

# Технологические основы разработки интеллектуальных систем управления движением поездов с тесно интегрированными безопасными комплексами мониторинга объектов инфраструктуры



Д. В. Ефанов,  
д-р техн. наук, профессор  
Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), профессор Российского университета транспорта (МИИТ),



Е. М. Михайлута,  
аспирант, инженер  
Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ

На железнодорожном транспорте крайне сложно получать информацию об объектах инфраструктуры и подвижного состава непрерывно в реальном масштабе времени и сразу использовать ее при адаптивном управлении. Поэтому разработка соответствующих интеллектуальных систем управления с тесной интеграцией с системами мониторинга является важной актуальной научно-практической задачей.

К настоящему времени сложилось два основных направления получения объективных данных о состояниях объектов железнодорожной инфраструктуры: использование внешних процедур технического обслуживания и сбора диагностической информации; применение встраиваемых средств технического диагностирования для автоматического сбора данных.

Для проверки технического состояния объектов инфраструктуры широко применяются специализированные транспортные средства, являющиеся передвижными лабораториями [1] или мобильными роботами [2], а также технические средства, закрепляемые на подвижном составе [3, 4].

На ряде сложных и уязвимых с позиции надежности объектах применены системы автоматизированного мониторинга [5, 6]. Наиболее развитыми среди последних до сих пор являются системы технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. И несмотря на это, они далеки от систем, на решения которых можно опираться автоматически, использовав эти данные без экспертной оценки для управления движением поездов [7].

Достоинства использования как технических средств периодического мониторинга, так и стационарных очевидны. Основные недостатки данных систем позволяют наметить пути к совершенствованию технологий эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры.

Основным недостатком использования периодических проверок объектов инфраструктуры является невозможность фиксации быстротекущих деструктивных и разрушительных процессов. Например, внезапный отказ, связанный с разрушением опоры железнодорожного моста или камнепадом на горных участках, никак не может быть учтен автоматически в системе управления движением поездов.

Недостатком стационарных средств мониторинга можно считать такую же невозможность автоматического принятия решения об изменении условий движения при фиксации критических отклонений рабочих параметров от требуемых норм. Все решения принимает только поездной диспетчер, данные к которому могут поступить либо напрямую, либо через диспетчера по безопасности объекта мониторинга [8, 9].

Развитие информационных и интеллектуальных технологий вкупе со

сложившимися принципами реализации надежных и безопасных комплексов управления позволяют предложить новый подход в области совершенствования принципов обеспечения движения поездов. Он основан на интеграции систем управления движением поездов и технического диагностирования и мониторинга рабочих параметров объектов инфраструктуры и подвижного состава [10, 11]. Несмотря на все достижения современности в области техники и технологий, такой интеграции на железных дорогах постсоветского пространства нет, потому что использование современных технологий, опирающихся на применение машинного анализа, искусственного интеллекта, вероятностных моделей и пр., лежит за рамками сложившихся принципов реализации безопасных технических систем [12]. Современные системы управления сертифицируются на соответствие тем или иным уровням полноты безопасности (УПБ, в англоязычной литературе SIL – Safety Integrity Levels) [13] и обычно соответствуют уровням УПБ 3 (SIL 3) или УПБ 4 (SIL 4), а системы мониторинга – нет [14].

Это не позволяет напрямую использовать их в качестве компонентов в цепях обратных связей при адаптивном управлении перевозочным процессом. Тем не менее прогресс не стоит на месте, и развитие транспортных систем, в том числе в сфере железных дорог, будет идти именно по пути тесной интеграции всех участников движения и инфраструктурных объектов в единый комплекс, «живущий» как гигантский организм, изменения в каждом из компонентов которого будут оперативно учитываться и отражаться на основном технологическом процессе.

Рассмотрим архитектуру системы управления движением поездов с новыми функциями – интеллектуальным управлением в случае фиксации системами мониторинга опасных дестабилизирующих факторов с учетом парирования данных событий.

### Архитектура системы управления движением поездов нового уровня безопасности

Современный этап интеллектуального развития железнодорожного транспорта, киберфизических систем и цифровых двойников не может быть пройден без тесной интеграции систем управления и автоматизированного мониторин-

га. Это следует из возможностей использования данных об объектах управления и инфраструктуре.

Данные о состояниях объектов, в том числе отвечающих за безопасность движения поездов, необходимо учитывать в контурах управления. В противном случае они оказываются не полезными данными, а мусорными, усложняющими работу эксплуатационного персонала по поддержанию отказоустойчивости железнодорожной инфраструктуры и подвижных объектов.

Системы автоматизированного мониторинга эволюционируют. От систем индикации и наблюдения они с течением времени совершают переход к измерительным подсистемам систем управления движением поездов и позволяют учитывать при реализации алгоритмов управления движением поездов техническое состояние объектов инфраструктуры и подвижного состава. Такая эволюция исключит опасное дестабилизирующее влияние дефектов как вызванных вмешательством в транспортную систему извне, так и возникающих в ее структурных единицах, непосредственно не связанных с системами электрической централизации и интервального регулирования движения поездов.

Примерами таких дефектов, вызванных внешними дестабилизирующими факторами, являются камнепады в горных участках, обрушения насыпей, размывы путей и пр. Известны даже системы мониторинга таких природных событий, которые никак напрямую не связаны с системами обеспечения безопасности движения поездов [15].

