

Наука и технологии железных дорог

Материалы научно-технического
совета АО «НИИАС»

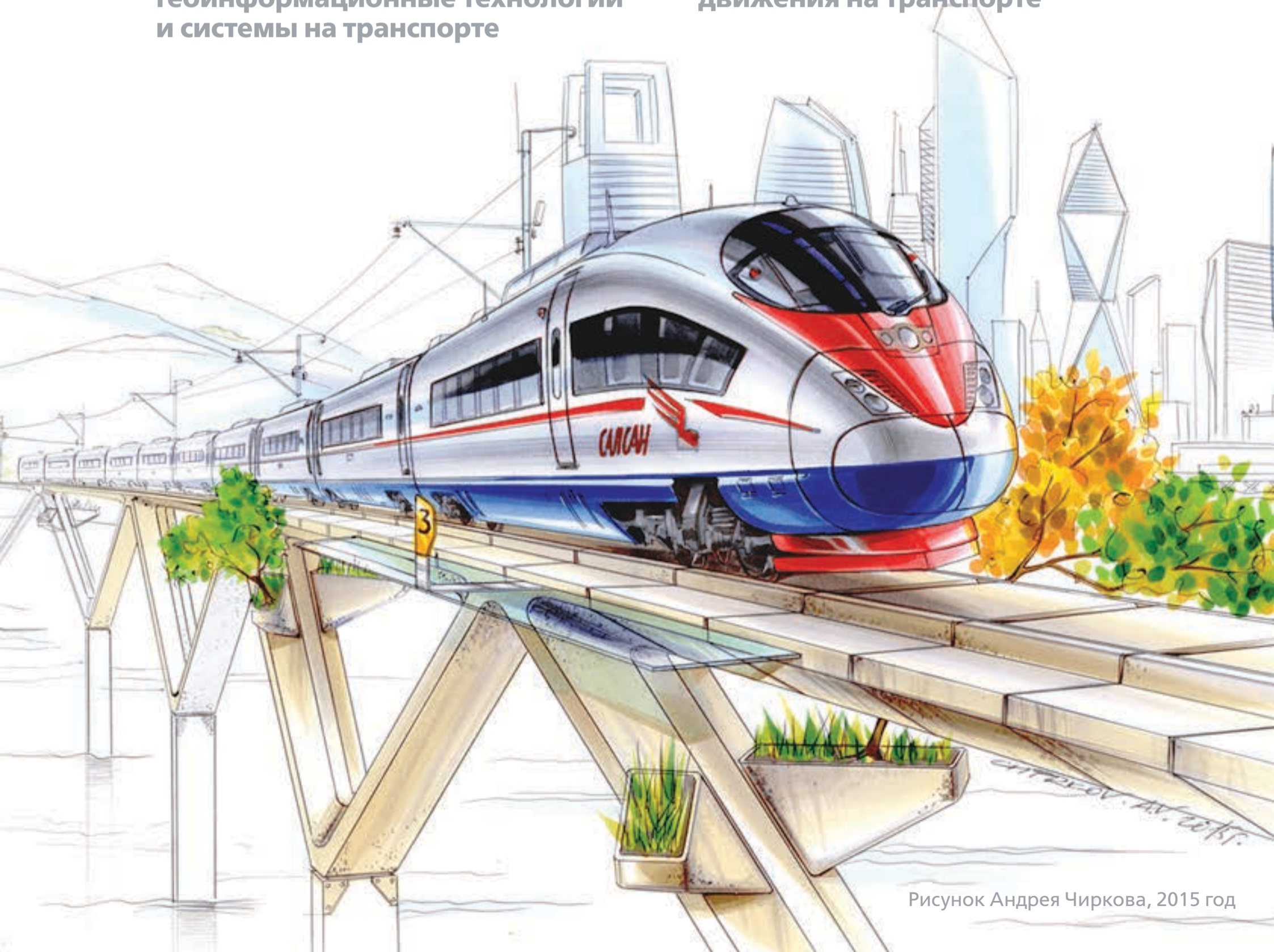
Стратегия развития
железных дорог

Интеллектуальные системы
и технологии на транспорте

Геоинформационные технологии
и системы на транспорте

Цифровые методы
на железнодорожном
транспорте

Экономика, организация
работ и безопасность
движения на транспорте



3

стр.

Материалы научно-технического совета АО «НИИАС»

«О некоторых актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС». Июнь-декабрь 2023 г.»

Бочков А.В.

18

стр.

Стратегия развития железных дорог

«Векторы цифровой трансформации железных дорог»

Кудюкин В.В., Озеров А.В.

25

стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Человеко-центрическое функциональное управление на транспорте»

Литвинов В.В.

31

стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Лазерное сканирование при мониторинге объектов транспортной инфраструктуры»

Цветков В.Я.

36

стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Темпоральные модели в интервальном движении»

Дубчак И.А.

41

стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Управление дискретными транспортными потоками»

Козлов А.В.

47

стр.

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте

«Диагностика и мониторинг искусственных сооружений инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе виброакустического контроля»

Охотников А.Л., Павловский А.А.

54

стр.

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте

«Повышение эксплуатационной надежности железнодорожного пути»

Коваленко Н.И.

УДК: 338.32; 347.763.4

О некоторых актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС» июнь-декабрь 2023 г.

Some current tasks and directions of scientific and technological development of JSC «NIIAS» June-December 2023

Бочков А.В., д.т.н., учёный секретарь, АО «НИИАС»,

E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Москва, Россия

Bochkov A.V., Doc. of Sci.(Tech), Scientific Secretary, «NIIAS» JSC,

E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Moscow, Russia

Аннотация



В обзоре обобщены вопросы, рассмотренные на заседаниях профильных секций научно-технического совета АО «НИИАС» во втором полугодии 2023 года. Проанализированы существующие проблемы и предложена постановка задач будущих исследований в ключевых направлениях научно-технологического развития института. Основное внимание уделено применению беспилотных технологий и систем технического зрения на железнодорожном транспорте, автоматизации роспуска опасных грузов на сортировочных горках, оборудованных КСАУ СП. Приведены общие сведения о подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования». Обсуждены научные основы и реализация риск-ориентированного подхода в обосновании безопасности. Обсуждена концепция централизованного репозитория исходного кода АО «НИИАС». Уделено внимание применению мехатронных и робототехнических систем при диагностике подвижного состава и применению широкополосных сетей связи на базе технологии LTE на железнодорожном транспорте в рамках придания стандарту LTE статуса железнодорожной электросвязи. Рассмотрены задачи высокоточного позиционирования в задачах беспилотного управления подвижным составом. Материалы некоторых обсуждений представлены в настоящем обзоре.

Ключевые слова: беспилотные технологии, системы технического зрения, автоматизация роспуска, безопасная разработка программного обеспечения, защита информации, риск-ориентированный подход, безопасность, мехатронные и роботизированные системы диагностики, стандарты железнодорожной электросвязи, высокоточное позиционирование.

Abstract

The report outlines the topics deliberated upon during meetings held by the specialized sections of the Scientific and Technical Council of JSC NIIAS in the latter half of 2023. The existing challenges have been evaluated, and objectives for future research have been suggested in essential fields of scientific and technological advancement of the institute. The focus is on utilising unmanned technologies and vision systems in railway transport, automating the release of hazardous materials on marshalling humps equipped with KSAU SP. The document covers the approach to implementing the Plan for the Implementation of Measures for the Safe Development of Software for Russian Railways Systems according to GOST R 56939-2016 "Information Security. Secure software development. General Requirements". The discussion encompassed the scientific basis and implementation of a safety justification approach centered on managing risks. Additionally, the idea of establishing a centralised repository for source code at NIIAS JSC was presented. The focus was on the integration of mechatronic and robotic systems in the diagnostics of rolling stock, and the usage of broadband communication networks, based on LTE technology, within the scope of the LTE railway telecommunications status. High-precision positioning issues for unmanned rolling stock control tasks are examined. Some of the discussions are presented in this review.

Keywords: unmanned technologies, vision systems, dissolution automation, secure software development, information security, risk-based approach, security, mechatronic and robotic diagnostic systems, railway telecommunication standards, high-precision positioning.



1. Применение беспилотных технологий и технического зрения на железнодорожном транспорте

Авторы: Дейлид И.А., Ольгейзер И.А., Стадник А.В., Гуров Ю.В., Лелюхин Д., Раков Д.А., Хилков Д.В., Яковлев А.Н., Панов К.В., Баталев И.А. Шульженко А.А., Фуярчука К.Г., Суханов Р.А., Лысенко П.В., Раков Д.А., Минкин Ю.И., Лукин В.А., Копылов С.А., Королев И.Н., Чеботарев Е.С., Киселев П.А., Автаев Д.И., Бураков Д. По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 29-30.06.2023, Секция 3. Беспилотное управление подвижным составом (Попов П.А., Чернин М.А.) совместно с Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджинян А. Е., Соколов С.В.).

На сегодня системы технического зрения (СТЗ), а также искусственные сенсорные системы представления визуальной информации считаются наиболее перспективными средствами представления первичной информации в системах безопасности, повышают безопасность и прогнозируемость технологических процессов [1]. Безопасность в широком смысле является неформализуемой категорией, поэтому, подчиняясь, известным принципам неполноты, сформулировать полные и одновременно корректные единые критерии безопасности принципиально невозможно для любых предметных областей [2].

Моделируя иммунологические механизмы можно интегрировать их в инженерные приложения, тем самым выйти на новые уровни обеспечения безопасности. Таким образом, предлагается применение технологий ИИ на основе теории искусственных иммунных систем (ИИМС).

Для достижения продуктовой стадии БОПМЛ потребовалось пройти через череду технических неудач, инновационных идей и универсальных решений. Команда Санкт-Петербургского филиала тщательно разобрала каждый месяц эволюции продукта, начиная с зарождения идеи дистанционного управления локомотивами на ст. Лужская. С каждым годом процессы разработки улучшались, развивалась культура системной инженерии и тестирования. Теперь перед командой Санкт-Петербургского филиала с сертифицированным БОПМЛ стоят новые вызовы – внедрение подсистемы для обеспечения функциональной безопасности и сертификация по стандарту TP TC.

Техническое зрение также играет ключевую роль в развитии автоматизированных систем на РЖД. Система ППСС следит за техническими и коммерческими неисправностями вагонов и имеет в своем составе такие подсистемы как: определение номера и типа вагона, диагностика фрикционного клина, колодки и подвагонного пространства, контроль за знаками опасностями и трафаретными надписями. Каждая из этих подсистем использует современные разработки в области технического зрения. Решаются задачи по локализации объекта, поиску аномалий, рассчитываются расстояния. Система успешно выполняет свои задачи, что ведет к повышению уровня безопасности на железнодорожном транспорте.

Для решения задачи диагностики буксовых узлов была разработана система ПАК-М, включающая в себе комбинацию традиционных математических алгоритмов обработки сигналов и моделей глубокого обучения.

Аппаратная часть системы соответствует импортозамещению, все оборудование состоит из отечественных комплектующих. Система успешно диагностирует дефекты в буксовых узлах железнодорожных составов, повы-

шая тем самым уровень безопасности на железнодорожном транспорте.

Ключевым элементом автоматизации на МЦК является БОП, который должен обеспечивать качество обнаружения препятствий и опасных событий на пути следования не хуже машиниста и в некоторых случаях превосходить его, только так можно будет повысить безопасность движения составов и пассажиров по МЦК.

Таким образом в рамках проекта БОП решается множество задач по обнаружению различных препятствий от человека с лошадью до мелких светофоров и башмаков на пути следования состава. Для этого применяются различные подходы компьютерного зрения, как классические, так и машинное обучение. Также необходимо объединять подходы чтобы достичь качественного обнаружения, так, например, используя нейронные сети для определения глубины и UV Disparity вместе с расчетом нормалей можно точнее обнаруживать малые и не классифицируемые объекты.

Немаловажным будет отметить калибровочные параметры и их динамическую подстройку исходя из окружения, что позволяет точнее определять дистанцию и корректировать ошибки в расчетах. Не стоит забывать и про аппаратную часть, сенсоры и лидары на БОП установлены с различными фокусными расстояниями и углами обзора, и комбинируются так, чтобы покрывать больше дистанции видимости и тем самым улучшать стабильность и качество обнаружения уже на уровне сервисов детекции и комплексирования.

Для повышения уровня автоматизации роспуска вагонов на сортировочных станциях в связи с увеличением количества сочлененных вагонов и необходимостью определения нетиповых межвагонных расстояний АО «НИИАС» разработано устройство счета и контроля расцепа вагонов УСКР. Помимо счета осей и определения занятости участка УСКР позволяет определить расположение автосцепного устройства путем детекции непосредственно самого устройства, а также артефактов, таких как номер вагона и тележки, позволяющих косвенно подтвердить начало нового вагона в отцепе.

Техническое зрение используется не только для сортировочных горок, но и в сортировочном парке. В настоящее время получила тиражирование разработка АО «НИИАС» под названием комплекс компьютерного зрения для контроля занятости сортировочных путей (КЗСП). Одной из важных функций КЗСП, разработанной и запатентованной уже после старта тиражирования комплекса, явилась функция расчета изменений профиля сортировочных путей по изменению скорости движения >>>

вагонов по путям сортировочного парка. Это позволит заранее определять проблемные участки в сортировочном парке, сравнить текущие значения с полученными инструментальным путем и осуществит переход от планового обслуживания к обслуживанию по состоянию.

Следует отметить, что для работы блоков обнаружения препятствий требуется периодическая верификация, повторная калибровка, а также первоначальная настройка внешних калибровочных параметров. Для данных целей была разработана стационарная система калибровки сенсоров, которая позволяет проводить верификацию и изменения параметров в автоматическом режиме. Также система позволяет управлять процессом и верифицировать результаты с АРМ. Важно продолжать развивать систему посредством улучшения алгоритмов, упрощения состава стенда и тестированием системы в разных условиях и с разным набором сенсоров.

Для полной автоматизации беспилотного транспорта необходима проработка инфраструктуры стационарных комплексов в зонах ограниченной видимости, в зонах где сенсоры на борту не позволяют контролировать все с чем может взаимодействовать беспилотный транспорт (пассажиры, вагоны, перекрывающие обзор, иная инфраструктура). Также стоит уделить особое внимание взаимодействию стационарных комплексов с беспилотным транспортом, проработке инфраструктуры центров, протоколов и каналов связи между участниками автоматизированных систем. Важным моментом будет являться и мониторинг таких комплексов для повышения безопасности и быстрого реагирования в нештатных ситуациях.

Для развития процессов машинного обучения в компании рекомендуется применять практики MLOps, которые направлены на унификацию процессов разработки и развертывания систем машинного обучения, а также позволяют стандартизировать и оптимизировать непрерывную доставку новых моделей в производство.

В рамках реализации проектов БОП-МЛ и БОП МЦК команда Санкт-Петербургского филиала были разработаны эффективные алгоритмы на базе нейросетевых и классических подходов, решающие задачу обнаружения неклассифицированных препятствий. Развитие ком-

петенций и улучшение самих алгоритмов способствуют повышению безопасности работы ранее перечисленных продуктов, а также расширяют набор возможных препятствий, которые могут быть обнаружены системами без предварительного обучения нейросетевых алгоритмов работе с конкретными, заранее заданными, классами объектов [3].

Важную роль в продуктах с машинным зрением играют интерфейсы, поэтому к ним предъявляются высокие требования. При их разработке учитывается баланс между новыми требованиями и обратной связью от пользователей. Для сбора сведений о работе интерфейса происходит сбор телеметрии с помощью Prometheus и heatmap.js. Проработка UX/UI происходит посредством создания прототипов с использованием инструмента Figma.

Был рассмотрен стек используемых технологий и было рассказано о выборе инструмента для разметки изображений и использовании инструмента CVAT. При его эксплуатации были выявлены недостатки, которые были исправлены посредством клонирования репозитория проекта и внесения собственных изменений. Эти изменения не вносятся в основной репозиторий из-за их точечного характера.

Наибольшее влияние на проектирование аппаратного обеспечения систем технического зрения оказывают особенности наблюдаемой сцены: большой диапазон освещенности в одной сцене, большая требуемая дальность обнаружения и угол обзора, плохие условия видимости, мерцание светодиодных источников света (светофоров). Указанные особенности требуют использования специализированных сенсоров камер с поддержкой большого динамического диапазона (HDR 140 дБ) и технологии компенсации мерцания (LFM). Второй по влиянию является особенность объекта автоматизации. Так, оборудование, устанавливаемое на локомотив должно обладать высокой помехоустойчивостью и поддерживать высокоскоростную передачу данных на значительные расстояния (до 20 метров). Такие особенности определяют используемые интерфейсы передачи данных: высокоскоростной Ethernet и GMSL (способ передачи цифровых данных по коаксиальным линиям).

2. Автоматизация роспуска опасных грузов на сортировочных горках, оборудованных КСАУ СП

Авторы: **Саврухин А.В., Ефимов Р.А., Соколов В.Н., Ольгейзер И.А., Корниенко К.И., Бессоненко С.А., Климов А.А.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 07.06.2023. Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджинян А. Е., Соколов С.В.)

В Университете РУТ (МИИТ), совместно с АО «НИИАС» выполнена работа по разработке методики аттестации станций с позиции безопасности при роспуске опасных грузов 2 класса опасности (далее Методики) и утверждению ее в ОАО «РЖД». В ходе данной работы, в том числе, были исследованы сортировочные горки станций Кинель, Челябинск-Главный, Екатеринбург-Сортировочный, Орехово-Зуево на возможность прохождения аттестации по утвержденной Методике. Наиболее оптимальной в части технического оснащения для прове-

дения испытаний является сортировочная горка станции Кинель, а также сортировочные горки станции Челябинск-Главный после внедрения комплекса технического зрения.

Целесообразно дальнейшее исследование вопросов роспуска вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности, с сортировочных горок в автоматизированном режиме в части снижения требований к вагонам для возможности роспуска вагонов-цистерн с поглощающим устройством автосцепки типа Т2. >>>

Существующая технология интенсивного высокопроизводительного роспуска составов на сортировочных горках предусматривает движение отцепов по незамкнутым маршрутам, в связи с чем, имеющийся уровень безопасности не позволяет производить на горках роспуск вагонов с опасными грузами.

Для повышения уровня безопасности расформирования составов на сортировочных горках необходима специальная технология, описанная в утвержденной Методике, и дополнительные технические средства для обеспечения возможности автоматического роспуска с горки вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности.

Такая технология и технические средства планируются к применению в разрабатываемом АО «НИИАС» Интегрированном комплексе автоматизации роспуска опасных грузов ИКАР ОГ.

Обеспечение безопасности роспуска вагонов, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности, должно строиться на непрерывном контроле всех параметров движения несколькими средствами контроля. Кроме того, сортировочный парк также должен быть

оборудован управляемыми домкратовидными устройствами замедления, которые на сегодняшний день находятся в разработке.

Необходимость рассмотрения возможности учета замены поглощающих аппаратов класса Т-3 на Т-2 на вагонах, предназначенных для перевозки грузов 2-го класса опасности. Необходимость проведения дополнительных исследования безопасности роспуска вагонов с поглощающими аппаратами класса Т-2.

Проведенное ФГБОУ ВО СГУПС совместно с АО «НИИАС» исследование основного удельного сопротивления движению отцепов показало, что сопротивление качению значительно снизилось за счет поступления на инфраструктуру ОАО «РЖД» инновационных вагонов, в том числе с тележками, имеющими буксовый узел с подшипниками кассетного типа, что потенциально увеличивает вероятность превышения допустимых скоростей соударения вагонов на спускной части сортировочных горок и путях сортировочных парков [4].

Необходим пересмотр существующих правил и норм проектирования сортировочных устройств, в связи с изменением вагонного парка.

3. О подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования»

Авторы: **Сабанов А.Г., Иновенков В.А.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 27.06.2023. Секция 8. Информационная и кибербезопасность (Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф.)

В рамках рассмотрения доклада «О подходах выполнения Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования»», были обсуждены четыре основных вопроса:

- уточнение понятия «Безопасное программное обеспечение для ОАО «РЖД»;
- проблемы интеграции требований ГОСТ Р 56939-2016 с существующими бизнес-процессами прохождения заявки на создание, эксплуатацию, модернизацию и вывод из эксплуатации программного обеспечения автоматизированных информационно-телекоммуникационных систем информационной инфраструктуры ОАО «РЖД» в защищенном исполнении;
- обсуждение принципов определения критериев внедрения мер безопасной разработки программного обеспечения;
- формулирование актуальных задач по внедрению мер безопасной разработки программного обеспечения в рамках системы добровольной сертификации.

Отмечено, что несмотря на сложность рассматриваемых проблем начинать приходится не с нулевой отметки, что показал опрос разработчиков Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС», где уже введена организацион-

но-распорядительная документация по безопасной разработке и используются ряд инструментов автоматизированного тестирования программного обеспечения.

В рамках обсуждения доклада «О создании доверенного репозитория исходных кодов и ПО АО «НИИАС»» предложена концепция автоматизации процесса сборки протестированных компонентов программного обеспечения и их хранения в защищенном репозитории.

В ходе обсуждения докладов выступающими были высказаны точки зрения на применимость мер по безопасной разработке программного обеспечения в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 к системам ОАО «РЖД» различного назначения. Также была отмечена важность создания защищенного репозитория исходных кодов и программного обеспечения в АО «НИИАС».

Решено одобрить предложенные подходы к выполнению Плана реализации мероприятий по безопасной разработке программного обеспечения систем ОАО «РЖД» в соответствии с ГОСТ Р 56939-2016 «Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования», а также признать целесообразным рассматривать два подхода в части разработки безопасного ПО для автоматизированных информационных систем ОАО «РЖД» в зависимости от принадлежности системы к первому или второму типу с точки зрения обеспечения безопасности. >>>

Первый подход предполагает безусловную реализацию мер ГОСТ Р 56939-2016 для автоматизированных и информационных систем, для которых выполнение мер по обеспечению функциональной безопасности не является приоритетным. Второй подход предполагает применение положений ГОСТ Р 56939-2016 к так называемым «низовым» системам класса АСУ ТП железнодорожной автоматики и телемеханики, подвижного состава, электроснабжения, непосредственно осуществляющих управление технологическим оборудованием и техническими средствами железнодорожного транспорта, к которым предъявляются повышенные требования функциональной безопасности.

Отмечено, что требования федеральных нормативно-правовых актов, в том числе приказов ФСБ России и ФСТЭК России, нормативно-распорядительных документов ОАО «РЖД» и отраслевых стандартов, а также рекомендации стандартов ФСТЭК России в части реализации мер обеспечения безопасности должны выполняться для систем обоих типов.

Определено, что для систем первого типа меры обеспечения безопасности процесса разработки согласно ГОСТ Р 56939-2016 с целью получения в качестве результата безопасное ПО является актуальной частью общей задачи обеспечения информационной безопасности (ИБ).

При этом, следует признать, что системы второго типа обладают ярко выраженной спецификой, обусловленной прежде всего требованиями обеспечения безопасности движения поездов. Для систем такого типа в первую очередь должны реализовываться меры функциональной безопасности (ФБ), определенные ГОСТ Р/МЭК 62279-2016, ГОСТ Р/МЭК 61508-3-2018 и другими связанными с ними стандартами, а затем – меры ИБ, определенные нормативно-распорядительными документами, комплексом отраслевых стандартов и ГОСТ Р 56939-2016 с целью устранения уязвимостей, нейтрализация которых осталась не обеспеченной реализацией мер функциональной безопасности.

Как следствие, специфических требований безопасности программного обеспечения систем «низового» уровня требуют отдельного обсуждения.

4. Научные основы и реализация риск-ориентированного подхода в обосновании безопасности

Автор: **Махутов Н.А.** По материалам заседания [5] Семинара ИМАШ РАН-НИИАС от 14.07.2023. Секция 7. Управление активами, надёжностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.)

Сложное многофакторное развитие социально-природно-техногенной системы сопряжено с проявлением широкого спектра опасностей – кризисов, вызовов, угроз, техногенных катастроф, стихийных бедствий, социальных потрясений. Указанное требует постановки и решения большого числа междисциплинарных, межотраслевых и межгосударственных задач, конечной целью решения которых является комплексный анализ, прогнозирование и предотвращение самых неблагоприятных сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на основе концепции стратегических рисков, характеризующихся параметрами вероятностей возникновения таких ситуаций и величинами возможных ущербов при их реализации.

Сложные процессы жизнедеятельности человека, общества и государства протекают в непрерывно изменяющейся социально-природно-техногенной системе – С-П-Т системе.

С 1724 г., на протяжении трех веков, главным центром отечественной науки были, в рамках правопреемственности, Академия наук и художеств в Санкт-Петербурге, Императорская академия наук – Российская академия наук – Академия наук СССР – Российская академия наук (РАН).

В современных условиях РАН организует и проводит фундаментальные и прикладные исследования по получению, использованию новых знаний об общих законах взаимоувязанного развития человека, природы и техносферы в рамках естественных, технических, гуманитарных и общественных направлений. Дальнейшее сложное многофакторное и многокритериальное развитие С-П-Т системы сопряжено с проявлением большого спектра опасностей – повреждений, кризисов, вызовов, угроз, стихийных



Рисунок 1. Категорирование опасных процессов и объектов С-П-Т системы по характеристикам ущербов, вероятностей и рисков

бедствий, социальных потрясений, а также техногенных катастроф в условиях мирного и военного времени.

Это требует постановки и решения большого числа междисциплинарных, межотраслевых и межгосударственных проблем, конечной целью которого становится комплексный анализ, прогнозирование, предупреждение и предотвращение самых неблагоприятных сценариев существования и продолжения разумной жизни на Земле.



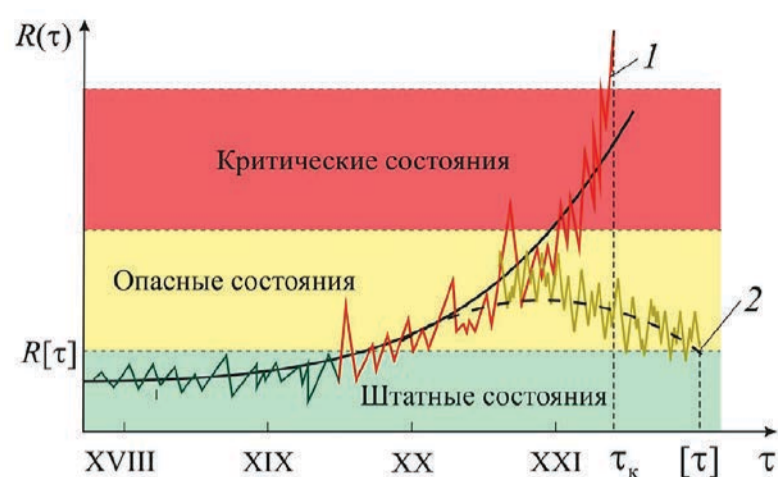


Рисунок 2. Схематизация изменений состояний С-П-Т системы

Актуальность такого решения стала особенно значимой в начале второго десятилетия XXI века в условиях резко обострившихся противостояний двух стратегических линий развития – с обострением нерешенных проблем с резко возрастающими во времени стратегическими рисками или со стремлением снижения этих стратегических рисков (кривая 1), формирующихся до приемлемого уровня $R(\tau)$. Реализация первой линии чревата возникновением и развитием катастрофических состояний С-П-Т системы с критическими рисками, а реализация второй – её сохранением и дальнейшим, пусть и неустойчивым, развитием в зоне приемлемых рисков, что отвечает приемлемому уровню безопасности.

Выдающаяся роль в постановке и решении фундаментальных проблем развития С-П-Т системы принадлежит всемирно известным отечественным ученым, академикам и президентам Академии наук Л. Эйлеру, П.Л. Чебышеву, Н.И. Лобачевскому, Д.И. Менделееву, И.П. Павлову, Н.Е. Жуковскому, Г.М. Кржижановскому, В.И. Вернадскому, Н.И. Вавилову, И.В. Курчатову, С.П. Королеву, М.В. Келдышу, А.П. Александрову, Г.И. Марчуку, Н.Н. Моисееву, Ю.С. Осипову, В.Е. Фортову, А.М. Сергееву.

В последнее время в нашей стране с учетом международных стратегий ООН по устойчивому развитию (1992 г.) был принят ряд новых государственных решений: доктрины национальной и военной безопасности; концепции устойчивого развития и комплексной безопасности; стратегии национальной безопасности, научно-технологического развития, энергетическая и транспортная стратегии; основы государственной политики в области стратегического планирования, защиты от чрезвычайных ситуаций, обеспечения промышленной и экологической безопасности; федеральные законы в области общей, видовой и отраслевой безопасности.

Первые систематические исследования в АН СССР, ГКНТ СССР, РАН, МЧС России, Минпромнауки России, Госгортехнадзоре по проблемам безопасности и рисков в нашей стране начались в 1989–1991 гг. в рамках Государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф» [6]. В них активное участие принимали академические институты (ИМАШ, ИГЭ, ИГП), высшие учебные заведения (МГУ, ГУУ, МВТУ, МИСиС, МИСИ), ведущие отраслевые научные организации (ИАЭ, ЦНИИМАШ, ЦНИИТМАШ, НИКИЭТ). С начала XXI века на базе ГНТП «Безопасность» была сформиро-

вана и реализована целая группа Федеральных целевых и Государственных программ (МЧС России, Минобороны, Минтранс, Минэнерго, Росатом, Роскосмос). Научная база по результатам фундаментальных исследований создавалась при реализации проблемных программ и планов РАН, а их координация выполнялась президиумом РАН и Рабочей группой при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, созданной после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Результаты полученных научных исследований и практических разработок этих проблем в 1997 г. по рекомендации Совета Безопасности и Управления делами Президента Российской Федерации подлежали опубликованию в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и технические аспекты» [7]. К настоящему времени опубликовано 64 тома.

Анализ стратегических рисков России впервые в специальной постановке был выполнен МЧС России, РАН [8]. В последующие годы развитие методов анализа, регулирования, нормирования и управления рисками получило обобщенное название риск-ориентированного подхода, которое нашло свое отражение в законодательной базе и стратегии национальной безопасности [9].

В теории безопасности под рисками понимается сочетание двух важнейших параметров для С-П-Т системы: вероятности (или частоты) возникновения заданного вида указанных опасностей и последствий (или ущерба) от реализации этой опасности в определенный момент времени. В общем виде функционал может представлять из себя интеграл зависимостей или наоборот, а для целого ряда опасных процессов можно ограничиться произведением вероятности на ущерб.

Исходная статистическая информация для получения данных о параметрах и накапливается в ежегодных докладах МЧС России, Ростехнадзора, Росприроднадзора, Росстата и других надзорных органов. Её обобщение содержится в информационно-аналитических справках, подготавливаемых для Совета Безопасности Научным советом при Совете Безопасности РФ, в докладах РАН. Эта информация и расчетные соотношения позволяют дать количественную оценку комплексной безопасности С-П-Т системы в соответствии с требованиями риск-ориентированного подхода, где S_T – запас по рискам ($S_T \geq 1$), назначаемый органами государственного управления с надлежащим научным обоснованием. Безопасность С-П-Т системы обеспечена, если $S_T \geq 1$.

