

СПОСОБЫ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Предложены некоторые способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры с системами управления движением поездов. Информационное сопряжение осуществляется через увязку с системами железнодорожной автоматики и телемеханики и требует сертификации и доказательства безопасности систем мониторинга для использования данных о состоянии объектов диагностирования в контуре управления.

Ключевые слова: система управления движением поездов, информационное сопряжение систем

EDN: HVOYLY



Д.В. Ефанов



Е.М. Михайлута

Для обеспечения получения оперативных данных о состояниях некоторых объектов критической инфраструктуры используются технические средства автоматизированного мониторинга [1–3]. Ими, как правило, оборудуются сложные и уникальные технические сооружения. Это в полной мере касается и железнодорожной отрасли, где на ряде объектов установлены современные системы мониторинга инженерных конструкций и сооружений (СМИК и/или СМИС) [4–6]. Данные системы позволяют получать первичную диагностическую информацию о состоянии объекта диагностирования, собирать и хранить ее, а также классифицировать по пороговым значениям (нормальям или уставкам) и выдавать пользователю информационные сообщения. Ученые и исследователи

работают над вопросами создания интеллектуальной программной оболочки обработки диагностической информации для многокритериального оценивания состояния сооружения, постановки диагноза с высокой вероятностью, близкой к единице, а также для решения задач определения генеза и прогноза [7–9]. Это, в свою очередь, является и отправной точкой к управлению надежностью и безопасностью объекта диагностирования [10; 11].

Современные системы автоматизированного мониторинга могут передавать данные различным пользователям. Но, как правило, специалисты ограничиваются организацией передачи данных на стационарные средства, расположенные вблизи объекта диагностирования и в центры оперативного реагирования (они

Ефанов Дмитрий Викторович, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе Научно-исследовательского и проектного института Транспортной и строительной безопасности, профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Ташкентского государственного транспортного университета, действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники (IEEE). Область научных интересов: дискретная математика, надежность и техническая диагностика дискретных систем, методы синтеза самопроверяемых, отказоустойчивых и безопасных систем управления, методы мониторинга транспортных систем. Автор свыше 600 научных работ, в том числе пяти учебников, трех монографий и 13 учебных пособий. Имеет шесть патентов на изобретения.

Михайлута Евгений Михайлович, аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Область научных интересов: методы синтеза безопасных систем управления, технологии приборостроения. Автор восьми научных работ.

могут быть даже на городских и региональных уровнях) [6]. Развитие технологий диагностирования и мониторинга идет по пути эволюции и приближается к тесной интеграции с системами управления движением [12;13]. И это, действительно, эволюционный путь, поскольку собранные системами автоматизированного мониторинга данные в настоящее время оказываются вне цепочки регулирования движения поездов и никак не могут учитываться в задачах управления (кроме, разве что, при передаче информации вручную через поездного диспетчера). Следующий шаг в развитии технологий диагностирования и мониторинга — это информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга с системами управления движением поездов.

В своих предыдущих работах [14–16], авторы обращали внимание на необходимость такой увязки систем, на преимущества и требования к составляющим систем автоматизированного мониторинга и информационного сопряжения. В [12;13] предложено концептуальное решение по организации системы управления движением поездов более высокого уровня безопасности, чем нынешняя, за счет использования в цепях обратных связей данных, полученных по результатам мониторинга. В [10;11] авторы настоящей статьи разработали математиче-

скую модель надежности системы управления движением поездов, в которой имеется информационное сопряжение с системами автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры, а в [17–19] — кратко осветили возможные способы интеграции систем.

Целью настоящей статьи является описание некоторых перспективных способов организации информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и управления движением поездов.

