



Интеграция систем управления и мониторинга



Ефанов Дмитрий Викторович – ООО «ЛокоТех-Сигнал», Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Дмитрий ЕФАНОВ

Стационарные системы мониторинга устройств обеспечения движения поездов в настоящее время реализуются как внешние средства технического диагностирования и располагаются преимущественно централизованно. Набор диагностических параметров является скудным, а большинство измерений – косвенными. Это, в конечном счёте, приводит к низкой эффективности функционирования систем мониторинга, а доля полезной информации от общего объёма данных, по сообщениям специалистов, не превышает 5%. Развитие технологий мониторинга должно идти по пути интеграции измерительных и управляющих функций. Целью работы является обращение внимания научного сообщества на принципы реализации систем мониторинга и управления и переход от их разделения к интеграции. Используя методы технической диагностики и мониторинга, предлагается перейти к более прогрессивным системам управления со встраиваемыми средствами технического диагностирования и мониторинга. Автором предложена концепция интегрированных средств технического диагностирования с объектными контроллерами управления в виде съёмных модулей мониторинга, передающих данные по выделенным

диагностическим трактам передачи. В зависимости от географического положения контроллера (централизованное, на посту управления или децентрализованное возле объекта управления) определяется набор диагностических параметров и осуществляется выбор способов обработки диагностической информации. В диагностические модули при децентрализованном расположении контроллеров возможна передача диагностической информации от внешних и распределённых датчиков на объектах железнодорожной инфраструктуры. Реализация представленной концепции позволит получать гораздо большее количество исходных данных для работы систем мониторинга, в том числе, перейти к получению цифровых копий объектов железнодорожной инфраструктуры. В более широком смысле, при организации систем мониторинга необходимо фокусироваться не только на средствах железнодорожной автоматики, но и уделять внимание иным объектам инфраструктуры, обслуживаемым персоналом смежных хозяйств. Так как все объекты функционируют совместно, такой подход в организации мониторинга повысит качество диагноза и прогноза, а также даст возможность оценки остаточного ресурса технических объектов.

Ключевые слова: транспорт, техническая диагностика, мониторинг, интеграция измерительных и управляющих функций, диагностические данные, объекты железнодорожной инфраструктуры, цифровые копии.

*Информация об авторе:

Ефанов Дмитрий Викторович – доктор технических наук, доцент, руководитель направления систем мониторинга и диагностики ООО «ЛокоТех-Сигнал», профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Российского университета транспорта, Москва, Россия, TrES-4b@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 09.07.2019, принята к публикации 02.11.2019.

For the English text of the article please see p. 152.

ВВЕДЕНИЕ

Методы технической диагностики [1–6] повсеместно используются на всех этапах жизненного цикла устройств и систем автоматического управления. На этапе разработки устройства или системы, например, это выражается в тестировании и верификации аппаратных и программных компонентов, в выборе и обосновании способа реализации подсистем внутреннего контроля и диагностирования и пр. [7]; на этапе эксплуатации – это периодическое тестирование и функциональное диагностирование блоков и компонентов, мониторинг технического состояния подключаемыми извне устройствами, техническое обслуживание с привлечением сервисного персонала [8]. Без использования средств встраиваемого и внешнего технического диагностирования и мониторинга невозможна реализация концепции цифровой железной дороги [9].

Широкое распространение в последние годы во всех отраслях промышленности и транспорта получили надстраиваемые технические средства диагностирования и мониторинга состояния инженерных сооружений и конструкций. К объектам диагностирования, с целью повышения их отказоустойчивости, предотвращения аварий и катастроф, подключаются специализированные измерительные устройства, передающие получаемые диагностические данные посредством проводного (и, гораздо реже, беспроводного) тракта передачи в устройства концентрации и обработки информации. Это позволяет опрашивать датчики измерительных устройств с некоторым предустановленным периодом и формировать в программном обеспечении систем мониторинга массивы диагностических данных, а также проводить анализ получаемых данных. На основе анализа формируются сообщения, выявляются тенденции ухудшения рабочих параметров и производится оповещение персонала.