По параметрам рисков и в развитие отечественных и зарубежных нормативно-правовых документов предложено проводить категорирование анализируемых опасных процессов и объектов С-П-Т системы по мере возрастания рисков:

- 1) локальные риски, когда ограниченные потенциальные опасности возникают и реализуются в пределах отдельных элементов С-П-Т системы;
- 2) объектовые риски, когда значимые опасности процессов реализуются в пределах анализируемого объекта;
- 3) местные риски, когда повышенные потенциальные опасности процессов и объектов выходят за пределы объекта;



- 4) региональные риски, когда высокие возникающие и развивающиеся опасности процессов и объектов затрагивают жизнедеятельность жизнеобеспечение регионов;
- 5) национальные риски, когда чрезмерные возникающие и развивающиеся комплексные опасности угрожают всей стране;
- 6) глобальные риски, когда предельно высокие опасности угрожают сопредельным государствам и континентам;
- 7) планетарные риски, когда катастрофические опасности угрожают всей планете.

Из семи указанных риски 1-2 категории можно отнести к рискам, традиционно и нормативно регулируемым; риски 3 категории – к рискам, требующим особых муниципальных и отраслевых процедур определения и регулирования; риски 4-5 категорий – к критически важным рискам, требующим специальных государственных и межгосударственных процедур обоснования, определения и регулирования; риски 6-7 категорий – к стратегически важным рискам, требующим государственного, межгосударственного и общемирового обоснования, определения и регулирования. По данным анализа и обобщения [8] возникших в предшествующие годы и десятилетия опасностей, бедствий, аварий и катастроф в С-П-Т системе на рис. 3 представлена интегральная информация об основных параметрах, и рисков для 1-7 категорий.

Риски по источникам и причинам их возникновения в С-П-Т системе можно разделить на следующие компоненты: R_C – риски в социальной сфере; R_P – риски в природной сфере; R_T – риски в техногенной сфере. Если риски выражены в экономических показателях, то их можно суммировать. Используя указанное выше категорирование рисков по семи категориям для С-П-Т системы, можно построить предельные и допускаемые трехмерные поверхности её состояний по рискам (рис. 4).

Принципиально важной задачей обеспечения комплексной безопасности СП-Т системы является [8] предварительное обоснование и назначение категорий анализируемых опасных ситуаций с возрастающими рисками штатных – в соответствии с проектными решениями; отклонения от штатных; проектных аварийных; запроектных аварийных, катастрофических; гипотетических с катастрофическими последствиями.

По мере усложнения анализируемых ситуаций и роста рисков возрастают неопределенности в оценках всех параметров, что требует увеличения запасов по рискам в итоговом выражении. Для надлежащего определения рисков и безопасности требуется проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, конструкторско-технологических работ, контрольно-надзорных и нормативно-технических мероприятий с обязательными расчетными затратами.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что для реализации концепций и стратегий развития

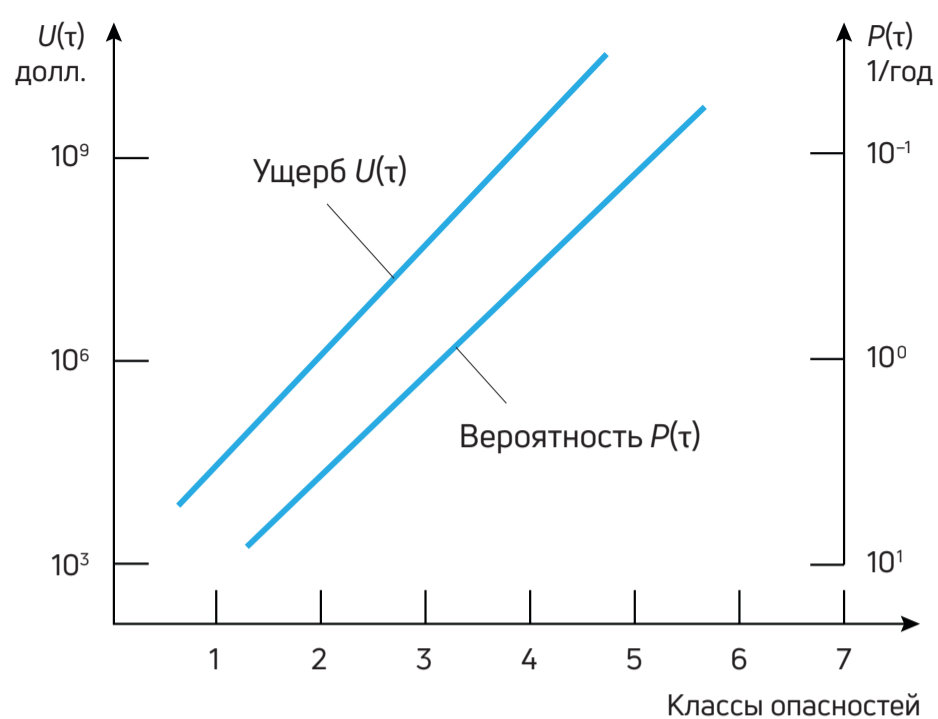


Рисунок 3. Ущерб и вероятности для опасных процессов и объектов С-П-Т системы

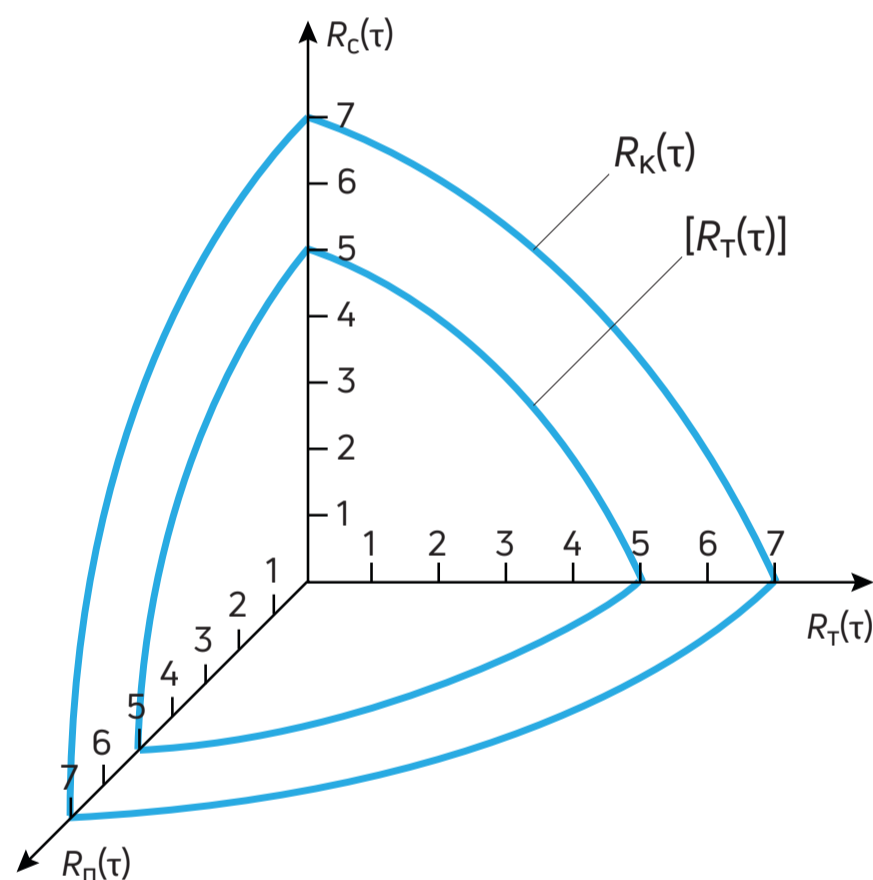


Рисунок 4. Поверхности предельных и допускаемых состояний С-П-Т системы по категориям рисков

С-П-Т системы жизнедеятельности и жизнеобеспечения можно достичь величин на уровне 2-10, что означает такое же снижение затрат $ZR(\tau)$ по сравнению с реальными ущербами и рисками от возникших и непредупрежденных бедствий, аварий и катастроф.

Стратегия национальной безопасности как базовый документ для дальнейшего развития России предписывает поэтапный переход на использование риск-ориентированного подхода, основные научные элементы которого изложены выше.



5. О репозитории доверенного программного обеспечения

Авторы: **Галдин А.А., Иновенков В.А., Калашников А.М.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 05.07.2023. Секция 8. Информационная и кибербезопасность (Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф.)

Обсуждена концепция централизованного репозитория исходного кода АО «НИИАС» на базе ПО с открытым исходным кодом *GitLab*, позволяющего обеспечить единые подходы для реализации технологий безопасной разработки ПО в части:

- централизованного подключения к ПО *AppScreeener* АО «НИИАС»;
- взаимодействия с ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД»;
- централизованного хранения и контроля доступа к интеллектуальной собственности Института;
- структурирования текущей кодовой базы Института.

Создание реестра доверенных программ и библиотек должно упростить и ускорить сам процесс разработки за счёт включения в реестр не только ПО, разработанного в Институте, но и стороннего, прошедшего соответствующие проверки на предмет отсутствия недеklarированных возможностей и уязвимостей. Такой подход позволит стандартизировать используемые библиотеки и программы.

Процесс проверки и выдачи заказчику дистрибутива ПО должен исключать возможность разработчика вносить изменения в исходный код после проверки анализаторами. Решением данной проблемы может послужить создание единой фермы сборки и тестирования ПО.

Проанализирована практика использования ПО *AppScreeener* в АО «НИИАС» взаимодействие с ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД». Отмечено, что в настоящее время не так много подразделений Института практикуют проверку кода с использованием ПО *AppScreeener*. Подразделения, которые производят такую проверку, используют ее только при выдаче обновлений для ГВЦ ОАО «РЖД». С начала текущего года зафиксировано 41 обращение в НТК ТИО по вопросу проверки исходного кода с использованием ПО *AppScreeener*. Повторные проверки одного кода – редкость. Анализ предоставляемых исходных данных показал, что в основном для проверки с использованием ПО *AppScreeener* подразделениями АО «НИИАС» направляются инкрементальные обновления и отдельные модули или процедуры, что не всегда дает полную картину проверки. Для проверки направляют и бинарные файлы, причем ГВЦ ОАО «РЖД» иногда на это не обращает внимания, что, по нашему мнению, не совсем корректно.

В настоящее время в ГВЦ ОАО «РЖД» исходный код считается допустимым для установки только без критических ошибок, что не всегда является достаточным. Все процедуры по подготовке кода к проверке, проверка кода и выдача отчета требуют ручной работы, и сами по себе длительны. Так, например, отдельные модули сканируются более суток. При этом при автоматизации процесса сканирования его продолжительность по времени для инициатора проверки была бы значительно сокращена.

Отмечена необходимость синхронизации настроек и версий ПО *AppScreeener* АО «НИИАС» и ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД» для исключения расхождений в отчетах о проверке, а также повышение нагрузки на обслуживающих специалистов, а также времени отклика на экстренно возникшую потребность оперативной проверки изменения кода или добавления внешних библиотек при создании единого *GitLab* для АО «НИИАС».

Подтверждена актуальность вопросов отказоустойчивости и удобства администрирования единого репозитория и необходимость включения, используемого ПО с открытым исходным кодом, а также библиотек в единый *GitLab* АО «НИИАС» и его проверки анализаторами кода. При этом рекомендовано ограничение репозитория на первом этапе только централизованным хранением релизных версий ПО с обеспечением их автоматизированной проверки ПО *AppScreeener* АО «НИИАС» и ПО *AppScreeener* ГВЦ ОАО «РЖД».

Достигнута договоренность о проведении на регулярной основе семинаров по данной тематике с учётом практической ценности проведённого семинара и актуальности тематики.

Отмечена важность разработки проекта и вариантов регламента, «дорожной карты» создания и внедрения единого доверенного репозитория исходных кодов и ПО в АО «НИИАС».

Высказано предложение по организации рабочей группы для выработки решений по созданию доверенного репозитория исходных кодов и ПО АО «НИИАС» и отмечена необходимость инициации инвестиционного проекта «Создание и внедрение единого доверенного репозитория исходных кодов и ПО в АО «НИИАС» с формированием паспорта проекта, план-графика проекта и рабочей группы проекта.

6. Применение широкополосных сетей связи на базе технологии LTE на железнодорожном транспорте. Придание стандарту LTE статуса железнодорожной электросвязи. Стандартизация LTE

Авторы: **Вериго А.М., Шурдак А.В.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 06.09.2023. Секция 6. Системы телекоммуникаций и передачи данных (Вериго А.М., Шурдак А.В.)

Рассмотрено положение дел с основными проектами и существующими сетями LTE на сети железных дорог. Отмечено, что на станция Челябинск-Главный реализу-

ется масштабный проект «Цифровая железнодорожная станция» (далее – ЦЖС). Станция оборудования системой радиосвязи TETRA, также развернут сегмент сети >>>

LTE 1800 МГц в составе 5 базовых станций с ядром сети Nokia. В составе модуля 16 проекта ЦЖС запланированы работы по замене радиоканала TETRA на радиоканал стандарта LTE, (выполняются Отделением телекоммуникаций и систем передачи данных института). Известно, что по программе ЦЖС на эту систему нагружается целый перечень технологических задач, включая задачи по беспилотному управлению маневровыми локомотивами. Учитывая, что пропускная способность системы также ограничена, необходимо разумно распределить ресурс системы. В противном случае может возникнуть ситуация, при которой реализация технологических задач будет невозможна. Поэтому необходимо определить перечень технологий, основанных на использовании радиосвязи, оценить нагрузку, создаваемую каждой из технологий, и при очевидной необходимости откорректировать проектные решения, использовать другие частотные диапазоны и радиосредства (наиболее каналоемкая технология – управление маневровыми локомотивами без машиниста, парк маневровых локомотивов на станции составляет 40 единиц).

Отмечено состояние разработки сети МШБД LTE 1800 МГц на МЦК. Минтранс России продолжает работы по подготовке процедуры передачи сети на баланс ОАО «РЖД». Завершение процедуры ожидается до конца текущего года, после чего можно будет рассматривать вопрос проверки/восстановления работоспособности сети, ее дооснащения для выполнения задач беспилотного вождения электропоездов «Ласточка» и проведению испытаний по сопряжению ядра сети Huawei с базовыми станциями других производителей.

На станции Бекасово-Сортировочное завершены 3, 4 и 5 этапы контрольных эксплуатационных испытаний радиооборудования различных производителей оборудования LTE. Признано целесообразным продолжение работы по разработке условий совместного использования диапазона 350-370 МГц с радиоэлектронными средствами военного назначения совместно с Минобороны России (запланировано в рамках работы по организации радиосвязи для ВСЖМ-1). При развитии систем LTE следует обратить внимание на проблему обеспечения синхронизации. Отмечено, что не решен вопрос по проведению масштабных испытаний локомотивной радиостанции стандарта LTE.

Основной объем работ по направлению радиосвязь для технологии «виртуальная сцепка» выполняет компания «АВП-технологии», которая взаимодействует с ООО «Апогей». Перед этой организацией, поставляющей радиомодемы «М-Линк», поставлена задача разработки универсального модема DMR+М-Линк. Однако не ясны действия «Апогея» по данному вопросу. Необходимо уточнить состояние вопроса и принять соответствующие решения. В случае отказа «Апогея» необходимо определить универсальное решение по модему 160 МГц для оборудования локомотивных радиостанций передачи данных. Также необходимо продолжить работы по созданию наземной инфраструктуры системы М-Линк.

Воронежский государственный технический университет (ВГТУ) совместно с ООО «НПП АСС» выполняет работы по созданию российского комплекса подвижной спутниковой связи с использованием сигналов с расширением спектра на базе существующей наземно-космической инфраструктуры, а также создаваемых центральной станции и абонентских станций спутниковой связи. Признано возможным и перспективным направлением сотрудничества создание и проведение испытаний комплекса средств железнодорожной спутниковой радиосвязи для предоставления услуг по передаче голоса и небольших объемов данных, аналогичных по характеристикам системе *Iridium*, применявшейся в ОАО «РЖД» до изменения геополитической обстановки.

С учетом существующих наработок ВГТУ и АО НПП «АСС» в сложившихся условиях необходимости перехода на использование отечественных спутниковых средств представляется целесообразной и своевременной постановка в ОАО «РЖД» научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме «Разработка спутниковой системы железнодорожной радиосвязи с разделением каналов по форме».

Выполнение предлагаемой НИОКР возможно в 2 этапа: отработка системотехнических решений в низких широтах с использованием группировки геостационарных спутников на первом этапе; перенос системотехнического решения в высокие широты на основе применения группировки низколетящих и квазигеостационарных космических аппаратов по мере развития указанных спутниковых группировок.

7. Нормирование показателей надежности больших систем на примере сети железных дорог

Автор: **Новожилов Е.О.** По материалам заседания Семинара ИМАШ РАН-НИИАС от 15.11.2023. Секция 7. Управление активами, надёжностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.)

7.1. Эксплуатационные показатели надежности объекта

Классические показатели надежности, характеризующие безотказность объекта, его способность к восстановлению и готовность (как комплексный показатель), предусматривают, что объект может иметь только два состояния: работоспособное и неработоспособное. Такой объект будем считать «простым» объектом [10].

Эксплуатационные показатели надежности простого объекта формируются на основе данных наблюдения за объектом в процессе его эксплуатации.

Пусть простой объект является:

- восстанавливаемым;
- обслуживаемым;
- предназначенным для непрерывного и длительного применения.



Неработоспособное состояние этого объекта возникает вследствие отказа (выполнять требуемые функции) и продолжается до восстановления работоспособного состояния. Таким образом, этот объект либо работает, либо находится на восстановлении после отказа.

В результате наблюдения за объектом мы получаем информацию о моментах времени отказа и восстановления, откуда известны интервалы наработок между отказами t_{o1}, t_{o2}, t_{o3} и так далее, и интервалы времени до восстановления $t_{в1}, t_{в2}, t_{в3}$ и так далее, а также количество r отказов (которое равно количеству восстановлений).

Очевидно, что если произошел отказ простого объекта и он находится на восстановлении, то в течение времени до восстановления последующий его отказ произойти не может (т.к. в это время объект не работает). Поэтому важной особенностью простого объекта является то, что сумма интервалов времени до восстановления (за интервал наблюдения T_n) не может превысить сам интервал наблюдения T_n .

За некоторый интервал наблюдения T_n из интервалов наработок между отказами и интервалов времени до восстановления могут быть сформированы следующие показатели:

- суммарная и средняя наработки между отказами;
- суммарное и среднее время до восстановления;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

При этом для простого объекта суммарная наработка между отказами и суммарное время до восстановления вместе составляют величину интервала наблюдения.

В качестве основных эксплуатационных показателей надежности простого объекта применяются следующие:

- среднее время до восстановления;
- интенсивность отказов;
- коэффициент готовности.

Для удобства практического применения данные показатели выражаются через интервал наблюдения T_n и следующие первичные показатели:

- количество отказов r за интервал T_n ;
- суммарное время T_b до восстановления за интервал T_n .

Существуют так называемые «сложные» объекты, которые характеризуются наличием частично работоспособного состояния. Это означает, что такой объект состоит из нескольких частей и существует такое подмножество его отказов, при возникновении которых отказывает только одна из частей и при этом работоспособность объекта полностью не прекращается. Таким образом, сложный объект имеет три состояния: работоспособное, неработоспособное и частично работоспособное.

Далее будем рассматривать сложный объект, у которого отказы его частей взаимно независимы и у которого не бывает отказа, вызывающего полное прекращение работы объекта.

Например, таким сложным объектом является цех, выпускающий продукцию и включающий 10 конвейерных линий с одинаковой производительностью. В случае отказа одной из линий цех не переходит в неработоспособное состояние, а продолжает функционировать в режиме сниженной производительности (или эффективности). Таким образом, отказ одной линии можно считать

частичным отказом сложного объекта, переводящим его в частично работоспособное состояние.

Важной особенностью сложного объекта является то, что последующий его отказ (отказ его части) может произойти до момента восстановления после текущего отказа.

При условии достаточной надежности частей сложного объекта, ситуацию, в которой откажут все его части, можно считать практически невероятной. Тогда такой объект всегда будет находиться в работоспособном или частично работоспособном состоянии. Очевидно, что в этом случае для рассматриваемого сложного объекта (в целом) интервал наработки между отказами утрачивает смысл, поскольку этот интервал характеризует часть времени, которую объект работал (а рассматриваемый сложный объект не прекращает работу).

Для случая, когда сложный объект включает N одинаковых простых объектов, показатели надежности такого объекта могут быть приведены к одному простому объекту.

Поскольку все N простых объектов одинаковы и работают в одинаковых условиях, то количество r отказов сложного объекта, полученное за интервал наблюдения T_n , должно равномерно распределиться по N объектам. Также и суммарное время T_b до восстановления сложного объекта должно равномерно распределиться по N объектам. Тогда в пересчете на один простой объект:

$$r_1 = \frac{r}{N}, T_{в1} = \frac{T_b}{N}$$

С учетом этого, можно получить основные показатели надежности, приведенные к одному простому объекту и оценивать по ним эксплуатационную надежность сложного объекта. Следует отметить, что среднее время до восстановления, приведенное к одному простому объекту, не отличается от среднего времени до восстановления сложного объекта (т.к. является удельным показателем затрат времени на устранение одного отказа). Особенностью сложного объекта, представимого в виде N одинаковых простых объектов является то, что суммарное время T_b до восстановления (за интервал наблюдения T_n) не может превысить произведение $N \times T_n$.

Вероятности нахождения сложного объекта, включающего N одинаковых простых объектов:

- в полностью неработоспособном состоянии $P_{нр}$ (когда 0 из N объектов работоспособны);
- в частично работоспособном состоянии $P_{чр}(n)$ (когда n из N объектов работоспособны);
- в полностью работоспособном состоянии P_p (когда все N объектов работоспособны)
- могут быть определены на основе биномиального распределения вероятностей

$$P_{нр} = \frac{N!}{(N-0)!0!} (p_p)^0 (1-p_p)^{N-0} = (1-p_p)^N,$$

$$P_{чр}(n) = \frac{N!}{(N-n)!n!} (p_p)^n (1-p_p)^{N-n}$$

$$P_p = \frac{N!}{(N-N)!N!} (p_p)^N (1-p_p)^{N-N} = (p_p)^N$$

В вышеприведенных формулах p_p – вероятность работоспособности простого объекта в текущий момент времени (которая представляет собой коэффициент готовности простого объекта). >>>

Из таблицы 1 видно, что с ростом N :

- полностью неработоспособное состояние становится крайне маловероятным (в случае, когда у простого объекта $p_p = K_r = 0,99$ уже при $N = 5$ этой вероятностью можно пренебречь);
- вероятность нахождения сложного объекта в частично работоспособном состоянии растет; при этом при больших N распределение вероятности $P_{чр}$ имеет максимум в точке $n = p_p \times N$.
- вероятность нахождения сложного объекта в полностью работоспособном состоянии падает, поскольку вероятность неработоспособности хотя бы одного из N простых объектов при росте N будет возрастать.

Поэтому если рассматривать сложный объект с очень большим N , то следует отметить, что он практически всегда будет находиться в частично работоспособном состоянии.

Ситуация усложняется, когда сложный объект нельзя представить в виде нескольких одинаковых простых объектов, функционирующих независимо. Это имеет место, например, в следующих случаях:

- сложный объект включает неодинаковые простые объекты;
- сложный объект включает объекты, не являющиеся простыми (например, часть простых объектов имеет резервирование);
- существуют неизвестные (не полностью известные) взаимозависимости между функционированием простых объектов, составляющих сложный объект;
- условия эксплуатации простых объектов в составе сложного объекта различаются;
- возможности восстановления простых объектов в составе сложного объекта различаются.

Указанные случаи усложняются при территориально распределенном характере сложного объекта и многоуровневой организационной структуре управления таким объектом.

Для сложного объекта время работоспособности не является разностью интервала наблюдения и суммарного времени неработоспособности (поскольку во время восстановления части объекта работоспособность его в целом не прекращается).

При высокой надежности частей большого сложного объекта, в произвольный момент времени работоспособно подавляющее большинство этих частей. Так что, если пренебречь долей неработоспособных частей, то можно считать, что наработка между отказами для простого объекта заменяется на наработку между моментами возникновения отказов для сложного объекта, и в этом случае суммарная наработка за интервал наблюдения становится равной этому интервалу: $T_o^* = T_H$.

В этом случае вместо интенсивности отказов вводится частота отказов, а вместо коэффициента готовности (в связи с заменой интенсивности на частоту) вводится немного другой по смыслу коэффициент, который можно считать коэффициентом сохранения эффективности (поскольку такое понятие применяется в отношении сложных объектов).

Графики на рис. 5 показывают зависимость значений коэффициента готовности и коэффициента сохранения эффективности от суммарного времени T_B до восстанов-

Таблица 1

Вероятности нахождения сложного объекта для N одинаковых простых объектов: для неработоспособного состояния; для частично работоспособного и для полностью работоспособного состояния

N	$P_{чр} (n = 0)$	$P_{чр} (n = 1 \dots N-1)$	$P_p (n = N)$
1	1×10^{-2}	0	0,99
2	1×10^{-4}	$1,980000 \times 10^{-2}$	0,9801
5	1×10^{-10}	$4,900995 \times 10^{-2}$	0,95099
10	1×10^{-20}	$9,561792 \times 10^{-2}$	0,9043821
20	1×10^{-40}	0,1820931	0,8179069
50	1×10^{-100}	0,3949939	0,6050061
100	1×10^{-200}	0,6339677	0,3660323
200	1×10^{-400}	0,8660203	0,1339797
500	1×10^{-1000}	0,9934295	$6,570483 \times 10^{-3}$
1000	1×10^{-2000}	0,9999568	$4,317125 \times 10^{-5}$

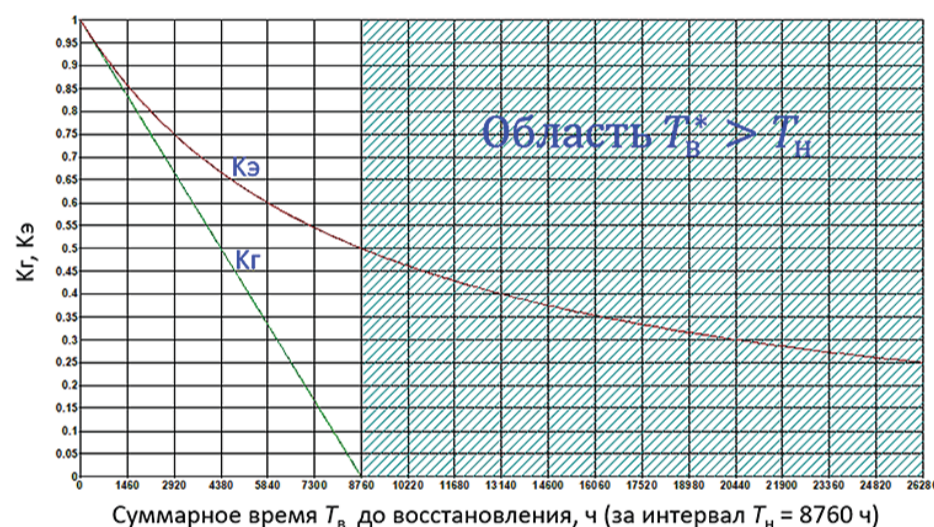


Рисунок 5. Различия коэффициента готовности и коэффициента сохранения эффективности

ления при фиксированном значении величины интервала наблюдения 8760 часов (что соответствует 1 году).

Из графиков видно, что:

- в области значений около 1 оба коэффициента практически совпадают;
- коэффициент готовности не применим в случае если суммарное время до восстановления превышает интервал наблюдения;
- коэффициент сохранения эффективности применим практически при любом соотношении T_B и T_H .

Следует отметить, что в случае, когда суммарное время до восстановления в несколько раз превышает интервал наблюдения, $K_э$ будет принимать сравнительно малые значения. По привычной сопоставимости с коэффициентом готовности, это может интерпретироваться как низкая надежность сложного объекта. Но с учетом того, что данный показатель подлежит нормированию, оценка надежности объекта будет выполнена путем сопоставления нормируемого и фактического значений $K_э$, что обеспечит объективную оценку.

7.2. Эксплуатационные показатели надежности большой системы (на примере железнодорожного пути сети железных дорог)

Среди ведущих железных дорог мира российские железные дороги занимают третье место по протяжен-



ности железнодорожных линий. Общая протяженность составляет 85,6 тыс. км, из них 44,3 тыс. км электрифицировано. Это говорит о том, что сеть железных дорог, а также ее подсистемы, являются большими техническими системами.

Под сложной системой понимается объект, предназначенный для выполнения заданных функций, который может быть разделен на части (компоненты, элементы), каждый из которых также выполняет определенные функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы. Сеть железных дорог является большой и сложной технической системой, состоящей из множества подсистем, узлов, деталей, агрегатов, систем управления и т.п. Большими системами на железнодорожном транспорте являются железнодорожный путь (85,6 тыс. км), контактная сеть (44,3 тыс. км), сеть связи ВОЛС (более 57 тыс. км) и другие системы.

Ярким примером статистических данных об отказах и восстановлениях сложного объекта являются данные об отказах 3 категории комплексной автоматизированной системы КАСАНТ для объекта «верхнее строение пути».

Например, по данным за 2019 г. зафиксировано 158 794 отказа 3 категории, суммарное время до восстановления составило 2 209 460 ч (это в 250 с лишним раз превышает длительность годового интервала наблюдения!).

При применении формул для оценки эксплуатационной надежности простого объекта к рассматриваемому объекту очевидно, что (кроме среднего времени до восстановления) данные формулы не применимы в виду невыполнения условия $T_B < T_H$.

Применение формул для оценки эксплуатационной надежности сложного объекта, представимого в виде N одинаковых простых объектов, к рассматриваемому объекту дает приемлемые результаты, но сложность состоит в выборе N (поскольку верхнее строение пути не представляется возможным разделить на N одинаковых объектов, эксплуатирующихся в одинаковых условиях). Здесь N было установлено эмпирическим путем как количество перегонов и станций на сети.

Следует отметить, что данные выражения также применяются при нормировании показателей и должны обеспечивать корректные вычисления.

Применение формул для оценки эксплуатационной надежности сложного объекта, не представимого в виде N одинаковых простых объектов, к рассматриваемому объекту дает приемлемые результаты.

Здесь следует отметить, что поскольку система показателей – другая, то их значения отличаются. Но поскольку данные выражения будут применены при нормировании показателей, то этим будет обеспечено корректное сопоставление фактических и нормируемых значений.

7.3. Нормирование показателей надежности большой системы

Среди известных видов нормирования надежности получили распространение следующие:

Нормирование на основе экономических оценок. Нормируемые показатели надежности определяются путем сопоставления усредненных значений ущерба, вызываемого отказами системы, и затрат, которые снижают

этот ущерб. Кривая суммы затрат и ущерба в общем случае имеет минимум. Оптимальный уровень надежности, соответствующий этому минимуму, принимают в качестве нормируемого значения;

Нормирование на основе расчетов затрат на повышение надежности. Строятся кривые затрат, вкладываемых в систему на повышение надежности, в зависимости от величины показателя надежности. Нормируемый уровень надежности выбирается по части кривой на которой существенное увеличение затрат не влияет на заметное увеличение надежности.