Укрупненная архитектура информационного сопряжения систем

На рис. 1 приведена укрупненная архитектура безопасной системы управления, включающая в себя информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов [10]. Такое техническое решение подразумевает информационное сопряжение систем мониторинга через системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Это объясняется тем, что системы железнодорожной автоматики и телемеханики как раз являются теми объектами во всей железнодорожной инфраструктуре, которые осуществляют подготовку пути для проследования поезда и выдают безопасные

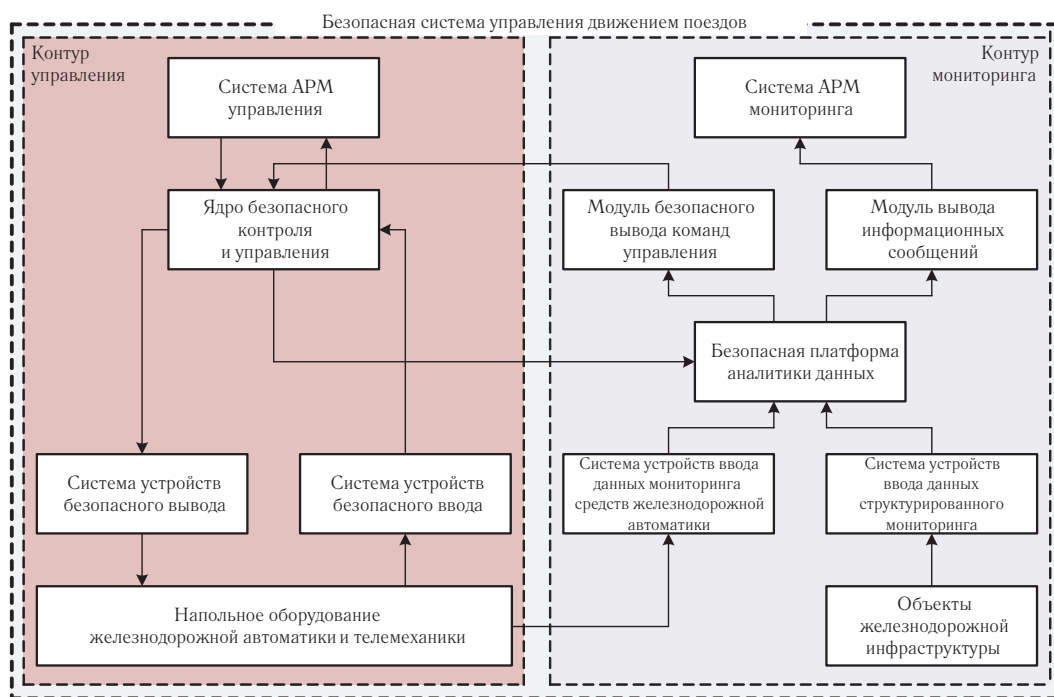


Рис. 1. Укрупненная архитектура безопасной системы управления движением поездов

сигналы на разрешение/запрещение выполнения действий машинистам. Выделяется контур управления и контур мониторинга. В контуре управления присутствуют устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики, а в контуре мониторинга — та часть, которая позволяет формировать сигналы на изменения режимов управления движением поездов в случае фиксации критических отклонений параметров объектов диагностирования от требуемых норм. В каждом хозяйстве на железной дороге может использоваться своя система автоматизированного мониторинга [20–23], которая также входит в контур мониторинга и стыкуется с контуром управления. При этом должно быть четкое ранжирование данных, получаемых от сертифицируемых на какие-либо уровни полноты безопасности систем автоматизированного мониторинга и несертифицируемых (именно такие системы автоматизированного мониторинга распространены на железных дорогах в настоящее время).

Безопасная система управления движением поездов, реализуемая по архитектуре (рис. 1) — это некоторое перспективное техническое решение. Ясно, что поскольку современные и действующие системы автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры не сертифицируются на какие-либо уровни полноты безопасности, то прямое изменение алгоритмов управления в системах железнодорожной автоматики и телемеханики просто невозможно с точки зрения функциональной безопасности. Поэтому целесообразно рассматривать некоторые промежуточные варианты информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов.

