

Техническая диагностика и прогнозирование

УДК 681.518.5+656.2

Д. В. Ефанов, д-р техн. наук

ООО «ЛокоТех-Сигнал»,
Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
Российский университет транспорта (МИИТ)

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Статья посвящена развитию систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры. Установлены особенности функционирования современных систем периодического и непрерывного мониторинга. Показано, что следование современной концепции пороговой диагностики приводит к низкой эффективности функционирования систем мониторинга и к определяющему влиянию на результаты диагностирования и прогнозирования «человеческого фактора». Развитие непрерывного мониторинга должно идти по пути интеллектуализации обработки диагностической информации и интеграции систем непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры, обслуживаемых различными линейными подразделениями железных дорог. Прежде всего, изменения должны произойти на этапе концептуального представления о системах непрерывного мониторинга: должны быть сформулированы требования и критерии фиксации событий отказа и предотказных состояний диагностируемых объектов на основе интеллектуальной обработки данных. В статье сформулированы основные термины, регламентирующие работу систем мониторинга, уточнено известное понятие предотказного состояния. Подчеркивается наличие тесных рамок действующих инструкций по техническому обслуживанию и создаваемых на их основе стандартов на разрабатываемые системы мониторинга с новыми принципами обработки данных. Учет обозначенных особенностей позволяет на этапе разработки и конструирования системы мониторинга повысить ее эффективность по сравнению с реализованными системами мониторинга на железных дорогах.

техническая диагностика; периодический мониторинг; непрерывный мониторинг; предотказное состояние; пороговые значения; машинный анализ; интеллектуальная обработка данных

Введение

Актуальность проблемы внедрения систем периодического и непрерывного автоматизированного и автоматического мониторинга объектов желез-

нодорожной инфраструктуры не вызывает сомнений. Появилось большое количество устройств, систем, сооружений, обладающих разнообразным набором рабочих параметров и обслуживаемых большим количеством бригад специалистов линейных предприятий ОАО «РЖД». На результат технического обслуживания влияют «человеческий фактор» и периодичность проведения работ, многие события по изменению состояний технических объектов остаются незамеченными и приводят в конечном итоге к отказам [1]. Некоторые из них являются предшественниками аварий и катастроф на железнодорожном транспорте.

Развитие техники и технологий позволяет снизить влияние «человеческого фактора» не только на процесс обслуживания, но и на реализацию ответственных технологических процессов [2, 3]. Вовремя выявленное предотказное состояние технического объекта дает возможность предотвратить нарушения и останов технологического процесса благодаря эксплуатации систем периодического и непрерывного мониторинга [4].

Под *мониторингом* понимаются постоянная проверка, надзор, наблюдение и определение текущего состояния с целью выявления изменений по сравнению с ожидаемыми или требуемыми показателями. Системы периодического и непрерывного мониторинга могут быть как *пассивными* и осуществлять только измерения параметров с последующим диагностированием и прогнозированием, так и *активными*, когда результаты мониторинга могут быть использованы в цепях обратных связей систем управления. Наиболее просто организуются первые (они могут сертифицироваться как средства измерения и не требуют сложных процедур доказательства безопасности функционирования).

В настоящее время системы мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры являются информационными, имеющими одностороннюю связь с объектами диагностирования и системами управления движением и собирающими большие объемы диагностической информации (выступают в роли хранилищ данных). Для анализа диагностической информации организуются ситуационные центры мониторинга, а уровень автоматизации самого процесса анализа, ввиду большого количества разрозненной и несистематизированной информации, является крайне низким [5]. Так же, как и при периодическом обслуживании устройств инфраструктуры силами технического персонала линейных подразделений ОАО «РЖД», сказывается «человеческий фактор», однако его влияние смещено на верхний уровень иерархии системы мониторинга.

Корень проблем современных систем мониторинга не в необходимости интеллектуального анализа на верхнем уровне и не в повышении подготовки эксперта ситуационного центра. Проблемы кроются в базовых принципах их построения, в выбранной многие годы назад концепции пороговой обработки и автоматизации ряда работ по измерению рабочих параметров технических объектов, в отсутствии интеграции между системами мониторинга

технических объектов, обслуживаемых различными подразделениями ОАО «РЖД» (пути, энергоснабжения, автоматики и телемеханики, инженерных сооружений и пр.), в отвержении даже потенциальной возможности создания обратных связей с системами управления движением поездов [6, 7]. Такой взгляд на обозначенные проблемы был оправдан в последней четверти XX в., но никак не в первой четверти XXI в., когда компьютерные технологии сделали внушительный шаг вперед по сравнению с прошлым.

Данная статья посвящена систематизации знаний в области периодического и непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры, концепции интеллектуального мониторинга, до сих пор не реализованной на сети железных дорог Российской Федерации. Как следует из множества отчетов по безопасности движения на зарубежных железных дорогах, например из [8], данная проблема не является локальной, а носит масштабный, мировой характер.

1 Фундаментальные понятия обработки данных в системах мониторинга

В настоящее время действует ГОСТ 27.002–2015 «Надежность в технике. Термины и определения» (введен 1 марта 2017 г.), определяющий основные понятия надежности технических объектов. Согласно данному документу, для технических объектов выделяются такие состояния, как исправное (good state), неисправное (faulty state), работоспособное (up state), неработоспособное (down state) и предельное (limiting state).

В *исправном состоянии* технический объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации, переход в *неисправное* состояние связан с нарушением хотя бы одного из этих требований.

Исходя из последствий дефектов технических объектов, множество неисправных состояний можно разбить на несколько подмножеств: работоспособных, неработоспособных и предельных состояний. *Работоспособное* состояние заключается в сохранении в соответствии с нормативно-технической и (или) конструкторской документацией значений всех параметров, характеризующих способность технического объекта выполнять заданные функции. Переход в неработоспособное состояние связан с выходом значений хотя бы одного такого параметра за пределы, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской документацией. Предельное состояние фиксируется при недопустимости или нецелесообразности дальнейшего применения объекта по назначению. При этом восстановление объекта зачастую невозможно или неприемлемо по моральным или экономическим соображениям.

Для систем, реализующих ответственные технологические процессы, например управления движением на железнодорожном транспорте, принято выделять во множестве неработоспособных состояний также *защитные* и *опасные* состояния [9]. Их понятия сформулированы, к примеру, в ОСТ 32.17–92 «Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Основные понятия. Термины и определения» (введен 1 января 1993 г.). *Защитному* состоянию соответствует такое состояние технического объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. С *опасным* же состоянием соотносится состояние технического объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность системы выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов, не соответствует требованиям нормативных документов.