Нормирование на основе экспертных оценок. Выделяется круг специалистов (экспертов), которым предлагается количественно оценить уровень надежности, по их мнению, являющийся оптимальным. Полученная по ответам экспертов оценка может служить нормируемым уровнем надежности [11]. К данному виду оценки относится способ, при котором норматив определяется на основе опроса потребителей;

Ретроспективный анализ. Данный подход позволяет нормировать показатели надежности на основе прошлого опыта функционирования системы. По данным, полученным в результате статистической обработки ретроспективной информации о надежности, можно получить оценку достигнутого уровня надежности при определенных принципах принятия решения (схемах, системе обслуживания, параметрах элементов системы и т. д.) и перенести эту оценку на перспективу. Такой способ широко используется в настоящее время в различных странах, однако область применения ограничена, поскольку его нельзя использовать при проектировании систем с новой технологией, изменении системы обслуживания, внедрении новых видов оборудования и т.д.

Для больших систем железных дорог подход на основе ретроспективного анализа является приемлемым, поскольку:

- в информационных системах содержится необходимый объем данных практически по всем объектам оценки;
 - для подходов на основе экономических показателей, как правило, недостаточно исходных данных.
- Алгоритм нормирования показателей надежности на основе статистических данных за прошедшие периоды включает следующие основные этапы:
- определение вида объекта («верхнее строение пути»);
 - анализ статистических данных по отказам и восстановлениям объекта за предшествующие периоды;
 - определение размерности объекта и интервала наблюдения;
 - выбор теоретических распределений плотности вероятности, их параметров, для количества r отказов и суммарного времени T_B до восстановления;
 - определение квантиля распределения плотности вероятности заданной обеспеченности $r_{доп}$ (для количества отказов) и $T_{B,доп}$ (для суммарного времени до восстановления);
 - вычисление значений нормируемых показателей надежности – допустимого среднего времени до восстановления ($t_{B,доп}$), допустимой интен- >>>

сивности или частоты отказов ($\lambda_{\text{доп}}/f_{\text{доп}}$), допустимого коэффициента готовности или сохранения эффективности ($K_{\text{г.доп}}/K_{\text{э.доп}}$) по формулам для эксплуатационных показателей.

При этом одной из задач является обеспечение масштабирования нормируемых значений (с учетом изменения доверительных границ) при изменении размерности объекта оценки («вся сеть» – «служба пути железной дороги» – «дистанция пути» – «участок пути») и интервала наблюдения (12 мес., 6 мес., 3 мес., 1 мес.).

Принимая во внимание задачу обеспечения масштабирования нормируемых значений для заданной размерности объекта оценки и заданного интервала наблюдения, с учетом того, что известны статистические данные за несколько лет наблюдения, в частности, количество отказов за указанный период, представляется целесообразным применение мультиномиального распределения вероятностей.

Сформированная структура ячеек содержит m ячеек одинаковой размерности (по вертикали показаны одинаковые части сложного объекта, по горизонтали – одинаковые интервалы наблюдения).

Если принять допущение, что вероятность возникновения отказа в каждой ячейке одинакова, то распределение n отказов, которые по статистическим данным прошлых периодов произошли на сложном объекте в целом, за время, равное сумме интервалов наблюдений, по m ячейкам будет описываться мультиномиальным законом.

На практике «одинаковость» частей объекта реализуется системой переводных эталонных коэффициентов (как это делается в системе УРРАН), а «равнозначность» интервалов наблюдения – введением «коэффициентов сезонности» (то есть, принятые допущения могут быть обеспечены).

Для задачи установления допустимого значения количества отказов представляет интерес вероятность того, что в ячейке с максимальным количеством отказов их будет не более v . Суммирование по i выполняется для всех разбиений числа n на m частей (упорядоченных по невозрастанию значений), у которых $n_1 \leq v$. В ходе анализа множества алгоритмов вычисления вероятностей распределения мультиномиального максимума получена аппроксимация квантиля функции распределения на основе непрерывной функции распределения Гумбеля для наибольших значений. Данное выражение позволяет найти квантиль для заданной доверительной вероятности α (в формуле B, A – соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение функции распределения мультиномиального максимума с параметрами $n, m; \mu, \sigma$ – соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение стандартного распределения Гумбеля для наибольших значений, $\mu = 0,577216; \sigma = 1,28255$).

Суммарное время T до восстановления после r отказов с приемлемой для практики точностью представляется с помощью гамма-распределения (здесь τ – ожидаемая величина времени до восстановления).

Если известна плотность $p(r)$ распределения вероятности количества отказов, то суммарное время T до восстановления выражается сверткой распределений (для

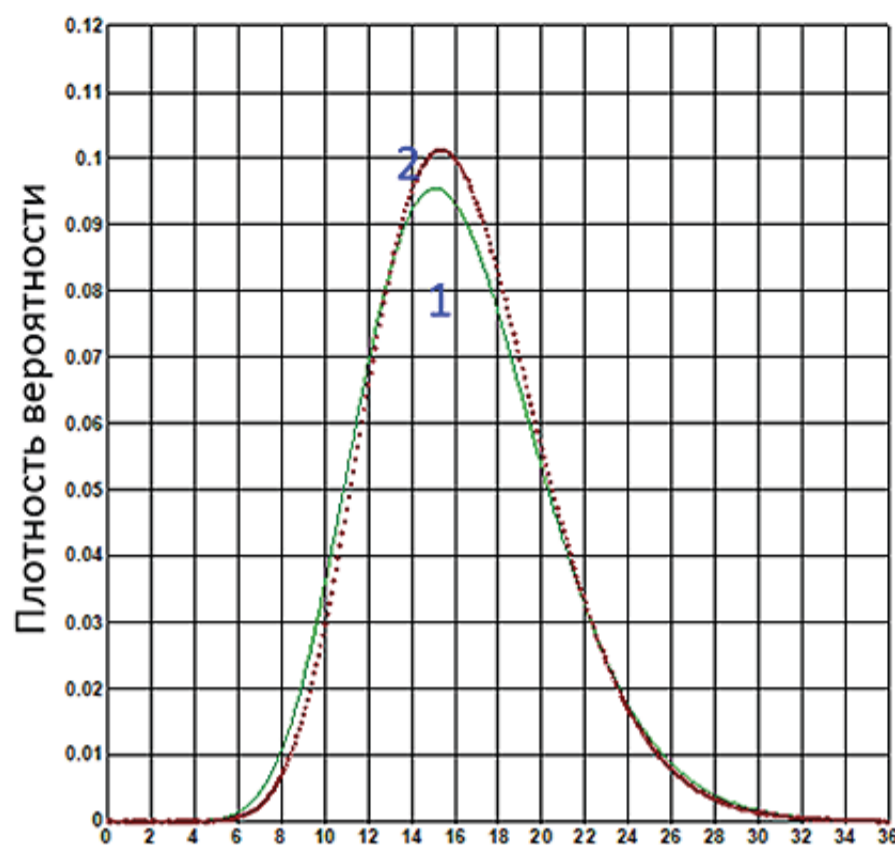


Рисунок 6. Кривые плотностей вероятности суммарного времени до восстановления

распределения мультиномиального максимума может быть применена аппроксимация в виде непрерывной плотности распределения вероятности по Гумбелю; основной задачей при этом является определения математического ожидания B и среднеквадратического отклонения A функции распределения мультиномиального максимума с параметрами n, m – что выполняется с помощью компьютерных алгоритмов).

Упрощенное выражение для плотности распределения вероятности суммарного времени до восстановления (с учетом мультиномиального распределения вероятности отказов) получено путем разложения подинтегральной функции в предыдущей формуле в ряд Тейлора (с удержанием только первого члена ряда). Здесь c – ожидаемое значение количества отказов (вместо c здесь следует применить значение мат. ожидания B функции распределения мультиномиального максимума):

$$f(T) \approx \frac{\left(\frac{T}{\tau}\right)^{c-1}}{\tau \cdot \Gamma(c)} \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)$$

Переход к нормированному гамма-распределению (учитывая, что $T = c \times t$) с целью получения плотности распределения вероятности среднего времени t до восстановления дает выражение:

$$f(t) = \frac{c}{\tau \cdot \Gamma(c)} \left(\frac{ct}{\tau}\right)^{c-1} \exp\left(-\frac{ct}{\tau}\right)$$

На графике (рис. 6) показаны кривые плотностей вероятности суммарного времени до восстановления, где первая кривая получена путем компьютерного моделирования по формуле свертки, а вторая – по упрощенной формуле.

Здесь применялось распределение мультиномиального максимума в виде аппроксимации по Гумбелю с параметрами $n = 1024, m = 128$; при этом $B = 16,352$ и $A = 1,4053$. >>>

Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	СУММА
<i>r</i>	20143	81351	75997	117232	167919	158794	145796	767232
<i>T_в</i>	346701,3	1695436	975497,5	1626008	2290079	2209460	1616590	10759771,8
<i>t_в</i>	17,212	20,841	12,836	13,87	13,638	13,914	11,088	14,024

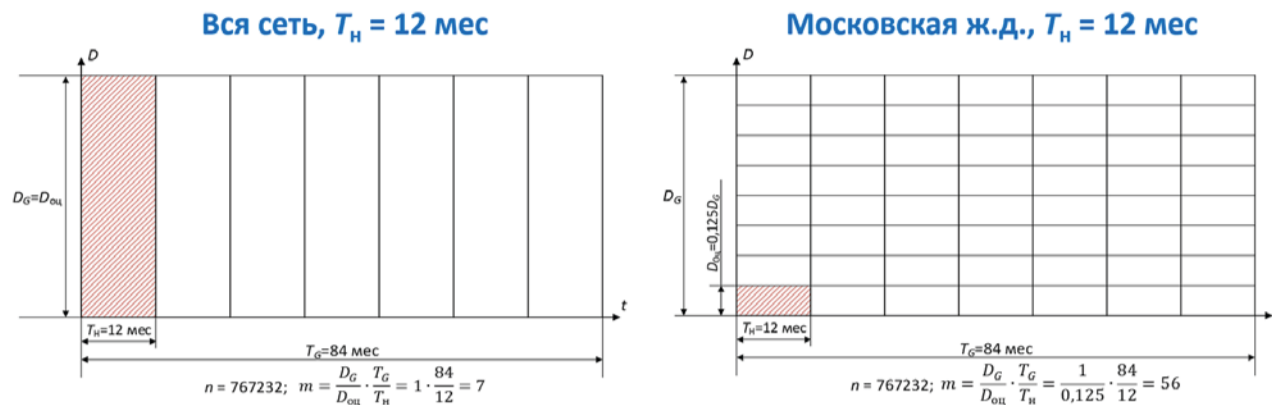


Рисунок 7. Определение размерности части объекта и интервала наблюдения

7.4. Пример нормирования показателей надежности большой системы

Исходные данные для нормирования показателей надежности представлены для объекта «верхнее строение пути», «вся сеть» в виде количества отказов технических средств 3 категории за 7 годовых интервалов (с 2014 по 2020 г.), то есть 84 месяца, и суммарного времени до восстановления за эти же годовые интервалы.

Для примера выберем два варианта (рис. 7):

- объект «верхнее строение пути», «вся сеть», интервал наблюдения 12 мес.;
- объект «верхнее строение пути», «Московская ж.д.», интервал наблюдения 12 мес.

Структура ячеек для первого варианта содержит 7 ячеек (то есть, *m* = 7), а для второго – 56 ячеек (*m* = 56), поскольку большой интервал наблюдения 84 мес. разделяется на 7 равных частей по 12 мес. Во втором варианте также и «вся сеть» разделяется на 8 одинаковых объектов, каждый из которых по размерности равен Московской железной дороге.

Параметры мультиномиального распределения: *n*=767232 (суммарное количество отказов объекта «вся сеть» за 84 месяца); *m* = 7 или *m* = 56 (количество ячеек) – вычисляется как обратная величина произведения доли размерности объекта оценки и доли интервала наблюдения.

С помощью обратных функций распределения мультиномиального максимума вычисляются значения квантилей (на графике приведены квантили с обеспеченностью 0,9 – 110274 и 14038; для справки: средние значения (*n/m*) равны соответственно 109605 и 13701, смещения от среднего составляют 0,61% и 2,46% – небольшие, т.к. количество отказов большое и размерность объекта сравнительно большая).

Плотности распределения суммарного времени до восстановления (рис. 8) получены на основе гамма-распределения с учетом распределения количества отказов. При этом ожидаемое значение времени до восстановления, согласно статистическим данным за 84 мес. наблюдений, принято равным 14 часам.

Плотности распределения среднего времени до восстановления (рис. 9) получены путем перехода к нормированному гамма-распределению. Здесь оба графика имеют одинаковое масштабирование.

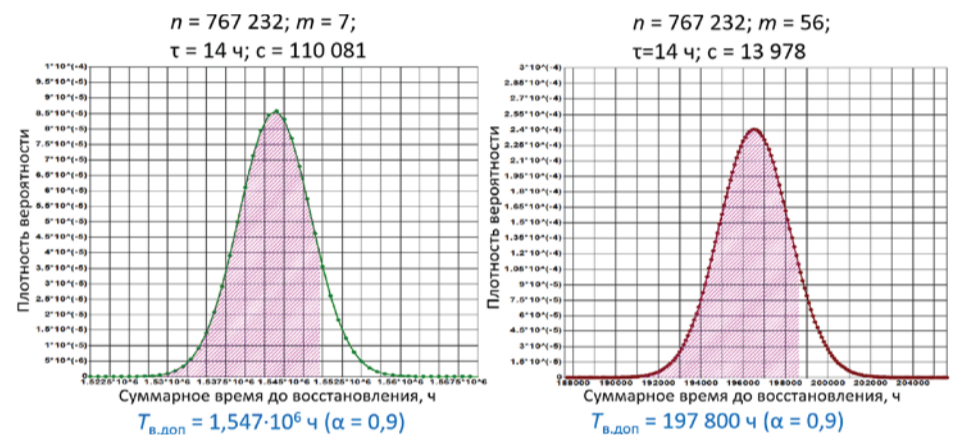


Рисунок 8. Плотности распределения суммарного времени до восстановления

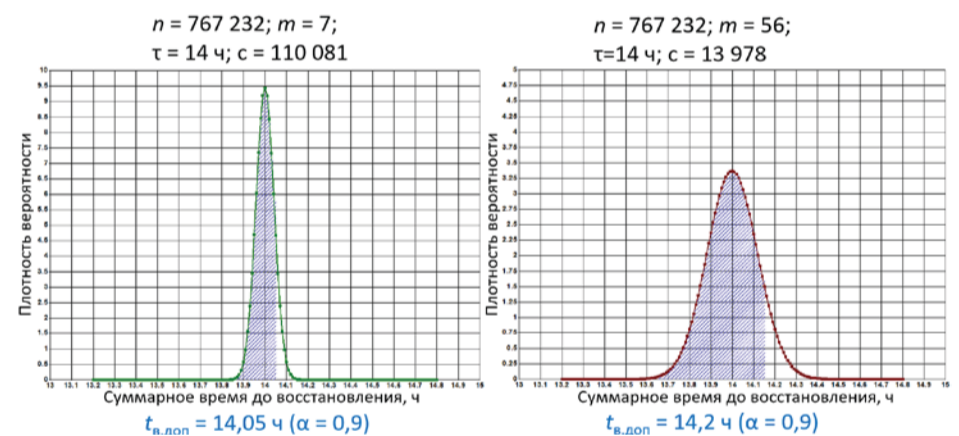


Рисунок 9. Плотности распределения среднего времени до восстановления

Из графиков видно, что с уменьшением размерности объекта дисперсия увеличивается (то же относится и к уменьшению величины интервала наблюдения).

Результаты нормирования показателей надежности получены из допустимых значений количества отказов и суммарного времени до восстановления с применением формул для расчета эксплуатационных показателей:

<p>Верхнее строение пути, вся сеть, интервал 12 мес. (ОТС 3 кат.)</p> $t_{в,доп} = 14,05 \text{ ч}$ $f_{доп}^* = \frac{T_{доп}}{T_n} = \frac{110274}{8760} = 12,588 \text{ 1/ч}$ $K_{э,доп}^* = \frac{T_n}{T_n + T_{в,доп}} = \frac{8760}{8760 + 1,547 \cdot 10^6} = 0,00563$	<p>Верхнее строение пути, Московская железная дорога, интервал 12 мес. (ОТС 3 кат.)</p> $t_{в,доп} = 14,2 \text{ ч}$ $f_{доп}^* = \frac{T_{доп}}{T_n} = \frac{14038}{8760} = 1,6025 \text{ 1/ч}$ $K_{э,доп}^* = \frac{T_n}{T_n + T_{в,доп}} = \frac{8760}{8760 + 197800} = 0,0424$
---	--



Список литературы

1. Озеров, А. В. Техническое зрение в современной системе управления движением поездов / А. В. Озеров, А. Л. Охотников // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2023. – С. 620-625. – DOI 10.30932/9785002182794-2023-620-625. – EDN JKXFVK.
2. Оценка безопасности и бесперебойности работы системы управления маневровым локомотивом с техническим зрением / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг, И. А. Панферов [и др.] // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 30-37. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-30-37. – EDN IMFXZO.
3. Система калибровки для бортовых систем технического зрения / С. В. Кудряшов, П. А. Попов, М. Г. Меткий, К. Г. Фуярчук // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 5. – С. 31-33. – EDN VJDFEX.
4. Распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочных горках / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(64). – С. 52-61. – DOI 10.52170/1815-9265_2023_64_52. – EDN DWANWS.
5. Махутов, Н. А. Стратегические риски в сложной социально-природно-техногенной системе / Н. А. Махутов // Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 26–27 апреля 2022 года / Российская академия наук, Международный независимый эколого-политологический университет, Государственный университет управления. Том Выпуск 1. – Москва: Государственный университет управления, 2022. – С. 70-76. – EDN HSRPJP.
6. ГНТП «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф»: концепция и итоги работы 1991-1992 гг., гл. редактор Н.А. Махутов. – М.: ВИНТИ, 1993. – 349 с
7. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и технические аспекты. – М.: МГОФ «Знание», т.т. 1-64, 1998 – 2022.
8. Стратегические риски России: оценка и прогноз. Под ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: Деловой экспресс, 2005. – 379 с.
9. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400.
10. Новожилов, Е. О. Нормирование количества отказов сложного объекта с применением мультиномиального распределения / Е. О. Новожилов // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 4-12. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-4-12. – EDN VTIZBA.
11. Бочков, А. В. Определение априорного распределения наработки на отказ уникальных высокоответственных элементов экспертным методом / А. В. Бочков // Надежность. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 13-23. – DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-1-13-23. – EDN SUHLNQ.

УДК: 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

Векторы цифровой трансформации железных дорог

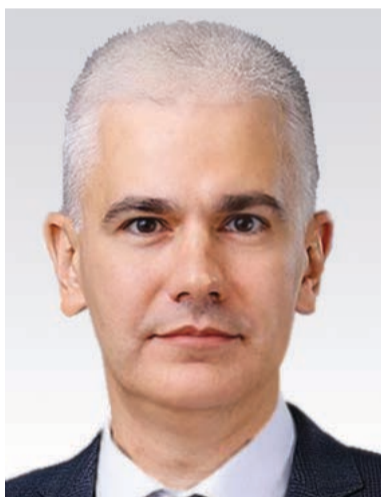
Vectors of digital transformation of railway transport

Кудюкин В.В., Заместитель Генерального директора, АО «НИИАС»,
E-mail: v.kudukin@vniias.ru, Москва, Россия

Kudyukin V.V., Deputy General Director, JSC NIIAS, E-mail: v.kudukin@vniias.ru, Moscow, Russia

Озеров А.В., Начальник Международного управления, АО «НИИАС»,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия

Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIIAS, E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Цифровая трансформация железных дорог предусматривает переход к предиктивному техническому обслуживанию и ремонту объектов железнодорожного транспорта, а также к адаптивному планированию и управлению всем железнодорожным транспортным комплексом с применением цифровых методов сбора, обработки и передачи данных. В статье сделан обзор и проведен анализ ряда ключевых направлений цифровизации железнодорожного транспорта с описанием основных задач, существующих ограничений и трендов развития, с учетом опыта Российской железных дорог.

Ключевые слова: транспорт, автоматизация, роботизация, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), предиктивная аналитика, аналитика больших данных, Big Data, Data Science, BIM, IoT, FRMCS, 5G-R.



Abstract

The digital transformation of railways provides for a transition to predictive maintenance of railway assets, as well as adaptive planning and management of the entire railway system with the application of digital tools for collecting, processing and transmitting data. The article provides an overview and analysis of some key areas of railway digitalization while specifying some tasks, existing limitations and trends, with the experience of Russian railways as well taken into account.

Keywords: transport, automation, robotics, maintenance and repair, predictive analytics, Big Data analytics, Big Data, Data Science, BIM, IoT, FRMCS, 5G-R.



Введение

На концептуальном уровне цифровая трансформация железных дорог подразумевает смену эксплуатационно-управленческой парадигмы и переход к принципам индустрии 4.0, базирующимся на новых производственных моделях, напрямую связанных с интенсивным использованием информационно-коммуникационных технологий. Так, например, в работе [1] транспортная система 4.0 постулируется как модель интеллектуального взаимодействия транспортных киберфизических систем, обладающих свойствами «self-x» и способных к самоконфигурации, самоуправлению и самовосстановлению.

Цифровая трансформация железных дорог является следствием развития и широкого проникновения цифровых методов обработки и передачи информации, автоматизации и роботизации технологических процессов в транспортную отрасль, логистику, бизнес и промышленность [2].

Структурно цифровая железная дорога, как комплексная «сквозная» технология взаимодействия элементов между собой, представляет собой «систему систем», состоящую из связанных между собой киберфизических железнодорожных объектов (активов) стационарного и мобильного типа, информационно-управляющих потоков, центров хранения и обработки данных, набора стандартов, правил, регламентов и протоколов взаимодействия. При этом каждый актив имеет свой жизненный цикл, обуславливающий специфику планирования его технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [3].

В стратегиях цифровой трансформации железных дорог разных стран, включая Российские железные дороги, весьма значительное внимание уделяется пересмотру существующей практики ТОиР железнодорожных активов по принципу «ремонт после отказа», а также автоматизации системы управления ТОиР с возможностью реализации поддержки принятия решений на основе риск-ориентированного подхода. Внедрение современных информационных систем управления ТОиР является одним из базовых условий обеспечения бесперебой-

ного перевозочного процесса в условиях возрастания грузопассажиропотоков и ограниченности финансовых ресурсов, а также важнейшим инструментом оптимизации расходов на содержание железнодорожных активов, в первую очередь инфраструктурных. К примеру, доля основных фондов инфраструктуры ОАО «РЖД», владельца крупнейшей транспортной сети в Российской Федерации, составляет более 60% от общей стоимости основных средств, а доля эксплуатационных затрат на объекты инфраструктуры составляет порядка 35% от общего объема затрат [4].

Эффективное управление ТОиР зависит от наличия актуальной, достоверной и структурированной информации о текущем техническом состоянии железнодорожного актива. Источниками такой информации все чаще становятся беспроводные датчики (сенсоры) различного типа, в том числе датчики технического (машинного) зрения, однако большая часть входных данных по-прежнему формируется вручную и имеет низкое качество, т.е. невысокую достоверность. Это должно учитываться в современной информационной системе ТОиР, в которой должна быть предусмотрена возможность интеллектуального анализа больших данных на основе технологии Data Science с построением динамических моделей состояния железнодорожных активов и оценки категорирования объектов контроля на основе индикаторов раннего предупреждения факторов риска. В ОАО «РЖД» такой подход реализуется в рамках проекта УРРАН (рис. 1).

Для построения эффективных моделей предиктивной аналитики в задачах оценки надежности железнодорожных активов и принятия решений по их техническому обслуживанию исследуются как классические методы машинного обучения (метод главных компонент, метод опорных векторов, деревья решений, случайный лес, логистическая регрессия и метод ближайших соседей), так и методы глубокого обучения, основанные на искусственных нейронных сетях (ИНС) [5].

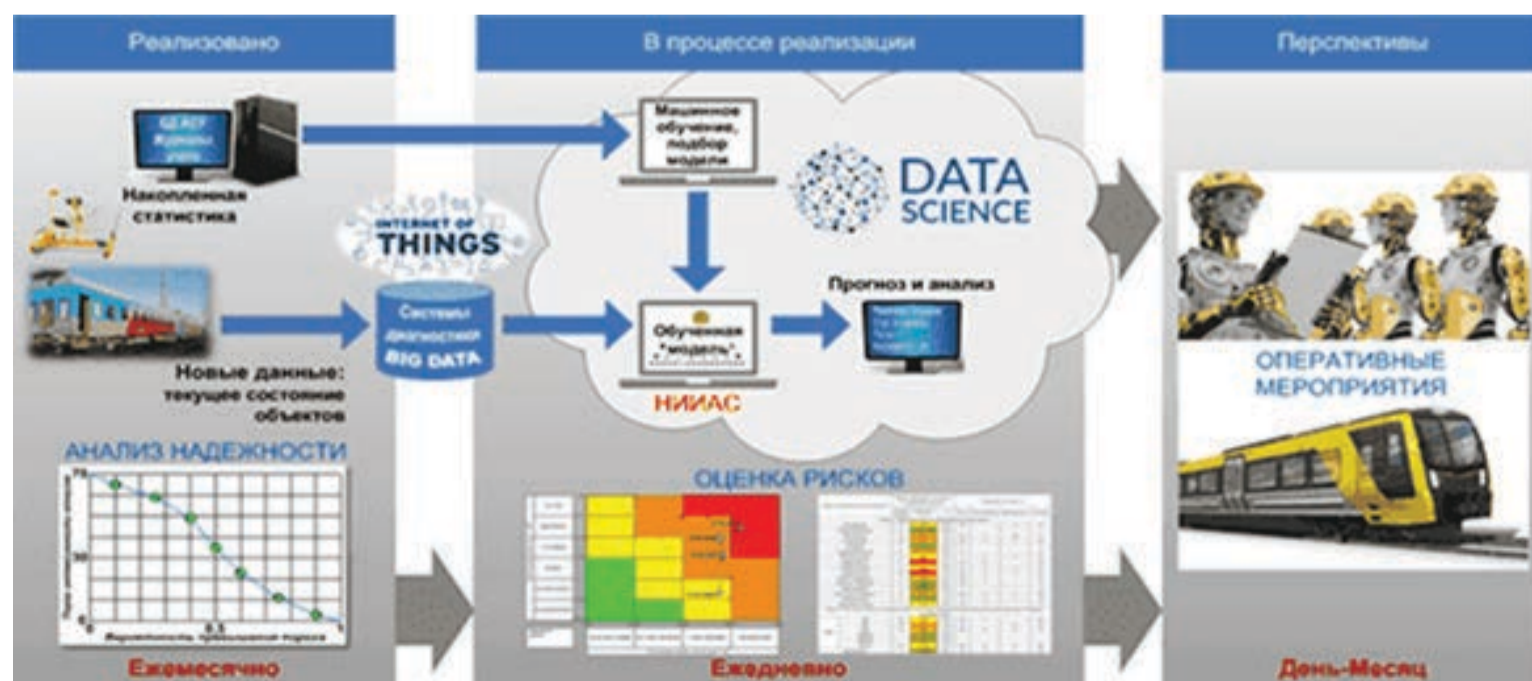


Рисунок 1. Совершенствование системы управления ТОиР инфраструктуры



Активное использование ИНС, в том числе сверточных нейронных сетей (СНС), в железнодорожном секторе вызвано в первую очередь широким применением датчиков технического зрения (видеокамер различного типа, лидаров и пр.) в составе интеллектуальных диагностических комплексов, робототехнических комплексов (РТК), бортовых модулей обнаружения препятствий, тестируемых в проектах создания беспилотных поездов, и т.д.

Внедрение автоматизированных комплексов, основанных на данных технологиях, позволяет в том числе минимизировать количество процессов, предполагающих участие человека в непосредственном контакте с подвижным составом, – а значит, выводит работников из зоны риска. Так, например, в ОАО «РЖД» идет массовое внедрение мультифункционального диагностического комплекса «Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС)», цель которого сформировать единую межхозяйственную аппаратно-программную платформу для обеспечения перехода к малолюдным технологиям в процессе технического и коммерческого осмотра подвижного состава (рис. 2).

В составе ППСС реализованы функциональные возможности как существующих систем (КТСМ, ПАК, КТИ), так и новые функциональные возможности на основе технологий машинного зрения (распознавание инвентарных номеров вагонов, знаков опасности, надписей «с горок не спускать», определение завывшения/занижения фрикционных клиньев, наличие и толщины тормозных колодок и др.), лазерного сканирования (выявление отрицательной динамики, нарушений габарита, смещения грузов, повреждений кузова и др.), тензометрии (измерение массы, определение неравномерной загрузки или смещения грузов, обнаружение дефектов поверхностей катания колес).

Другим перспективным направлением исследований в области обеспечения безопасности перевозочного процесса и эксплуатации объектов железнодорожного транспорта является разработка распределенных высокотехнологичных систем мониторинга объектов путевой инфраструктуры на основе волоконно-оптической сенсорики (ВОС). Актуальность и преимущество ВОС в условиях протяженных линейных объектов, таких как железнодорожный путь, заключается в возможности предоставления полной непрерывной информации, в отличие от традиционных стационарных систем диагностики и мониторинга на основе точечных (локальных) датчиков, которые не дают непрерывной информации о техническом состоянии всего объекта, а только в контрольных точках [6].

Применение распределенных датчиков на основе ВОС позволяет проводить непрерывный мониторинг протяженных линейных объектов, решая задачи выявления деформационных процессов в подстилающих грунтах железнодорожного пути, определения напряжений и температуры в рельсовых плетях и элементах конструкций искусственных сооружений, а также обнаружения несанкционированного проникновения в охраняемые зоны объектов железнодорожной инфраструктуры (кабельные канализации, полоса отвода, искусственные сооружения и др.). Большой спектр решаемых задач дает

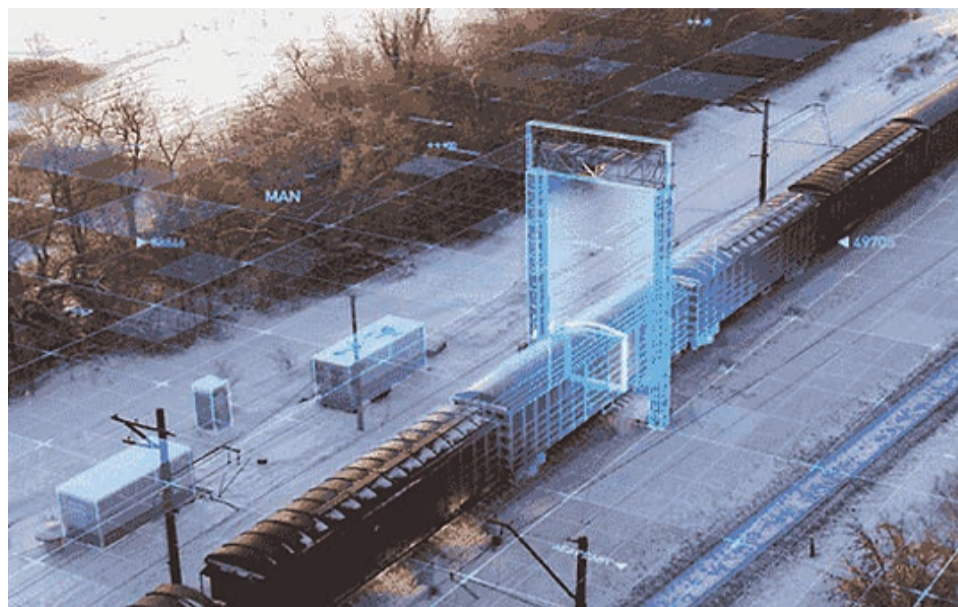


Рисунок 2. Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях

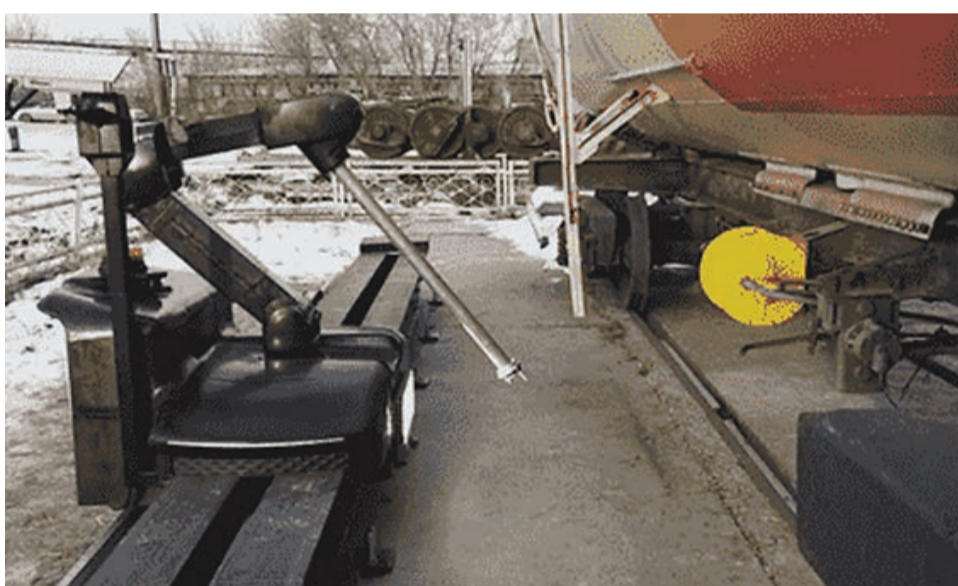


Рисунок 3. Манипулятор робототехнического комплекса

возможность использовать ВОС в качестве базового источника информации при создании комплексной системы обеспечения безопасности.