Примерами дефектов инфраструктурных объектов железных дорог являются выбросы пути, разрушения конструкций мостовых сооружений, развороты консолей на опорах контактной сети и др. Как правило, такие дефекты выявляются при периодическом мониторинге с использованием передвижных дорожных лабораторий или измерительных комплексов. Но, несмотря на это, обозначенные дефекты по всему миру не единожды становились причинами аварий и катастроф ввиду внезапного характера их возникновения.

На рис. 1 представлена разработанная авторами укрупненная архитектура системы управления движением поездов с качественно более высоким уровнем безопасности, нежели известные современные решения [16]. В ней выделено несколько функциональных уровней,

в некотором смысле отделенных друг от друга, однако тесно взаимодействующих. Следует сразу же отметить, что в приведенной архитектуре отсутствуют уровни планирования движения, назначения локомотивных бригад, автоматизации составления графиков движения поездов, оптимизации движения с учетом расходов на тягу и пр.

Уровни в архитектуре расположены относительно друг друга в порядке иерархического взаимодействия, фактически образуя с позиции циркуляции информации несколько сетевых моделей данных. При этом здесь можно сформировать отдельные контуры циркуляции данных. Они могут быть связаны, например, исключительно с процессом обмена данными между поездным диспетчером, функционирующим на уровне оперативного управления движением поездов, дежурными по станции и машинистами поездов, действующими на уровне исполнения движения. Или же они могут быть связаны с функционированием отдельных эксплуатационных подразделений по обслуживанию объектов инфраструктуры железных дорог, косвенно влияя на перевозочный процесс.

На уровне исполнения движения расположены взаимодействующие друг с другом стационарные и географически распределенные комплексы железнодорожной автоматики и телемеханики [17, 18], а также бортовые средства управления локомотивами [19]. Именно в такой связке осуществляется процесс движения: системы железнодорожной автоматики и телемеханики вырабатывают управляющие сигналы и регулируют положения стрелочных переводов для безопасного перемещения поездов и маневровых составов, а бортовые средства управления позволяют машинисту (и в перспективе самой системе автоматического управления) осуществлять допустимые действия для движения. Основой движения является график движения поездов, реализуемый поездным диспетчером на уровне оперативного управления.

Используя средства диспетчерского управления и системы поддержки принятия решений (Train Management Systems), поездной диспетчер передает команды линейному персоналу (дежурным по станциям и операторам в пределах диспетчерского круга). Эту же функцию может выполнять система автоматической диспетчеризации – автодиспетчер.