На первоначальном этапе разработки системы технического диагностирования и мониторинга проводится обследование объекта диагностирования, в ряде случаев создаётся математическая модель данного объекта, и выбираются точки подключения датчиков для обеспечения требуемой полноты и глубины диагностирования. Объём диагностических параметров непосредствен-

но влияет и на качество процедуры мониторинга, точность и своевременность постановки диагноза и последующее решение задачи прогнозирования.

Целью настоящей работы является обращение внимания научного сообщества на принципы реализации систем мониторинга и управления и переход от их разделения к интеграции. Используя *методы* технической диагностики и мониторинга, предлагается перейти к более прогрессивным системам управления со встраиваемыми средствами технического диагностирования и мониторинга. Непосредственно в данной статье предложено концептуальное техническое решение по совершенствованию технологий диагностирования и мониторинга устройств и систем управления движением поездов с учётом их специфики [10; 11].

МОНИТОРИНГ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Комплекс устройств и систем управления движением поездов включает в себя разнообразные приспособления железнодорожной автоматики и предназначен для автоматизации процедур управления техническими средствами регулирования движения поездов и передачи данных на бортовые средства автоматики тяговых подвижных единиц. Основными объектами управления и контроля для систем железнодорожной автоматики являются напольные технологические объекты – то оборудование автоматики, которое расположено в непосредственной близости к железнодорожному полотну и для некоторых устройств – даже интегрировано с рельсами (речь о рельсовых цепях). К основным напольным объектам железнодорожной автоматики относятся устройства автоматического перевода стрелок (стрелочные электроприводы), устройства передачи сигналов машинисту (светофоры), устройства позиционирования подвижных единиц (рельсовые цепи). Именно на данные устройства по статистике приходится до 80 % отказов всех устройств железнодорожной автоматики [12, с. 4]. Кроме того, напольное оборудование железнодорожной автоматики, как правило, лишено встроенных средств технического диагностирования, а подавляющее число его составляющих являются не резервируемыми [11]. Отказы напольного технологического оборудования крайне не-



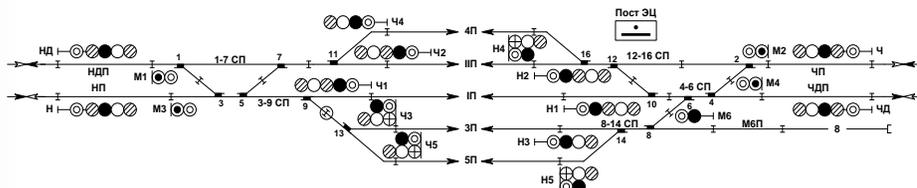


Рис. 1. Схематический план промежуточной станции [13, с. 279].

гитивно влияют на перевозочный процесс и могут непосредственно влиять на сбои в движении поездов и возникновении нарушений в графике движения поездов. Поэтому основная задача технических средств диагностирования и мониторинга — это анализ состояния именно напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики с фиксацией докритических (предотказных) состояний.

Число напольных технологических объектов и их особенности определяются непосредственно исходя из путевого развития станции и допустимых технологических операций на ней. К примеру, на рис. 1 изображён схематический план произвольной промежуточной станции в однониточном исполнении (такие станции широко распространены на железных дорогах) [13, с. 279].

На рассматриваемой станции для позиционирования подвижных единиц используются 18 рельсовых цепей (8 разветвлённых и 10 неразветвлённых). Для перемещения поездов с одного пути на другой на станции уложено 15 стрелочных переводов, оборудованных стрелочными электроприводами. Движение регулируется с помощью 14 поездных и 5 маневровых светофоров. Это и есть основные объекты мониторинга.