Большое будущее у специализированных робототехнических комплексов (РТК), которые начинают внедряться в ОАО «РЖД» для выполнения операций, связанных, например, с отпуском тормозов грузовых вагонов в парке приема, расцепкой вагонов перед сортировочной горкой и т.п. (рис. 3).

Еще одна область применения РТК – технический осмотр подвагонного пространства. В таких РТК для проведения осмотра используются камеры технического зрения и высокоточные лазерные лидары, а сам манипулятор РТК перемещается по обзорной канаве на колесной платформе. Применение РТК для указанных операций позволяет вывести человека из опасной зоны, а также устранить негативное влияние человеческого фактора при выявлении неисправностей, исключив риски, связанные с безопасностью движения поездов [7,8,9,10].

Отдельное большое направление внедрения и тестирования технологий технического зрения и машинного обучения разного вида – создание автономных (беспилотных) поездов. Данная работа ведется в рамках более широкой концепции «умный поезд», предполагающей перенос части функционала железнодорожной ин-



фраструктуры на борт поезда как в задачах диагностики и мониторинга, так и в задачах управления движением.

Бортовой комплекс средств технического зрения состоит из набора датчиков различной физической природы и различного назначения, а также быстродействующих вычислительных средств с большим объемом памяти, обрабатывающих сигналы этих датчиков в режиме реального времени с использованием алгоритмов машинного обучения, и предназначен для автоматического обнаружения и классификации посторонних объектов на пути движения поезда для принятия решения о соответствующей реакции бортового устройства безопасности (подача звукового сигнала, снижение скорости, экстренное торможение и т.д.). Такие комплексы в последние годы активно тестируются на различных полигонах в разных странах мира, включая Россию (маневровые локомотивы на полигоне ст. Лужская и тестовые электропоезда «Ласточка» на Московском центральном кольце) [11].

В парадигме цифровой железной дороги будущего автономный поезд представляет собой мобильный «самосознающий» киберфизический объект (систему) с увеличенной, но управляемой автономией (то есть может управляться автономно, используя субсидиарную вычислительную модель, но требует общей координации из центра управления [12]. Соответственно, для модели сетевого управления будущего вопрос нахождения границ между автономным и централизованным управлением приобретает особое значение и потребует своего решения по мере успешной реализации проектов по созданию автономных транспортных средств.

В этой связи следует отметить, что не менее активно развивается направление, связанное с применением сетевых методов управления на основе облачных вычислений и мультиагентных технологий, при этом центры управления перевозками (ЦУП) получают совершенно новые возможности в части адаптивного планирования и оперативного реагирования на риски нарушения перевозочного процесса за счет платформенных решений предиктивной аналитики, интеграции с системами автоматической установки маршрутов и межмашинного взаимодействия с бортовыми локомотивными устройствами автоведения (рис. 4) [13, 14].

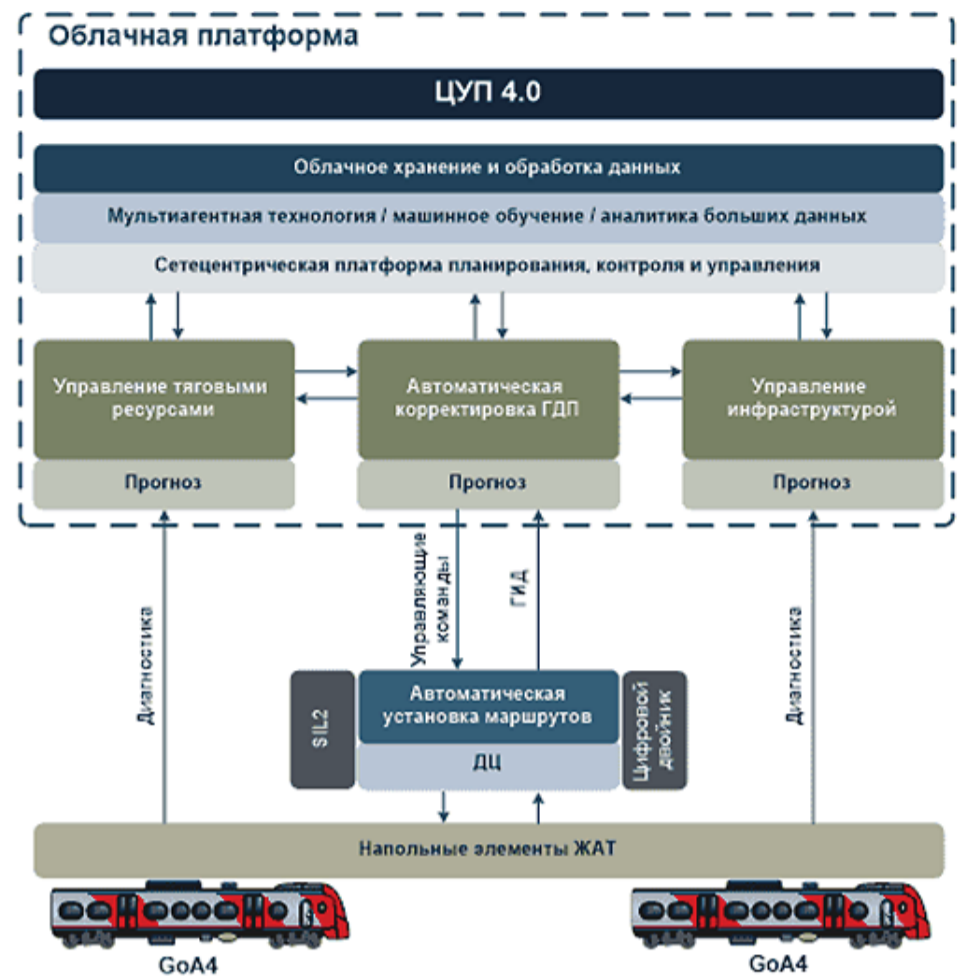


Рисунок 4. Целевая модель ЦУП 4.0

По мнению некоторых авторов, использование методов предиктивной аналитики на основе технологии Data Science, способных выявлять скрытые корреляции и тренды и прогнозировать развитие риска на основе различных индикаторов раннего предупреждения, в контуре интеллектуального управления перевозочным процессом позволит в будущем обеспечить повышение устойчивости железнодорожной транспортной системы к возмущающему воздействию негативных факторов разной этиологии [15]. По мере отработки технологии прогнозирования на основе аналитики больших данных станут, вероятно, полноценно учитываться и столь неопределенные факторы риска, как природные явления и изменения спроса, которые могут как вызывать нарушения перевозочного процесса, так и не вызывать их (рис. 5).

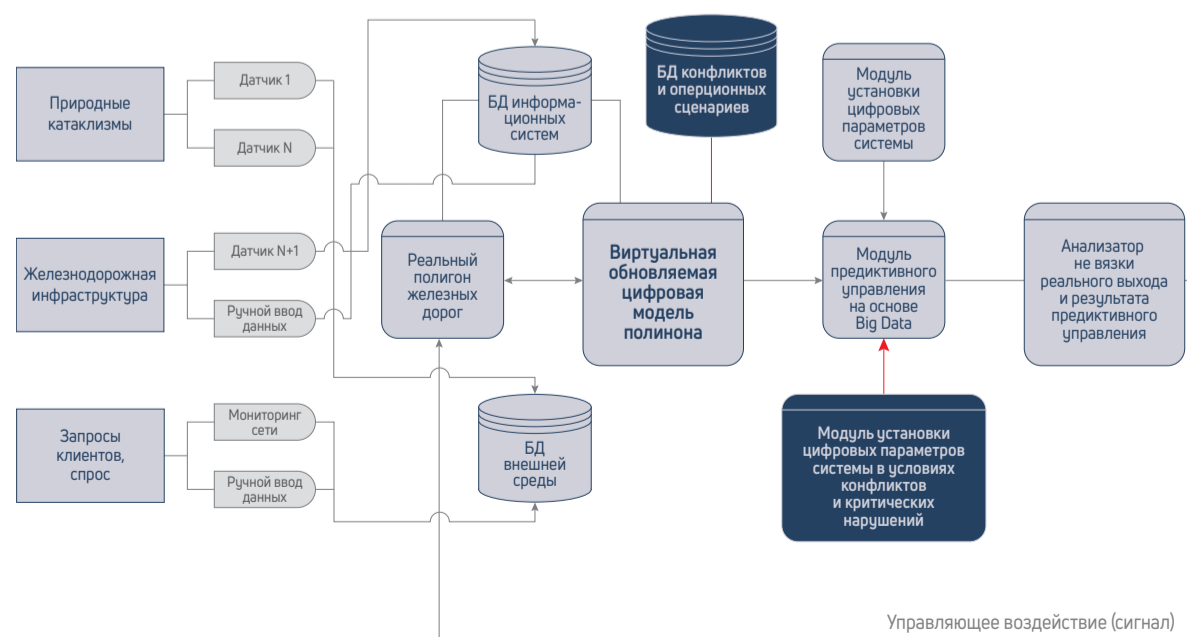


Рисунок 5. Схема предиктивного управления на основе аналитики больших данных



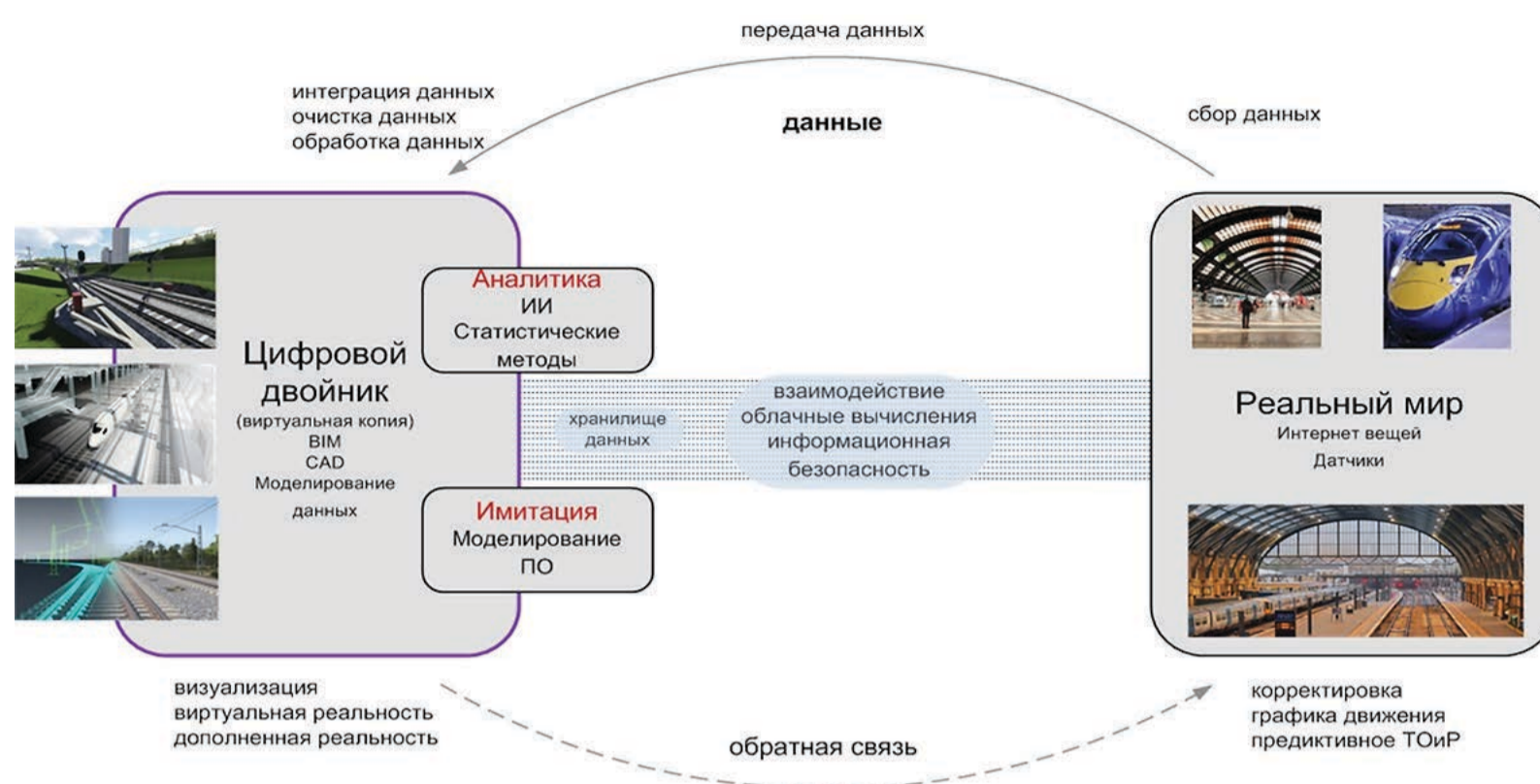


Рисунок 6. Схема взаимодействия цифрового двойника и активов

Для классификации входящей информации и эксплуатационных событий могут использоваться такие методы Data Science, как логистическая регрессия, метод опорных векторов, методы кластеризации (различными алгоритмами), байесовские регрессии и др. Для решения задач перестроения (корректировки) графика движения поездов (ГДП) могут быть применимы адаптивные методы случайного поиска, дерево решений, ИНС [16].

Одна из сложностей применения аналитики больших данных состоит в их разнообразии, гетерогенности, неструктурированности, зашумленности и избыточности. Помимо данных, поступающих от киберфизических систем (датчиков, видеокамер, навигационных спутниковых приемников и т.д.), генерируются большие объемы данных в продолжении всего жизненного цикла железнодорожных активов (от стадии проектирования до стадии технического обслуживания и взаимодействия с потребителями), а также значительный объем бизнес-данных [17].

Тем не менее, технология *Big Data* имеет большие перспективы в железнодорожной отрасли. Железнодорожные компании агрегируют большие объемы разнородных данных и могут получить значительные экономические эффекты от внедрения аналитики больших данных. Однако в железнодорожной отрасли присутствует целый ряд факторов, сдерживающих ее внедрение, среди которых – ограничения существующей инфраструктуры сбора, хранения и передачи данных, высокая стоимость инвестиций и отсутствие готовых специализированных платформ аналитики больших данных. Кроме того, на данный момент явно недостаточно специалистов в области машинного обучения и *Data Science* со знанием специфики железнодорожного транспорта, которые могли бы квалифицированно заниматься построением виртуальных моделей с применением программ машинного обучения и последующей верификацией полученных результатов.

При этом следует понимать, что с помощью методов *Big Data* невозможно конвертировать системы с ручным вводом данных в автоматические системы. Ясно

также, что с помощью технологии *Big Data* невозможно обрабатывать и создавать информацию, если нет необходимых данных, и именно с этой целью должно более активно развиваться еще одно ключевое направление цифровизации – Интернет вещей (IoT), которое предполагает разработку и массовое внедрение распределенных цифровых датчиков различного назначения, связанных в единую киберфизическую сеть и позволяющих осуществлять непрерывный мониторинг состояния стационарных и мобильных железнодорожных активов.

Внедрение цифровых технологий неизбежно приводит к необходимости описания железнодорожных активов в цифровом формате, то есть к созданию цифровых двойников железнодорожных активов. По своей сути, цифровые двойники – это виртуальное воспроизведение динамического рабочего состояния реального физического объекта, системы или процесса на основе регистрации широкого спектра параметров различными датчиками и их обработки с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ) в режиме реального времени (общая схема представлена на рис. 6).

Концепция цифрового двойника взаимосвязана с технологией BIM – информационным моделированием, базирующемся на цифровом представлении физических и функциональных свойств объекта в виде BIM-модели. BIM-модель охватывает все этапы жизненного цикла объекта: планирование, составление технического задания, проектирование и анализ, выдача рабочей документации, производство, строительство, эксплуатация и ремонт, демонтаж. В настоящее время в большинстве стран внедрение технологии BIM все еще находится на начальном этапе. Среди основных причин – отсутствие отраслевых стандартов для создания моделей данных; высокая стоимость первоначальных вложений, связанных с закупкой оборудования и ПО; дефицит квалифицированных кадров, подготовленных для работы с BIM-технологиями в железнодорожном секторе; необходимость изменения бизнес-процессов организации при внедрении BIM-технологий [18].



Цифровое описание пространственно-распределенной транспортной системы имеет принципиальное значение для решения широкого спектра железнодорожных задач – от проектирования, строительства, содержания и ремонта пути и инженерных сооружений до координатного управления поездами и поездопотоками, включая организацию движения беспилотных поездов. Наиболее эффективно данные задачи решаются при наличии единой системы пространственных данных с унифицированными правилами и методами создания, хранения и актуализации цифровых моделей пути с высокоточной координатной привязкой.

Цифровые модели перегонов и путевого развития станций являются важнейшим элементом цифровой железной дороги и в том числе служат для создания имитационных моделей – основного на данный момент инструмента для исследования различных эксплуатационных аспектов работы железнодорожного транспорта, начиная от оценки перспектив пропускной способности участков и заканчивая определением набора технических и технологических решений по развитию его объектов. Имитационное моделирование станций и перегонов участка позволяет решать ряд фундаментальных задач: поиск и анализ ограничивающих элементов в работе железнодорожных станций и перегонов, формирование вариантов инфраструктурного и технологического развития этих объектов, оценка предложенных вариантов на основе качественных и количественных параметров, полученных в процессе моделирования, тестирование новой технологии работы в условиях безрисковой среды [19].

Комплексное имитационное моделирование является эффективным цифровым инструментом обоснованного выбора организационно-технических мероприятий для решения ключевой задачи современных железных дорог – повышение пропускной и провозной способности в условиях ограниченности финансовых ресурсов и наличия лимитирующих факторов инфраструктуры.

Важнейшим элементом решения указанных задач является переход к управлению потоками поездов за счет внедрения новых принципов интервального регулирования. Отказ от традиционной светофорной сигнализации и использование цифрового радиоканала как дополнительного контура управления позволяет обеспечить динамически регулируемый интервал попутного следования с его сокращением до 2-3 минут в случае необходимости. Это обеспечивается благодаря внедрению комплексной технологии интервального регулирования на перегонах и главных путях станций и реализации принципа подвижного блок-участка. Не менее перспективным техническим решением является организация пакетного движения поездов (в том числе беспилотных) на принципах виртуальной сцепки (следующие друг за другом поезда с уменьшенным интервалом в пакете) [20].

В этой связи важным направлением цифровизации является развитие высокоскоростных сетей связи на железнодорожном транспорте. Существующие стандарты беспроводной связи типа GSM-R не обеспечивают выполнения нового класса задач. Поэтому в последние годы ведется разработка нового стандарта FRMCS («Система железнодорожной радиосвязи нового поколения»),

который должен заменить к 2030 году стандарт GSM-R и другие узкополосные сети связи.

В качестве базовой технологии рассматривается широкополосная система радиосвязи 5G, которая должна быть адаптирована к нуждам и специфике железных дорог (5G-R). Планируется, что будущий железнодорожный стандарт 5G-R обеспечит возможность построения многофункциональной мультисервисной сети на железнодорожном транспорте, которая позволит решать различные задачи технологической радиосвязи, управления и обеспечения безопасности движения поездов, диспетчеризации, IoT, широкополосного доступа пассажиров к цифровым услугам, а также создания полноценных цифровых двойников железнодорожных активов и перехода к интеллектуальной адаптивной системе планирования и управления перевозочным процессом [21].

Активное внедрение цифровых технологий на железнодорожном транспорте неизбежно ведет к необходимости создания и совершенствования комплексных систем поддержки принятия управленческих решений нового поколения с использованием современных возможностей цифровых систем сбора, обработки и передачи данных. В итоге, при успешном решении указанных выше организационных, технологических и технических вопросов, можно ожидать, что цифровая трансформация приведет к целому ряду фундаментальных изменений на железнодорожном транспорте, включая следующее:

1. Сквозная роботизация процесса ТОиР с обеспечением межмашинного взаимодействия.
2. Переход от систем дескриптивной природы к системам поддержки принятия решений, основанным на методах предиктивной аналитики, с решением многокритериальных задач обработки неструктурированных или плохо структурированных данных.
3. Непрерывный мониторинг текущего состояния железнодорожных активов за счет широкомасштабного внедрения распределенных датчиков IoT, связанных в единую сеть.
4. Внедрение субсидиарных вычислительных моделей и алгоритмов в системах организации взаимодействия автономных транспортных киберфизических систем, обладающих свойством «self-x», совместно с технологией интервального регулирования на основе принципов подвижного блок-участка и виртуальной сцепки.
5. Создание единой системы пространственных данных с высокоточными цифровыми моделями пути всей сети железных дорог.
6. Интеграция методов создания цифровых двойников железнодорожных активов и различных инструментов моделирования и интеллектуального прогнозирования с использованием алгоритмов ИИ.
7. Построение новой парадигмы планирования и управления всеми аспектами транспортного комплекса с использованием адаптивных методов на основе цифровых двойников и кросс-отраслевых платформ аналитики больших данных.
8. Развертывание высокоскоростных сетей связи с возможностью передачи больших объемов данных, в том числе по беспроводным каналам. ■ >>>

Список литературы

1. Козлов, А.В. Субсидиарные модели для транспортных киберфизических систем // А.В. Козлов // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – № 1(22). – С. 17-24.
2. Лёвин, Б.А. Цифровая железная дорога: принципы и технологии / Б.А. Лёвин, В.Я. Цветков // Мир транспорта. – 2018. – № 16(3). – С. 50-61.
3. Озеров, А. В. О некоторых направлениях цифровой трансформации железных дорог / А. В. Озеров, А. М. Сабиров // Современные методы и принципы управления перевозочным процессом на транспорте: Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 17–18 мая 2023 года / Под общей редакцией Г.М. Биленко, И.А. Трушиной. – Москва: Российский университет транспорта, 2023. – С. 247-253.
4. Замышляев, А.М. УРРАН – система управления техническими активами на железнодорожном транспорте // А.М. Замышляев, И.Б. Шубинский, М.А. Бубликова // Труды АО "НИИАС": Сборник статей. Том 1. Выпуск 11. – Москва: Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 67-82.
5. Шубинский, И.Б. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути // И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев, О.Б. Проневич, А.Н. Игнатов, Е.Н. Платонов // Надежность. 2020;20(2):43-53.
6. Кудюкин, В.В. Особенности применения волоконно-оптической сенсорики для систем мониторинга на железнодорожном транспорте / Кудюкин В.В. // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. – № 2 (58). – С. 77-83.
7. Кудюкин, В.В. Роботизация как элемент цифровой трансформации / В.В. Кудюкин, Е.А. Дудоров, А.В. Вуколов, К.А. Котова // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 19-23.
8. Kotova, K. Manipulator control system for railroad transport coupling and braking system maintenance /Kotova K., Dudorov E., Kudyukin V. // В сборнике: Proceedings – 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021. – 2021. – С. 601-605.
9. Кудюкин, В.В. Робототехнический комплекс – компонент цифровой железнодорожной станции / Кудюкин В.В., Тарасов К.А., Чупахин Д.П. // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 8. С. 10-14.
10. Андреев, В.Е. Цифровая железнодорожная станция – от концепции к реальному внедрению / Андреев В.Е., Долгий А.И., Кудюкин В.В., Хатламаджиян А.Е., Гришаев С.Ю., Ольгейзер И.А. // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 2-6.
11. Озеров, А.В. Техническое зрение в составе систем автоматического управления движением поездов / А.В. Озеров, А.С. Маршова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2022): Труды Международной научно-технической конференции, Самара, 18–21 апреля 2022 года. – Самара: Самарский научный центр РАН. – 2022. – С. 201-205.
12. Козлов, А.В. Мобильные subsidiарные системы // А.В. Козлов // Наука и технологии железных дорог. 2019. Т.3. – 4(12). – С.50-56.
13. Розенберг, Е. Н. Центры управления перевозками: эволюция и целевое состояние / Е. Н. Розенберг, А. В. Озеров, Н. О. Бересток // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5, № 3(19). – С. 9-14.
14. Долгий А.И. Облачные технологии для ответственных систем железнодорожного транспорта / А.И. Долгий, Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 11. – С. 20-25.
15. Розенберг, Е.Н. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data / Е.Н. Розенберг, М.Г. Лысыков, А.В. Озеров, А.М. Ольшанский // Техника железных дорог. – 2018. – № 1 (41). –С. 32-33.
16. Озеров, А.В. Система текущей корректировки графика движения поездов с использованием современных методов обработки данных / А.В. Озеров, Г.М. Биленко // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – 2022. – С. 41-46.
17. Озеров, А.В. Предиктивная аналитика с использованием Data Science на железнодорожном транспорте / А.В. Озеров, А.М. Ольшанский, А.П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 4(16). – С. 63-76.
18. Павловский, А.А. К концепции внедрения информационного моделирования в железнодорожном транспортном комплексе / А.А. Павловский, А.В. Озеров, А.П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – № 3(23). – С. 20-31.
19. Гургенидзе, И.Р. Комплекс имитационного моделирования работы железнодорожных станций и участков / Гургенидзе И.Р., Калинин С.В., Халевин Д.Ю., Козловский А.П. // Железнодорожный транспорт. – 2021. – №12. – С. 38-42.
20. Розенберг Е. Н. Цифровая железная дорога – путь в будущее / Е. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 36-41.
21. Озеров, А.В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А.В. Озеров, А.П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – № 1(25). – С. 17-24.

УДК 378; 656

Человеко-центрическое функциональное управление на транспорте

Human-centric functional management in transport

Литвинов В.В., аспирант, РТУ МИРЭА E-mail: litvinov@mirea.ru, Москва, Россия

Litvinov V.V., graduate student, RTU MIREA, E-mail: litvinov@mirea.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Исследуется человеко-центрическое функциональное управление, раскрывается содержание понятия, показана связь этого управления с техническим сетевым управлением. Человеко-центрическое управление использует разные модели: модель когнитивного поля, модель информационного поля и модель «функционального пространства состояний». Пространство функциональных состояний обеспечивает полное представление состояний, которые системы или модели могут занимать. Пространства функциональных состояний обеспечивают также представление процессов и информационных взаимодействий. Это представление соответствует топологической модели, в которой вершины обозначают состояние, а дуги обозначают процессы. Предложенный подход решает три задачи: описание состояния системы; семантическое управление информацией; описание поведения системы или объекта в терминах функционального пространства состояний.

Ключевые слова: транспорт, человеко-центрическое функциональное управление, модель коллективного разума, интеллектуальная система управления, семантическое управление.

Abstract

Human-centric functional management is explored, the content of the concept is revealed, and the connection of this management with technical network-centric management is shown. Human-centric management uses different models: the cognitive field model, the information field model and the "functional state space" model. Functional state space provides a complete representation of the states that systems or models can occupy. Functional state spaces also provide a representation of processes and information interactions. This representation corresponds to a topological model in which vertices represent states and arcs represent processes. The proposed approach solves three problems: describing the state of the system; semantic information management; description of the behavior of a system or object in terms of a functional state space.

Keywords: transport, human-centric functional control, collective intelligence model, intelligent control system, semantic control.



Введение

Человеко-центрическое функциональное управление (ЧЦФУ) является направлением развития сетецентрического управления [1–3] и сетецентрических систем [4, 5]. Сетецентрическое управление основано на сочетании иерархической структуры и сетевой структуры. Областью применения ЧЦФУ являются транспортные ситуационные комнаты, центры управления движением и интеллектуальные транспортные системы.

ЧЦФУ в сфере транспорта использует ряд специальных принципов:

1. Применение принципа subsidiarity [6] для отдельного транспортного средства в нештатной ситуации.
2. Применение коррелятивного подхода [7] для анализа ситуации, окружающей подвижный объект,
3. Использование информационного управления [8] для оперативности анализа и управления.
4. Применение методов теории информации [9] для оценки вероятностных управленческих ситуаций.
5. Применение скользящей модели информационной ситуации для описания окружения объекта транспорта, которое меняется соразмерно перемещению объекта транспорта.
6. Человеко-центрическое управление использует модель когнитивного поля [10] и поэтому является переходным звеном между автоматизированным управлением транспорта и полностью интеллектуальным управлением транспортными средствами. Человеко-центрическое управление опирается на идеологию человеческого интеллекта, но переносит методы анализа в компьютерную или в интеллектуальную область анализа.
7. Человеко-центрическое функциональное управление использует модель информационного поля [11], как модель глобального информационного множества.
8. Человеко-центрическое функциональное управление использует моделирование, которое называют «человеко-центрическое функциональное моделирование». Это моделирование использует модель «функционального пространства состояний» [12]. Это особая модель в параметрическом пространстве управления, которая описывает все состояния объекта транспорта, как состояние движения, так и физическое состояние частей и органов управления объекта.

Последний пункт определяет функциональность такого вида управления. Считается, что функциональные пространства состояний потенциально обеспечивают информационную семантическую модель управления. Информационная семантическая модель управления служит поддержкой информационного управления. Такая модель связывает человеко-центрическое функциональное управление с информационным управлением и с информатикой [13].

Пространство функциональных состояний является новой управленческой моделью и новым информационным ресурсом. Пространство функциональных состояний (*functional state space, FSS*) обеспечивает полное пред-

ставление состояний, которые моделируемые транспортные объекты могут занимать. Пространства функциональных состояний обеспечивают также представление процессов и информационных взаимодействий. FSS обеспечивает извлечение знаний [14]. Человеко-центрическое функциональное моделирование (HCFM) дает возможность решения сложных проблем управления транспорта и организацию человеко-центрического функционального управления.

Основы ЧЦФУ (HCFM)

HCFM дает возможность глобального управления движением, когда информация о подвижном объекте определяется в терминах функциональных пространств состояний. Пространство функциональных состояний является развитием понятия параметрическое информационное пространство.