Способы информационного сопряжения систем

Без потери общности положим, что объектом диагностирования является мостовое сооружение. На нем, в соответствии с проведенным обследованием и эксплуатационной документацией, выбраны контрольные точки, установлены нулевые значения диагностических параметров и пределы их изменения. В соответствии с этим и условиями эксплуатации подобраны датчики $D_1, D_2, \dots, D_{n-1}, D_n$, где n — это общее число датчиков, а также преобразователи для тех датчиков, которые являются аналоговыми (в общем случае это n преобразователей $P_1, P_2, \dots, P_{n-1}, P_n$). Если же имеются цифровые датчики, то преобразователь для каждого из них не потребуется. Иными словами, здесь рассматривается более общий случай, когда все датчики аналоговые. Данные с определенным периодом поступают через кабельные сети (или же по защищенному радиоканалу) в концентратор информации

(КИ), где собираются, хранятся и классифицируются по установленным пороговым значениям (нормам или уставкам). Это, можно сказать, типовая укрупненная архитектура системы автоматизированного мониторинга для любого объекта транспортной инфраструктуры [24].

Расширим структуру современной системы автоматизированного мониторинга, добавив в нее важнейший технический орган — безопасную платформу аналитики данных (БПАД). Она предназначена для постановки диагноза, определения генеза и формирования прогноза с генерацией сценариев управления и процессом движения поездов и самим объектом диагностирования. БПАД реализует алгоритмы диагностирования и вырабатывает сигнал для передачи его машинистам движущихся на участке поездов и поезвному диспетчеру.

Первый вариант организации информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов представлен на рис. 2. В нем увязка осуществлена через безопасное устройство сопряжения (БУС), реализованное, например, по аналогии с описанными устройствами сопряжения в [25]. Данные непосредственно на объекте диагностирования передаются через кабельный тракт передачи в релейный шкаф увязки (РШ-У) и затем — на специальный светофор мониторинга (СМ). Он располагается на определенном расстоянии от объекта диагностирования, достаточном для полной остановки поезда, движущегося с максимально допустимой скоростью и максимально допустимой массой на данном участке железной дороги.

Светофора мониторинга в настоящее время не существует (поэтому авторы обозначили его нестандартным образом), однако его можно реализовать по аналогии со светофорами в системах контроля нагрева буксовых узлов и внести в инструкцию по сигнализации [26]. Светофор мониторинга нормально погашен. Он передает машинисту информацию о состоянии объекта диагностирования и в предложенном авторами варианте имеет два сигнальных показания: включение красного показания требует остановки поезда, включение желтого показания требует особого внимания при проследовании объекта диагностирования с уменьшенной скоростью. В такой технической реализации нет прямого влияния на алгоритмы функционирования системы управления движением поездов (обратите внимание на то, что на рисунке специально не показаны светофоры автоблокировки). Соответственно при фиксации БПАД опасного состояния объекта диагностирования вырабатывается сигнал на включение красного сигнального показания, требующего немедленной

остановки поезда. Если БПАД фиксирует состояние объекта диагностирования, классифицируемое как тревожное, то на светофоре включается желтое сигнальное показание, требующее снижения скорости проследования на участке, где расположен объект диагностирования. Поскольку БПАД автоматически воздействует на светофоры мониторинга в перспективе они могут снабжаться дополнительными сигналами, свидетельствующими об исправности системы мониторинга, самой БПАД и средств информационного сопряжения.

На рис. 3 представлен еще один вариант информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов — через заградительные светофоры (ЗГ1 и ЗГ2). Такие светофоры устанавливаются, как правило, на подъездах к железнодорожным переездам, особо сложным искусственным сооружениям и в обвалных местах [26]. Они нормально погашены и включаются при наличии неисправности на сооружении дежурным.

Возможно два основных способа информационного сопряжения заградительных сигналов и системы мониторинга. Первый вариант состоит в том, что от БПАД через БУС на аппарат дежурного по станции и по переезду выводится сигнал, требующий включения заградительного сигнала. Его включает дежурный по переезду. Здесь управляющая роль отведена дежурному по переезду. Второй вариант состоит в том, что сигнал от БПАД через БУС в РШ-У автоматически воздействует на заградительные сигналы (именно такой вариант позволяет исключить человеческий фактор в управлении, однако также требует разработки безопасных технических решений). На рис. 3 проиллюстрирован второй вариант реализации, как наиболее перспективный в совершенствовании перевозочного процесса.