Далее команды реализуются на уровне исполнения движения через каналы

# Информационные технологии

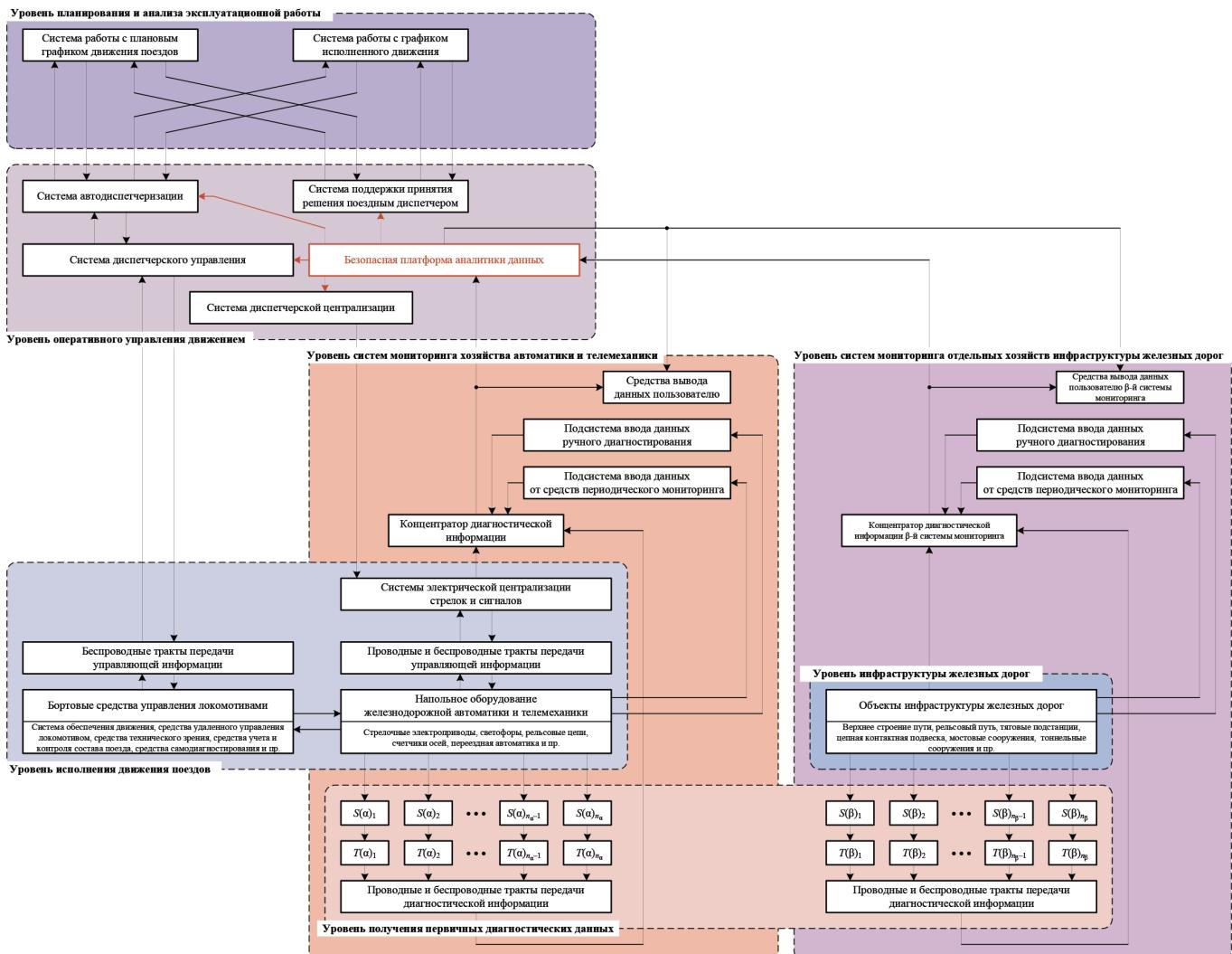


Рис. 1. Укрупненная архитектура системы управления движением поездов

диспетческой и электрической централизации, систем интервального регулирования движения поездов и бортовых систем управления. В современной реализации участники движения могут учесть состояние объектов инфраструктуры путем получения команд от поездного диспетчера или дежурного по станции либо при использовании технических средств локомотива и при анализе состояния пути самими машинистами и их помощниками.

В системах автоматизированного мониторинга выделим два функциональных уровня. Первый будет образован периферийным оборудованием для получения первичных диагностических данных. Здесь для различных систем мониторинга используются сенсоры (на рисунке обозначены  $S(\alpha)_{i_\alpha}$  и  $S(\beta)_{i_\beta}$ ,  $i_\alpha \in \{1, 2, \dots, n_\alpha\}$  и  $i_\beta \in \{1, 2, \dots, n_\beta\}$ , где символ  $\alpha$  указывает на систему мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а символ  $\beta \in \{1, 2, \dots, p\}$ ,  $p$  – число систем мониторинга объектов инфраструктуры железных до-

рог), преобразователи (обозначены на рисунке как  $T(\alpha)_{i_\alpha}$  и  $T(\beta)_{i_\beta}$ ,  $i_\alpha \in \{1, 2, \dots, n_\alpha\}$  и  $i_\beta \in \{1, 2, \dots, n_\beta\}$  и тракты передачи данных (при использовании цифровых датчиков преобразователи в структуре не применяются).

Часто в современных системах автоматизированного мониторинга датчики и преобразователи для отдельных объектов железнодорожной автоматики и телемеханики монтируются и компонуются в составе отдельных диагностических приборов [14]. Фактически сенсоры, преобразователи и тракты передачи данных располагаются на том же уровне, что и уровень инфраструктуры железных дорог и напольное оборудование железнодорожной автоматики и телемеханики (в архитектуре для удобства они отделены от инфраструктуры, хотя можно сказать, что являются ее частью). Так образуется уровень зарождения диагностических данных об объектах железнодорожной инфраструктуры.

Нужно отметить, что в современных системах железнодорожной автоматики

и телемеханики ввиду централизации управления широко распространился подход косвенного измерения состояния напольного технологического оборудования по устройствам и измерительным приборам, расположенным на постах централизации [7, 14]. В будущем можно прогнозировать тенденцию распределения функций получения первичных диагностических данных непосредственно на напольное технологическое оборудование. Это будет связано с децентрализацией блоков и систем управления, содержащих самопроверяемые модули с измерительными функциями и отдельными трактами передачи диагностической информации [20].

Второй уровень систем автоматизированного мониторинга образуется техническими средствами концентрации диагностической информации и вывода данных эксплуатационному персоналу. Здесь введем возможность интеграции данных от систем периодического мониторинга и ручного сбора диагностических данных. Это требуется для полноты

информации об объектах управления и реального «оживления» цифровых двойников участков железных дорог [21].

Здесь данные от средств периодического мониторинга с использованием путевых лабораторных комплексов также должны дополняться данными, получаемыми от средств мониторинга, располагаемых на беспилотных летательных аппаратах, если таковые эксплуатируются на линии железных дорог [22–25].

Данные от уровня систем мониторинга отдельных хозяйств инфраструктуры железных дорог должны передаваться на уровень оперативного управления движением поездов на устройства безопасной платформы аналитики данных. Именно она является ядром комплексной системы мониторинга, осуществляющим всесторонний анализ диагностических данных от разных объектов инфраструктуры и выдающим информацию порционно отдельным участникам движения, системам управления и эксплуатационному персоналу.

Безопасная платформа аналитики данных является органом принятия решения об изменении параметров движения при наличии установленного с наперед заданной достоверностью дефекта, критически влияющего на технологический процесс движения.

Кроме того, целесообразна интег-

рация моделей надежности устройств и систем управления и мониторинга в программные средства безопасной платформы аналитики данных. Это позволит создать динамическую модель системы управления движением поездов, адекватно описывающую реальные условия эксплуатации [26, 27]. Такая модель должна лежать в основе автоматизированных и автоматических систем поддержки принятия решений эксплуатационным персоналом, сортирующих и предоставляющих данные пользователям различных уровней компетенций.

Отметим, что в безопасную платформу аналитики данных не попадает информация от бортовых средств управления локомотивами. Они сами должны иметь такую бортовую платформу аналитики и передавать данные о своих состояниях через платформу диспетчерского управления. Все данные учитываются при оптимизации движения поезда с учетом различных факторов.

Если реализовать систему управления таким образом, как это показано на рис. 1, представив при этом (и впоследствии выполнив) требования по функциональной безопасности к системам автоматизированного мониторинга, то можно добиться скачка в уровне показателей безопасности движения поездов.