Подход HCFM дает возможность решать три задачи:

- 1) описание состояния управляемого подвижного объекта или неподвижного объекта транспортной инфраструктуры в терминах функционального пространства состояния;
- 2) семантическое управление объектом транспортной инфраструктуры;
- 3) описание поведения управляемого объекта в терминах функционального пространства состояния.

Эти три задачи коротко звучат: состояние, управление, поведение. Метод, основанный на HCFM [15] моделирует состояние объектов с точки зрения FSS. Это информационное пространство дает возможность описывать не только состояние, но и поведения многих объектов. Построение FSS использует семиотический подход [16]. Для управления FSS применяют оппозиционные переменные [17]. FSS возникла в рамках философии как модель семантических представлений [18].

Топологическая модель FSS есть граф. Она содержит сеть узлов, представляющих два типа узлов. Первый тип представляет параметры и совпадает с узлами параметрического пространства. Второй тип узлов в параметрическом пространстве не встречается. Он описывает функциональные состояния системы. Узлы FSS соединены ребрами, представляющими процессы или переходы, посредством которых система HCFM и соответственно ЧЦФУ переходит из одного функционального состояния в другое. Состояния называют функциональными состояниями, потому что каждое из них определяется не только параметрами, но и всеми функциями, с помощью которых объект или система объектов функционирует.

В пространстве FSS проблемы представляются как отсутствие информации о маршруте, позволяющему объекту в пространстве состояний переходить из одного функционального состояния в другое. Это полная аналогия алгоритмического решения задачи [19]. При этом переходы в FSS ближе к несеквенциальным алгоритмам [20]. Все переходы между функциональными состояниями (все решения) являются одним из двух типов. >>>

Переходы первого типа состоят из прямых переходов из одного функционального состояния в другое (прямые переходы – дуга). Такой переход можно назвать простым, поскольку он соответствует одной информационной единице [21]. Переход второго типа состоит из пошаговых переходов между промежуточными функциональными состояниями и образует маршрут. Такой маршрут соответствует цепочке или группе информационных единиц. Переход второго типа соответствует одной составной модели. В простой интерпретации это информационная ситуация.

Переходы первого типа используют для решения простых вычислений и для качественных описаний или классификаций. Переходы первого типа используют для качественных оценок, например в теории предпочтений [22]. Переходы первого типа используют для решения логических задач, для качественного анализа, для сравнительного анализа. В качественных шкалах не вычислимы. в терминах известных сегментов пути. Переходы первого типа используют в задачах распознавания образов и оценке информативности [23]. Переходы первого типа реализуют путем распознавания шаблонов, идентифицирующих случаи, в которых одно и то же решение применялось для решения проблемы в прошлом.

Переход второго типа используют при рассуждениях и вычислениях. Переход второго типа возникают при наличии цепочки аргументов или цепочки вычислений. Их применяют для решения задач, которые вычислимы в терминах известных сегментов пути. Там, где все возможные переходные процессы могут быть представлены в виде комбинации некоторого базового набора функций, эти функции, как говорят, «охватывают» пространство функциональных состояний, тем самым позволяя представлять каждый возможный процесс или функциональное состояние.

Процессы рассуждения типа 1 и типа 2 применимы и к человеческому познанию [24]. Применительно к познанию или другим интеллектуальным системам любой последовательный процесс может быть представлен как секвенция [20]. Цепочка рассуждений может быть представлена как алгоритм рассуждения или поведения.

Для моделей объектов или информационных систем функциональные состояния в топологическом пространстве являются понятиями или узлами. Переходные процессы в топологическом пространстве являются дугами. FSS или «концептуальное пространство» образует пространство параметров, через которое система движется, когда она достигает цели. Проблема возникает при использовании двух систем. Первая система является интеллектуальной или управляющей. Вторая система является управляемой

Валидное представление проблем и решений в функциональном пространстве состояний интеллектуальной системы, используемой для управления подвижным объектом, не всегда является адекватным представлением проблем и решений в пространстве функциональных состояний самой интеллектуальной транспортной системы.

Маршрут в пространстве состояний интеллектуальной системы не всегда соответствует представлению этого маршрута в пространстве состояний подвижного

объекта. Поэтому возникает задача оценки информационного соответствия [25] реального маршрута интеллектуальной системы и его представлению движения подвижного объекта. Затем задача состоит в том, чтобы решить, как выбрать между использованием функционального пространства состояний интеллектуальной системы и пространства функциональных состояний систем, рассматриваемых интеллектуальной системой

Индивидуальные и коллективные интеллектуальные транспортные системы

Эта часть строится на аналогии человеческого поведения и рассуждения перенесенного в интеллектуальное управление. Человеко-центричное функциональное управление является прототипом для индивидуальных и групповых ИТС. Индивидуальная когнитивная система человека была представлена как обладающая общей способностью решать проблемы, измеряемой общим фактором интеллекта [26]. Некоторые исследователи предполагают, что этот фактор представляет общую способность нечеловеческих интеллектуальных систем решать проблемы, хотя другие с этим не согласны [27]. Предполагается, что все известные сегодня искусственные интеллектуальные системы обладают узкой способностью решать проблемы.

Человеко-центричное функциональное управление предлагает метрику как для узкой способности решения проблем, так и для общей способности решения проблем (если таковая имеется) интеллектуальных систем. Предполагается, что узкая способность решать проблемы — это расстояние, которое можно перемещать через концептуальное пространство в единицу времени, умноженное на линейную плотность понятий вдоль пути этой навигации.

Предполагается, что общая способность к решению проблем ИТС или человеком представляет собой объем концептуального пространства, в котором можно перемещаться в единицу времени, умноженный на объемную плотность понятий, через которые необходимо ориентироваться. Узкая способность решать проблемы нацелена на узкий путь через концептуальное пространство, чтобы решить конкретную проблему, а общая способность решать проблемы нацелена на любой возможный путь через концептуальное пространство, которое способно решить любую проблему в целом.

Определяя коллективное познание группы по аналогии как механизм, позволяющий группе выполнять процессы коллективного рассуждения, была выдвинута гипотеза о том, что группы обладают врожденным коллективным познанием с общей способностью решать проблемы, измеряемой общим фактором коллективного разума [28]. Это коллективное познание отличается от традиционных решений коллективного разума (GCI) тем, что предполагается, что оно обладает общей способностью решать проблемы, где решения частного когнитивного интеллекта, как предполагается, имеют узкую способность решать проблемы. >>>

Развивающаяся наука об общем коллективном разуме (GCI) [29] определяет модель гипотетической платформы, способной действовать как коллективное познание, позволяя индивидам собираться в потенциально массивные сети сотрудничества на самоподдерживающейся основе, где эти сети создают потенциал для экспоненциального увеличения общего фактора коллективного интеллекта по сравнению с уровнем, присутствующим в группе. Это подразумевает значительное увеличение результатов коллективного рассуждения.

Одним из требований GCI для достижения такого значительного увеличения способности решать проблемы является использование человеко-центрического функционального управления для семантического представления информации, чтобы пониманием, а не просто информацией, можно было обмениваться с гораздо большей скоростью и масштабом.

Как уже упоминалось, эти пространства функциональных состояний являются полными представлениями смысла, потому что они описывают полное значение любого функционального состояния в терминах всех функций или процессов, которые потенциально могут быть использованы для перехода в это состояние или из него, и потому что они описывают полное значение и процесс или функцию в терминах функциональных состояний, которые они могут быть использованы для транзита иона в или из него. В случае индивидуальной или коллективной когнитивной системы HCFM предполагает, что все процессы рассуждения могут быть описаны как переход к понятиям или от них (функциональные состояния индивидуального или коллективного познания), и все понятия могут быть описаны в терминах процессов рассуждения, используемых для достижения этих концепций, или в терминах процессов рассуждения, используемых для получения других концепций из этих понятий. Полное представление смысла в случае индивидуальной или коллективной когнитивной системы (то есть полное представление человеческого смысла в области познания) является законченной семантической моделью. В случае систем, отличных от индивидуального или коллективного познания, функциональное пространство состояний также определяет полное представление смысла в данной области.

Увеличение потенциала для решения проблем, связанных с управлением

Для любой системы, которая может быть рассмотрена любой интеллектуальной системой, в каждой области поведения, проявляемой этой системой, система имеет поведение, описываемое некоторым функциональным пространством состояний. С другой стороны, любое представление информационных или рассуждающих процессов, которое является действительным в индивидуальном концептуальном пространстве интеллектуальной системы или в коллективном концептуальном пространстве группы таких систем, представляет собой действительное поведение индивидуальных или коллективных интеллектуальных систем. Но информация о системе, кото-

рая действительна в индивидуальном или коллективном концептуальном пространстве, не обязательно должна описывать действительное поведение рассматриваемой системы. В качестве глупого, но легко запоминающегося примера можно предположить, что свиньи могут летать, и определить действительную семантическую модель этой мысли в концептуальном пространстве. Однако полет не является одним из видов поведения в функциональном пространстве состояний свиньи.

Поскольку задача в пространстве функциональных состояний определяется как отсутствие пути между одним функциональным состоянием и следующим, решение задач в концептуальном пространстве или в любом другом пространстве функциональных состояний подразумевает нахождение этого пути. В случае концептуального пространства это приравнивается к нахождению рассуждений, позволяющих индивидуальному познанию переходить от понятия, представляющего первое функциональное состояние, к понятию, представляющему второе. В случае любого другого функционального пространства состояний это приравнивается к поиску процессов, которые позволяют системе переходить из одного функционального состояния в другое. Для свиньи решение проблемы полета приравнивается к поиску процессов, позволяющих ей перейти из любого состояния, связанного с сушей, в любое воздушно-капельное состояние.

Величина общей способности группы решать проблемы по отношению к системе может быть представлена двумя способами. Одним из представлений является объем коллективного концептуального пространства, в котором группа может перемещаться в единицу времени, умноженный на плотность понятий, через которые должно проходить коллективное познание. Другой — объем пространства функционального состояния системы, в котором группа может перемещаться за единицу времени, умноженный на плотность функционального состояния, через которое система должна пройти, чтобы совершить этот переход. В обоих случаях до сих пор было выявлено три паттерна, которые, по-видимому, имеют потенциал экспоненциального увеличения этого объема, по которому группа может ориентироваться в ходе решения проблем [30]. Затем прогнозируются, что эти закономерности позволят GCI экспоненциально увеличить общую способность группы решать проблемы в отношении этих систем, создавая потенциал для более надежного решения «острых проблем» [31].

Заключение

ЧЦФУ включает человеческий интеллект на уровне создания семантической модели описания движения объекта и на уровне организации переходов второго типа в FSS. Функциональные пространства состояний являются важными компонентом управления, поскольку они объединяют параметрическое пространство и функциональное пространство транспортного объекта. Основное значение ЧЦФУ в возможности создания интеллектуальной системы, основанной на использовании коллективного разума для поддержки принятия решений. Мето- >>>

дическим средством является FSS, техническим средством является ситуационная комната. Существующие ситуационные комнаты решают в основном репрезентационную задачу. Они представляют пространственную ситуацию в визуальной форме и человек является анализатором. ЧЦФУ дает возможность предложение по управлению: «что возможно и что получится». Объединение параметрического и функционального пространства является новым технологическим решением. Это объединение создает потенциал для коллективного достижения экспоненциального увеличения общей способности решать проблемы и, следовательно, создают потенциал для группы экспоненциально увеличивать коллективное воздействие своей исследовательской и другой деятель-

ности. TSS позволяют общему коллективному разуму как интеллектуальной системе потенциально стать двигателем, способным радикально ускорить прогресс в исследованиях поведения и управления транспортом. Оно дает возможность подключения GCI или других интеллектуальных систем. По существу это модель коллективного взаимодействия в ситуационной комнате и центрах управления транспортом. Эта возможность еще не была достигнута никакими другими средствами, Применение коллективного принятия решений или GCI может быть самым важным направлением управления транспортом. Однако для реализации GCI еще предстоит проделать большую работу по разработке методов функционального пространства состояний. ■

Список литературы

1. Кудж С. А. Принципы сетецентрического управления в информационной экономике // *Economic Consultant*. – 2013. – №. 4. – С. 30-33.
2. Сурма И. В. и др. Сетецентрическое управление»: современная парадигма развития систем управления в вооруженных силах ведущих держав мира // *Национальная безопасность*. – 2014. – №. 2. – С. 31.
3. Bashlykova A. A. et al. An approach to ensuring interoperability in network-centric control systems // *Journal of Radio Electronics*. – 2020. – №. 6. – С. 15.
4. Samad T., Bay J. S., Godbole D. Network-centric systems for military operations in urban terrain: The role of UAVs // *Proceedings of the IEEE*. – 2007. – Т. 95. – №. 1. – С. 92-107.
5. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетецентрического управления сложной организационно-технической системой- М.: Макс ПРЕСС, 2010. -136 с.
6. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // *Финансовый бизнес*. -2012. – №6. – С.40-43.
7. Tsvetkov V. Ya. Framework of Correlative Analysis // *European researcher*.2012. № 6-1 (23). С. 839-844.
8. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. Т.1. – 4(4). – С.11-24.
9. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Цветков В. Я. Основы теории информации – М.: МАКС Пресс, 2007. – 356 с.
10. Williams A. E. The Cognitive Blockchain: A Theoretical Approach Towards Removing the Barriers to Blockchain Scalability and Deployment. Preprint / Version 1. 22-05-16.
11. Рогов И.Е. Управление в информационном поле // *Славянский форум*. 2021, 4(34). С.97-113
12. Williams A. E. Selecting Between Semantic Modeling of Intelligence and Semantic Modeling of Systems. – 2022.
13. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. – М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
14. Болбаков Р. Г. Метамоделирование при извлечении знаний // *Славянский форум*. 2021, 4(34). С.7-17
15. Alam, O., Kienzle, J., 2012. Designing with inheritance and composition, in: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Variability & Composition*, ACM, New York, NY, USA. pp. 19-24. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2161996.2162002>, doi:10.1145/2161996.
16. Цветков В.Я. Семиотический подход к построению моделей данных в автоматизированных информационных системах // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2000. – №5. – С. 142-145.
17. Цветков В.Я. Использование оппозиционных переменных для анализа качества образовательных услуг // *Современные наукоёмкие технологии*. – 2008. – №1. – С.62-64.
18. Awodey, S., 2018. A cubical model of homotopy type theory. *Annals of Pure and Applied Logic* 169, 1270-1294.
19. Раев В.К. Алгоритмическое управление // *Образовательные ресурсы и технологии*. – 2017. – № 1 (18). – С. 36-40.
20. Козлов А.В., Титов Е.К. Области применимости несеквенциальных алгоритмов // *ИТ – Стандарт*. 2021. 4(29). С.45-50.
21. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // *European Researcher*. 2014, № 11/1 (86), pp. 1894-1900.
22. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // *Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research*. 2015. 1(3), – pp.34-42.
23. Номоконов И. Б. Визуальная информативность // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2019. – № 3 (13). – С.66-72.
24. Battell, C., Felty, A., 2016. The logic of hereditary harrop formulas as a specification logic for hybrid, in: *Proceedings of the Eleventh Workshop on Logical Frameworks and Meta-Languages: Theory and Practice*, ACM, New York, NY, USA. pp. 3:1-3:10.
25. Номоконова О. Ю. Виды информационных соответствий // *Славянский форум*. -2018. – 2(20). – С.44-49.
26. Cousineau, G., Mauny, M., 1998. *The Functional Approach to Programming*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139173018.
27. Ernst, E., 2013. Inheritance versus parameterization, in: *Proceedings of the 5th Workshop on Mechanisms for Specialization, Generalization and Inheritance*, ACM, New York, NY, USA. pp. 26-29.
28. Ismailova, L.Y., Wolfengagen, V.E., Kosikov, S.V., 2019. A computational model for supporting access policies to semantic web, in: Samsonovich, A.V. (Ed.), *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2018*, Springer International Publishing, Cham. pp. 145-154.
29. Keller, C., Altenkirch, T., 2010. Hereditary substitutions for simple types, formalized, in: *Proceedings of the Third ACM SIGPLAN Workshop on Mathematically Structured Functional Programming*, ACM, New York, NY, USA. pp. 3-10.
30. Kosikov, S., Wolfengagen, V., Ismailova, L., Sliptsov, I., 2018. Means for parameterization of exemplar queries. *Procedia Computer Science* 145, 282 – 287. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918323457>.
31. Kosikov, S.V., Ismailova, L.Y., Wolfengagen, V.E., 2019. Network modeling environment for supporting families of displaced concepts, in: Samsonovich, A.V. (Ed.), *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2018*, Springer International Publishing, Cham. pp. 187-196.

УДК: 528.02; 528.06

Лазерное сканирование при мониторинге объектов транспортной инфраструктуры

Laser scanning for monitoring transport infrastructure facilities

Цветков В.Я., д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj7@mail.ru, Москва, Россия

Tsvetkov V.Ya., Doc.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj7@mail.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье исследуется лазерное сканирование, которое применяют при мониторинге объектов транспортной инфраструктуры. Описано применение данного метода. Он применяется если объекты инфраструктуры имеют культурное значение или сложные формы, исключающие контактное нанесение марок для мониторинга. Лазерный мониторинг рассматривается как один из видов геомониторинга. Описаны основные функции мониторинга объектов транспортной инфраструктуры. раскрывается содержание технологической схемы геомониторинга. Показано место лазерного сканирования в этой схеме. Статья вводит термин «лазерный мониторинг», Показаны преимущества и недостатки лазерного мониторинга. В отличие от геодезического, лазерный мониторинг является массовым. Статья раскрывает принципы и содержание лазерных измерений. Рассмотрены импульсный метод измерений и фазовый метод измерений дистанции. Приведена схема и раскрыто содержание технология работ при лазерных измерениях.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, лазерный мониторинг, лазерное сканирование, геомониторинг.

Abstract

The article examines laser scanning, which is used in monitoring transport infrastructure facilities. The application of this method is described. It is used if infrastructure objects have cultural significance or complex shapes that preclude contact application of marks for monitoring. Laser monitoring is considered as one of the types of geomonitoring. The main functions of monitoring transport infrastructure facilities are described. The content of the geomonitoring technological scheme is revealed. The location of laser scanning in this diagram is shown. The article introduces the term "laser monitoring". The advantages and disadvantages of laser monitoring are shown. Unlike geodetic laser monitoring, it is widespread. The article reveals the principles and content of laser measurements. The pulse method of measurements and the phase method of distance measurements are considered. A diagram is given and the content of the technology for working with laser measurements is disclosed.

Keywords: transport, transport infrastructure, laser monitoring, laser scanning, geomonitoring.



Введение

Объекты транспортной инфраструктуры (ОТИ) существенно различаются по функциям и размещению. Современное управление ОТИ применяет разные технологии. Основной технологией определения состояния ОТИ является геоинформационный мониторинг [1-3]. Среди видов мониторинга ОТИ следует выделить: геодезический, спутниковый и лазерный [4, 5]. Все виды мониторинга выполняют функции поддержки управления. Взаимодействие между ОТИ и реальной средой приводит к изменению состояния ОТИ. При мониторинге используют реальное пространство, геоинформационное пространство [6] и пространство параметров. Геоинформационное пространство является формой информационного пространства, предназначенное для решения прикладных задач.

С позиций новых требований к управлению геоинформационным мониторингом можно рассматривать как часть социальной кибернетики [7, 8]. Геоинформационное пространство при определенных условиях можно рассматривать как киберпространство. Такое пространство использует коммуникации и информационную коммуникативистику. Мониторинг в области ОТИ выполняет ряд важных функций. Первая функция обеспечение безопасности состояния и функционирования ОТИ. Вторая функция – поддержка управления ОТИ. Именно она соотносит геоинформационный мониторинг с социальной кибернетикой. Третья функция геоинформационного мониторинга информационное обеспечение органов управления необходимой информацией. Четвертая функция геоинформационного мониторинга связана с взаимодействием разных технологий для оптимального решения прикладных задач. Геоинформационный мониторинг можно организовывать по-разному и применять разные технологии. Четвертая функция помогает выбрать оптимальное технологическое решение реализации геоинформационного мониторинга.

Принципы геоинформационного мониторинга ОТИ

На рис.1 дана технологическая схема геоинформационного мониторинга ОТИ. Наибольшее применение в силу традиции получил геодезический мониторинг. Оно включает установку деформационных марок и наблюдение за ними циклически через выбранные временные интервалы. Основным методом наблюдения в геодезическом мониторинге, является оптический. Другим направлением геоинформационного мониторинга является геоинформационный мониторинг. В сфере транспорта он модифицирован в геоинформационный мониторинг транспорта. Принципиальное отличие между ними в том, что геодезический мониторинг использует измерения «точка за точкой», а геоинформационный формирует цифровые модели и использует их. Применение навигационных систем в равной степени относится как к геоинформационному, так и к геодезическому мониторингу. Лазерное сканирование иногда относят к геодезическим методам. Иногда его рассматривают как самостоятельное направление [9, 10]. В отличие от геодезического, лазерный мониторинг является массовым.

Транспортная инфраструктура содержит разнообразные объекты. причем некоторые из них имеют

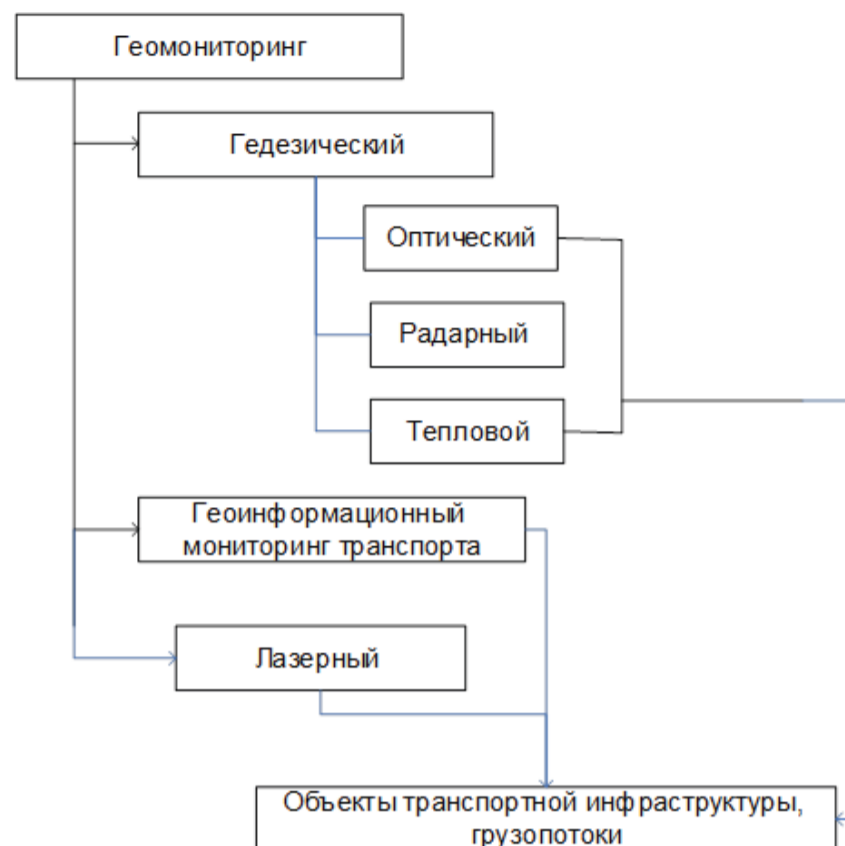


Рисунок 1. Обобщенная технология геоинформационного мониторинга ОТИ



Рисунок 2. Объект транспортной инфраструктуры со сложной формой



историческое и культурное значение. На рис. 2 приведена водонапорная башня в Москве 1901 года постройки. В отличие от чисто технических сооружений с малым количеством деталей, такие объекты требуют детального мониторинга и геодезические методы просто не в состоянии обеспечить мониторинг такого объекта. Напомним, что геодезический мониторинг заключается в установке специальных марок для контроля деформации. Марки устанавливают либо физически (жесткий вариант), забивая металлические штыри в поверхность объекта, либо (мягкий вариант) наносят их краской на поверхность объекта. Если объект представляет собой памятник истории и культуры как на рис. 2, то контактные методы нанесения марок не приемлемы.

В этом случае применимы только бесконтактные методы, к числу которых относится лазерное сканирование. Использование ГНСС для мониторинга во многих случаях не приемлемо из-за низкой точности этой технологии. Дифференциальные измерения обеспечивают погрешность 0,5 – 20 мм. Но они требуют установки базовых станций в зоне объекта. Ухода и поддержки работы этих базовых станций. По финансовым и ресурсным затратам такой метод не является конкурентоспособным. Намного точнее и экономически целесообразней стационарное лазерное сканирование. В отличие от поточечного измерения в геодезическом и навигационном мониторинге лазерное сканирование является сплошным. Оно может измерять точки или профиль.

Принципы лазерных измерений

Технология лазерного измерения дальности приведена на рис. 3.

При импульсном методе лазерное сканирование использует измерение времени прохождения прямого лазерного луча, посылаемого лазерным сканером (LS) в сторону объекта наблюдения и отраженного сигнала с помощью фотоприемника. LS являются относительно легкими, что упрощает проведение полевых работ. По существу, схема на рис. 3 есть схема дальномера. Один из принципов измерения есть метод синхронного импульса (МСИ). Работы LS, использующего МСИ основана на измерении: R — горизонтального расстояния, v — скорость электромагнитного излучения, которая является известной величиной. t — измеренный интервал времени. Расстояние определяется по формуле:

$$R = v \cdot t / 2 \quad (1)$$

В выражении (1) двойка обусловлена тем что импульс проходит расстояние туда и обратно поэтому расстояние определяется как половина времени прохождения. Выражение (1) дает основание оценить погрешность измерения дальности с помощью МСИ.

Это дает возможность оценить точность измерения дистанции:

$$\Delta R = (\Delta v \cdot t + v \cdot \Delta t) / 2, \quad (2)$$

где ΔR — погрешность измерения расстояния; Δv — погрешность скорости; Δt — соответствующее значение погрешности измерения времени.

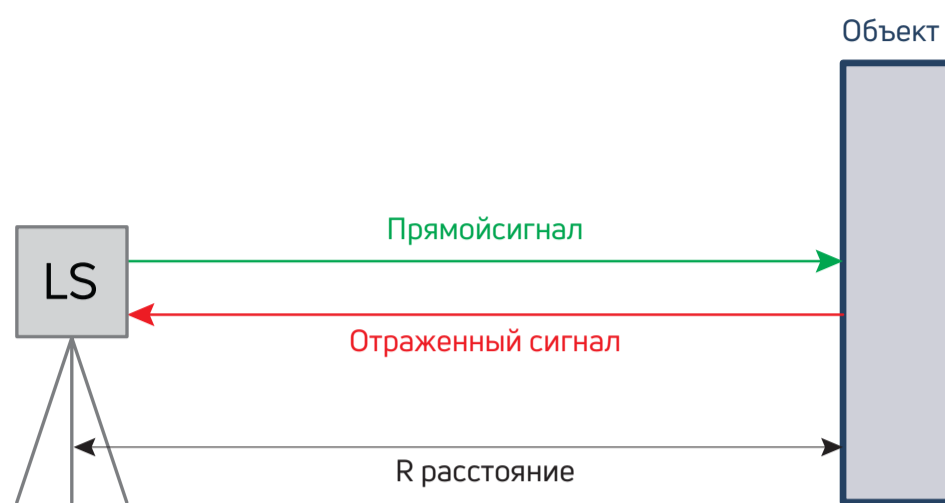


Рисунок 3. Лазерное измерение дальности

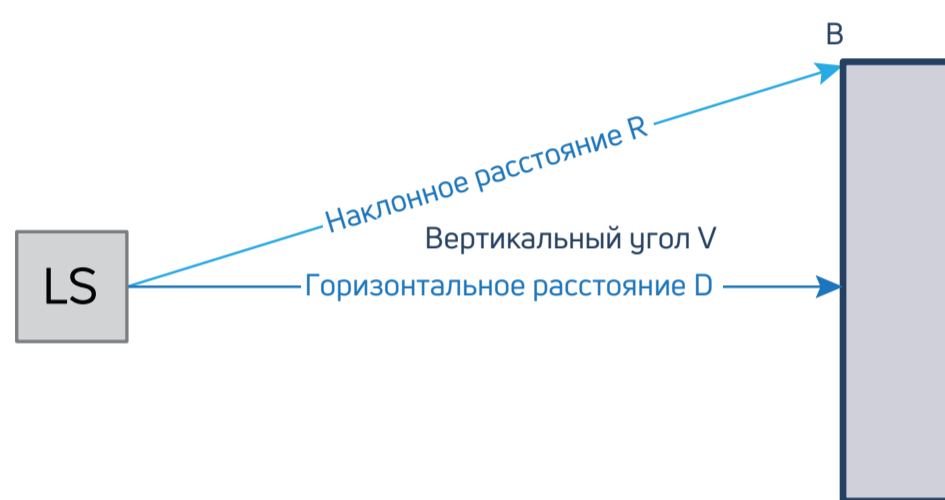


Рисунок 4. Измерение наклонного расстояния фазовым методом

Во втором способе лазер передает непрерывный пучок лазерного излучения вместо импульса [11]. В этом случае измерение дальности определяется за счет сравнения передаваемого и принятого сигнала. В анализе используют синусоидальную волновую суперпозицию прямого и отраженного пучка и измерения разности фаз между ними.

Длина волны (λ) несущего сигнала лазерного излучения довольно коротка (обычно около 1 μm) и нет необходимости в такой точности измерения в приложениях транспортного мониторинга.

Сигнал модуляции в виде измерительной волны накладывается на несущий сигнал, и его разность фаз может быть измерена более точно. Таким образом, амплитуда (или интенсивность) лазерного излучения будет модулироваться синусоидальным сигналом, который имеет период T_m и длину волны λ_m . В этом случае можно измерять наклонное расстояние R . Механизм такого измерения приведен на рис. 4.

Наклонное расстояния измеряют по точному измерению разности фаз (φ) между излучаемым сигналом в точке А и сигналом, полученным прибором после его отражения либо от самой земли, либо от объекта, присутствующего на земле в точке В. Это измерение фазы обычно проводится с помощью цифрового метода подсчета импульсов. Оно дает дробную часть общего расстояния в длинах волн ($\Delta\lambda$). Изменяя диаграмму направленности, можно определить целое число длин волн (M) и прибавить его к дробным значениям, чтобы получить окончательный наклонный диапазон (R).

$$R = (M\lambda + \Delta\lambda) / 2 \quad (3) \quad \ggg$$

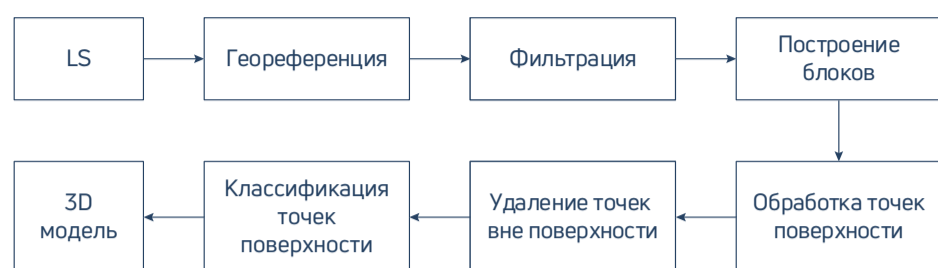


Рисунок 5. Технология работ лазерных измерений

В выражении (3) M – целое число длин волн; λ – известное значение длины волны; $\Delta\lambda$ – дробная часть длины волны $\Delta\lambda = (\varphi/2\pi) \cdot \lambda$, где φ – фазовый угол. Двойка обусловлена прохождением луча туда и обратно.