Третий вариант информационного сопряжения показан на рис. 4. Он уже исключает использование специального светофора мониторинга и подразумевает увязку с техническими средствами автоблоки-

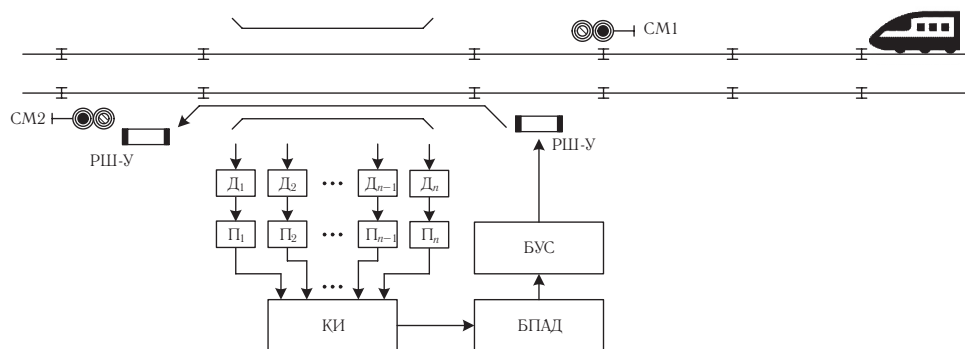


Рис. 2. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через отдельный светофор мониторинга

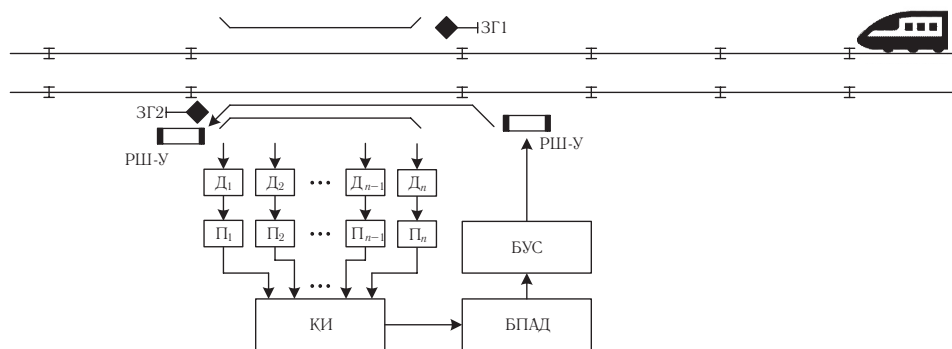


Рис. 3. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через заградительные светофоры

ровки. Сигнал от БУС идет в транспортабельный модуль автоблокировки (ТМ АБ) (или же на пост электрической централизации близлежащей станции, где расположена аппаратура автоблокировки — здесь взято решение без аппаратуры релейных шкафов на перегонах, хотя и для числовой кодовой автоблокировки также можно реализовать увязку).

В ТМ АБ обустраивается стив для оборудования информационного сопряжения, где, помимо прочего, используется реле искусственного занятия рельсовой цепи, расположенной за объектом мониторинга (ИЗ РЦ-М). В случае фиксации критических нарушений БПАД вырабатывает сигнал на включение реле ИЗ РЦ-М. Это позволяет непосредственно влиять на алгоритмы управления движением поездов на линии железной дороги. И здесь уже реализуется учет состояния объекта диагностирования при проследовании поезда. Однако не реализуется интеллектуальный

режим управления со снижением скорости движения, а введена лишь функция остановки поезда.

Следующим шагом в развитии подобной технологии информационного сопряжения является введение логических зависимостей для использования желтого сигнального показания. В текущей концепции системы управления движением поездов со снижением скоростей через красное сигнальное показание на расположенном впереди светофоре, ограждающем занятый блок-участок, напрямую это не реализовать (нельзя включить желтое сигнальное показание при зеленом показании на расположенном впереди светофоре).