## Способы реализации информационного сопряжения

Технологически информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов может быть организовано различными способами. Некоторые из них могут даже не иметь прямого влияния на системы автоматического управления движением поездов и рассматриваться как эволюционно промежуточные варианты, предшествующие полностью автоматической увязке данных.

На рис. 2–5 показаны упрощенные схемы информационного сопряжения. Наиболее простым вариантом информационного сопряжения являетсястыковка данных, получаемых от объекта диагностирования и мониторинга через безопасную платформу аналитики и безопасные устройства сопряжения с отдельными сигналами — специализированными светофорами мониторинга (рис. 2).

Такие сигналы к настоящему моменту не существуют, но могут быть разработаны и внесены в правила технической эксплуатации и в инструкцию по сигнализации на железных дорогах. Безопасная платформа аналитики данных определяет и классифицирует диагностические события, вырабатывая логические сигналы для включения светофоров

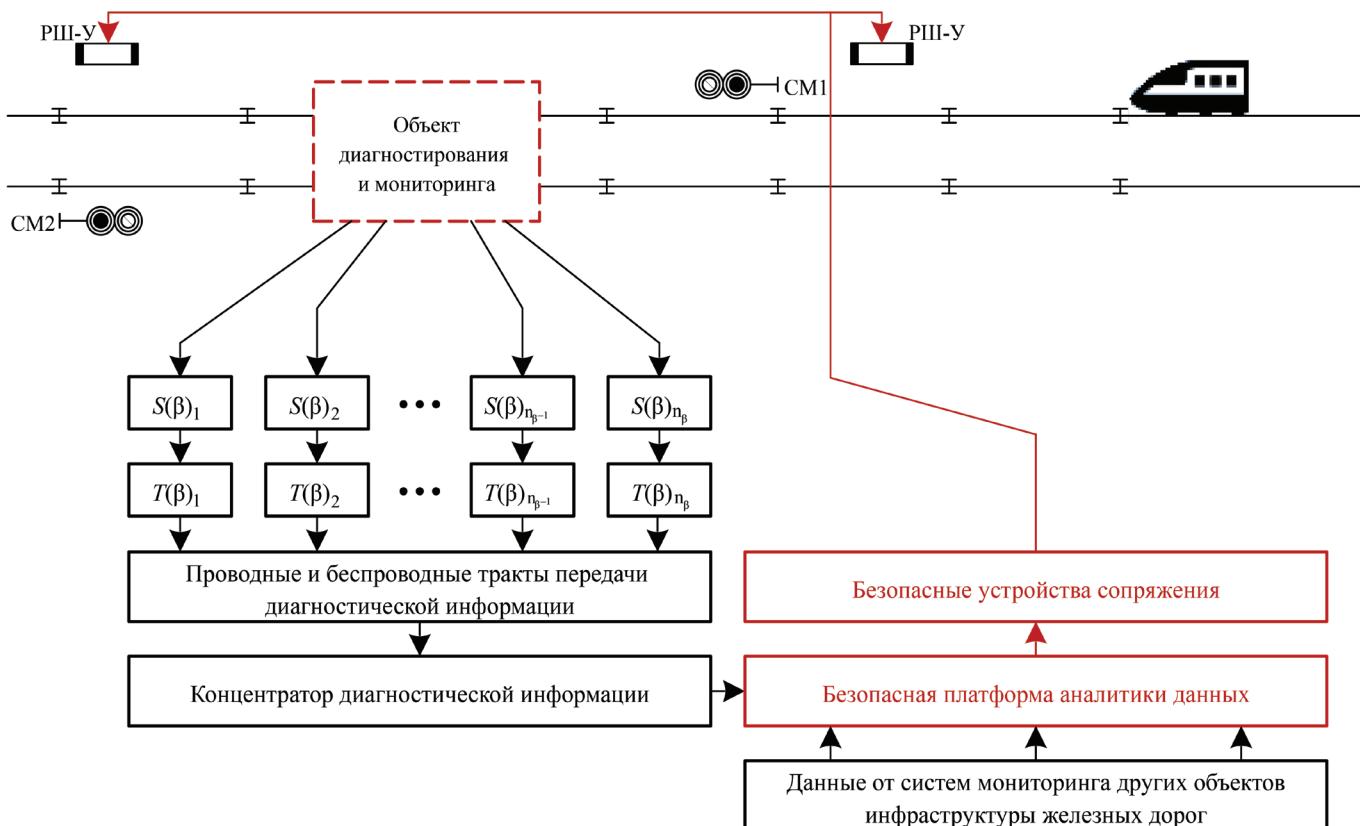


Рис. 2. Упрощенная схема информационного сопряжения через специализированный светофор мониторинга