Для наземного LS возможно измерение профиля ОТИ при перемещении лазерного луча по поверхности объекта. Весь цикл мониторинга выполняется в несколько этапов измерений точек профиля. При этом последовательно измеряют наклонные расстояния и вертикальные углы (V) до каждой сканируемой точки. Результаты измерений записывают и сохраняют в цифровом виде. Горизонтальный профиль объекта (рис.2) вдоль измеренного сечения получают на основе этих измеренных данных путем вычислений с использованием следующих довольно простых соотношений.

$$D = R \cos V \tag{4}$$

Измеренные наклонные расстояния (R) и вертикальные углы (V) используются для вычисления горизонтальных расстояний и разности высот между дальномером в точке А и каждым из наземных объектов в точке В (рис.4). Дополнительно определяют высоту точек Н по формуле по формуле (5).

$$H = R \sin (V) \tag{5}$$

Для обработки используют типовое программное обеспечение, например, *Leica Cyclone REGISTER 360*. Технология работ приведена на рис. 5.

На первом этапе осуществляют инструментальное сканирование. На втором этапе осуществляют геореференцию, то есть привязку точек сканирования к геосистеме. При лазерном сканировании получатся облако точек содержащие шум. Поэтому на третьем этапе удаляют шум путем математической фильтрации. Количество точек

при лазерном сканировании велико. Поэтому их объединяют в блоки, описывающие части объекта. Эта процедура сжимает информацию. Главное в мониторинге ОТИ построение поверхности объекта. Поэтому следующий этап обработки построение поверхности. В трехмерном облаке точек попадают точки, не лежащие на поверхности, их также необходимо исключить. На предпоследнем этапе выполняют классификацию точек, включая необходимость их покрытия определенными паттернами. На последнем этапе создают трехмерную модель. В геодезических методах последний этап формирования совокупности трехмерных точек.

Заключение.

Стационарное лазерное сканирование необходимо отличать от мобильного лазерного сканирования, которое осуществляют с подвижных объектов. Мобильное лазерное сканирование намного сложнее, в частности, потому что требует предварительной оценки траектории движения лазерного сканера. Лазерное сканирование ОТИ должно стать стандартом в транспортной отрасли. Для этого оно должно быть закреплено на отраслевом или законодательном уровне. Лазерные сканеры зарекомендовали себя как высокоэффективные инструменты мониторинга пространственных объектов. Проведенное исследование дает основание ввести термин лазерный мониторинг, как самостоятельное направление мониторинга ОТИ. Лазерные сканеры и технология лазерного сканирования предоставляют подробную информацию о состоянии и целостности ОТИ. Результаты сканирования дают основание выявлять потенциальные риски и принимать решения по техническому обслуживанию.

Данная технология может генерировать 3D-модели ОТИ, которые применяют также в городском и территориальном планировании. Рассмотренную технологию можно отнести к локальной технологии мониторинга. Современная тенденция глобального мониторинга транспортной инфраструктуры [12] использует лазерное сканирование, но в составе комплексной технологии, включающей дистанционное зондирование и другие технологии. ■



Список литературы

1. Елсуков П. Ю. Развитие геомониторинга // Славянский форум. -2020. – 4(30). - С.55-65.
2. Knoll I. A., Sharapov A. A., Solovieva T. A. Methods of geomonitoring of technogenic objects to determine fast-flowing deformation processes using robotics //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1661. – №. 1. – С. 012115.
3. Raffl L., Holst C. Including virtual target points from laser scanning into the point-wise rigorous deformation analysis at geo-monitoring applications //5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM 2022). – Editorial Universitat Politècnica de València, 2023. – С.291-297.
4. Tosti F. et al. Integration of remote sensing and ground-based non-destructive methods in transport infrastructure monitoring: advances, challenges and perspectives //2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS). – IEEE, 2021. – С. 1-7.
5. Tosti F. et al. Transport infrastructure monitoring by data fusion of GPR and SAR imagery information //Transportation Research Procedia. – 2020. – Т. 45. – С.771-778.
6. Бучкин В. А. Геоинформационное поле и геоинформационное пространство // Славянский форум. 2022, 4(38). С.466-476.
7. Кудж С.А. Цветков В.Я. Развитие социальной кибернетики // Славянский форум. -2020. – 3(29). -С.96-106.
8. Scott B. Cybernetics for the social sciences //Brill Research Perspectives in Sociocybernetics and Complexity. – 2021. – Т. 1. – №. 2. – С. 1-128.
9. Roussel J. R. et al. lidR: An R package for analysis of Airborne Laser Scanning (ALS) data //Remote Sensing of Environment. – 2020. – Т. 251. – С. 112061.
10. Calders K. et al. Terrestrial laser scanning in forest ecology: Expanding the horizon //Remote Sensing of Environment. – 2020. – Т. 251. – С. 112102.
11. Shan J., Toth C. K. (ed.). Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. – CRC press, 2018.
12. Gura D. et al. A complex for monitoring transport infrastructure facilities based on video surveillance cameras and laser scanners //Transportation Research Procedia. – 2021. – Т. 54. – С. 775-782.

УДК: 658.7

Темпоральные модели в интервальном движении

Temporal approach for solving logistics problems

Дубчак И.А., Руководитель дирекции новых проектов и технологий, РУТ,
E-mail: iri-dubchak@yandex.ru.д.т.н., Москва, Россия

Dubchak I.A., Head of the Directorate of New Projects and Technologies, Russian University of Transport,
E-mail: iri-dubchak@yandex.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Цель работы - исследование темпорального подхода для случаев интервального движения. Раскрывается содержание темпоральных меток. Дана краткая систематика темпоральных моделей. Статья вводит ряд понятий ситуационный интервальный анализ, темпоральная импликация, точечное и интервальное движение, интервальная функция. Отмечена условность оптимизации на ограниченных выборках. Показано, что на дискретных ограниченных выборках оптимальное решение заменяется на рациональное или целесообразное решение. Рассмотрены прямоугольные и треугольные модели перевозок. Рассмотрены сплошные и разреженные ситуации перевозок. Описано множество интервалов, на котором производят дискретную оптимизацию. Отмечено связанность реальных ситуаций на основе предложенных простых моделей.

Ключевые слова: интервальное движение, треугольные модели, временные метки, темпоральные модели, ситуационный интервальный анализ, временные интервалы, рациональное решение.

Abstract

The article explores the temporal approach applicable to solving logistics problems. Temporal models, temporal relations, temporal marks are considered. The article introduces the concept of "temporal analysis". A taxonomy of temporal models is given. Temporal analysis combines temporal logic and temporal modeling. Temporal cause-and-effect analysis is described as a development of temporal analysis. The content of the concept of temporary uncertainty is revealed. The connection between temporal models and situational models is shown. The features of the use of temporal methods in transport management are described. The features of the use of temporal models in the field of transport are described. The article provides an analysis of time intervals. The concept of local time interval and interval boundaries is introduced. The features of obtaining and using timestamps are described. A formalized description of temporal models is given. The connection of temporal intervals with situations and states of the object is shown. The article gives a formal description of near and distant intervals. Three temporal models of movement are given. The article reveals the content of temporal cause-and-effect analysis. The reasons for its appearance are shown. Methods for reducing temporal uncertainty are described.

Keywords: temporal approach, temporal models, time stamps, temporal cause-and-effect analysis, temporal relations, time intervals. >>>

Введение

Темпоральные модели и методы находят разнообразное применение. При этом они существенно отличаются, хотя название темпоральные является общим. Темпоральные методы чаще связывают с темпоральной логикой [1-3]. Темпоральную логику применяют для спецификации системы реального времени [4], что важно для скоростного движения и кибер-физических систем [5]. Линейную темпоральную логику применяют для сравнительных объяснений [6] и сравнительного анализа. Исследование проблемы моделей, характеризующих высокоуровневое поведение системы на основе трасс наблюдения приводит к проблеме изучения линейной темпоральной логики. (LTL) [7].

Системы управления, удовлетворяющие требованиям временной логики, становятся популярными благодаря их применимости к роботизированным системам и системам беспилотного управления. Однако многие существующие методы управления требуют больших вычислительных ресурсов, особенно когда размер задачи становится слишком большим. Решение такой задачи становится возможным для спецификаций временной логики сигнала [3]. Наряду с темпоральной логикой существуют темпоральные отношения, которые дополняют пространственные отношения при управлении транспортом.

Наряду с темпоральной логикой существуют независимо темпоральные модели. Темпоральные модели аргументом имеют время, но в особой форме. В силу этого большинство временных моделей к темпоральным не относится. Темпоральные модели (ТМ) применяют на транспорте и в логистике. В данной работе показано как их можно применять при организации перевозок и оптимизации перевозок.

Группы темпоральных моделей

Среди множества разнообразных ТМ выделяют следующие группы. Модели медленно меняющихся объектов. Это в первую очередь сооружения с медленными деформациями и осадками. Иногда в эту группу попадают пути с медленным смещением от проектных значений. Эту группу можно охарактеризовать как низко скоростные ТМ. Вторая группа ТМ характеризует быстрое изменение состояния природных объектов [8]. Примером могут служить сели, разливы жидкостей и динамика их распространения на море, динамика пожаров, динамика оползней и селей. Эту группу можно охарактеризовать как скоростные ТМ. Третья группа ТМ связана с управлением объектами транспорта [9, 10]. При этом рассматривается регулярное или штатное движение и не регулярное. Эту группу можно назвать мобильные ТМ.

Регулярное движение характеризуется гладкостью второй производной и неразрывностью траектории. Это группа мобильных ТМ. Их используют в беспилотном движении. Мобильные объекты сами по себе описываются динамическими моделями. Если учесть их ситуационность, то сложность описания возрастает. Внешняя среда

влияет на движение и получается сложная темпоральная картина. Сложность взаимодействия с внешней средой принуждает к применению многоцелевого движения [11, 12]. Темпоральные модели применяют в логистике [13] и в процессах перевозки грузов [14, 15]. Это группа логистических ТМ.

Применения темпоральных моделей происходит в ИТС, в интеллектуальных технологиях [16] и в геотехнических системах [17]. Применение ТМ на транспорте требует использования пространственной информации. Это влечет необходимость применения координатного обеспечения. Для наблюдения подвижных объектов применяют геоинформационный мониторинг [17, 18] и геотехнический мониторинг. Пространственный мониторинг формирует временные данные, которые потом переводят в темпоральные. Необходимо отметить, что многие временные данные, например геоданные, имеют другую структуру по сравнению с темпоральными данными. Главное отличие в наличие временных меток у темпоральных данных. ТМ используют при обновлении цифровых карт. ТМ относят к информационным ресурсам [20] транспорта.

Темпоральные модели хранят в темпоральных базах данных. Однако, в отличие от информации в обычных базах данных, моделирование темпоральных информационных конструкций [21] имеет свои особенности. Оно включает: проектирование темпоральных данных, разработку информационно математических моделей, описывающих изменяющиеся с течением времени объектами, моделирование темпоральных баз данных. Темпоральные базы данных [22] имеют специфику, в которой можно отметить множественность описаний и специальные запросы, Темпоральные модели вносят специфику в пространственные и логические отношения [23]. Существует темпоральная логика и термин «Темпоральная импликация». Ее истинность зависит от момента времени.

Ситуационный интервальный анализ

В практике движения существуют ситуации не точечного, а интервального движения [24]. Точечным называется движение, при котором функция зависит от точечного аргумента, например

$$Y = f(x). \quad (1)$$

Штатное движение подчиняется этой зависимости. Интервальное движение характеризуется не точечным значением, а интервалом значений.

$$Z = f(x_1, x_2). \quad (2)$$

В выражении (2) (x_1, x_2) границы интервала значений для функции Z . Такое движение возникает при задержке движения, когда транспортное средство прибывает не точно по времени, а в течении временного интервала. Например, очередь машин на техосмотр или в снегоплавильный комплекс.

Интервальная модель применяется также в задаче размещения. При этом интервал может быть четким с точными границами и нечетким с размытыми



границами. Рассмотрим четкие границы интервала. Такая задача встречается в управлении перевозками и в логистике. Логистика имеет много вариантов. Доминантой логистики является доставка грузов в требуемое время. При этом не оговаривают, что иногда под требуемым временем понимают допустимый временной интервал, а не точное значение времени.

Логистическая деятельность связана с дискретными потоками. В силу этого возникает задача дискретной оптимизации. Дискретная оптимизация [26] может иметь условный экстремум, отличающийся от глобального экстремума. Это сводит понятие оптимального решения к понятию рационального решения.

Выбор рационального маршрутов, например в условиях мегаполиса или объективной возможной задержки движения, сопряжен с интервальными моделями движения. На тех участках движения, где невозможно стационарное движение, возникает интервальное движение. Простой пример режим окна при ремонте железнодорожных путей. В России окном называют интервал прерывания движения, за рубежом, наоборот, это интервал допустимого движения. В мегаполисе при наличии нескольких пробок, локальных интервалов может быть несколько. Их совокупность создает общий интервал.

Дискретность или интервальность движения [26] возникает по причине того, что участки, по которым допустимо движение есть совокупность интервалов. При этом пространственные интервалы зависят от временных интервалов, то есть от скорости движения. скорость также становится интервальной характеристикой.

Движение в принципе равномерно, но помехи движению стохастические и непредсказуемы. Они делают равномерный поток дискретным и интервальным. В итоге реальная сеть городской доставки состоит из совокупности интервалов. Совокупность таких интервалов образует маршруты перевозки. Маршруты городской транспортной системы требуют рационализации. Эта оптимизация или рационализация использует интервальные функции. Рационализация или выбор рационального решения использует анализ возможных маршрутов.

Следует также иметь в виду, что критерии оптимизации бывают разными: по стоимости, по времени, по минимуму риска, по социальному значению. Кроме того, возможна ситуация учета разных критериев и нахождения компромиссов между ними. Условие оптимизации может быть разным. Это приводит к необходимости выбора разных целесообразных маршрутов для разных критериев оптимальности. Каждый маршрут можно рассмотреть, как информационную ситуацию. Это приводит к ситуационному анализу маршрутов перевозки и интервальной ситуации

Интервальная ситуация описывается через интервальные функции. Интервальные функции используют интервальные переменные. Интервальные функции графически отображают геометрические фигуры: треугольник, прямоугольник, трапеция. Чаще всего реальной ситуации соответствует прямоугольник.

Аналитическая функция описывает точку на плоскости согласно выражению (1). Для нее одному значению (x) соответствует одно значение (y). Эти два значения на плоскости XOY отображаются точкой P(x, y). Возможны

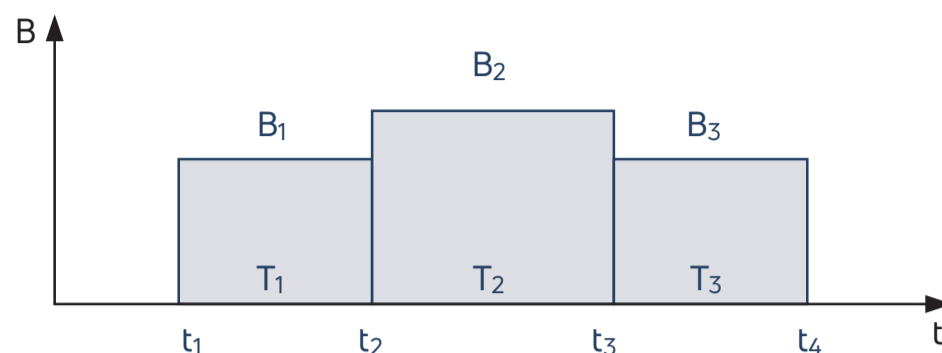


Рисунок 1. Интервальная ситуация

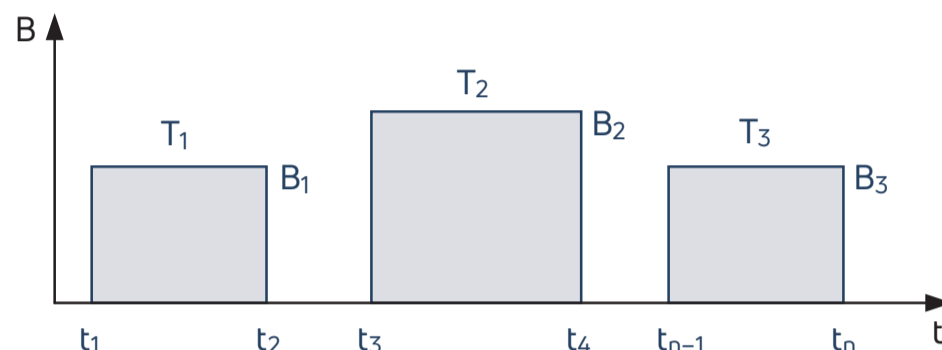


Рисунок 2. Разрывная ситуация движения

разные комбинации интервальных функций V. На рис.1 приведена простая интервальная ситуация. Назовем ее ситуационная модель 1.

Рис.1 показывает, что для прямоугольной модели движения множеству аргументов интервала соответствует одна интервальная функция. По горизонтальной оси отложено время. По вертикальной оси интенсивность перевозок V – количество перевозимого груза за единицу времени. На рисунке приведены три значения интервально функции V₁, V₂, V₃. Приведенная интервальная функция является постоянной на заданном отрезке времени. Таких отрезков три: t₁–t₂, t₂–t₃, t₃–t₄. Для каждого отрезка задается темпоральная метка, которая обозначается большой буквой T₁, T₂, T₃. Темпоральная метка есть отличительная особенность темпоральных данных. Она определяется как середина временного интервала. То есть

$$T_1=(t_2-t_1)/2; T_2=(t_3-t_2)/2; T_3=(t_4-t_3)/2. \quad (3)$$

Объем перевозок V за каждый интервал равен

$$V_1=B_1 \cdot (t_2-t_1); V_2=B_2 \cdot (t_3-t_2); V_3=B_3 \cdot (t_4-t_3). \quad (4)$$

Общий объем перевозок V_t определится как

$$V_t=B_1 \cdot (t_2-t_1) + B_2 \cdot (t_3-t_2) + B_3 \cdot (t_4-t_3). \quad (5)$$

Средний объем перевозок V_e определится как

$$V_e=[B_1 \cdot (t_2-t_1) + B_2 \cdot (t_3-t_2) + B_3 \cdot (t_4-t_3)] / (t_4-t_1). \quad (6)$$

Выражение (6) есть аналог среднего взвешенного. Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t= [B_1 \cdot (T_1-t_1) + B_2 \cdot (T_2-t_2) + B_3 \cdot (T_3-t_3)] \cdot 2, \quad (7)$$

$$V_e=2[B_1(T_1-t_1) + B_2(T_2-t_2) + B_3(T_3-t_3)] / (t_4-t_1). \quad (8)$$

Ситуация на рис.1 характеризует сплошную ступенчатую. Она может соответствовать перевозкам на железнодорожном транспорте на каком-то определенном участке железных дорог, на котором изменяют скоростной режим в разное время или по разным причинам. Возможная разрывная функция, которая показана на рис.2. Она соответствует перевозкам на каком-то определенном участке железных дорог, на котором останавливают движение на некие временные интервалы. Например, на ремонт путей. Назовем эту модель ситуационная модель 2. >>>

Для разрывной модели общий объем перевозок V_t определяется как

$$V_t = B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1}). \quad (9)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (11)$$

Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] \cdot 2, \quad (12)$$

$$V_e = 2[B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (13)$$

Выражение (10) аналогично выражению (7) для непрерывной модели, а выражение (13) отличается от выражения (8) большим интервалом времени.

Для рассмотренных примеров можно ввести термин «интервальная информационная ситуация» (ИИС). Эту ситуацию задает совокупность интервальных функций и разрывы или отсутствие разрывов между ними

ИИС использует интервальные переменные. Они характеризуются принадлежностью к определенному интервалу.

$$x_p \in [x_{p1}, x_{p2}]; x_p \in U. \quad (14)$$

Выражение (14) говорит о том, что интервальные переменные принадлежат локальным интервалам $[x_{p1}, x_{p2}]$ и принадлежат множеству интервалов U . Для неразрывной совокупности множество интервалов равно сумме локальных интервалов. Для разрывной функции U больше, чем сумма локальных интервалов.

Рассмотренные случаи с прямоугольной моделью описывают некий средний участок железной дороги, где движение неизменно. На практике при начале движения по всей дороге прямоугольная модель неприемлема. В этом случае прямоугольная модель с постоянной интенсивностью заменяется на треугольную модель с возрастанием перевозок и последующим их падением. Такая ситуация дана на рис.3. Сразу для такой модели сложно построить формальные зависимости. Но если использовать прямоугольную модель, то по методу аналогий можно перейти к треугольной модели. На рис.3 те же обозначения, что на рис.1 и рис.2. T_1, T_2, T_3 – темпоральные метки. B – функции перевозки, которые не являются постоянными, а равномерно изменяют значения от нуля, до пиковых значений B_1, B_2, B_3 . Временные интервалы такие же как на рис.1. Назовем эту модель ситуационная модель 3.

Для ситуации на рис.3. объем перевозок V за каждый интервал равен

$$V_1 = B_1(t_2 - t_1) / 2; V_2 = B_2(t_3 - t_2) / 2; V_3 = B_3(t_4 - t_3) / 2. \quad (15)$$

Общий объем перевозок V_t определяется как

$$V_t = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_3 - t_2) + B_3(t_4 - t_3)] / 2. \quad (16)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_3 - t_2) + B_3(t_4 - t_3)] / 2(t_4 - t_1). \quad (17)$$

Общий и средний объем перевозок можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_2) + B_3(T_3 - t_3)], \quad (18)$$

$$V_e = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_2) + B_3(T_3 - t_3)] / (t_4 - t_1). \quad (19)$$

Существует треугольная модель разрывного движения. Треугольная модель относится к складу или заказчику перевозок. Прямоугольная модель относится к участку дороги. Модель разрывного движения приведена на рис.4. На ней больше границ интервалов чем на модели рис.3. Назовем эту модель ситуационная модель 4.

Для разрывной треугольной модели общий объем перевозок V_t определяется как

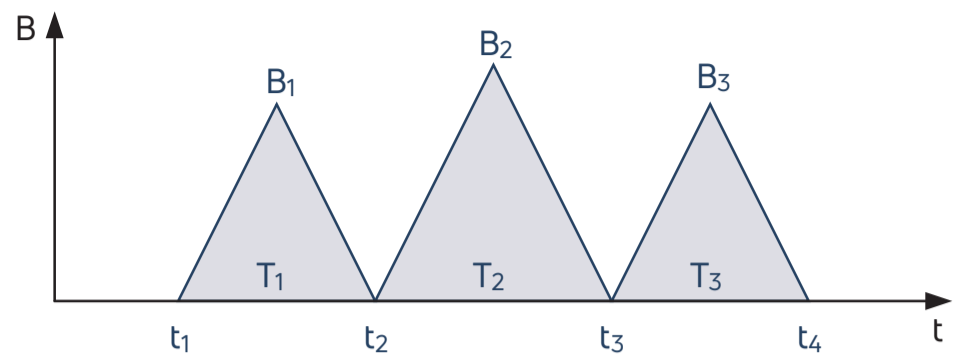


Рисунок 3. Ситуация с треугольной моделью

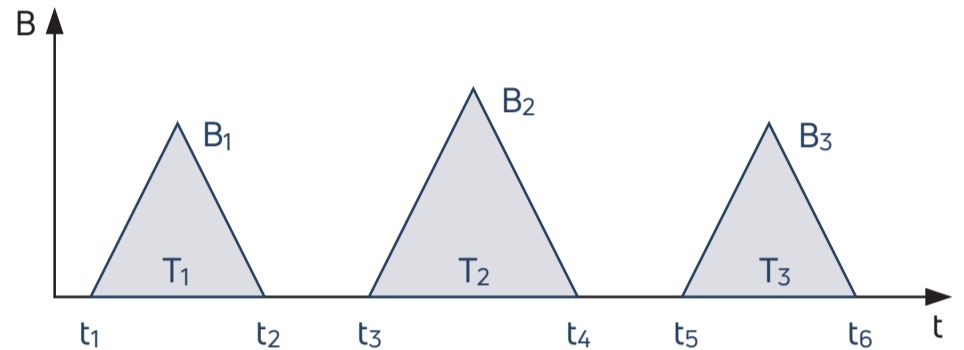


Рисунок 4. Треугольная модель ситуации перевозок

$$V_t = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / 2. \quad (20)$$

Средний объем перевозок V_e определяется как

$$V_e = [B_1(t_2 - t_1) + B_2(t_4 - t_3) + B_3(t_n - t_{n-1})] / 2 \cdot (t_n - t_1). \quad (21)$$

Общий и средний объем можно определить с использованием темпоральных меток

$$V_t = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] \cdot 2, \quad (22)$$

$$V_e = [B_1(T_1 - t_1) + B_2(T_2 - t_3) + B_3(T_{n-1} - t_{n-1})] / (t_n - t_1). \quad (23)$$

На практике возможны комбинации ситуационных моделей M_1, M_2, M_3, M_4 . Реальный маршрут выглядит как сочетание таких моделей. При этом может быть множество моделей

$$M_1 \subset MM_1; M_2 \subset MM_2; M_3 \subset MM_3; M_4 \subset MM_4. \quad (24)$$

Для выбора оптимального или рационального маршрута необходима дискретная оптимизация на множествах MM_1, MM_2, MM_3, MM_4 . Эта оптимизация может быть эвристической, например с использованием теории предпочтений [27] или иной эвристической процедуры [28].

Результаты предпочтений или иной процедуры являются сравнительными. Они актуально только для рассматриваемой выборки. По этой причине целесообразное или рациональное решение является уловным, только для данной выборки. Целесообразное или рациональное решение изменяется при изменении состава и структуры выборки.

Учет возможных погрешностей в оценке ситуации приводит к необходимости вместо одного рационального решения рассматривать множество близких решений. Выбор решения среди близких решений производится с учетом когнитивных и дополнительных факторов полезности или целесообразности. В этом случае применяют анализ, который можно назвать ситуационным рациональным анализом. Для ситуационного рационального анализа чистая аналитика не работает. Работает частично аналитика и методы рассуждений. Использование ситуационного рационального анализа позволяет выбрать целесообразное решение. Такой анализ также следует считать интервальным, поскольку он связан с интервальными функциями. >>>

Заключение

Применения темпоральных моделей традиционно используют в темпоральной логике. Однако темпоральные модели с темпоральными метками можно применять в организации и оптимизации перевозок. Применение темпоральных меток связывает задачу управления перевозками с темпоральной логикой и позволяет использовать темпоральную логику при организации перевозок для интервальных ситуаций. Для точечных моделей такой метод не нужен. Моделирование темпоральных структур является сложной задачей [29]. Ситуационный рациональный анализ является качественным и сравнительным. Ситуационный рациональный анализ требует определения пространственных и временных отношений. Это позволяет соединить темпоральную и пространственную логику. Ситуационный рациональный анализ имеет специфику, обусловленную работой с дискретными потоками грузов, а не с движением одиночных средств. Развитие применения темпоральных моделей является перспективным направлением и требует дальнейших исследований. ■

Список литературы

1. Haghghi I. et al. Control from signal temporal logic specifications with smooth cumulative quantitative semantics //2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC). – IEEE, 2019. – С. 4361-4366.
2. Camacho A., McIlraith S. A. Learning interpretable models expressed in linear temporal logic //Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling. – 2019. – Т. 29. – С. 621-630.
3. Lindemann L., Dimarogonas D. V. Robust control for signal temporal logic specifications using discrete average space robustness //Automatica. – 2019. – Т. 101. – С. 377-387.
4. Bellini P., Mattolini R., Nesi P. Temporal logics for real-time system specification //ACM Computing Surveys (CSUR). – 2000. – Т. 32. – №. 1. – С. 12-42.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С. 138-145.
6. Kim, Joseph, Muise, Christian, Shah, Ankit Jayesh, Agarwal, Shubham and Shah, Julie A. 2019. "Bayesian Inference of Linear Temporal Logic Specifications for Contrastive Explanations." IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2019-August.
7. Camacho A., McIlraith S.A. Learning interpretable models expressed in linear temporal logic //Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling. – 2019. – Т. 29. – С. 621-630.
8. Тарихазер С.А. Селевые процессы в Азербайджане и метеорологические факторы их формирования (на примере Большого Кавказа) //Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 44-54.
9. Козлов А.В., Матчин В.Т. Методы и алгоритмы управления группами подвижных объектов // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.15-28.
10. Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Романов И.А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. – №4. – С.43-50.
11. Бахарева Н.А. Информация в многоцелевом управлении // Славянский форум. -2020. – 4(30). -С. 7-15.
12. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Многоцелевое управление на железнодорожном транспорте // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.3-10.
13. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. – №4. – С.38-40.
14. Еремеев А.П., Ковалев С.М. Темпоральные и нечетко-темпоральные модели в интеллектуальных системах управления перевозочными процессами.// ВЕСТНИК РГУПС. 2011, № 3. С.74- 82.
15. Яркин Е.К., Романенко В. Е., Мохов В. А. Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок //Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 66-1. – С. 55-59.
16. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 5. – С.41-43.
17. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. – №4. – С. 52.
18. Ознамец В. В. Геоинформационный мониторинг транспорта // Славянский форум. -2018. – 4 (22). – С.39-45.
19. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №5. – С.151 -155.
20. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.85-91.
21. Проскурин Д.К., Колыхалова Е.В. Методические основы моделирования темпоральных информационных структур //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2013. – №. 1. – С. 87-90.
22. Котиков П. Е. Варианты построения темпоральных баз данных в геоинформационных системах //Научный аспект. – 2014. – №. 4. – С. 118-120.
23. Гончарко О.Ю. Темпоральная импликация и временные модальности // Вестник СПбГУ. Сер. 6. 2012. Вып. 1. С.21-26.
24. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С.6-9.
25. Рогов И.Е. Дискретная оптимизация и информационное моделирование // Славянский форум. 2022, 4(38). С. 57-66.
26. Рогов И.Е. Моделирование и дискретная оптимизация – Saarbrücken. LAP Lambert Academic Publishing, 2020. –113 с. ISBN 978-620-0-53325-8.
27. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. 1(3), – pp.34-42.
28. Яркин Е.К., Романенко В.Е., Мохов В.А. Оптимизация маршрутов грузовых мультимодальных перевозок //Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №. 66-1. – С. 55-59.
29. Проскурин Д.К., Колыхалова Е.В. Методические основы моделирования темпоральных информационных структур //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2013. – №. 1. – С. 87-90.

УДК: 333.24 65.0 004.08

Управление дискретными транспортными потоками

Discrete traffic management

Козлов А.В., Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: a_kozlov@mirea.ru, Москва, Россия

Kozlov A.V., Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: a_kozlov@mirea.ru, Moscow, Russia

Аннотация



Статья посвящена исследованию динамике транспортных проблем. Объектом исследования являются потоки подвижных объектов. Рассмотрены виды моделирования дискретных потоков. Показано различие между грузопотоками и потоками транспортных средств. Для дискретных потоков вводится элемент потока - транспортная единица потока. Дан анализ развития методов описания и моделирования транспортных потоков. Показаны условия функционирования дискретного потока. Описаны три уровня транспортных потоков: дискретные, дискретно -непрерывные, генерализованные. Описаны проблемы моделирования транспортных потоков. Дана систематика развития методов управления потоками. Раскрыто содержание комплементарности и рассогласования дискретных потоков. Раскрыто содержание диссипации транспортных потоков. Раскрывается явление и содержание модели потоковая кластеризация. Описаны первый и второй принцип Вардропа как правила выбора поведения для единицы потока. Показано различие между топологической и волновой структурой потока. Раскрывается содержание понятия векторное поле транспортного потока.