На рис. 5 приведена укрупненная архитектура увязки систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через электрическую централизацию (ЭЦ) стрелок и сигналов на близлежащих станциях и диспетчерскую централизацию

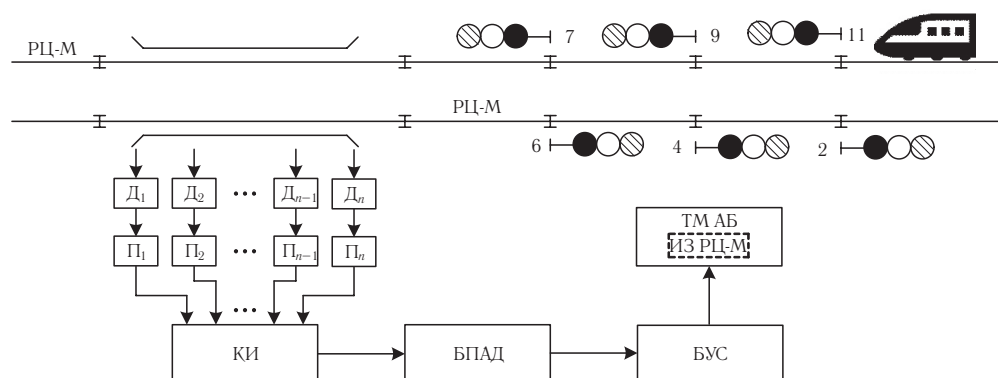


Рис. 4. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через технические средства автоблокировки

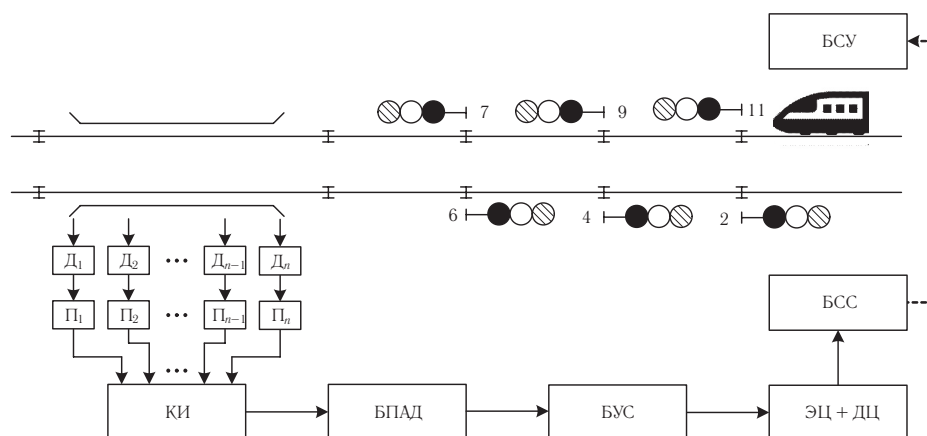


Рис. 5. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через бортовые средства управления

(ДЦ), где должны быть предусмотрены технические решения по безопасной увязке. Здесь данные от БУС передаются на специальные стивы информационного сопряжения на посту ЭЦ, далее — в ДЦ и затем, через безопасную станцию связи (БСС) по защищенному радиоканалу, используемому в задачах регулирования движения поездов (организованному по аналогии с описанным [27]) на бортовую систему управления (БСУ) локомотивом. Сюда передаются данные для адаптивного управления движением поездов с учетом критичности зафиксированных БПАД отклонений в работе объекта диагностирования.

Из анализа рис. 5 следует, что данные для адаптивного управления с учетом состояния объекта диагностирования и мониторинга входят в противоречие с традиционной логикой работы светофоров на перегоне, так как при свободности рельсовой цепи, расположенной на объекте диагностирования, позволяют включать менее разрешающие показания на светофорах, ограждающих участки перед объектом диагностирования. Рельсовая цепь не отвечает за состояние объекта инфраструктуры, а передает данные о состоянии пути. Поэтому в изначальной реализации она никаким образом не может получать данные о состояниях искусственных сооружений, а не только самого пути для движения [12;13]. В целях достижения высоких показателей безопасности движения поезда через объект диагностирования требуется вне зависимости от состояния рельсовой цепи за объектом диагностирования и на нем изменить логику работы светофоров на прилегающих участках с учетом еще и технического состояния объекта диагностирования. Это можно сделать и через схемы рельсовых цепей за объектом диагностирования и на объекте диагностирования, добавляя контакты соответствующих реле, имитирующих искусственное зажатие рельсовых цепей.