Подобная классификация состояний на момент принятия стандартов была исчерпывающей. Для всех технических объектов были определены нормы рабочих параметров и соответственно граничные значения возникновения событий *отказов* – таких событий, которые переводят технический объект в неработоспособное состояние.

В неработоспособном состоянии технический объект не способен выполнять свои функции, а значит, не позволяет реализовывать ответственный технологический процесс, например процесс управления на железнодорожном транспорте. Это приводит к снижению показателей эффективности его функционирования.

С целью повышения надежности и отказоустойчивости систем управления проводятся различные мероприятия, основными из которых следует признать введение аппаратурной и программной избыточности и использование методов тестирования и самодиагностирования при конструировании систем управления [10] и периодическое техническое диагностирование, обслуживание и ремонт объектов по специально разработанным инструкциям на этапе постоянной эксплуатации [11].

Развитие научно-технического прогресса в конце XX – начале XXI в. привело к возможности автоматизированного и автоматического измерения ряда рабочих параметров технических объектов и определения таких событий в их работе, которые предшествуют отказам (к фиксации *предотказных*, или *катастрофических (предаварийных)*, состояний) [12]. Однако в действующих нормативных документах по надежности и безопасности технических объектов формальное понятие предотказного состояния не дается. Классификация состояний технических объектов с учетом предотказного состояния приведена на рис. 1.

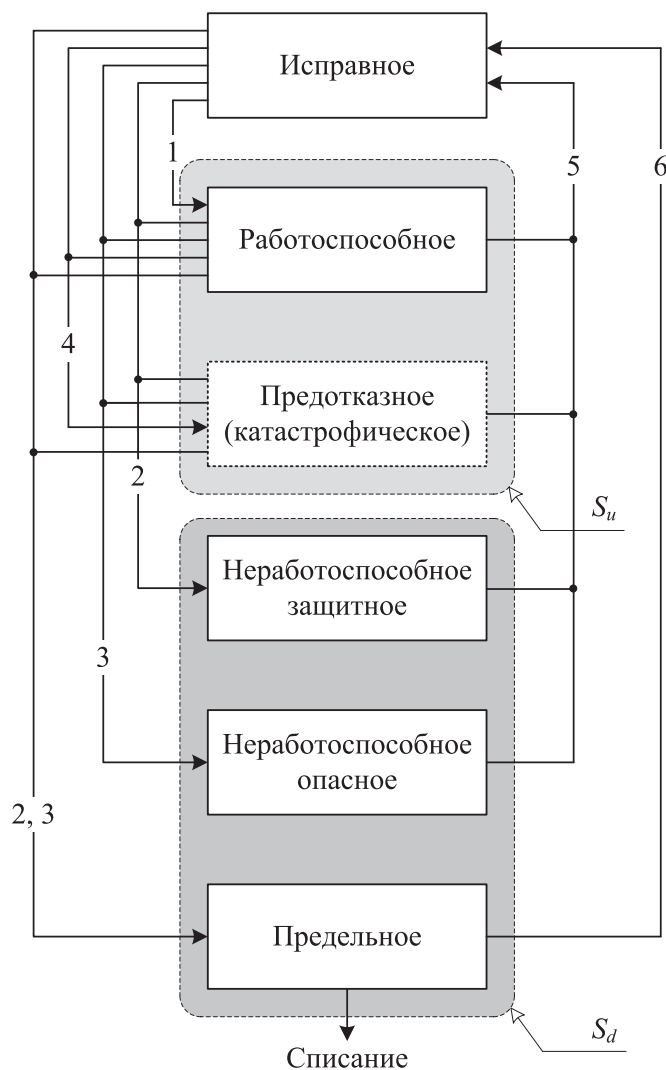


Рис. 1. Классификация состояний технических объектов:
 1 – повреждение; 2 – защитный отказ; 3 – опасный отказ; 4 – предотказ;
 5 – восстановление; 6 – капитальный ремонт; S_u – множество работоспособных состояний (up states); S_d – множество неработоспособных состояний (down states)

В [4, 5] предложено следующее определение предотказного состояния. *Предотказное состояние* – такое работоспособное состояние объекта, при котором хотя бы один из параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, достигает граничного значения, определенного нормативно-технической и (или) конструкторской документацией, при котором не может быть гарантирована работоспособность объекта при дальнейшем изменении данного параметра.

Данное определение основано на введении для технических объектов, помимо норм состояний отказов, также и норм (границ или порогов) предотказных состояний. Однако такие пороги не предусмотрены в нормативно-технической и(или) конструкторской документации для технических объектов. На практике данное обстоятельство приводит к тому, что фиксация

предотказных состояний осуществляется по достижении выбранных *интуитивно* граничных значений. Реализуется стратегия так называемой *пороговой обработки диагностической информации*. Подобным образом функционируют современные системы периодического и непрерывного мониторинга технического состояния объектов железнодорожной инфраструктуры (автоматики, верхнего строения пути, энергоснабжения, мостовых сооружений и т. д.) [13–34].

Разработчики систем мониторинга устанавливают пороговые значения для различных технических объектов, имеющих разные физические параметры и используемых в различных условиях [5]. По достижении этих граничных норм фиксируется предотказное состояние и осуществляется индикация о наличии данного события в технологических «окнах» автоматизированных рабочих мест обслуживающего персонала соответствующих подразделений железных дорог и ситуационных центров мониторинга [35].

Концепция пороговой обработки данных, реализуемая в настоящее время, в большинстве случаев не дает возможности системе мониторинга делать достоверный прогноз. Многие фиксируемые события в системах оказываются «выявленными ложно», а на их анализ у технического персонала уходит существенное время [5].