Ключевые слова: транспорт, дискретные потоки, транспортная единица, потоковая кластеризация, модель потока, оптимизация маршрута.

Abstract

The article is devoted to the study of the dynamics of transport problems. The object of study is the flow of moving objects. Types of modeling of discrete flows are considered. The difference between cargo flows and vehicle flows is shown. For discrete flows, a flow element is introduced - a transport unit of flow. An analysis is given of the development of methods for describing and modeling traffic flows. The conditions for the functioning of a discrete flow are shown. Three levels of transport flows are described: discrete, discrete-continuous, generalized. The problems of modeling traffic flows are described. A taxonomy for the development of flow control methods is given. The content of complementarity and mismatch of discrete flows is revealed. The content of dissipation of transport flows is revealed. The phenomenon and content of the stream clustering model is revealed. The first and second Wardrop principles are described as rules for choosing behavior for a flow unit. The difference between the topological and wave structure of the flow is shown. The content of the concept of vector field of traffic flow is revealed.

Keywords: transport, discrete flows, transport unit, flow clustering, flow model, route optimization.



Введение

Дискретные потоки образуются либо стихийно, либо целенаправленно. Дискретным потоком [1-3] называют совокупность объектов, которые обладают возможностью комPLEMENTАРНОГО и РАССОГЛАСОВАННОГО перемещения. Стихийный поток возникает вследствие ограничений на условия движения, например, рельсы, ограждения, границы улиц, светофоры. Целенаправленный дискретный поток образуется при наличии цели [4]. Например, движение муравьев в поисках пищи приводит к созданию дискретного потока от муравейника к источнику пищи [5]. В этом случае работают групповые алгоритмы. Таким образом, ограничения уплотняют движение и превращают свободное движение в ограниченный поток.

Наличие цели и целевое движение создает поток, мотивированный целью. В реальности дискретные потоки не существуют изолированно, а сосуществуют друг с другом. В мегаполисе существуют потоки городского транспорта. Включая городские железные дороги. В мегаполисе существуют потоки частных автотранспортных средств, которые имеют тенденции в утреннее время иметь направление в центр, а после окончания рабочего дня эти потоки направлены из города. Дискретные потоки существуют в природе и обществе. Примером дискретного потока является пассажиропоток. Движение в потоке более эффективно, чем свободное движение, так как уменьшает диссипацию. Групповой характеристикой потока является пропускная способность, однако она связана не столько с потоком, сколько с возможностями среды или канала протекания потока. Многообразие применения дискретных потоков делает актуальным их исследование

Специфика дискретных потоков

По содержательности транспортные потоки делят на потоки грузов и потоки транспортных средств. В зависимости от уровня детализации транспортные потоки делят на три вида [6]: микроскопический уровень (модели следования отдельных автомобилей, включая смену полосы движения), мезоскопический уровень (распределение интервалов движения) макроскопический уровень (например, фундаментальные диаграммы и модели транспортных волн). Для микропотока допустимо понятие единица транспортного потока. Это может быть единица груза или подвижный объект.

Примером микроскопических транспортных потоков является движение единиц транспорта. Такое движение характеризуется неоднородностью, пробками, замедлением скорости и авариями на дорогах. Для микропотока используют дискретную математику [7] и в отдельных случаях целочисленные координаты [8]. Математическое описание и модели таких потоков строят с использованием сумм и вероятностных характеристик. Для таких потоков имеется характеристика индивидуальный и групповой маршрут.

Если рассматривать укрупненно движение городского транспорта в мегаполисе приходим к мезапотоку.

Для мезапотока можно использовать модель сложной системы [9]. Для этого вида потоков можно использовать системный анализ и пренебрегать особенностями единичных элементов потока. Математическое описание и модели таких потоков строят с использованием интегралов и векторных характеристик [10]. Для таких потоков используют понятие групповой маршрут.

Для протекания дискретных потоков необходима соответствующая среда. Такой средой является транспортная сеть, которая моделируется с помощью графов. При анализе перевозок дискретные потоки могут быть описаны дискретными алгоритмическими системами. Дискретные потоки изучает дискретная математика и прикладная информатика [11].

Моделирование дискретных потоков

Математические модели анализа транспортных потоков весьма разнообразны. Их можно разделить: по задачам, математическому формализму, по степени дискретности или непрерывности, по степени детализации или генерализации. Сложно дать полную классификацию моделей транспортных потоков. Функционально выделяют четыре типа моделей потоков: оптимизационные; прогноз-ные модели; трендовые; имитационные.

При управлении транспортными потоками важным является обоснование метода моделирования [12, 13]. Выбор модели в первую очередь зависит от характеристик потока и управленческих задач. Выбор модели также зависит от имеющихся информационных ресурсов [14, 15]. От выбора модели зависит выбор метода моделирования. Моделирование дискретных потоков можно разделить на информационное, имитационное, сценарное, эвристическое и гидродинамическое.

С 50-х годов не прекращаются попытки использовать гидродинамические модели протекания жидкости для моделирования дискретных транспортных потоков [16]. Для некоторых мезо потоков и для некоторых ситуаций эти математические приемы в упрощенной форме. Гидродинамическая модель принципиально не может моделировать пробки и аварии. Поэтому она может использоваться для описания усредненных характеристик потоков

В настоящее время всё чаще используют комплексное моделирование, которое использует не один ключевой признак, а их сочетание. Микроскопическое моделирование использует систему правил, которая включает мотивацию и поведение отдельного подвижного объекта и правила его взаимодействия с подвижными объектами и ситуациями прерывания потока.

Метод клеточных автоматов является альтернативой гидродинамическому методу. Его можно использовать для микропотоков. Он требует разбиения среды движения транспорта на ячейки. При моделировании каждая из ячеек находится в свободном или занятом состоянии. Такой подход позволяет моделировать эффект перколяции как транспортный коллапс. >>>

К методам микро моделирования дискретных потоков относ дискретно-событийный метод. Он использует операционный подход, который представляет дискретный поток как последовательность операций [6]. В таких моделях используют либо заявки, либо завершение событий.

Наиболее интересным является метод агентов или мультиагентного моделирования. Агент можно рассматривать как информационную [17] или интеллектуальную единицу, которая наделена набором правил к действию. Агент есть микромодель или независимый автономный объект, который действует согласно установленному набору правил и взаимодействующий с другими агентами [18]. Простой агент действует по простому алгоритму взаимодействия. Делиберативный агент имеет память и интеллект и способен вырабатывать правила поведения. Одиночный агент ничего не решает. Совокупность агентов решает задачу и создает эмерджентность. Совокупность агентов решает в том числе транспортные задачи, которые чаще всего связаны с оптимизацией маршрута передвижения. Примером агента в природе является муравей и пчела, которые решают транспортные проблемы. Примером агента в мегаполисе является водитель такси. Метод агентов помогает моделировать дискретные транспортные потоки. Первые исследования транспортных потоков представляют собой эмпирические исследования, которые в значительной степени опирались на статистику, то есть на макропоказатели.

Управление потоками

В 1960-х годах были введены новые меры дорожного движения [16]. Во-первых, радиолокационные устройства, такие как ручные или установленные на транспортных средствах радиолокационные измерители, использовались для непосредственного измерения скорости транспортного средства путем расчета разницы в частоте между излучаемой радиолокационной волной и волной, отраженной встречным транспортным средством. Этот подход может быть наиболее простым методом наблюдения за скоростью транспортного средства. Во-вторых, петлевые детекторы постепенно стали доминирующими датчиками в управлении транспортом

Двойные петлевые детекторы могут измерять скорость транспортного потока, занятость времени и скорость транспортного средства, что позволяет реконструировать ключевые кортежи транспортного потока на макроэкономическом уровне. Таким образом, петлевые детекторы являются важным элементом для управления дорожным движением, особенно в ИТС. Однако петлевые детекторы могут измерять только транспортный поток, проходящий по отдельной поперечной линии дороги.

Развитие информационных технологий было сопряжено с появлением придорожных видеокамер. Это создало системы видеомониторинга транспортных потоков. Эти системы стали новыми инструментами измерения и управления транспортными потоками. Первоначально видеокамеры использовались для подсчета прибытия транспортных средств и служили детекторами виртуальных петель [16].

Когда качество изображения видеокамер и вычислительные возможности стали более высокими, камеры стали одновременно отслеживать подробные движения нескольких транспортных средств. В настоящее время камеры высокого разрешения устанавливают на высоких зданиях, вертолетах или дронах. Их в управлении потоками используют для захвата 2D-движений отдельных транспортных средств с высоким разрешением с высоты птичьего полета. Временные ряды положений транспортных средств записывают как непрерывные траектории (маршруты) транспортных средств (мезоуровень). Такие ряды, представляют почти 100% дорожных условий и информацию о движении транспортного средства. Данные о траекториях (маршрутах) значительно ускоряют исследования транспортных потоков, поскольку дают полную и высокоточную информацию о поведении отдельных участников дорожного движения на микроскопическом уровне в сочетании с мезоуровнем макроуровнем.

В настоящее время для управления потоками применяют интегрированные системы [19] и спутниковые технологии [20]. Транспортные средства, оснащенные специальными устройствами ГЛОНАСС, GPS на всех видах транспорта используют для мониторинга дорожного движения и управления на этой основе. Эти устройства являются обязательными для цифровой железной дороги и транспортных кибер-физических систем.

Такие транспортные средства, называемые транспортными средствами-зондами или плавучими объектами, передвигаются по дорожной сети и постоянно загружают информацию о своем статусе (например, широту, долготу, мгновенную скорость и направление движения) в центры управления движением (ЦУП) через короткие промежутки времени через мобильную связь.

Дискретные транспортные потоки являются пространственными потоками. Они требуют пространственного управления [21] и применения методов геоинформатики. Современное управление транспортом в условиях больших данных [22, 23] является интервальным [24]. При анализе пространственных потоков используют ГИС. Для применения ГИС необходимо создавать специальные интегрированные модели. Для управления потоками с использованием интеллектуальных систем необходимо создание среды поддержки [25]. Такой средой является ситуационный центр [26] дорожного движения, центр управления движением. В свою очередь, для пространственного управления средой поддержки является координатная среда.

При использовании автоматизированных информационных систем управления необходимо применять информационное моделирование. При использовании ГИС для управления с потоками необходимо применять геоинформационное моделирование [27]. Геоинформационное моделирование и геоинформационные технологии служат основой поддержки принятия решений [28] при управлении дискретными пространственными потоками. При анализе дискретных потоков, которые состоят из дискретных объектов потока, целесообразно применять методологию информационных единиц [38]. >>>

Для контроля дискретных потоков в пространстве необходимо применять геоинформационный мониторинг. При управлении дискретными потоками необходимо определять и анализировать состояние информационных ситуаций, в которых находятся элементы потока. Соответственно, в этих случаях необходимо применять ситуационное моделирование [30]. В ходе исследования дискретных потоков возможно накопление опыта и формирование пространственных знаний [31]. Пространственные знания накапливают опыт управления и повышают эффективность движения.

Комплементарность и рассогласованность дискретных потоков

Дискретные потоки изучает теория управления подвижными объектами. Наряду с дискретными потоками существуют непрерывные потоки, например, в нефтепроводе и газопроводе. В транспортном дискретном потоке необходимо ввести понятие использовать понятие единица потока. Такой единицей является отдельное транспортное средство. Единица существует только для микропотока. В моделировании ее аналогом является агент.

Для потока существует групповые и частные характеристики. Групповые характеристики понятие групповая скорость потока V_F и интенсивность потока, а также пропускная способность транспортной среды, предельно допустимая скорость потока. Индивидуальные характеристики скорость V_U ; единицы потока максимально допустимая скорость единицы потока.

Движение в дискретном потоке связано с понятиями комплементарности и рассогласованности. Комплементарность [32] соответствует синхронности и отражает согласованность движения. Примером является движение колонны боевой техники и движение вагонов поезда. Комплементарность является групповой характеристикой. Полная комплементарность имеет место, когда групповая скорость потока и индивидуальные строго скорости равны. Разброс скоростей практически отсутствует. В обычном дорожном движении существуют вариации дистанций и скоростей между единицами потока. Они на групповую скорость не влияют при отсутствии аварий и пробок. Частичная комплементарность имеет место, когда групповая скорость потока равна средней скорости единиц потока, но существует разброс между скоростями единиц потока и значения индивидуальных скоростей отличаются от групповой скорости. Рассогласование движения обычно снижает групповую скорость. Это явление называют диссипацией потока. Если групповая скорость снижается не существенно, не более 10–15 % от рекомендованной, то имеет место частичная комплементарность.

Рассогласованность [33] в потоке отражает наличие существенного разброса скоростей единиц потока, которое приводит в значительной диссипации движения. Большая рассогласованность может приводить к значительному снижению скорости и даже к остановке движения.

Дискретные транспортные потоки характеризует сочетание группового и индивидуального движения. Полностью синхронного движения в дискретных потоках отсутствует. Дискретные потоки описывают разными алгоритмами. Основная причина в отсутствии строгой теории дискретных потоков. Другая причина в стохастичности движения, которое обуславливает и человеческий фактор.

Комплементарность используют как свойство и отношение. Оно относится к системе и к элементам системы. Для динамических систем это свойство согласованности процессов. Для потоков это свойство согласованного движения в потоке. Для элементов комплементарность согласованных действий с другими элементами. Например, объезд аварийного участка без создания новой аварии.

Рассогласованность имеет разные степени: допустимость, негативность и недопустимость. Допустимость означает независимое движение единиц потока, которое не нарушает групповых характеристик потока. Негативность означает независимое движение единиц потока, которое нарушает групповые характеристики потока и ведет к его диссипации. Не допустимость означает независимое движение единиц потока, которое прерывает движение потока и ведет к его остановке.

Внутри потока могут возникать подвижные группы. Эти подвижные группы можно рассматривать как подвижные кластеры. Они обусловлены внешними и внутренними причинами. Внешние причины – сигналы дорожного движения, которые формируют группу перед светофором. Внутренние причины: низкоскоростное транспортное средство, тормозящее группу, модель «умный водитель», «следование за лидером» [16]: Рассогласованность потока может быть обусловлена индивидуальным поведением транспортного средства и выбором неправильной стратегии движения.

Поведение единиц транспортной сети в рамках мезо и макро уровня были сформулированы Вардропом [34], который предложил две возможные информационные ситуации движения.

- 1) Единицы сети независимо выбирают маршруты следования, соответствующие их индивидуальным частным критериям, например минимальным транспортным расходам или минимальному времени следования. Данный принцип интерпретируют как пользовательская оптимизация (*user optimization*)
- 2) Единицы сети выбирают маршруты на основе из минимизации общих транспортных расходов в сети. Этот принцип называют системной оптимизацией (*system optimization*).

В области управления приведенные индивидуальные принципы называют первым и вторым принципом Вардропа [34].

Основные свойства дискретных потоков

Необходимо разделять среду функционирования потока и поток. Если дискретный поток находится в фиксированной структуре, например структура мегаполиса, >>>

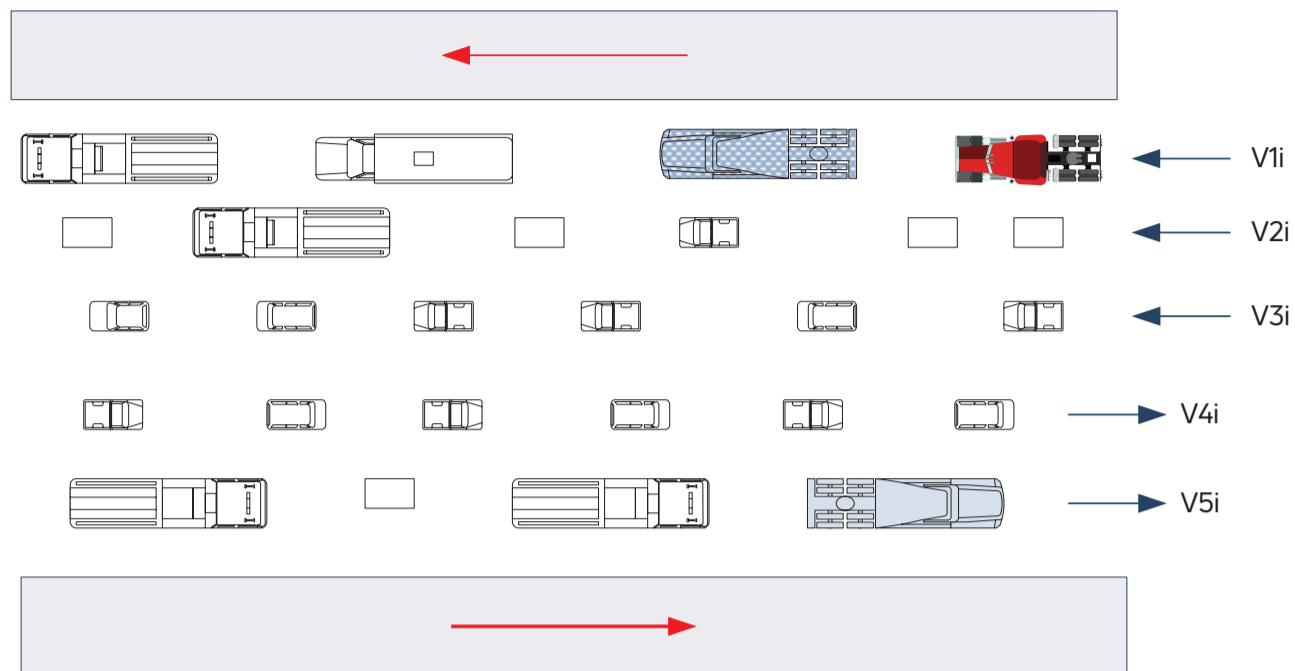


Рисунок 1. Дискретный поток транспортных средств

то он обладает свойствами сложной технологической системы и свойством саморазвивающейся системы. Свойства такого дискретного потока делят на общие и частные. Общие свойства характеризуют поток в целом: системность, целостность, интенсивность, предельность, диссипация, комплементарность, структурность, дискретность, непрерывность, кластерность, вектор потока (R_f), векторное поле.

Структура среды всегда жесткая (улицы мегаполиса, светофоры, знаки дорожного движения) топологическая. Структура потока мягкая (волновая, продольные волны), переменные маршруты и само оптимизирующиеся маршруты. Волновая структура связана с уплотнением и разрежением потока в направлении его движения. Она напоминает волны упругости. Кластерность означает наличие групп внутри потока. Например, такая группа образуется перед светофором. Дискретность означает наличие единиц потока. Дискретные транспортные потоки состоят из мобильных объектов или элементарных объектов. Элементом дискретного потока является транспортная единица, которая в рамках данного потока не делима.

Транспортные единицы (e_1, e_2, \dots, e_N) перемещаются и взаимодействуют между собой. Между ними существуют отношения, например, в виде дистанции между соседними объектами. Для различия отметим, что вагоны поезда жестко связаны. Между ними существует связь, например, между вагонами поезда. Вектора перемещения транспортных единиц образуют векторное поле. На рис.1 показано векторное поле и дискретный поток.

Рисунок 1 описывает двухстороннее пяти полосное движение, например по кольцевой дороге. На одной стороне движения выделено три полосы. Движение в обратном направлении имеет две полосы. Каждая полоса движения создает группу. Для каждой полосы движения существует своя групповая скорость. Традиционно на левой полосе движение происходит с большей скоростью. На одной стороне для полос существуют скорости $V_3 > V_2 > V_1$. На другой стороне $V_4 > V_5$ (рис.1).

Заключение

В настоящее время разделяют уровни наблюдения дискретных потоков: микроскопический уровень (собственно дискретный), мезоскопический уровень (дискретно-непрерывный) и макроскопический уровень (генерализованный и обобщенный). Однако в управлении потоками используют данные наблюдения о всех трех уровнях для управления дискретными потоками на первых двух уровнях. На дискретном уровне анализируют аварии и пробки. На дискретно-непрерывном уровне контролируют объемы перевозок и интенсивность движения. На этом уровне осуществляют управление перевозками. На генерализованном уровне анализируют стратегические показатели и осуществляют стратегическое управление, включая управление дорожным развитием. Можно констатировать, что многочисленные модели гидродинамики и непрерывных потоков не применимы в полной мере для описания и управления дискретными потоками. Дискретные потоки являются специфическими слабосвязанными системами систем, в которых элементарные системы взаимодействуют на основе мягких отношений, а не на основе жестких связей. Примером жестких связей является состав с соединенными вагонами. Примером мягких отношений является движение не связанных автомобилей по трассе. Мягкие отношения создают свойство субсидиарности. Субсидиарность в небольших пределах повышает производительность и делает эти потоки саморазвивающимися системами. Дискретные потоки являются эффективным средством перевозок при наличии помех и нестабильной внешней среды. Дискретные потоки также характеризует групповая сложность, которая меняется в зависимости от внешних условий. Она определяется сложностью взаимодействия элементов потока между собой и внешней средой. Дискретные потоки обеспечивают адаптивность к изменениям внешней среды и решают задачи дискретной оптимизации при агентом моделировании. Теория дискретных потоков окончательно не сформирована и требуют развития. ■



Список литературы

1. Tsvetkov V.Ya. Discrete modeling in the information field // Славянский форум. 2023, 1(39). С.177-182.
2. Рогов И.Е. Моделирование и дискретная оптимизация – Saarbruken. LAP Lambert Academic Publishing, 2020. –113 с.
3. Господинов С.Г. Дискретное моделирование. – Saarbruken, 2023. –149 с.
4. Рогов И.Е. Моделирование транспортных потоков // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3. – 3(11). – с.26-38.
5. Елсуков П.Ю. Параметрическая модель муравьиного алгоритма // Славянский форум. -2018. – 2(20). – с.21-27.
6. Li L. et al. Trajectory data-based traffic flow studies: A revisit //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2020. – Т. 114. – С. 225-240.
7. Aigner M. Discrete mathematics. – American Mathematical Society, 2023.
8. Tsvetkov V. Ya. Integer Coordinates as an Nanotechnological Instrument // Nanotechnology Research and Practice. – 2014, 4(4), pp. 230-236.
8. Цветков В.Я. Теория систем. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с.
10. Козлов А.В. Применение методов геоинформатики для исследования дискретных потоков // Вектор ГеоНаук. 2022. Т. 5. № 2. С. 45-52.
11. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. – М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
12. Якимов М., Арепьева А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах. – Litres, 2022.
13. Недяк А.В., Рудзейт О.Ю., Зайнетдинов А. Р. Классификация методов моделирования транспортных потоков //Вестник евразийской науки. – 2019. – Т. 11. – №. 6. – С. 78.
14. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.85-91.
15. Соловьев И.В., Цветков В.Я. О содержании и взаимосвязях категорий «информация», «информационные ресурсы», «знания» // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2011. – №6 (48) – С.11-21.
16. Гасников А. и др. (ред.). Введение в математическое моделирование транспортных потоков. – Litres, 2022.
17. Цветков В. Я. Семантика информационных единиц // Успехи современного естествознания. – 2007. – №10. – С.103-104.
18. Мельников Д.А. Применение агентных систем для оптимизации грузоперевозок // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.22-28
19. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С.6-9.
20. Lyovin V.A. Earth Exploration from Space for Solving Transport Problems // Russian Journal of Astrophysical Research. Series A. 2017. – 3(1). С.13-28.
21. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. – 2(8) – С.268-274.
22. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
23. Reddy G.T. et al. Analysis of dimensionality reduction techniques on big data //Ieee Access. – 2020. – Т. 8. – С. 54776-54788.
24. Цветков В.Я., Титов Е.К. Интервальное решение ситуационной задачи // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2022. № 82. С. 187-196.
25. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. – 2011. -№ 6. – С.6-8.
26. Розенберг И.Н. Ситуационный центр как сложная организационно техническая система // Славянский форум. -2019. – 4(26). – С.129-138
27. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. – 2(24). – С.7-12.
28. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.
29. Болбаков Р.Г. Философия информационных единиц // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014. – № 4(5). – С.76-88.
30. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). – С.210-228.
31. Lin J., Cao L., Li N. How the completeness of spatial knowledge influences the evacuation behavior of passengers in metro stations: A VR-based experimental study //Automation in Construction. – 2020. – Т. 113. – С. 103136.
32. Щенников А.Н. Комплементарность при обработке информации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1(11). – с. 24-30.
33. Козлов А.В. Анализ субсидиарных систем // Вестник МГТУ МИРЭА. 2019. № 69. – С.160-167.
34. He S., Fan B. Generalized wardrop principle and its application in regional transportation //Transportation research record. – 2008. – Т. 2085. – №. 1. – С. 49-56.

УДК: 001.895, 681.518.5

Диагностика и мониторинг искусственных сооружений инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе виброакустического контроля

Diagnositics and monitoring of artificial structures of railway transportation infrastructure on the basis of vibroacoustic control

Охотников А.Л., Заместитель начальника Департамента, начальник Отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Okhotnikov A.L., Deputy Head of Department, Head of the Section, JSC «NIIAS»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Павловский А.А., к.т.н., заместитель Генерального директора, АО «НИИАС»,
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru Москва, Россия

Pavlovskiy A.A., PhD., Deputy General Director, JSC "NIIAS",
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Приведено описание оптоволоконной системы диагностики и мониторинга искусственных сооружений и конструкций, работающей в реальном режиме времени и предупреждающей о приближении к критическому уровню состояния. Рассмотрены способы и варианты оборудования для виброакустического контроля. Приведен алгоритм работы и структурная схема системы непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций искусственных сооружений с целью их контроля и диагностики для предотвращения аварийного состояния, а также повышения безопасности движения поездов. Оценка технического состояния конструкций в процессе их эксплуатации осуществляется на основе технологии виброакустического сенсора с учетом возможностей используемого оборудования.

Ключевые слова: диагностика конструкций, структурированные системы мониторинга, вибромониторинг, виброакустический контроль, рефлектометр.



Abstract

The description of a fiber-optic system for diagnostics and monitoring of artificial structures and structures, operating in real time and warning about approaching a critical state level, is given. Methods and variants of equipment for vibroacoustic control are considered. The algorithm of operation and the block diagram of the system of continuous monitoring of the stress-strain state of structures of artificial structures for the purpose of their control and diagnostics to prevent an emergency condition, as well as to improve the safety of train traffic is given. The assessment of the technical condition of structures during their operation is carried out on the basis of vibroacoustic sensor technology, taking into account the capabilities of the equipment used.

Keywords: structural diagnostics, structured monitoring systems, vibration monitoring, vibroacoustic control, reflectometer.



Введение

Инфраструктурный комплекс ОАО «РЖД» имеет на балансе около 30 тысяч мостов и путепроводов, 159 тоннелей и множество других инфраструктурных объектов. Содержание такого количества искусственных сооружений и оптимизация расходов на поддержку их в рабочем состоянии является одной из ключевых задач ОАО «РЖД». В связи с этим, важным элементом в системе управления компанией является управление активами, которое позволяет учесть баланс интересов между затратами на содержание и строительство инфраструктуры, ее производственными характеристиками и оценкой рисков при дальнейшем развитии и содержании всех активов компании [1].

Одним из способов неразрушающего контроля, который в последнее время все чаще применяют компании для оценки состояния активов является виброакустический контроль. Точное измерение и мониторинг вибрации имеет решающее значение для обнаружения аномальных явлений и предварительного предупреждения о повреждении инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта [2]. Различные датчики вибрации широко доступны и в основном основаны на пьезоэлектрических, магнитострикционных, емкостных и индуктивных технологиях и т.д. Однако эти традиционные датчики вибрации страдают от электромагнитных воздействий и помех, которые создают трудности при применении их в суровых условиях.

Кроме того, незначительные расстояния мониторинга и высокие затраты на техническое обслуживание означают, что они не отвечают реальным потребностям современных инженерных измерений. По мере развития области применения датчиков вибрации, существует большой интерес к новым датчикам вибрации, которые заменяют традиционные датчики и позволяют повысить экономическую эффективность их применения.

Помимо датчиков вибрации для оценки и идентификации результата мониторинга на помощь оператору для принятия решения в систему мониторинга все чаще интегрируют искусственные нейронные сети (ИНС). Использование ИНС предпочтительно в тех ситуациях, когда решение задачи не может быть четко формализовано, вариантов решений множество, использование методов имитационного или математического моделирования невозможно, или оно не обеспечивает требуемую точность результата.

Постановка задачи

Определим задачи исследования: контроль параметров несущих конструкций зданий и сооружений; необходимость структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (мосты, туннели и т.д.); создание системы мониторинга инженерных (несущих) конструкций, опасных природных процессов и явлений (СМИК).

Рассмотрим вариант диагностики искусственных сооружений на основе виброакустического контроля

(или вибромониторинга) на основе волоконно-оптического кабеля (ВОК). Задачей авторов являлось нахождение решения с целью упрощения существующих систем диагностирования и расширение функциональных возможностей мониторинга для обеспечения контроля искусственных сооружений со сложной конфигурацией.

Решение

Предложенный способ мониторинга относится к области неразрушающего контроля и может быть использован для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций, контроля и диагностики технического состояния пролетных строений, мостов, эстакад, виадуков, путепроводов, туннелей различного назначения и конструктивного исполнения в процессе их эксплуатации на основе технологии виброакустического контроля или вибродиагностики.

Методы вибромониторинга разделены на пассивные и активные. В качестве практического применения используется метод пассивной вибродиагностики, который осуществляется при случайном воздействии: транспортного потока, проезда поезда, прогона одиночного локомотива, ветра, микросейсмиков и т.д. (не стационарный, неэргодический процесс).

Методами пассивной вибродиагностики пользуются тогда, когда отсутствует специальная система нагружения исследуемой конструкции, а в качестве режима нагружения используется случайное или регулярное фоновое воздействие природного или техногенного характера [3].

В [2] рассмотрена система мониторинга верхнего строения безбалластного и бесстыкового пути на мосту высокоскоростной магистрали, содержащая датчики температуры, датчики смещения и волоконно-оптические тензодатчики, которые установлены на шейке рельса и закреплены посредством клея на измерительных точках нейтральной оси шейки рельса, при этом параллельно волоконно-оптическому тензодатчику установлен датчик температуры рельсовой плиты и прикреплен к рельсу посредством теплопроводного геля кремниевой кислоты, датчики температуры рельсовой плиты, опорной плиты и моста установлены в отверстиях, выполненных в этих элементах конструкции, причем отверстия для установки датчиков температуры рельсовой плиты выполнены на верхней и торцевой ее сторонах, датчики смещения рельса относительно рельсовой плиты, относительного смещения рельсовой плиты и основания и продольного относительного смещения концов моста установлены в измерительных точках этих элементов конструкции, при этом датчики температуры, датчики смещения и волоконно-оптические тензодатчики выполнены на основе волоконных решеток Брэгга, а их выходы через соответствующие демодуляторы по линии связи соединены с сервером сбора данных, который каналом связи соединен с сервером обработки данных. >>>

Эта система мониторинга позволяет точно определять состояние верхнего строения пути. К недостаткам системы следует отнести наличие большого количества датчиков, их сложный и дорогостоящий монтаж, а также существенные затраты финансовые и временные на обслуживание данного оборудования на инфраструктуре железнодорожного пути.

