_Remaining_Useful_Life_Prediction_for_Railway_Switch_Engines_Using_Artificial_Neural_Networks_and_Support_Vector_Machines/links/5a62479a4585158bca4c39d4/Remaining-Useful-Life-Prediction-for-Railway-Switch-Engines-Using-Artificial-Neural-Networks-and-Support-Vector-Machines.pdf). Доступ 12.06.2020.
12. Heidmann, L. Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance. Signal+Draht, 2018 (110), Iss. 9, pp. 70–75. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=325895>. Доступ 12.06.2020.
13. Wernet, M., Brunokowski, M., Witt, P., Meiwald, T. Digital Tools for Relay Interlocking Diagnostics and Condition Assessment. Signal+Draht, 2019 (111), Iss. 11, pp. 39–45. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=1136153&lng=en>. Доступ 12.06.2020.
14. Hahanov, V. Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. New York, Springer International Publishing AG, 2018, 279 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54825-8.
15. Автономные беспроводные измерительные устройства. — Schneider Electric, МКР-BRC-ACCUTECH-13, 2013, 6. — 12 с. [Электронный ресурс]: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Brochure&p\\_File\\_Id=5916220128&p\\_File\\_Name=Accutech\\_brochure\\_2016.pdf&p\\_Reference=MKP-BRC-ACCUTECH-13](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Brochure&p_File_Id=5916220128&p_File_Name=Accutech_brochure_2016.pdf&p_Reference=MKP-BRC-ACCUTECH-13). Доступ 12.06.2020.
16. Fritz, C. Intelligent Point Machines. Signal+Draht, 2018 (110), Iss. 12, pp. 12–16. [Электронный ресурс]: <https://eurailpress-archiv.de/SingleView.aspx?show=469469&lng=en>. Доступ 12.06.2020.
17. Kassa, E., Skavhaug, A., Kaynia, A. M. Monitoring of Switches & Crossing (Tornouts) and Tracks. Decision Support Tool for Rail Infrastructure, EU Project No. 636285, 41 p. [Электронный ресурс]: <http://www.destinationrail.eu/ajax/DownloadHandler.php?file=2123>. Доступ 12.06.2020.
18. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. — СПб.: ПГУПС, 2016. — 171 с. [Электронный ресурс]: <https://www.studmed.ru/efanov-d-v-funkcionalnyy-kontrol-i-monitoring-ustroystv-zheleznodorozhnoy-avtomatiki-i-telemehaniki-615d76c768b.html>. Доступ 12.06.2020.
19. Efanov, D., Pristensky, D., Osadchy, G., Razvitnov, I., Sedykh, D., Skurlov, P. New Technology in Sphere of Diagnostic Information Transfer within Monitoring System of Transportation and Industry. Proceedings of 15<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2017), Novi Sad, Serbia, September 29–October 2, 2017, pp. 231–236. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110152.
20. Ефанов Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 4. — С. 62–65. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-sistem-nepreryvnogo-monitoringa-i-upravleniya-dvizheniem-na-zheleznodorozhnom-transporte/pdf>. Доступ 12.06.2020.
21. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция систем управления на основе информационных технологий // Автоматика, связь, информатика. — 2018. — № 5. — С. 20–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34917661>. Доступ 12.06.2020.