На рис. 2 показан пример работы системы непрерывного мониторинга некоторого рабочего параметра $f(t)$ технического объекта. На оси ординат обозначены пороговые значения: f_1 – верхняя граница отказа, f_2 – верхняя граница предотказного состояния, f_3 – нижняя граница отказа, f_4 – нижняя граница предотказного состояния. На оси абсцисс обозначены временные точки: t_1 – время возникновения внезапного отказа, t_2 – время наступления предотказного состояния при непрерывном изменении рабочего параметра, t_3 – время начала улучшений в состоянии технического объекта, t_4 – время

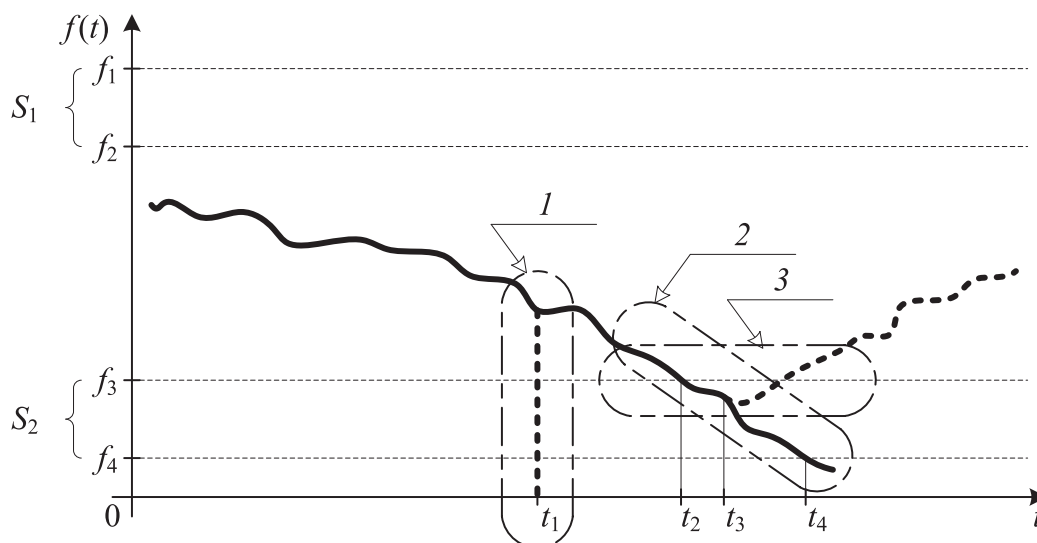


Рис. 2. Выявление предотказного состояния при пороговой обработке

возникновения постепенного отказа. При пороговой обработке данных выделяются зоны предотказных состояний S_1 и S_2 , попадание в которые какого-либо рабочего параметра свидетельствуют о наступлении предотказного состояния [36, 37].

Пороговая обработка данных не всегда эффективна и не позволяет достоверно прогнозировать изменения технических состояний. Приведем три примера, поясняющих это.

Пусть при непрерывном ухудшении параметра происходит внезапный отказ (данное событие на графике обозначено цифрой 1). Этот момент будет зафиксирован в системе мониторинга как отказ. Следует отметить сложность прогнозирования внезапных отказов и необходимость комплексного автоматического мониторинга нескольких параметров, а не одного (как это делается сейчас). Второй пример – непрерывное ухудшение рабочего параметра (данное событие обозначено цифрой 2). В момент времени t_2 будет зафиксировано предотказное состояние, которое спустя некоторое время, по достижении временной точки t_4 , приведет к отказу (так называемое *необратимое предотказное состояние*, которое определено влечет за собой отказ в случае отсутствия мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту). Система мониторинга зафиксирует предотказное состояние, но не сможет сформировать достоверный прогноз времени, по прошествии которого возникнет отказ. Третий пример связан с внезапным улучшением значения параметра в момент времени t_3 (данное событие на рисунке обозначено цифрой 3). Это так называемое *обратимое предотказное состояние* технического объекта, в которое он переходит и из которого выходит без процедуры технического обслуживания. Система мониторинга все равно будет «полагать», что технический объект находится в предотказном состоянии, тогда как на самом деле будет происходить улучшение рабочего параметра.

Следование концепции пороговой обработки данных, которая реализуется в настоящее время в области систем мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры, приводит к неэффективному использованию системы мониторинга. Само же предотказное состояние технического объекта (или группы объектов, или же целой системы управления) должно определяться на основе интеллектуального анализа одного или нескольких рабочих параметров одного или нескольких технических объектов, функционирующих в комплексе.

Скорректируем понятие *предотказного состояния*.

Предотказное состояние – такое работоспособное состояние объекта, при котором хотя бы один из параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, достигает предельного значения, определенного на основании интеллектуального анализа, при котором не может быть гарантирована работоспособность объекта при дальнейшем изменении данного параметра.

Работа системы мониторинга с интеллектуальным выявлением предотказных состояний (*интеллектуальная обработка данных*) позволяет более точно прогнозировать дальнейшие изменения технических состояний. Работа системы мониторинга не связана с выбором пороговых значений предотказных состояний для технических объектов, а время фиксации самого предотказного состояния определяется из условий предотвращения отказа. Другими словами, сама граница предотказного состояния является *динамической*.

На рис. 3 приводится тот же самый график, что и на рис. 2, однако на нем удалены зоны предотказных состояний (оставлены только границы отказов – значения f_1 и f_2 по оси ординат). Выявление предотказного состояния или улучшения рабочего параметра осуществляется интеллектуально (например, на основе методов аналитического прогнозирования или же с применением нейронных сетей), а события, обозначенные цифрами 1 и 2, могут быть предупреждены и учтены в работе системы мониторинга.

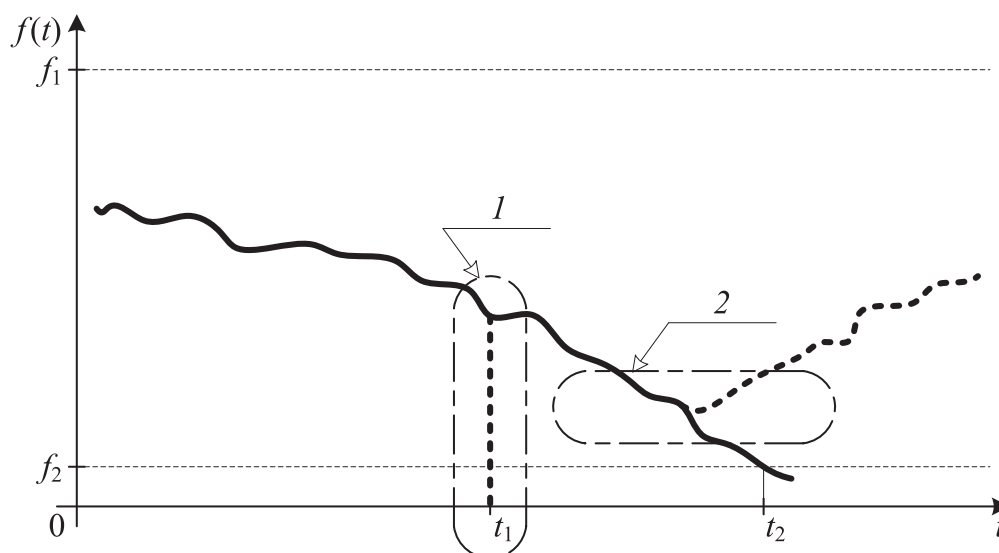


Рис. 3. Выявление предотказного состояния при интеллектуальной обработке

Таким образом, все многообразие подходов к обработке диагностической информации в системах мониторинга может быть сведено в диаграмму, показанную на рис. 4. В настоящее время известны различные варианты реализации процесса обработки и хранения данных, такие как big data, cloud computing и fog computing, а также технологии Internet of Things (IoT), blockchain и neural network [38, 39]. С использованием современных вычислительных систем и методов обработки информации возможна реализация систем с обработкой данных как централизованно, так и децентрализованно на самих измерительных контроллерах. Кроме того, достоверные результаты мониторинга могут быть использованы и при реализации «умных» режимов управления движением поездов (так называемые *активные технические средства*