Напольное технологическое оборудование железнодорожной автоматики в современных системах мониторинга диагностируется по косвенным признакам по состоянию управляющих устройств, располагаемых на посту централизации [8, с. 43]. Зачастую, ввиду особенностей кабельного хозяйства железнодорожной автоматики, набор диагностических параметров весьма ограничен и позволяет судить о состоянии только целой группы устройств, а состояние конкретного объекта или принадлежность к объекту полученного измеренного значения идентифицировать крайне трудно без экспертной оценки. Например, устройства контроля двигателей стрелочных электроприводов чаще всего монтируются на питающих уста-

новках и производят измерения в цепях стрелок при их последовательном переводе в каждой из горловин. Если часть стрелок может переводиться параллельно, то производимые измерения нельзя однозначно сопоставлять только с конкретной железнодорожной стрелкой. При этом в цепях измеряются фазные токи и межфазные напряжения. Кроме данной информации, о состоянии железнодорожной стрелки судят по дискретным данным её положения и состояния управляющих объектов. Следует отметить, что на железных дорогах ЕС развитие технических средств идёт по пути децентрализации диагностических средств и расположения их в непосредственной близости к объекту диагностирования и расширению их функциональных возможностей [14; 15]. Для светофоров измеряются ток в цепи включения разрешающего показания и дискретные состояния (зачастую, только разрешённого показания, а не конкретного линзового комплекта). Для рельсовых цепей — дискретные состояния (занятость/свободность, замкнутость/не замкнутость в маршруте, включение режима отмены или искусственного размыкания), а также ряд напряжений: напряжения на источниках питания и путевых элементах (реле) при фазочувствительных рельсовых цепях; напряжения на выходах генераторов, путевых приёмников и путевых элементах (реле) при тональных рельсовых цепях. Кроме того, в качестве диагностических параметров используют длительности кодовых посылок системы кодирования автоматической локомотивной сигнализации. Ко всем этим данным добавляются данные о состоянии системы электропитания на станции, а также о состоянии сопротивления изоляции кабельного хозяйства.

Как показывает практика, представленного множества данных недостаточно для точного диагноза и последующего прогноза. Рассмотрим подход, расширяющий полноту и глубину технического диагностирования,

применимый при разработке новых систем централизации и управления.

ИНТЕГРАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ОБЪЕКТНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Системы управления могут быть реализованы по различным идеологиям [16]. В настоящее время используют единый вычислительный комплекс, располагаемый на посту централизации или в транспортном модуле. Данный вычислительный комплекс реализуется как с использованием традиционной релейной техники, так и с применением микроэлектронных и микропроцессорных компонентов. Для управления периферийными объектами в станционных системах автоматики применяются интерфейсные реле или объектные контроллеры (более современный вариант). По географическому расположению относительно вычислительного комплекса объектные контроллеры могут иметь централизованное размещение или децентрализованное. При централизованном размещении объектные контроллеры находятся в непосредственной близости к вычислительному комплексу и при помощи кабеля сообщаются с периферийными объектами управления и контроля. При децентрализованном расположении объектные контроллеры могут быть размещены в непосредственной близости от периферийных объектов — в путевых коробках и ящиках, в светофорных ящиках или даже в светофорных головках. В этом случае приказы на управление и контрольная информация также передаются посредством кабельной сети на объектные контроллеры. Энергоснабжение может быть организовано как местным, так и центральным. Способ реализации зависит от выбранной идеологии и специфики самой станции. Следует отметить, что перспективным, но пока не реализованным, является бескабельный способ управления, когда все объектные контроллеры располагаются в непосредственной близости к объектам, снабжаются энергией от местных источников (как традиционных, так и альтернативных), а данные передают на единый управляющий комплекс посредством беспроводной связи [17, с. 23].

Предлагается каждый объектный контроллер оснащать легкосъёмным измерительным модулем, обеспечивающим полу-