Конечно же, здесь следует подчеркнуть, что в современной концепции проектирования и реали-

зации систем автоматизированного мониторинга никакая увязка с системой управления движением поездов через БПАД просто невозможна, ввиду того что достоверность диагноза ничем не подкреплена. Поэтому для реализации систем автоматизированного мониторинга должны быть проработаны принципы построения с требуемым уровнем полноты безопасности [28;29]. Такие решения, по всей видимости, схожи с безопасными решениями по устройствам и системам сигнализации, централизации и блокировки [30;31].

Заключение

Несомненно, дальнейшее совершенствование принципов построения устройств и систем управления движением поездов связано с тесной интеграцией средств автоматизированного мониторинга и управления. Этот путь является рациональным, так как способствует оперативному получению данных о критически важных параметрах железнодорожной инфраструктуры и, как следствие, использованию их при адаптивном управлении процессом движения поездов во всех компонентах его обеспечения.

Предложенные авторами способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов могут эффективно использоваться на практике при особой проработке технических решений, реализующих их. В будущем подобное решение может являться частью интеллектуальной системы управления движением поездов, основное ядро которой описано в [32]. Особенный интерес к представленной концепции может возникнуть при проработке интеллектуальных систем управления на грузонапряженных и высокоскоростных железнодорожных линиях в силу возможностей оперативного учета технических состояний объектов инфраструктуры при адаптивном управлении движением поездов. 

Литература

1. Andersen J. E., Vesterinen A. Structural Health Monitoring Systems. — Denmark, COWI A/S, 2006, 125 p.
2. Посохов, Н. Н. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) - что это такое? / Н. Н. Посохов, И. В. Сосунов. - Текст : непосредственный // Мониторинг: наука и безопасность. - 2011. - № 1. - С. 12-17.
3. Belyi A., Shestovitskii D., Myachin V., Sedykh D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019, pp. 201-206, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.
4. Diaferio M., Fraddosio A., Piccioni M.D., Castellano A., Mangialardi L., Soria L. Some Issues in the Structural Health Monitoring of a Railway Viaduct by Ground Based Radar Interferometry // 2017 IEEE Workshop

on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS), 24-25 July 2017, Milan, Italy, pp. 1-6, doi: 10.1109/EESMS.2017.8052699.

5. РЖД: мост с первой инновационной системой непрерывного мониторинга и подключением к управлению заградительным сигналом. - Текст : непосредственный // Мостовые сооружения. XXI век. - 2021. - № 4 (51). - С. 18-19.

6. Мячин, В. Н. Мониторинг инженерных сооружений на транспортном переходе через Керченский пролив / В. Н. Мячин, Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. - 2023. - № 5-6. - С. 20-24.

7. Tammer M., Kaminski M. Fatigue Oriented Risk Based Inspection and Structural Health Monitoring of FPSOs // Proceedings of the 23rd International Offshore and Polar Engineering Anchorage, Alaska, USA, June 30 – July 5, 2013, pp. 438-449.

8. Sun D.L., Shang Z., Xia Y., Bhowmick S., Nagarajaiah S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection // Journal of Structural Engineering, 2020, 146 (5): 04020073, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.

9. Cury A., Ribeiro D., Ubertini F., Todd M. Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques // Springer International Publishing, 2022, Vol. 21, XVIII+474 p., doi: 10.1007/978-3-030-81716-9.

10. Ефанов, Д. В. Управление надёжностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2023. - Т. 21, № 2 (105). - С. 84-94. - DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.