Рис. 4. Способы реализации процедур технического диагностирования и мониторинга

диагностирования). Можно привести простой пример возможности использования такого режима управления. Датчик системы мониторинга железнодорожной контактной подвески [40] зафиксировал обрыв струны на анкерном участке, через который спустя некоторое время должен проследовать поезд. Известны координата датчика и место происшествия. Система сама, в случае наделения ее таким свойством, может передать информацию на бортовые системы локомотива о необходимости опускания пантографа на участке с поврежденной контактной подвеской или же автоматически опустить токоприемник в опасной зоне. Это позволит избежать потенциальной поломки пантографа.

Следует отметить, что приведенный выше пример с выявлением предотказных состояний (рис. 3) показывает интеллектуальную обработку только одного параметра (по аналогии с одномерными системами автоматического управления). На практике для подавляющего количества объектов железнодорожной инфраструктуры рабочими параметрами являются сразу несколько величин (они являются многомерными системами). В таком слу-

чае интеллектуальная обработка данных является просто необходимой. Ее целесообразно вести на основе методов машинного анализа с применением аппарата нейронных сетей. Передовые решения по системам технического диагностирования и мониторинга направлены именно на это. Так, например, при offline-мониторинге технического состояния тяговых электродвигателей локомотивов, отказы которых по статистике являются частыми в эксплуатации, используется интеллектуальная обработка данных на основе машинного анализа с использованием полносвязной нейронной сети [41].

2 Проблемы действующих инструкций и разрабатываемых стандартов

Использование машинных методов анализа позволяет решить проблему повышения эффективности автоматизации обработки диагностической информации в техническом плане. Однако другой проблемой, которая встает на пути разработчика системы непрерывного мониторинга, непременно становится необходимость соответствия действующим инструкциям по обслуживанию и отраслевым стандартам (которые, к слову, зачастую опираются именно на инструкции по обслуживанию). Разработчик ставит перед собой ложную цель, отвечая на вопрос, как автоматизировать ту или иную работу в инструкции по техническому обслуживанию, тогда как должен действовать совершенно иначе и искать ответ на вопрос: какими именно диагностическими параметрами необходимо оперировать для получения достоверного диагноза и прогноза?

Любая деятельность по разработке систем мониторинга связана с анализом внесенных в специальные инструкции работ по обслуживанию устройств силами технического персонала соответствующих подразделений и возможной их полной или частичной автоматизации [42]. Если для устройств железнодорожной автоматики процедура автоматизации работ по техническому обслуживанию, хоть и частичная, представляется возможной (так как работы, описанные в действующей инструкции по обслуживанию, в основном направлены на измерение электрических параметров), то для объектов других хозяйств прямая автоматизация работ без изменения действующих инструкций практически нереальна (читатель может открыть любую инструкцию по техническому обслуживанию и ремонту, чтобы убедиться в этом).

Но для чего и как разработаны эти инструкции?

Любые инструкции по техническому обслуживанию на железных дорогах России предназначены именно для периодического наблюдения за техническим состоянием обслуживаемых объектов, что как раз связано с поддержанием их отказоустойчивости. Они разрабатывались еще в XX в., а их эволюция в XXI в. имеет практически нулевую скорость: инструкции от одной до дру-

гой редакции почти не изменяются. Стоит сравнить между собой инструкции последних 20–25 лет по обслуживанию, например, устройств железнодорожной автоматики или энергоснабжения, чтобы понять это. С развитием средств автоматического определения технического состояния объектов автоматики появляются только некоторые пункты, посвященные данным средствам (в том числе пункты об их обслуживании). Внедряются технологии автоматизации обслуживания на основе штрихкодирования и создания громоздких баз данных, информацию в которые заносит человек (а не система автоматически) [11]. И это внедрение продолжается на протяжении практически двадцати лет, никак не приводя к ожидаемому результату. Принимаются «суматошные» и неэффективные решения по автоматизации технического обслуживания, и все чаще кажется, что что-то сделано не так, как следует.

Проблема является очевидной, но взгляды разработчика и заказчика сосредоточены совершенно на другом – как в рамках действующих инструкций и стандартов решить поставленную задачу. Выходит, что разработчик средств автоматизации технического обслуживания в области железнодорожного транспорта находится сегодня в рамках всевозможных инструкций и отраслевых стандартов (зачастую опирающихся на них), а его технические решения оказываются не такими уж полезными. Примерами тому являются разработанные в конце XX в. и внедряемые до сих пор системы непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики: доля полезной информации от средств мониторинга, по сообщениям специалистов, не превышает 5%, имеется большое число ложно выявленных диагностических событий, информационный фон перегружен, а уровень автоматизации обработки информации – практически нулевой [5]. Системы, реализованные по устаревшим принципам, продолжают тиражироваться на сети железных дорог, принципиально не изменяясь со временем. Но время идет вперед, меняются элементы и средства автоматики, появляются новые технологии обработки данных, ведутся разговоры о цифровизации железных дорог [2]. Естественно, должны меняться и подходы к реализации систем мониторинга и автоматизации технического обслуживания на железнодорожном транспорте [43].

Практика показывает, что сегодня внедряется большое количество измерительных средств, усложняется работа всего комплекса, но качественного скачка в технической диагностике не происходит. Итог: системы мониторинга собирают большое количество псевдофильтрованных диагностических данных и отдают их человеку-пользователю, который далее принимает решение об их обработке, использовании и т. д. Все сводится к экспертной оценке данных мониторинга, к ручному анализу графиков, измеренных величин, к определению момента достижения порога предотказа и отказа. Автоматизация предполагает совершенно иное: диагностические данные должны использоваться в управлении с минимизацией человеческой роли и, в лучшем случае, со сведением этой роли к роли наблюдателя за технологическим процессом [6].