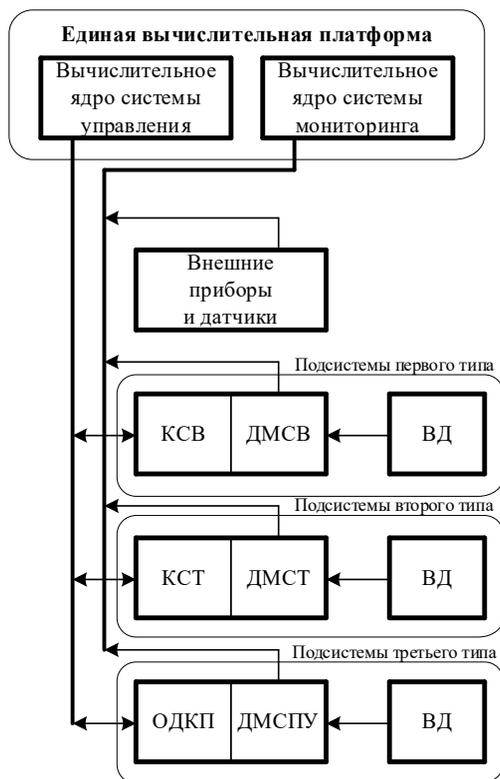
чение диагностических данных, позволяющих максимально полно анализировать техническое состояние объектов управления. Данные передавать по выделенным диагностическим каналам передачи — либо по кабельным (при наличии кабельной сети), либо по беспроводным.

Для максимально эффективного процесса мониторинга объектов управления требуется получение следующих параметров. Для объектных контроллеров управления стрелочными двигателями требуется измерение межфазных напряжений, фазных токов, сопротивления изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства). Для объектных контроллеров светофоров — напряжений питания ламп огня светофоров (питания светодиодных ламп) и токов в цепях питания, сопротивлений изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства). Если светофорный контроллер устанавливается в светофорном ящике или в головке светофора, то для мониторинга геометрического положения мачты (при её наличии) диагностический прибор снабжается датчиком контроля угла отклонения — инклинометром [18, с. 177]. Состав данных от оборудования датчиков контроля положения подвижных единиц определяется типом этих датчиков. Например, при использовании современных рельсовых цепей тональной частоты управление и контроль осуществляются с использованием генератора, фильтра, приёмника и реле (оно в перспективе может быть заменено на микроэлектронное устройство или, вообще, исключено из работы). Стоит отметить, что функция рельсовой цепи — именно контроль положения подвижного состава, а не управление, однако управление осуществляется с генератора путём подачи тока определённой частоты и приёма его путевым приёмником с приёмной стороны. Таким образом, потребуются токи и напряжения на выходах генераторов, путевых приёмников, фильтров и реле, а также сопротивление изоляции кабеля относительно земли (при использовании кабельного хозяйства).

Дополнительно для каждого объекта диагностирования требуется анализ таких параметров, как вибрационные воздействия на объект диагностирования и климатические условия эксплуатации. С этой целью может быть использовано выносное устрой-



Рис. 2. Структура организации системы мониторинга (схема автора).



Обозначения

КСВ – контроллер светофорный;
 КСТ – контроллер стрелочный;
 ОДКП – оборудование датчиков контроля положения подвижных единиц;
 ДМСВ – диагностический модуль светофорный;
 ДМСТ – диагностический модуль стрелочный;
 ДМСПУ – диагностический модуль стрелочно-путевого участка;
 ВД – выносные датчики.

Примечание. Все связи могут быть как проводными, так и беспроводными.

ство на основе акселерометров или же встроенный датчик в модуль диагностирования, а также каждый измерительный модуль может быть снабжён датчиком температуры. Либо на объекте мониторинга устанавливается метеостанция. Каждый объектный контроллер также должен передавать в систему мониторинга данные о своём состоянии и состоянии системы электропитания.

Встраиваемые диагностические модули могут служить также и устройством первичной обработки данных о состоянии объектов смежных хозяйств [19, с. 65]. Например, важнейшей задачей является контроль механических и геометрических параметров рельсового пути и непосредственно железнодорожных стрелок. Для их мониторинга могут быть использованы выносные датчики, располагаемые как на внутренних элементах устройств, так и на внешних объектах с про-

водным или беспроводным интерфейсом (примером является известное решение по мониторингу геометрии стрелочного перевода [20]).

Следует добавить, что сам измерительный модуль должен являться средством получения множества диагностических параметров от одной группы взаимосвязанных объектов, часть из которых следует обрабатывать непосредственно «на месте», а часть – транслировать на сервер мониторинга.

Архитектура системы технического диагностирования и мониторинга имеет вид, представленный на рис. 2.