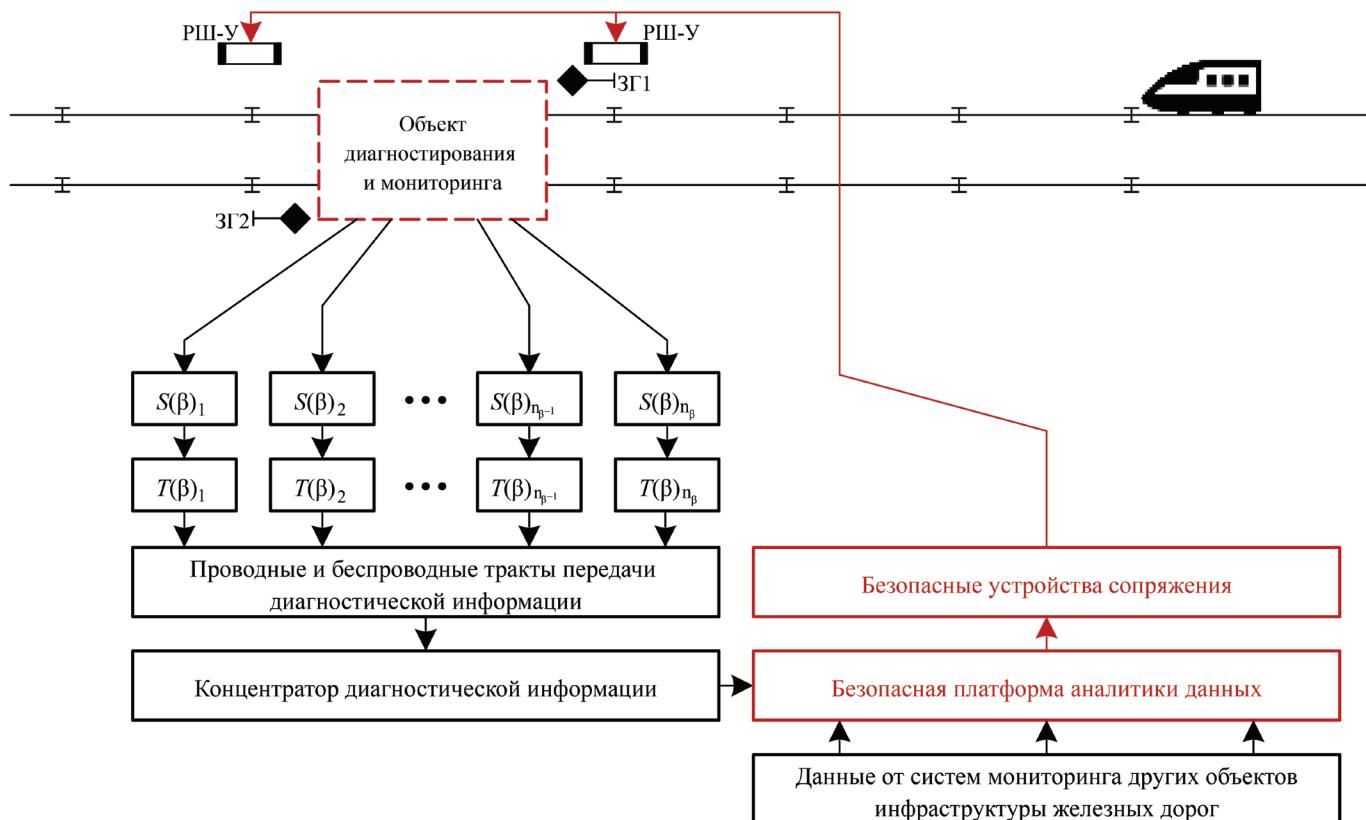


Рис. 3. Упрощенная схема информационного сопряжения через заградительные светофоры

мониторинга СМ1 и СМ2, ограничивающих объект мониторинга (например, уникальное техническое сооружение или зону опасного влияния внешних дестабилизирующих факторов).

Светофор мониторинга может быть реализован аналогичным образом, что и уже действующий сигнал, указывающий на перегрев буксовых узлов. Однако целесообразно ввести два его состояния: первое, требующее немедленной остановки; второе, требующее снижения скорости для проследования.

Такое информационное сопряжение напрямую не включается в контур централизованного управления. Влияние оказывается только на участок железной дороги. Напрямую на основную систему сигнализации на линии железной дороги это не должно влиять. Соответственно и требования к реализации несколько ниже, чем при тесной интеграции систем управления и мониторинга.

От безопасной платформы аналитики данные могут передаваться как по проводной связи, так и по киберзащищенному протоколу беспроводной передачи данных. Информация попадает на периферийные объекты в релейные шкафы увязки (РШ-У). На самом объекте мониторинга данные по включению светофоров могут попадать на периферий-

ные устройства сопряжения и далее по проводному тракту передачи данных — в релейные шкафы. Нормально такой светофор реализуется погашенным. Увидя один из двух предупреждающих знаков, машинист принимает решение о снижении скорости движении или вовсе об остановке поезда.

Технологически более ответственный уровень информационного сопряжения реализуется в структуре, приведенной на рис. 3. Здесь уже нет отдельных светофоров мониторинга. Используются действующие на объекте мониторинга заградительные светофоры  $3Г1$  и  $3Г2$ . Подобными светофорами принято ограждать подъезды к железнодорожным переездам, особо сложным искусственным сооружениям и обвальным местам на горных участках железных дорог.

Заградительные светофоры нормально погашены и включаются красными показаниями при наличии неисправности на сооружении дежурным на посту охраны. В момент включения разрывается цепь подачи кодов автоматической локомотивной сигнализации, что позволяет локомотивным устройствам обеспечения безопасности зафиксировать отсутствие кодирования на участке, а машинисту — принять оперативное решение по управлению движением поезда.

Информационное сопряжение схоже с сопряжением посредством управления светофорами мониторинга, однако здесь через безопасные устройства сопряжения подается сигнал на автоматическое включение заградительных светофоров. Такая увязка реализуется добавлением контактов реле фиксации опасного состояния объекта мониторинга в цепи включения сигнальных показаний заградительных светофоров. Более консервативный вариант увязки предполагает срабатывание датчиков опасности на объекте мониторинга в помещении дежурного на посту охраны.