11. Efanov D.V., Mikhailiuta E.M., Khoroshev V.V. Reliability Models for a Safe Train Traffic Control Systems Accounting the Railway Infrastructure States // Proceedings of 6th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 10-16, 2023, pp. 266-270, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272854.

12. Efanov D.V., Khoroshev V.V., Osadchy G.V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways // Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), Sochi, Russia, May 15-19, 2022, pp. 634-638, doi: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.

13. Ефанов, Д. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев, Г. В. Осадчий. - Текст : непосредственный // Мир транспорта - 2022. - Т. 20, № 3 (100). - С. 50-57. - DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.

14. Ефанов, Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте / Д. В. Ефанов. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2017. - № 4. - С. 62-65.

15. Ефанов, Д. В. Увязка систем управления с техническими средствами диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, И. А. Аганов. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2021. - № 6. - С. 25-29. - DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.004.

16. Efanov D., Osadchy G., Aganov I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring // Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Vol. 1, Cracow, Poland, September 22-25, 2021, pp. 391-396, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985.

17. Ефанов, Д. В. Технологии увязки систем мониторинга искусственных сооружений железных дорог с системами управления движением поездов / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов», посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа (16-17 ноября 2023 г.): в 2 частях Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. - Гомель: БелГУТ, 2023. - С. 210-211.

18. Ефанов, Д. В. Информационное сопряжение систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с системами железнодорожной автоматики и телемеханики через заградительные светофоры / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Транспортные системы», 16-17 октября 2024 г.; под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д. В. Ефанова. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. - С. 40-45. - ISBN 978-5-7422-8777-3.

19. Ефанов, Д. В. Особенности информационного сопряжения систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с системами управления движением поездов / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», посвященной Году качества (21-22 ноября 2024 г.): в 2 ч. Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. — Гомель: БелГУТ, 2024. - С. 211-213. - ISBN 978-985-891-182-6.
20. Park Y., Kwon S.Y., Kim J.M. Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire // The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. - 2012. - Vol. 61, № 8. - pp. 1216-1220.
21. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D., Pristensky D., Barch D. 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, doi: 10.1-109/EWDTS.2016.7807691.
22. Wang H., Núñez A., Liu Z., Chen J., Dollevoet R. Intelligent Condition Monitoring of Railway Catenary Systems: A Bayesian Network Approach // The 25th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD 2017), 14-18 August 2017, Rockhampton, Australia, pp. 1-6.
23. Yang Y., Wang C., Liu X., Liu Y., Lu W., Zhu Z., Yan H., Zhao G., Lin X. High-Precision Laser Monitoring System with Enhanced Non-Uniform Scanning for Railway Safety // Railway Engineering Science.bn,2024, doi 10.1007/s40534-024-00351-7.
24. Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов ; Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). - Санкт-Петербург : ПГУПС, 2016. - 171 с. - Текст : непосредственный
25. Принципы безопасного сопряжения с объектами в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин, В. А. Соколов, Н. А. Журавлева. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2019. - Т. 5, № 2. - С. 186-201. - DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-186-201.
26. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утверждены Приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022. №250. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104-?id=1827&ysclid=manrs2prih43218606> (дата обращения : 10.03.2025). - Текст : электронный.
27. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. - Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.
28. Smith D.J., Simpson K.G.L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards: 2nd edition. - Butterworth-Heinemann, 2004,263 p.
29. Шубинский, И. Б. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте : монография / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 360 с. - ISBN 978-5-9729-1553-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/347492> (дата обращения: 10.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
30. РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. Руководящий технический материал Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. Разработчики Вл. В. Сапожников, В. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, В. И. Талалаев, О. А. Наседкин, М. В. Илюхин, Д. М. Котельников, Санкт-Петербург, 1994. - 120 с. - Текст : непосредственный.
31. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов; под редакцией Вл. В. Сапожникова. - Москва : Транспорт, 1995. - 273 с. - Текст : непосредственный.
32. Кокурин, И. М. Интеллектуальная система управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автоведения / И. М. Кокурин. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2018. - Т. 4, № 3. - С. 305-314.