Следует отметить, что речь идёт именно о мониторинге средств железнодорожной автоматики. Однако для получения цифровой картины о состоянии объектов на станции требуется мониторинг геометрических и физических параметров таких объектов,

как верхнее строение пути, железнодорожная контактная подвеска, искусственные сооружения. Кроме того, могут учитываться и параметры движущихся единиц и использоваться взвешивание состава на ходу по нагрузке на каждую ось каждой вагонной тележки. Таким образом, глобальный путь развития систем технического диагностирования и мониторинга заключается в интеграции множества функций измерения рабочих параметров не только объектов железнодорожной автоматики, но и средств инфраструктуры железных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование интегрированных средств технического диагностирования и мониторинга позволяет существенно расширить возможности в аналитики диагностических данных, получаемых от объектов железнодорожной автоматики, и осуществить переход к автоматизации прогнозирования и выявления предотказных состояний. Следует отметить, что при этом сами диагностические приборы для процедур поверки могут легко демонтироваться и заменяться благодаря стандартизации и модульности исполнения, а диагностические цепи являться выделенными. Это позволяет организовывать отдельные (независимые от систем управления) системы технического диагностирования и мониторинга, в том числе, использовать универсальные платформы по анализу больших потоков данных. Множество диагностических параметров может быть расширено и дополнено для получения цифровой картины о состоянии объектов станционной инфраструктуры и учёта этих данных при эксплуатации. Сами данные от единой платформы могут быть переданы на автоматизированные рабочие места (стационарные или мобильные) технического персонала согласно их компетенциям.

Реализация описанного в статье подхода позволяет перейти к новой ступени в техническом диагностировании и мониторинге и осуществить качественный переход к достижению трёх основных целей: получению точного диагноза, прогнозу и оценке остаточного ресурса объектов мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мозгалевский А. В., Гаскаров Д. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). — М.: Высшая школа, 1975. — 207 с.

2. Биргер И. А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.

3. Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства). — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 320 с.

4. Мозгалевский А. В., Койда А. Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. — 112 с.

5. Надёжность и эффективность в технике: Справочник в десяти томах. Т. 9: Техническая диагностика / Под. ред. В. В. Клюева и П. П. Пархоменко. — М.: Машиностроение, 1987. — 352 с.

6. 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.

7. Гавзов Д. В., Сапожников В. В., Сапожников Вл. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. — 1994. — № 8. — С. 3–50.

8. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. — СПб.: ПГУПС, 2016. — 171 с.

9. Балабанов И. В. Роль технической диагностики в цифровой трансформации // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 5. — С. 24–26.

10. Hall, C. *Modern Signalling: 5th edition*. — UK, Shepperton: Ian Allan Ltd, 2016, 144 p.

11. Theeg, G., Vlasenko, S. *Railway Signalling & Interlocking: 2nd edition*. — Germany, Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018, 458 p.

12. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. — СПб.: Издательство «Лань», 2018. — 180 с.

13. Efanov, D. V. *New Architecture of Monitoring Systems of Train Traffic Control Devices at Wayside Stations*. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018, pp. 276–280. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524788.

14. Heidmann, L. *Smart Point Machines: Paving the Way for Predictive Maintenance*. Signal+Draht, 2018, Iss. 9, pp. 70–75.

15. Fritz, C. *Intelligent Point Machines*. Signal+Draht, 2018, Vol. 110, Iss. 2, pp. 12–16.

16. Власенко С. В., Лунёв С. А., Соколов М. М. Централизованная и децентрализованная архитектура постов управления станциями // Автоматика, связь, информатика. — 2019. — № 3. — С. 22–25.

17. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Концепция современных систем управления на основе информационных технологий // Автоматика, связь, информатика. — 2018. — № 5. — С. 20–23.

18. Belyi, A., Osadchy, G., Dolinskiy, K. *Practical Recommendations for Controlling of Angular Displacements of High-Rise and Large Span Elements of Civil Structures*. Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 2018, pp. 176–183. DOI: 10.1109/EWDTS.2018.8524743.

19. Ефанов Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. — 2017. — № 4. — С. 62–65.

20. 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.