Непосредственная увязка с системой управления движением поездов реализована в схеме, приведенной на рис. 4. Здесь данные о состоянии объекта мониторинга передаются автоматически в систему интервального регулирования движения поездов и учитываются в реализации алгоритмов управления. Например, опасный участок ограждается красным показанием светофора, а светофоры предыдущих участков для движения включаются в соответствии с логикой сигнализации о состоянии последующих объектов. Такой функции в настоящее время нет в системе интервального регулирования: нельзя искусственно понизить значность светофора и даже включить красное по-

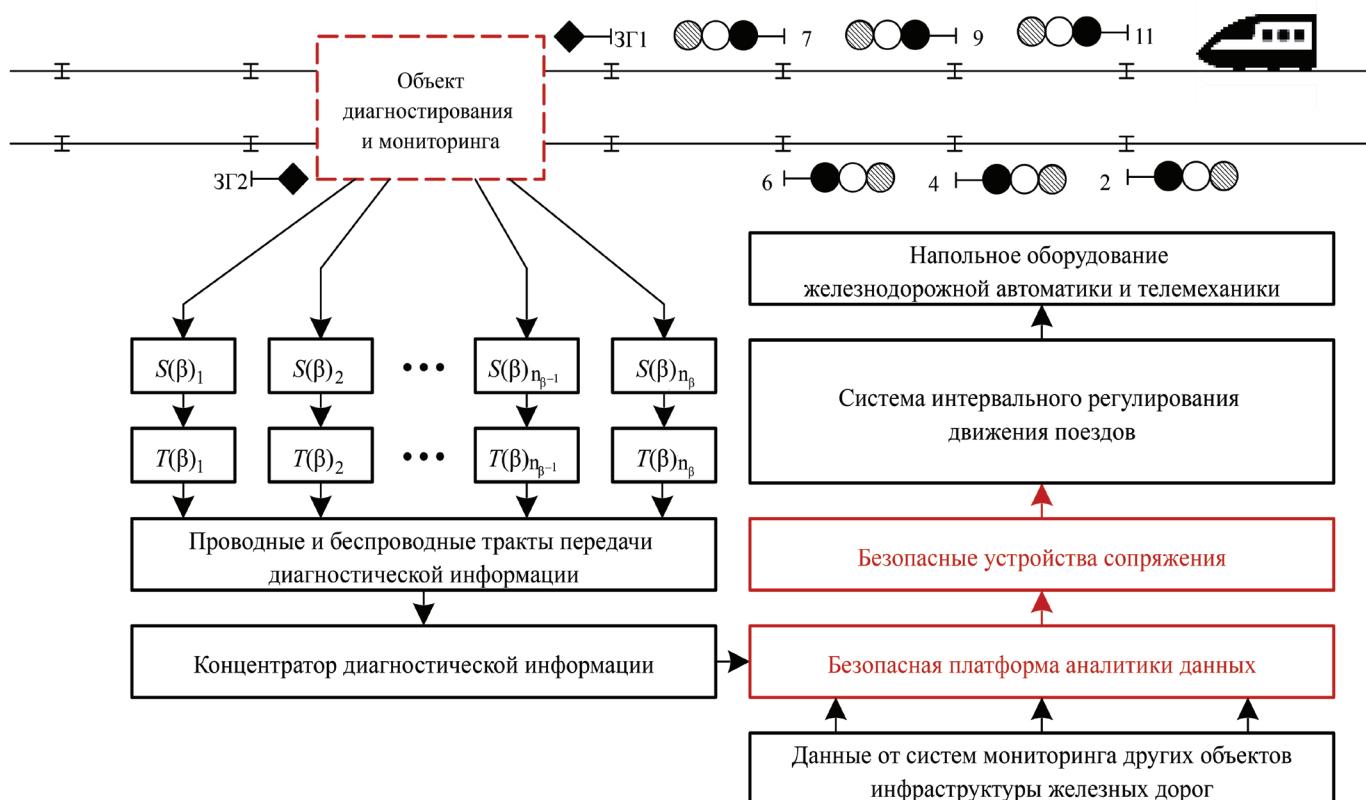


Рис. 4. Упрощенная схема информационного сопряжения через систему интервального регулирования движения поездов

казание на нем без электрического влияния на рельсовую цепь впередилежащего блок-участка.

Следующим шагом в развитии подобной технологии информационного сопряжения является введение логических зависимостей для использования желтого сигнального показания для снижения скорости движения поезда при наличии так называемой контролируемой опасности. В действующих системах управления движением поездов со снижением скоростей через красное сигнальное показание на расположеннем впереди светофоре, ограждающем занятый блок-участок, напрямую это не реализовать (нельзя включить желтый сигнал при зеленом показании на расположеннем впереди светофоре).

Информационное сопряжение требует разработки специальных схемных решений и предусматривает использование отдельных алгоритмов и безопасных способов включения в цепи автоматической блокировки и электрической централизации.

На рис. 5 приводится четвертый вариант информационного сопряжения. Он подразумевает, помимо прочего, автоматическую увязку системы автоматизированного мониторинга через безопасную платформу аналитики данных и безопас-

ные устройства сопряжения с бортовыми средствами управления движением.

Такая увязка реализуется исключительно по радиоканалу управления движением поезда. Она должна учитывать возможности изменения алгоритмов управления с учетом действующих ограничений на движение, веса поезда и возможностей его следования по участку с конкретным профилем пути [28]. Так реализуется адаптивное управление движением поездов с учетом всех факторов (чего до сих пор нет в полной мере и не учтено во многих исследованиях и концепциях интеллектуальных систем управления).