Открывая ГОСТ 18322–78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения» (введен 1 января 1980 г.), читаем: «*Техническое обслуживание* – комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании». Для поддержания «работоспособности или исправности» сегодня в качестве основного метода используется регламентный метод или периодический мониторинг технического состояния объекта диагностирования согласно разработанным инструкциям. Работы, результаты которых зачастую предсказуемы, техническим персоналом подразделений дирекций инфраструктуры железных дорог могут проводиться недоброкачественно, а в ряде случаев не проводиться вовсе [44]. Кроме того, есть проблема проведения технического обслуживания в потенциально опасных районах, в непосредственной близости к железнодорожному полотну и в зоне действия ответственного технологического процесса перевозок [45].

Внедрив систему непрерывного мониторинга того или иного объекта железнодорожной инфраструктуры и наделив ее свойством автоматизации ряда измерений, мы заключаем ее в жесткие рамки. Полезность диагностических данных уже на обозначенном этапе кажется сомнительной, ведь это только результат автоматизации работы технического персонала. К примеру, автоматизация измерения напряжений в контрольных точках схемных решений тональных рельсовых цепей в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики связана лишь с получением численных данных, но не с автоматической выдачей диагноза и прогноза; анализ остается за человеком [37]. Другими словами, система мониторинга тех же средств железнодорожной автоматики остается на этапе старой концепции уровня системы диспетчерского контроля середины XX в. (рис. 5). Опция использования современных средств автоматизации остается «неподключенной» даже при наличии современных средств обработки аналоговых и цифровых сигналов.

Проблема решается путем разработки принципиально новых систем мониторинга, основанных на использовании современных технологий получения и обработки диагностической информации, позволяющих не автоматизировать имеющиеся работы по техническому обслуживанию, прописанные в инструкциях, а дать ответ на вопрос: сколько времени устройство будет безотказно и когда гарантированно необходимо произвести его ремонт или замену, фактически – указать остаточный ресурс технического объекта или системы. Такие технологические решения по непрерывному мониторингу возможно реализовать только при изменении самих инструкций и создании принципиально нового, высококачественного средства поддержания отказоустойчивости объектов инфраструктуры железных дорог, основанного не на пороговой обработке данных с фиксацией происшествий, а на интеллектуальном анализе диагностических данных. В настоящее время процесс внедрения данных систем идет «от обратного»: сначала создается (или создан) нормативный



Рис. 5. Пути интеграции средств мониторинга в действующую систему технического обслуживания

документ под старый концепт, а затем производится «небольшая» модернизация действующей системы. Принципиально новых технических решений нет, а есть усложнение и удорожание действующих систем [46].

Заключение

Новый этап повышения отказоустойчивости объектов железнодорожной инфраструктуры связан с совершенствованием систем непрерывного мониторинга технического состояния, обеспечением высокой достоверности диагноза

и прогноза и использованием их напрямую при реализации ответственных технологических процессов с минимизацией доли участия человека. Все это требует не просто создания нового средства мониторинга с новой концепцией и принципами реализации, но и пересмотра используемых в настоящее время инструкций по техническому обслуживанию и ремонту объектов железнодорожной инфраструктуры (а также отраслевых стандартов, опирающихся на них). Назрел переход от децентрализованного развития отдельных направлений в области автоматизации обслуживания к системному подходу в решениях и совершенствованию инфраструктурного комплекса с учетом современного развития техники и технологий.

Переход от использования системами мониторинга концепции пороговой обработки точечных параметров к комплексной интеллектуальной обработке на основе машинных методов анализа с применением развитых методов прогнозирования позволяет повысить эффективность процедуры мониторинга, а следовательно, ведет в направлении реализации технологии «умного» железнодорожного транспорта (smart railway transport).

Библиографический список

1. Розенберг И. Н. Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий / И. Н. Розенберг, А. М. Замышляев, Г. Б. Прошин // *Надежность*. – 2009. – № 4. – С. 14–22.
2. Розенберг Е. Н. Цифровая экономика и цифровая железная дорога / Е. Н. Розенберг, В. И. Уманский, Ю. В. Дзюба // *Транспорт Российской Федерации*. – 2017. – № 5. – С. 45–49.
3. Розенберг Е. Н. От систем автоматики до интеллектуальных систем управления / Е. Н. Розенберг, В. И. Уманский, Ю. В. Дзюба // *Автоматика, связь, информатика*. – 2017. – № 11. – С. 7–11.
4. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // *Автоматика, связь, информатика*. – 2011. – № 12. – С. 6–8.
5. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
6. Ефанов Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов // *Транспорт Российской Федерации*. – 2017. – № 4. – С. 62–65.
7. Хорошев В. В. Концепция полносвязного мониторинга инфраструктуры поездов / В. В. Хорошев, Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // *Транспорт Российской Федерации*. – 2018. – № 1. – С. 49–54.
8. *Railway Safety in the European Union. Safety overview 2017*. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. – 47 p.

9. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов / В.М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
10. Гавзов Д.В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д.В. Гавзов, Вал.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
11. Вотолевский А.Л. АСУ и технологии обслуживания устройств ЖАТ / А.Л. Вотолевский // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 36–38.
12. Шаманов В.И. Математические модели надежности систем железнодорожной автоматике и телемеханики / В.И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 7–19.
13. Goolsby M.E. Railroad Grade Crossing Monitoring System / M.E. Goolsby, M.J. Vickich, A.P. Voigt // Texas Transportation Institute, USA, 2003. – 32 p.
14. Domingues J.L.M. Diagnostic levels in railway applications / J.L.M. Domingues // Signal + Draht. – 2004. – № 1/2. – Pp. 31–34.
15. Ададунов С.Е. Интеллектуальная система мониторинга искусственных сооружений / С.Е. Ададунов, В.А. Шабельников // Мир транспорта. – 2009. – Т. 7. – № 3. – С. 32–37.
16. Ададунов С.Е. Оптимизация управления инфраструктурой на основе спутниковых технологий / С.Е. Ададунов, Е.Н. Розенберг, И.Н. Розенберг // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 9. – С. 4–5.
17. Oh S. Approaches for Connection of Vision based Monitoring System with Railway Signal System for Train Emergency Stop / S. Oh, S. Park, E. Joung // International Conference on Information and Multimedia Technology (ICIMT'09), 16–18 December 2009, Jeju, Island. – Pp. 59–63.
18. 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.
19. Долинский К.Ю. Реализация системы непрерывной диагностики и мониторинга состояния путепроводов на участке высокоскоростного движения поездов / К.Ю. Долинский, А.А. Лыков, В.Б. Соколов, В.А. Соколов, Г.В. Осадчий // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 11. – С. 34–35.
20. Осадчий Г.В. Система диагностики и удаленного мониторинга состояния железнодорожного пути / Г.В. Осадчий, А.А. Лыков // Открытое образование. – 2011. – № 2-2. – С. 221–224.
21. Долинский К.Ю. Технические решения по мониторингу инженерных конструкций искусственных сооружений / К.Ю. Долинский, А.А. Белый, Г.В. Осадчий // Мир дорог. – 2013. – № 73. – С. 39–41.
22. Grover J. Wireless Sensor Network in Railway Signalling System / J. Grover, A. Grover // 2015 5th International Conference on Communication Systems and Network Technologies. – Pp. 308–313.
23. Ефанов Д.В. Способ непрерывного мониторинга механического усилия в проводах и тросах контактной подвески / Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, Д.В. Седых, В.Л. Иванов, М.Е. Медведев, Г.Ф. Насонов, Ю.А. Черногоров // Транспорт Урала. – 2016. – № 1. – С. 9–15.