### Заключение

Железнодорожная транспортная система представляет собой сложнейший механизм, состоящий из миллионов компонентов, каждый из которых также представляет собой совокупность элементов на более мелком уровне рассмотрения. Изначально такие компоненты ввиду существенного удорожания себестоимости разработки и внедрения не снабжаются развитыми средствами самодиагностирования и мониторинга.

Однако на современном этапе развития науки о данных и интеллектуальных технологий возможна реализация

высоконадежных комплексов автоматизированного мониторинга объектов инфраструктуры железных дорог и их информационное сопряжение с системами управления движением поездов.

Представленные варианты информационного сопряжения являются концептуальными решениями в интеллектуальных системах управления с центральными органами [8, 9]. Более детальная их проработка с созданием функционально безопасных систем автоматизированного мониторинга и принципиальных технических решений по их информационному сопряжению с системами управления движением поездов позволяют учесть критические отклонения в работе объектов инфраструктуры железных дорог от допустимых норм и предотвратить потенциальные аварии и катастрофы.

Именно информационное сопряжение систем мониторинга при наложении на них требований по функциональной безопасности позволяет на практике перейти к интеллектуальной системе управления нового поколения. В такой системе искусственный интеллект безопасной платформы аналитики данных становится решающим органом по корректированию режимов управления и внесению изменений в сами процессы управления, обеспечивая их безопасность.

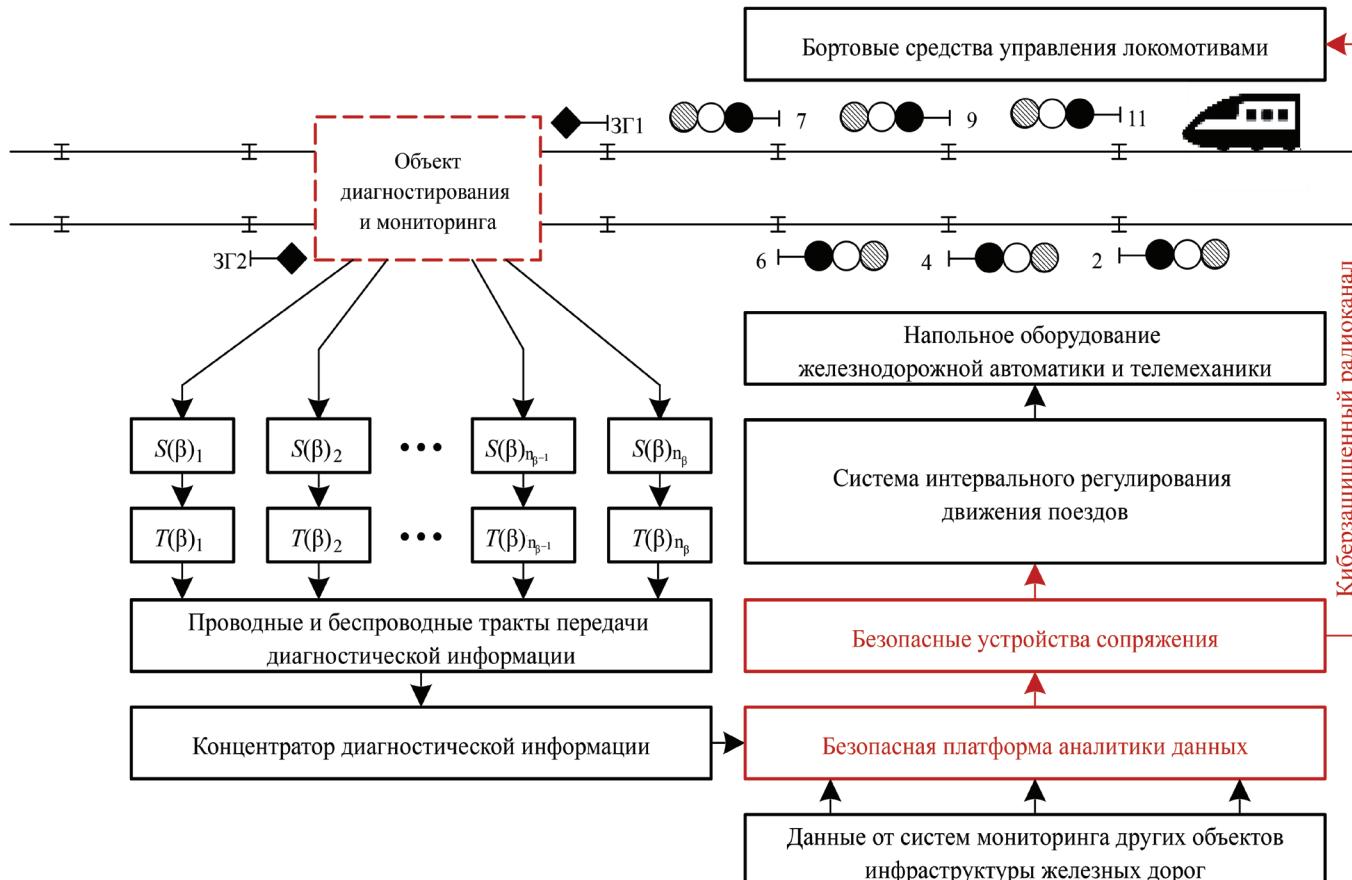


Рис. 5. Упрощенная схема информационного сопряжения через систему интервального регулирования движения поездов и киберзащищенный радиоканал с бортовыми средствами локомотива