24. Efanov D. Development of Rail Roads Health Monitoring Technology Regarding Stressing of Contact-Wire Catenary System / D. Efanov, G. Osadtchy, D. Sedykh // Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, Russia, 19–20 May, 2016. – Pp. 1–5.
25. Efanov D. Monitoring System of Vibration Impacts on the Structure of Overhead Catenary of High-Speed Railway Lines / D. Efanov, G. Osadtchy, D. Sedykh, D. Pristensky, D. Barch // Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016. – Pp. 201–208.
26. Хорошев В. В. Непрерывный контроль механических параметров подвижных элементов стрелочных переводов / В. В. Хорошев // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 1. – С. 69–87.
27. Белый А. А. Проектирование и организация системы мониторинга мостовых сооружений на высокоскоростных железнодорожных магистралях / А. А. Белый, А. А. Барановский, Д. Е. Воробьев, К. Ю. Долинский, Л. К. Дьяченко, Г. В. Осадчий // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14. – № 2. – С. 211–222.
28. Белый А. А. Вероятностное прогнозирование технического состояния эксплуатируемых железобетонных мостовых сооружений мегаполиса / А. А. Белый // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 2. – С. 64–74.
29. Belyi A.A. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example) / A.A. Belyi, E. S. Karapetov, Yu. I. Efimenko // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 189. – Pp. 145–151.
30. Khoroshev V. Actual State Monitoring of Railway Switch Point Blades Based on RFID Technology / V. Khoroshev, G. Osadchy, D. Efanov, V. Ivanov, H.N. Vadgama // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017. – Pp. 283–288.
31. Фурсов С. И. Новые решения в области технической диагностики и мониторинга / С. И. Фурсов, А. Ю. Васильев, Н. В. Пушкин // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 10. – С. 8–10.
32. Горелик А. В. Способ контроля технического состояния электромеханических устройств железнодорожной автоматики / А. В. Горелик, В. Ю. Горелик, И. А. Журавлев, И. П. Кнышев // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 4. – С. 15–18.
33. Tastimur C. A Real Time Interface for Vision Inspection of Rail Components and Surface in Railways / C. Tastimur, O. Yaman, M. Karakose, E. Akin // 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 16–17 September 2017, Malatya, Turkey. – Pp. 1–6.
34. Ahmad F. Component Based Architecture for the Control of Crossing Regions in Railway Networks / F. Ahmad, A. Sadiq, A. M. Martinez-Enriquez, A. Muhammad, M. W. Anwar, U. U. Bajwa, M. Naseer, S. A. Khan // 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 18–21 December 2017, Cancun, Mexico. – Pp. 540–545.
35. Москвина Е. А. Опыт организации ЦУСИ / Е. А. Москвина // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 9. – С. 22–25.
36. Ефанов Д. В. О достоверности фиксации предотказных состояний в системах непрерывного контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики /

- Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт : наука, техника, управление. – 2012. – № 2. – С. 27–30.
37. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
38. Brogi A. QoS-Aware Deployment of IoT Applications Through the Fog / A. Brogi, S. Forti // IEEE Internet of Things Journal. – 2017. – Vol. 4. – Issue 5. – Pp. 1185–1192.
39. Darwish T. S. Fog Based Intelligent Transportation Big Data Analytics in The Internet of Vehicles Environment : Motivations, Architecture, Challenges and Critical Issues / T. S. Darwish, K. A. Bakar // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 15679–15701.
40. Ефанов Д. В. Непрерывный мониторинг железнодорожной контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3. – С. 20–24.
41. Лакин И. К. «Умный локомотив» : диагностирование тяговых электродвигателей тепловозов с использованием машинного обучения / И. К. Лакин, В. В. Павлов, В. А. Мельников // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 1. – С. 53–56.
42. Вотолевский А. Л. Особенности проектирования технологии обслуживания / А. Л. Вотолевский // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 1. – С. 43–46.
43. Ефанов Д. В. Концепция современных систем управления на основе информационных технологий / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 5. – С. 20–23.
44. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 54–59.
45. Хорошев В. В. Модернизация методов безопасного производства работ на железнодорожных путях / В. В. Хорошев // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 2. – С. 166–177.
46. Никитин А. Б. Совершенствование диагностики систем ЖАТ / А. Б. Никитин // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 11. – С. 14–15.

Dmitry V. Efanov

Limited liability company «LocoTech-Signal»,
«Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport»
department
Russian University of Transport

Features of the functioning of technical diagnosis and monitoring systems of railway infrastructure objects

The paper is devoted to the development of railway infrastructure objects monitoring systems. The features of modern periodic and health monitoring systems functioning are determined. It is proved that following the modern concept of threshold diagnostics causes low efficiency of monitoring systems functioning and

the fact that the human factor becomes the determining influence on the results of diagnosis and prediction. The development of health monitoring should follow the path of intellectualization of data processing of diagnostic information and the integration of health monitoring systems of infrastructure objects which are serviced by various linear departments of the railways. First of all, changes should happen at the stage of the conceptual notion about health monitoring systems, especially the requirements and measures for fixation of failure events and pre-failure conditions of diagnosed objects should be formulated on the basis of intelligent data mining. In the article basic definitions regulating the operation of monitoring systems are formulated, also the known definition of pre-failure condition is clarified. Moreover, the existence of close frameworks of current instructions for maintenance and standards created on their basis for the development of monitoring systems using new principles of data processing is underlined. The consideration of monitoring systems peculiarities enables to increase its efficiency in the future in comparison with the implemented monitoring systems on the railways at the stage of design and construction of the monitoring system.

technical diagnostics; periodic monitoring; continuous monitoring; pre-failure condition; threshold values; computerized analysis; intelligent data mining

References

1. Rozenberg I. N., Zamyshlyaev A. M., Proshin G. B. (2009). Improving the content management system of the operating infrastructure with the use of modern information technologies [Sovershenstvovanie sistemy upravleniya sodержaniem ehkspluatatsionnoj infrastruktury s primeneniem sovremennyh informatsionnyh tekhnologij], Reliability [Nadezhnost'], issue 4. – Pp. 14–22.
2. Rozenberg E. N., Umanskij V. I., Dzyuba Yu. V. (2017). Digital economy and digital railway [Tsifrovaya ehkonomika i cifrovaya zheleznaya doroga], Transport of the RF [Transport Rossijskoj Federacii], issue 5. – Pp. 45–49.
3. Rozenberg E. N., Umanskij V. I., Dzyuba Yu. V. (2017). From automation systems to intelligent control systems [Ot sistem avtomatiki do intellektual'nyh sistem upravleniya], Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 11. – Pp. 7–11.
4. Sapozhnikov V. I., Lykov A. A., Efanov D. V. (2011). The concept of a pre-failure state [Ponyatie predotkaznogo sostoyaniya], Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 12. – Pp. 6–8.
5. Efanov D. V. (2016). Concurrent checking and monitoring of railway automation and remote control devices [Funkcional'nyj kontrol' i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. St. Petersburg, Publishing house of Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university [FGBOU VO PGUPS]. – 171 p.
6. Efanov D. V. (2017). Integration of continuous monitoring and control systems in rail transport [Integratsiya sistem nepreryvnogo monitoringa i upravleniya dvizheniem na zheleznodorozhnom transporte]. Transport of the RF [Transport Rossijskoj Federacii], issue 4. – Pp. 62–65.

7. Horoshev V. V., Efanov D. V., Osadchij G. V. (2018). The concept of fully connected monitoring of the crossroads infrastructure [Konceptiya polnosvyaznogo monitoringa infrastruktury perezhdov]. *Transport of the RF [Transport Rossijskoj Federacii]*, issue 1. – Pp. 49–54.
8. Railway Safety in the European Union. Safety overview 2017. Luxembourg, Publications Office of the European Union. – 47 p.
9. Lisenkov V. M. (1999). Statistical theory of traffic safety [Statisticheskaya teoriya bezopasnosti dvizheniya poezdov]. Moscow, VINITI RAN. – 332 p.
10. Gavzov D. V., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1994). Methods for ensuring the safety of discrete systems [Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnyh sistem]. *Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika]*, issue 8. – Pp. 3–50.
11. Votolevskij A. L. (2011). Automated control systems and maintenance technologies for railway automation and telemechanics devices [ASU i tekhnologii obsluzhivaniya ustrojstv ZHAT]. *Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika]*, issue 11. – Pp. 36–38.
12. Shamanov V. I. (2017). Mathematical models of reliability of railway automation and telemechanics systems [Matematicheskie modeli nadezhnosti sistem zheleznodorozhnoj avtoma-tiki i telemekhaniki]. *Automation on Transport [Avtomatika na transporte]*, vol. 3, issue 1. – Pp. 7–19.
13. Goolsby M. E., Vickich M. J., Voigt A. P. (2003). *Railroad Grade Crossing Monitoring System*. Texas Transportation Institute, USA. – 32 p.
14. Domingues J. L. M. (2004). Diagnostic levels in railway applications. *Signal + Draht*, N 1/2. – Pp. 31–34.
15. Adadurov S. E., Shabel'nikov V. A. (2009). Intellectual system for monitoring artificial structures [Intellektual'naya sistema monitoringa iskusstvennyh sooruzhenij]. *The World of Transport [Mir transporta]*, vol. 7, issue 3. – Pp. 32–37.
16. Adadurov S. E., Rozenberg E. N., Rozenberg I. N. (2009). Optimization of infrastructure management based on satellite technologies [Optimizaciya upravleniya infrastrukturoj na osnove sputnikovyh tekhnologij]. *Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika]*, issue 9. – Pp. 4–5.
17. Oh S., Park S., Joung E. (2009). Approaches for Connection of Vision based Monitoring System with Railway Signal System for Train Emergency Stop. *International Conference on Information and Multimedia Technology (ICIMT'09)*, 16–18 December 2009, Jeju, Island. – Pp. 59–63.
18. Eker O. F., Camci F., Guclu A., Yilboga H., Sevkli M., Baskan S. (2010). A simple state-bases prognostic model for railway turnout systems. *Proceedings of IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, issue 5. – Pp. 1718–1726.
19. Dolinskij K. Yu., Lykov A. A., Sokolov V. B., Sokolov V. A., Osadchij G. V. (2010). Realization of the System of Continuous Diagnostic and Monitoring of Overbridges at a Section of High-Speed Train Operation [Realizaciya sistemy nepreryvnoj diagnostiki i monitoringa sostoyaniya puteprovodov na uchastke vysokoskorostnogo dvizheniya poezdov]. *Industrial and Civil Engineering [Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo]*, issue 11. – Pp. 34–35.