#### Источники

1. Anghel S. R., Panoiu M., Abrudean C. Intelligent Application for Monitoring the Pantograph-Catenary Contact in Electric Railway Transportation // 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 26–29 June 2018, Split, Croatia.
2. Li S., Xu C., Chen L., Liu Z. Speed Regulation of Overhead Catenary System Inspection Robot for High-Speed Railway through Reinforcement Learning // IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI), 8–12 October 2018, Guangzhou, China. 2018. DOI: 10.1109/SmartWorld.2018.00239.
3. Juan Moreno J., Jarillo J. M., García-Albertos S. Sensing the Health of the Catenary-Pantograph Contact on Railway Vehicles with Radio Receivers: Early Results // Communication Technologies for Vehicles. Springer, Cham, 2020. Vol. 12574. Pp. 148–156. DOI: 10.1007/978-3-030-66030-7\_13.
4. Romadoni Achmad R., Wicaksono S., Ferryanto F. A Review on Automatic Visual Inspection for Railway Overhead Contact Line Systems // Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal). 2024. Vol. 8. № 2. Pp. 50–61. DOI: 10.37367/jpi.v8i2.346.
5. Dhage M. R., Vemuru S. Structural Health Monitoring of Railway Tracks Using WSN // 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA), 17–18 August 2017, Pune, India. 2017. Pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2017.8463976.
6. Sun D. L., Shang Z., Xia Y. et al. 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.
7. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: изд. 3-е., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2023. 180 с.
8. Кокурин И. М. Теоретические и технологические основы построения адаптивной системы диспетчерской централизации // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 3. С. 345–354.
9. Кокурин И. М. Интеллектуальная система управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автобедения // Автоматика на транспорте. 2018. Т. 4. № 3. С. 305–314.
10. Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways // Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), May 15–19, 2023, Sochi, Russia. 2023. Pp. 634–638. DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.1013929.
11. Ефанов Д. В., Хорошев В. В., Осадчий Г. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 50–57. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.
12. Smith D. J., Simpson K. G. L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards: 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 2004. 263 р.
13. Шубинский И. Б., Розенберг Е. Н. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте. М.: Инфра-Инженерия, 2023. 360 с.
14. Ефанов Д. В. Функциональный кон-

- троль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. 171 с.
15. Yan Y., Li T., Liu J. et al. Monitoring and Early Warning Method for a Rockfall Along Railways Based on Vibration Signal Characteristics // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. № 6606. DOI: 10.1038/s41598-019-43146-1.
  16. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020. 552 p.
  17. Huang L. The Past, Present and Future of Railway Interlocking System // IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 11–13 September 2020. DOI: 10.1109/ICITE50838.2020.9231438.
  18. Bădău F. Railway Interlockings A Review of the Current State of Railway Safety Technology in Europe // Promet-Traffic & Transportation. 2022. Vol. 34. Iss. 3. Pp. 443–454. DOI: 10.7307/ptt.v34i3.3992.
  19. Arend L., Pott L., Hoffmann N., Schanck R. ETCS Level 2 without GSM-R // Signal+Draht. 2018. № 110. Pp. 18–28.
  20. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Радиоцентрализация с распределенными вычи-

- слительными ресурсами и развитыми функциями самодиагностирования // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 1–2. С. 40–45.
21. Krmac E., Djordjevic B. Digital Twins for Railway Sector: Current State and Future Directions // IEEE Access. 2024. Vol. 12. Pp. 108597–108615. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3439471.
  22. Плеханов П. А., Роенков Д. Н. БПЛА на службе железнодорожного транспорта // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 13–16. DOI: 10.34649/AT.2023.9.9.003.
  23. Башаркин М. В., Исаичева А. Г., Исаичева Н. А. Тепловизионный контроль рельсовой линии с помощью БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 9. С. 14–16. DOI: 10.62994/AT.2024.9.9.004.
  24. Ефанов Д. В., Погодина Т. С. Применение беспилотных летательных аппаратов для сбора диагностических данных о напольных устройствах СЦБ // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 5. С. 16–24.
  25. Khang A., Efandov D. V., Mammadov G. et al. Technological Features of a Safe Monitoring System Based on the Use

- of Unmanned Aerial Vehicles // Driving Green Transportation System Through Artificial Intelligence and Automation. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham, 2025. Pp. 443–462. DOI: 10.1007/978-3-031-72617-0\_24.
26. Efandov D. V., Mikhailiuta E. M., Khóroshev V. V. Reliability Models for a Safe Train Traffic Control Systems Accounting the Railway Infrastructure States // Proceedings of 6th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), September 10–16, 2023, Sochi, Russia. 2023. Pp. 266–270. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272854.
  27. Ефанов Д. В., Михайлута Е. М. Управление надежностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 84–94. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.
  28. Кокурин И. М., Пушкин И. А. Тяговые расчеты с учетом дополнительных данных // Автоматика на транспорте. 2024. Т. 10. № 1. С. 52–63. DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-52-63.



Общероссийская общественная организация  
**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА –  
 В ЦИФРАХ**

Академия включает  
**48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ**



СОСТАВ ОО «РАТ» В 2023 ГОДУ

> 680 УЧЕНЫХ-

ТРАНСПОРТНИКОВ:

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ



ДАТА ОСНОВАНИЯ  
 РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
 ТРАНСПОРТА:

**26 июня 1991 года**

[www.rosacademtrans.ru](http://www.rosacademtrans.ru)