20. Osadchij G. V., Lykov A. A. (2011). The system of diagnostics and remote monitoring the railway track condition [Sistema diagnostiki i udalennogo monitoringa sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti]. Open Education [Otkrytoe obrazovanie], issue 2-2. – Pp. 221–224.
21. Dolinskij K. Yu., Belyj A. A., Osadchij G. V. (2013). Technical solutions for monitoring engineering constructions of artificial constructions [Tekhnicheskie resheniya po monitoringu in-zhenernykh konstrukcij iskusstvennykh sooruzhenij]. The World of Roads [Mir transporta], issue 73. – Pp. 39–41.
22. Grover J., Grover A. (2015). Wireless Sensor Network in Railway Signalling System. 2015 5th International Conference on Communication Systems and Network Technologies. – Pp. 308–313.
23. Efanov D. V., Osadchij G. V., Sedyh D. V., Ivanov V. L., Medvedev M. E., Nasonov G. F., Chernogorov Yu. A. (2016). A method for continuous monitoring of mechanical tension in catenary wires and cables [Sposob nepreryvnogo monitoringa mekhanicheskogo usiliya v provodah i trosah kontaktnoj podveski]. Transport of the Ural [Transport Urala], issue 1. – Pp. 9–15.
24. Efanov D., Osadchij G., Sedykh D. (2016). Development of Rail Roads Health Monitoring Technology Regarding Stressing of Contact-Wire Catenary System. Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, Russia, 19–20 May, 2016. – Pp. 1–5.
25. Efanov D., Osadchij G., Sedykh D., Pristensky D., Barch D. (2016). Monitoring System of Vibration Impacts on the Structure of Overhead Catenary of High-Speed Railway Lines. Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, October 14–17, 2016. – Pp. 201–208.
26. Horoshev V. V. (2017). Continuous monitoring of mechanical parameters of point switch moving parts [Nepreryvnyj kontrol' mekhanicheskikh parametrov podvizhnykh ehlementov strelochnykh perevodov]. Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 3, issue 1. – Pp. 69–87.
27. Belyj A. A., Baranovskij A. A., Vorob'ev D. E., Dolinskij K. Yu., D'yachenko L. K., Osadchij G. V. (2017). Design and organisation of structural health monitoring system on high-speed railway bridge constructions [Proektirovanie i organizaciya sistemy monitoringa mostovykh sooruzhenij na vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralyah]. Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], vol. 14, issue 2. – Pp. 211–222.
28. Belyj A. A. (2017). Probability forecasting of the technical condition of reinforced concrete bridge constructions operated in megalopolis [Veroyatnostnoe prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya ehkspluatiruemykh zhelezobetonnykh mostovykh sooruzhenij megapolisa]. Bulletin of Civil Engineers [Vestnik grazhdanskih inzhenerov]. – 2017. – Issue 2. – Pp. 64–74.
29. Belyj A. A., Karapetov E. S., Efimenko Yu. I. (2017). Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint Petersburg example). Procedia Engineering, vol. 189. – Pp. 145–151.
30. Khoroshev V., Osadchij G., Efanov D., Ivanov V., Vadgama H. N. (2017). Actual State Monitoring of Railway Switch Point Blades Based on RFID Technology.

- Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017. – Pp. 283–288.
31. Fursov S. I., Vasil'ev A. Yu., Pushkin N. V. (2017). New solutions in the field of technical diagnostics and monitoring [Novye resheniya v oblasti tekhnicheskoy diagnostiki i monitoringa]. Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 10. – Pp. 8–10.
 32. Gorelik A. V., Gorelik V. Yu., Zhuravlev I. A., Knyshev I. P. (2017). Method of monitoring the technical condition of electromechanical devices of railway automation [Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya ehlektromekhanicheskikh ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki]. Science and Technology in Transport [Nauka i tekhnika transporta], issue 4. – Pp. 15–18.
 33. Tastimur C., Yaman O., Karakose M., Akin E. (2017). A Real Time Interface for Vision Inspection of Rail Components and Surface in Railways. 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 16–17 September 2017, Malatya, Turkey. – Pp. 1–6.
 34. Ahmad F., Sadiq A., Martinez-Enriquez A. M., Muhammad A., Anwar M. W., Bajwa U. U., Naseer M., Khan S. A. (2017). Component Based Architecture for the Control of Crossing Regions in Railway Networks. 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), 18–21 December 2017, Cancun, Mexico. – Pp. 540–545.
 35. Moskvina E. A. (2013). Experience in organizing a situation center [Opyt organizacii TsUSI]. Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 9. – Pp. 22–25.
 36. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2012). Reliability of registration of pre-failure condition in the systems for on-line control of the units belonging to railway control and telemechanics [O dostovernosti fiksacii predotkaznyh sostoyanij v sistemah nepreryvnogo kontrolya ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Transport: science, equipment, management [Transport: nauka, tekhnika, upravlenie], issue 2. – Pp. 27–30.
 37. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2013). Monitoring of audio frequency track circuit parameters [Monitoring parametrov rel'sovyh cepej tonal'noj chastity]. Transport of the Ural [Transport Urala], issue 1. – Pp. 36–42.
 38. Brogi A., Forti S. (2017). QoS-Aware Deployment of IoT Applications Through the Fog. IEEE Internet of Things Journal, vol. 4, issue 5. – Pp. 1185–1192.
 39. Darwish T. S., Bakar K. A. (2018). Fog Based Intelligent Transportation Big Data Analytics in The Internet of Vehicles Environment: Motivations, Architecture, Challenges and Critical Issues. IEEE Access. – Vol. 6. – Pp. 15679–15701.
 40. Efanov D. V., Osadchij G. V., Sedyh D. V. (2017). Continuous monitoring for railway catenaries [Nepreryvnyj monitoring zheleznodorozhnoj kontaktojn podveski]. Transport of the Russian Federation [Transport Rossijskoj Federacii], issue 3. – Pp. 20–24.
 41. Lakin I. K., Pavlov V. V., Melnikov V. A. (2018). Smart Locomotive: diagnostics of traction electric motors of diesel-electric locomotives using machine learning methods [«Umnyj lokomotiv»: diagnostirovanie tyagovyh ehlektrovdigatelej teplovozov s ispol'zovaniem mashinnogo obucheniya]. Transport of the Russian Federation [Transport Rossijskoj Federacii], issue 1. – Pp. 53–56.

42. Votolevskij A. L. (2011). Features of designing service technology [Osobennosti proektirovaniya tekhnologii obsluzhivaniya]. Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 1. – Pp. 43–46.
43. Efanov D. V., Osadchy G. V. (2018). Concept of control systems based on information technologies [Konceptsiya sovremennykh sistem upravleniya na osnove informacionnykh tekhnologij]. Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 5. – Pp. 20–23.
44. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2011). Automation of control on points [Avtomatizatsiya kontrolya na strelkah]. The World of Roads [Mir transporta], vol. 9, issue 2. – Pp. 54–59.
45. Khoroshev V. V. (2017). Modernization of methods of safe conducting of operations at rail tracks [Modernizatsiya metodov bezopasnogo proizvodstva rabot na zheleznodorozhnykh putyakh]. The World of Roads [Mir transporta], vol. 15, issue 2. – Pp. 166–177.
46. Nikitin A. B. (2015). Improvement of diagnostics of railway automation and remote control systems [Sovershenstvovanie diagnostiki sistem ZHAT]. Automation, Remote Control and Communication [Avtomatika, svyaz', informatika], N 11. – Pp. 14–15.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии С. А. Никищенковым
Поступила в редакцию 08.02.2018, принята к публикации 27.04.2018*

*ЕФАНОВ Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, руководитель направления систем мониторинга и диагностики ООО «ЛокоТех-Сигнал», профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ).
e-mail: TrES-4b@yandex.ru*

© Ефанов Д. В., 2018