В качестве сравнения с предложенным вариантом рассмотрено устройство дистанционного контроля состояния безбалластного железнодорожного пути [4]. Путь содержит расположенные под каждым рельсом в два слоя сенсорно-оптический кабель фиксации перемещения и сенсорно-оптический кабель фиксации температуры. Кабель подключен к измерительной аппаратуре, причем первый слой сенсорно-оптического кабеля фиксации перемещения и сенсорно-оптического кабеля фиксации температуры расположен под укрепленным слоем земляного полотна, а второй слой – в нижней части щебеночно-песчано-гравийной смеси. Каждый слой сенсорно-оптического кабеля фиксации перемещения механически связан с грунтом посредством фиксаторов.

Данное устройство позволяет осуществить надежный контроль состояния безбалластного железнодорожного пути на всей требуемой протяженности за счет повышения точности измерения деформации, устранения влияния температурных эффектов, особенно в случае, когда температура в грунте неоднородна. Из недостатков устройства можно выделить невозможность осуществления контроля более сложных искусственных сооружений (например, мостовых сооружений), у которых одним из наиболее важных параметров является частота собственных колебаний.

Предлагается следующий алгоритм работы:

- калибровка и тарировка распределенного волоконно-оптического датчика применительно к технологиям функционирования модулей диагностики и мониторинга состояний объекта инфраструктуры ОАО «РЖД»;
- настройка модулей диагностики и мониторинга состояний обследуемого объекта инфраструктуры ОАО «РЖД»;
- обработка и анализ измерительных сигналов применительно к условиям их статистической неоднородности (нестационарное внешнее возмущение, сезонность, различные параметры и состояния объектов диагностики и мониторинга) и неопределенности параметров информационной обстановки (параметры законов распределения помехи и внешних возмущений);
- обнаружение сигналов и их классификация применительно к условиям их статистической неоднородности и неопределенности параметров информационной обстановки;
- интерпретация и идентификация проблемы или неисправности элемента искусственного сооружения или объекта;
- формирование и отправка сообщения диспетчеру;
- в случае определения опасной ситуации – сообщение на борт поезда для снижения скорости или остановки.

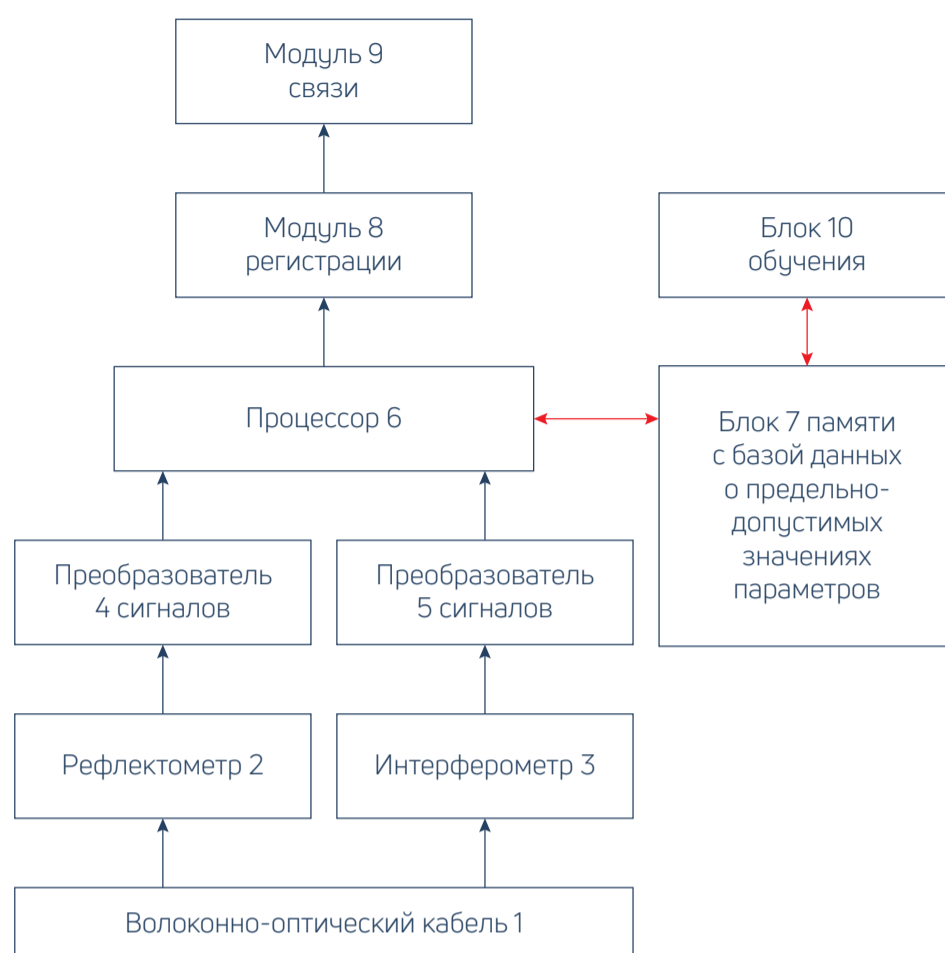


Рисунок 1. Схема системы контроля и диагностики искусственных сооружений

Аппаратная и программная части состоят из:

- операционные системы Windows/Астра Линукс/РЕД ОС;
- вычислительный модуль: шкаф телекоммуникационный напольный 42U с хранилищем данных на 30Тб (или иного объема);
- когерентный рефлектометр и интерферометр (2 шт., основной и мобильный вариант);
- система кондиционирования (для стационарных условий);
- источник бесперебойного питания (ИБП) предназначен для эксплуатации в стационарных постоянно отапливаемых помещениях и сооружениях.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений, содержит волоконно-оптический кабель и измерительную аппаратуру, которая состоит из рефлектометра и интерферометра. В свою очередь процессор, обрабатывает входящие данные от измерительной аппаратуры и регистрирует все значения параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения, выходящие за предельно-допустимые значения, которые хранятся в блоке памяти АРМ оператора.

Данные формируются на базе сертификационных (первичных) испытаний сооружения создается система объектно-ориентированных баз данных (ООБД) по каждому сооружению, включающая в себя, как традиционные формы отчетных материалов, так и экспериментальные данные сертификационных испытаний, которые объективно определяют состояние моста на момент проведения испытаний (динамический паспорт сооружения) [5].



В случае определения критических значений параметров через модуль связи сообщение с предупреждающим сигналом может передаваться диспетчеру или оператору системы мониторинга. Блок памяти в свою очередь может дополнительно обучаться с помощью оператора (учителя), который выбирает допустимые значения новых параметров от диагностируемого искусственного сооружения.

Волоконно-оптический кабель крепится к основным элементам диагностируемого искусственного сооружения с обеспечением плотного к ним прилегания и возможностью перемещения относительно этих элементов при их колебании.

Структурная схема системы контроля и диагностики искусственных сооружений представлена на рисунке 1.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений содержит волоконно-оптический кабель 1 соединенный с измерительной аппаратурой, состоящей из рефлектометра 2 и интерферометра 3 выходы которых через соответствующие преобразователи 4 и 5 сигналов подключены к процессору 6, соединенному с блоком 7 памяти, в котором в цифровом виде записана база данных о предельно-допустимых значениях параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения, выход процессора 6 соединен со входом модуля 8 регистрации, к выходу которого подключен модуль 9 связи, блок 7 памяти дополнительно соединен с блоком 10 обучения, при этом волоконно-оптический кабель 1 прикреплен к основным элементам диагностируемого искусственного сооружения с обеспечением плотного к ним прилегания и возможностью перемещения относительно этих элементов при их колебании.

Характеристики данного рефлектометра, который выбирался из аналогичных вариантов (Волкодав, Дунай), применяемых на практике, приведены в таблице 1. Он имеет оптимальное конструктивное исполнение с точки зрения вибро- и термоизоляции, отсутствия паразитных источников вибрации и электромагнитных помех внутри прибора, отсутствие излишних оптических кросс коммутаций внутри оптического блока. Оптимальная стоимость устройства определяется исходя из невысокой цены корпуса прибора, так и электронных компонентов внутри прибора. В частности, существенное снижение стоимости цифровых плат не привело к урезанию их функциональных возможностей. У прибора есть возможность удаленного управления оптическими компонентами и мониторинга значений токов и температуры внутри прибора посредством сервера обработки данных.

Система контроля и диагностики искусственных сооружений работает следующим образом

Искусственные сооружения рассматриваем как колебательную систему, которая определяет сооружение, в котором, в результате нарушения равновесия, возникают те или другие колебания. Для упрощения диссипативную систему, где учитывают рассеивание тепловой энергии при колебаниях, рассматриваем как консервативную, в которой рассеиванием энергии пренебрегают. При коле-

Таблица 1

Технические характеристики рефлектометра «АКУЛА»

Характеристика	Параметры
Конструктивное исполнение	Моноблок
Длина волны оптического излучения	1550 нм
Тип сенсорного волокна	G.652, G.657
Количество подключаемых оптических линий	2 или 4
Дальность действия	2(4) × 40 км/ 80–160 км
Пространственное разрешение	5 метров
Пространственная частота дискретизации	1,6 метра
Частота дискретизации АЦП	65 МГц
Разрядность динамический диапазон АЦП	14 бит
Интерференционная чувствительность (чувствительность к механическим воздействиям)	не менее 0,1 рад
Выходной сигнал	Интерфейс Ethernet, протокол UDP-IP
Температура эксплуатации	-40°С...+70°С для сенсорной части



Рисунок 2. Рефлектометр «АКУЛА» (АКУстический Лазерный Анализатор)

баниях происходит периодический переход одного вида энергии в другой, когда потенциальная энергия U (энергия, определяемая положением системы) переходит в ее кинетическую энергию K (энергию движения) и наоборот. Периодические колебания сооружения характеризуются круговой частотой, технической частотой и амплитудой колебаний. Круговая (циклическая) частота (рад/с) – это число колебаний за 2π секунды. Техническая частота f (или просто частота, Гц) – это число колебаний за одну секунду:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \tag{1}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \tag{2}$$

Любое сооружение можно рассматривать как систему с распределенным по нему бесконечным числом элементарных масс. Поэтому оно является системой с бесконечно большим числом динамических степеней свободы. Расчет сооружений в такой постановке является >>>

сложной задачей, обычно ее используют для расчета колебаний лишь простейших систем – балок, пластин и некоторых типов оболочек. Иногда, вводя только несколько сосредоточенных масс, удается достаточно точно описать простейшие колебания. Если этого сделать нельзя, то увеличение числа степеней свободы приближает результат к точному решению, но резко возрастает объем вычислений [6].

Виды колебаний искусственных сооружений могут быть: нарастающие, незатухающие и затухающие. Сооружение и ее части совершают колебания с частотами, которые определяются чувствительным непрерывным сенсором в виде волоконно-оптического кабеля, который улавливает возбуждение колебаний и передает сигнал для определения, сравнения и регистрации сигналов отклика конструкций. Полученные в реальном времени результаты инструментальных измерений через преобразователь сигналов поступают в процессор для последующего анализа этих частот колебаний и сравнения с имеющейся базой данных дефектов и шума, который не учитывается при определении дефекта.

В системе используется свободное волокно оптоволоконного кабеля в качестве распределенного датчика для определения дефектов сооружений и их местоположения по вибрации конструкции самого сооружения. В оптическое волокно поступает оптический сигнал (импульс), который частично отражается от неоднородностей волокна, вызванных акустической вибрацией конструкции. За счет вибрации кабеля, вызываемой вибрацией конструкции сооружения, происходит изменение отражения сигнала, который принимается рефлектометром и после преобразования в преобразователе сигналов фиксируется в модуле регистрации.

Вибрация и колебания сооружения создают воздействие на волоконно-оптический кабель и непосредственно оказывают модулирующее воздействие на оптическую несущую в волоконно-оптическом кабеле на сердцевину волокна. Модуляция фазы оптического сигнала преобразуется на выходе интерферометра в амплитудную модуляцию электрического сигнала, который в преобразователе сигналов переводится в цифровой формат для сравнения в процессоре с цифровыми значениями допустимых значений колебаний сооружения, содержащихся в блоке памяти.

Место воздействия на волокно волоконно-оптического кабеля определяется рефлектометром по разности рефлектограмм. Система обеспечивает определение дефекта, а также местоположение данного дефекта диагностируемого объекта на расстоянии до 40–50 километров от рефлектометра с точностью 5÷7 метров. С выхода преобразователя сигналы в цифровом формате поступают в процессор, который с помощью ИНС производит их оценку и сравнение с данными (с допустимыми частотами колебаний в цифровом виде), находящимися в блоке памяти, в котором записана база данных о предельно-допустимых значениях параметров собственных колебаний элементов диагностируемого искусственного сооружения. Полученные результаты записываются в модуль регистрации и могут передаваться в режиме онлайн через модуль связи в диспетчерский пункт для учета и принятия мер

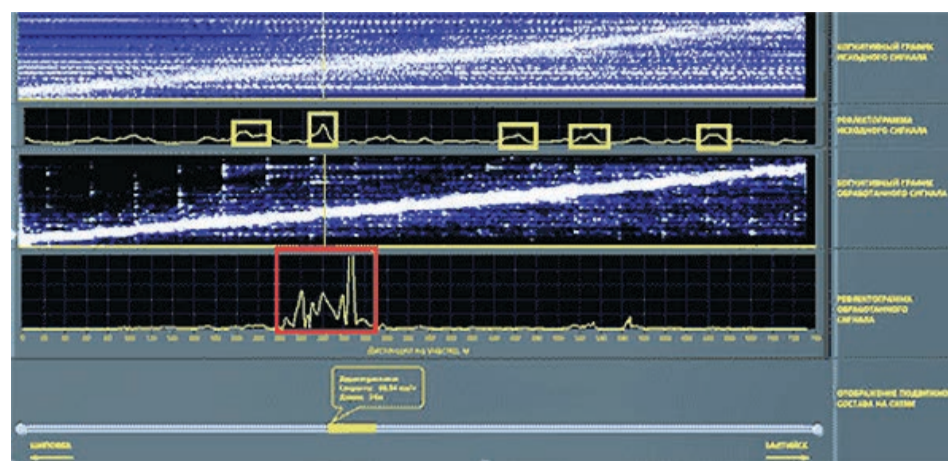


Рисунок 3. Обработка исходного сигнала (желтые квадраты) адаптивной нелинейной фильтрацией (красные квадраты) в разы повышает надежность получения достоверного информационного сообщения о месте неисправности (с точностью до 0,5–1 м)

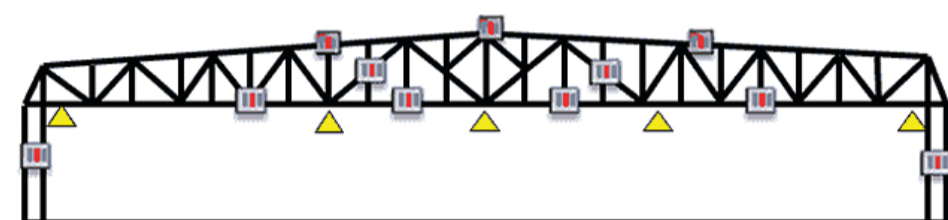


Рисунок 4. Схема мониторинга критических мест контроля мостового сооружения

по повышению безопасности движения автотранспорта и/или поездов на искусственном сооружении, а также проведению предиктивного ремонта (по состоянию). Полученная информация должна быть достаточной для подготовки обоснованного заключения о текущем техническом состоянии сооружения и выдачи краткосрочного прогноза о его состоянии на ближайший период.

Крепление оптоволоконного кабеля к конструкции может быть осуществлено таким образом, чтобы обеспечивать с одной стороны плотное прилегание к элементам конструкции, состояние которых необходимо непрерывно контролировать, с другой – перемещение относительно этих элементов при их колебании, так как жесткое крепление может привести к разрыву кабеля.

Диапазон измерений контрольно-измерительного комплекса должен включать в себя предельные допустимые значения измеряемого параметра конструкции. Согласно п.5.48, СП 35.13330.2011 в пролетных строениях конструкции значения периодов собственных колебаний не должны быть в интервале $0,45 \div 0,6$ с (частота $1,7 \div 2,2$ Гц). Так при проезде гусеничного транспорта по сооружению значение частоты составляет $3 \div 3,33$ Гц, Организованная колонна людей вызывает колебания конструкции с периодом $0,4 \div 0,7$ с (частота $1,43 \div 2,5$ Гц).

Наиболее надежное проектирование сооружения обеспечивает частоту собственных колебаний не менее удвоенного значения преобладающей частоты возмущения, т.е. должна быть в диапазоне не менее $3 \div 5$ Гц. Так, например, эталонные значения частот колебаний сталежелезобетонных пролетных строений на участке Тында –Ургал составляет 5,5-5,65 Гц, соответственно собственные колебания таких конструкций при достижении частот порядка 2,5 Гц считаются опасными, а менее >>>

2 Гц – критическими. Воздействие транспортных средств на пролетные строения определяется спектром частот собственных колебаний рам и кузовов автомобилей, железнодорожного подвижного состава, с закрепленными на них массами агрегатов и устройств, массами грузов и характеристиками жесткости рессор, пружин и пневмоподвесок, а также техническим состоянием поверхности проезжей части или железнодорожного пути.

Диапазоны значимых частот вертикальных, поперечных и продольных собственных колебаний составляют соответственно: 1.2÷6 Гц; 3÷8 Гц; 9÷30 Гц. Для автотранспорта, например, выделяют две основные полосы частот воздействия: первая в диапазоне 1÷4 Гц, вторая 6÷10 Гц. Уровень вибраций определяют, как среднеквадратичное значение в заданных диапазонах частот. Сравнивают уровень вибраций с заданными проектировщиками мостового сооружения уставками по амплитуде вибраций. В случае превышения уставок, осуществляется запись сигнала вибраций и при необходимости принимается решение о прекращении движения или ограничения скорости движения по мостовому сооружению.

В случаях, когда предельные допустимые значения параметра неизвестны, диапазон должен выбираться на основе опыта выполнения аналогичных работ или на основе экспертной оценки. При определении дефекта конструкции процессор непрерывно сравнивает частоту поступившего сигнала с имеющимися в базе данных блока памяти:

- сигналов конструкции на действие временных подвижных нагрузок (температуры, ветра и пр),
- диапазонов изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций моста в пределах допустимой нормы,
- динамических характеристик моста – основными формами и частотами свободных колебаний конструкции.

В случае обнаружения неисправности в работе сооружения система указывает на элемент конструкции (определяет расстояние от рефлектометра), в котором диагностируется дефект (по заданной частоте с помощью интерферометра) – переместившаяся опора, наличие трещины, заклиненный деформационный шов и т.п.

Информацию о текущих событиях, которые граничат с опасными условиями эксплуатации, выделяют для хранения и записывают в модуль регистрации. Работа с модулем регистрации обеспечивает возможность более глубокой аналитической обработки, проведения обобщающих исследований процессов эксплуатации конструкции сооружения и формирования отчета за интересующий период.

Так, например, мостовое сооружение – достаточно сложная пространственная конструкция, которая обладает индивидуальной частотно-зависимой последовательностью пространственных (трехмерных) форм собственных колебаний, в системе предусмотрен блок обучения, который осуществляет автоматическую калибровку и фиксирует допустимые значения этих колебаний, тем самым самообучает базу данных допустимыми значениями возможных отклонений от спокойного состояния конструкции.

Основной вариант диагностики моста состоит в оценке состояния нижних балок моста.

Для настройки системы с помощью блока обучения необходимо установить пороговые значения частотного диапазона и провести математический анализ отклика сооружения, который проводится в несколько взаимосвязанных этапов:

- на этапе предварительного моделирования разрабатываются модели пролетных строений, для этого используется проектная документация или результаты обмеров,
- адаптация модели сооружения осуществляется на основе экспериментальных данных, полученных после проведения динамической диагностики, осмотра сооружения и установления причин различия теоретических и экспериментальных данных с учетом таких особенностей как заклинивание опорных частей, неравномерное опирание балок пролетного строения, нарушение взаимодействия пролетных строений с насыпями подходов, неразрезность слоев дорожной одежды между пролетами и т.д., работа опор, фундаментов и оснований, климатические условия проведения испытаний.

Все виды дефектов мостовых сооружений подразделяют на пять видов. Каждому отклонению от нормы содержания сооружения соответствует пять вариантов состояния сооружения:

- 1) обеспечивается комфортный проезд транспортного средства;
- 2) обеспечивается плавный проезд (ограничения скорости не требуется);
- 3) сохраняются условия безопасности проезда, хотя требования по плавности не соблюдены (вводятся незначительные ограничения скорости движения);
- 4) сохраняются условия безопасного проезда, но требуются ограничения не только скорости, но и массы транспортных средств;
- 5) движение транспорта опасно (организация движения должна быть пересмотрена вплоть до закрытия движения по мосту или полосе).

Для удешевления проекта, возможно использование съемных систем определения и регистрации измерений, которые крепятся на конце волоконно-оптического кабеля и после проведения измерений на определенном временном участке, могут быть демонтированы, причем модуль связи можно не устанавливать. Далее модуль регистрации направляется для расшифровки и проведения обобщающих исследований процессов эксплуатации конструкции сооружения и формирования отчета за интересующий период. Принятие решения по данному сооружению основывается на данных, полученных после формирования отчета. В этом случае мы не получаем непрерывного мониторинга, но снимаем большую часть расходов на содержание и обслуживание дорогостоящей техники при проведении измерений. На некоторых искусственных сооружениях достаточно проводить такие виды мониторинга с определенной периодичностью, что позволяет использовать один комплект диагностического оборудования на нескольких сооружениях, оборудованных только волоконно-оптическим кабелем. >>>

Выводы

Практическое применение распределенных систем мониторинга на основе виброакустического сенсора связано с условиями конкретной задачи и определяется характером и родом внешних виброакустических воздействий на сенсор (волоконно-оптический кабель – ВОК). При использовании когерентного рефлектометра, подключенного к волоконно-оптическому кабелю, выполняющего роль распределённого волоконно-оптического сенсора, исследовались сигналы с выхода рефлектометра [7]. При воздействии на волоконно-оптический кабель на выбранном участке в результате эксперимента были выявлены характерные показания, по которым можно было однозначно определить нагрузку на детали конструкции (Рис. 5.).

Одним из основных направлений применения ИНС на железной дороге помимо управления поездами в автоматическом режиме (УА4) является диагностика и контроль технического состояния подвижного состава, железнодорожной инфраструктуры и искусственных сооружений [8].

Варианты применения ИНС не исчерпываются указанными, в будущем с помощью нейросетевых технологий будут планироваться поездки, покупаться билеты, осуществляться ремонт локомотивов и инфраструктуры, осуществляться управление движением на всей сети железных дорог.

Своевременная диагностика позволяет продлить ресурс объекта железнодорожной инфраструктуры без капитального ремонта и осуществлять его ремонт

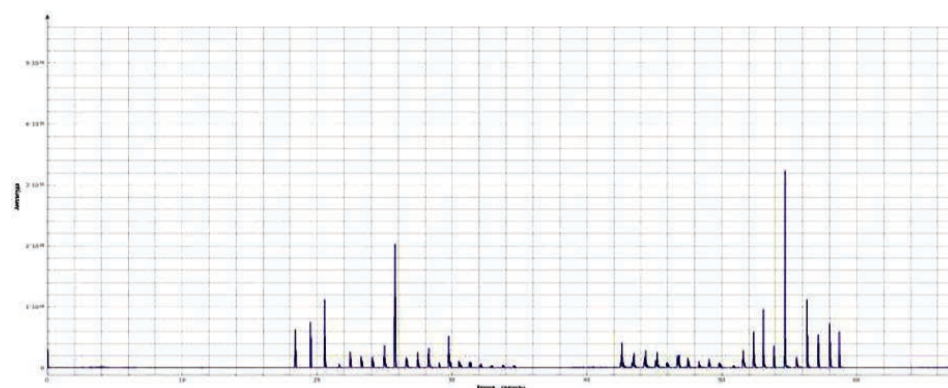


Рисунок 5. Результат обработанного сигнала при воздействии на ВОК

по состоянию. С помощью алгоритмов глубокого обучения эти результаты могут быть существенно улучшены, что открывает большие возможности в переходе к новой прогрессивной схеме управления техническим содержанием: Эксплуатация и диагностика — Предиктивный анализ — Работа на опережение [1].

По результатам проведенного анализа используемых систем и вариантов оборудования предложен вариант для непрерывного мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций, контроля и диагностики технического состояния пролетных строений, мостов, эстакад, виадуков, путепроводов, туннелей различного назначения и конструктивного исполнения в процессе их эксплуатации на основе технологии виброакустического контроля, АО «НИИАС» получен патент на «Систему контроля и диагностики искусственных сооружений» [9]. ■

Список литературы

1. Шубинский, И.Б. Об управлении техническими активами на железнодорожном транспорте России / И.Б.Шубинский // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. Том Часть 3. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. – С. 261-274. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-376. – EDN C1FKCX.
2. Патент № 2681766 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/08. Система мониторинга верхнего строения безбалластного и бесстыкового пути на мосту высокоскоростной магистрали: № 2018119992: заявл. 30.05.2018: опубл. 12.03.2019 / В. П. Левшунов, А. А. Белый; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – EDN RZTYIN.
3. Мониторинг нагруженности композитной конструкции арочного моста на основе волоконно-оптических датчиков / А.Е.Раскутин, В.В.Махсидов, О.И.Смирнов, Л.А.Кашарина // Труды ВИАМ. – 2018. – № 3(63). – С. 49-59. – DOI 10.18577/2307-6046-2018-0-3-49-59. – EDN YSEZPI.
4. Патент № 2613126 С1 Российская Федерация, МПК В61L 23/04. устройство дистанционного контроля состояния безбалластного железнодорожного пути: № 2015145218: заявл. 21.10.2015: опубл. 15.03.2017 / А.В.Савин, М.А.Солодянкин, А.Л.Ермилов, Д.А.Чугунов; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). – EDN HXDOLL.
5. СП 274.1325800.2016 Мосты. Мониторинг технического состояния, СП (Свод правил) от 16 декабря 2016 года №274.1325800.2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456050588>
6. Distributed fiber-optic sensors for vibration detection / X. Liu, B. Jin, Q. Bai [et al.] // Sensors. – 2016. – Vol. 16, No. 8. – P. 1164. – DOI 10.3390/s16081164. – EDN WSCOUN.
7. Кудюкин, В.В. Инновационные технологии обеспечения безопасности движения на основе оптоволоконной сенсорики / В.В.Кудюкин, С.С.Кукушкин, А.Н.Белов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 43-46. – DOI 10.34649/AT.2021.11.11.010. – EDN BPQFXF.
8. Охотников, А.Л. Искусственный интеллект для железной дороги / А. Л. Охотников, А.В.Зажигалкин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 5. – С. 30-34. – DOI 10.34649/AT.2021.5.5.004. – EDN IFAYJK.
9. Патент № 2717693 С1 Российская Федерация, МПК G01B 11/16. Система контроля и диагностики искусственных сооружений: № 2019119516: заявл. 24.06.2019: опубл. 25.03.2020 / Ю.В.Дзюба, А.Л.Охотников, А.А.Павловский; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – EDN MZPJDD.

УДК: 656.004.89; 656.052//625.173.1

Повышение эксплуатационной надежности железнодорожного пути

Improving the operational reliability of the railway track

Коваленко Н. И., д.т.н., профессор, Российский университет транспорта,
E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия

Kovalenko N.I., Doc.ofSci.(Tech), Professor, Russian University of Transport,
E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

Аннотация



Важнейшей задачей повышения эксплуатационной надежности железнодорожного пути является достижение равномерности в эксплуатации его элементов. В настоящее время, для устранения неисправностей пути в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений в профиле пути, широкое распространение получил способ применения регулировочных прокладок (карточек) на локальных участках. Исследованиями установлено, что следствием уменьшения подрельсовой опорной площадки при использовании регулировочных прокладок (карточек) является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7-15% и увеличение на 8 – 18% усталостных процессов деградации рельсовой стали. Это необходимо учитывать с точки зрения равномерности путевых элементов для повышения эксплуатационной надежности пути.

Ключевые слова: транспорт, планово-предупредительная выправка пути, регулировочные прокладки (карточки), особо грузонапряженные участки, равномерность элементов пути.

Abstract

The most important task of increasing the operational reliability of the railway track is to achieve uniform service life in the operation of its elements. Currently, to eliminate track faults in the form of local subsidence, distortions, and other deviations in the track profile, the method of using shims (cards) in local areas has become widespread. Research has established that the consequence of reducing the under-rail support area when using shims (cards) is a decrease in the elastic modulus of the under-rail base by 7-15% and an increase in fatigue degradation processes of rail steel by 8-18%. This must be taken into account from the point of view of the uniform resource life of track elements to increase the operational reliability of the track.

Keywords: transport, planned and preventive track alignment, shims (cards), especially heavy load areas, uniform resource life of track elements.



Введение

При текущем содержании пути, в первую очередь, на участках высокой грузонапряженности в настоящее время применяются регулировочные прокладки (карточки) для устранения неисправностей в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, которые оцениваются путеизмерительными средствами как неисправности второй степени [1–3].

В практике текущего содержания данный способ получил широкое распространение, в том числе на участках бесстыкового пути. Его эффективность вызвана сравнительно невысокой трудоёмкостью выполнения работ с применением регулировочных прокладок (карточек) на локальных участках, а также сравнительно коротким промежутком времени необходимого для выполнения этих работ [4–6]. Данный способ получил широкое распространение, в практике ОАО «РЖД» в связи с внедрением участкового метода текущего содержания, который потребовал изменения технологий выполнения работ.

Применение такого способа устранения неисправностей имело значительное сокращение трудозатрат при выполнении данных работ при высоких показателях качества текущего состояния рельсовой колеи по оценке её состояния путеизмерительными средствами, например, путеизмерительными вагонами и ручными приборами. Практика такого способа устранения неисправностей применялась в 70–80 г.г. прошлого столетия, например, на одной из дистанций пути Куйбышевской железной дороги (например, ПЧ-12) в виде частной инициативы дорожного матера по текущему содержанию пути. Однако более глубоким и всесторонним анализом состояния всех элементов пути на этом же участке данной дистанции, было установлено, что, например, состояние рельсов по дефектности за этот же промежуток времени существенно отличалось в худшую сторону, по сравнению с аналогичными участками, имеющими, прочие практически, одинаковые характеристики, как перевозочного процесса, так и географических параметров. Как результат, для звеньев пути на деревянных шпалах, который эксплуатировался в тот период времени, такой способ устранения неисправностей был подвержен критике, признан не эффективным и запрещенным к применению.

Соответствующего научно технического подтверждения и обоснования влияния изменения конструкции элементов подрельсового основания и последствий длительного применения регулировочных прокладок (карточек) с целью массового использования данного способа производства работ не было выполнено [7, 8].

Авторы данный способ работ рассматривают в качестве одной из причин ухудшения состояния путевого хозяйства, сложившегося в настоящее время на сети железных дорог Российской Федерации [9–11]. Ухудшение состояния, в частности, отмечается в телеграмме ОАО «РЖД» от 13.09.2021 г., в которой указывается на – «Увеличение количества сходов подвижного состава на сети ОАО «РЖД» по причинам наличия дефектных и остродефектных рельсов и их последующего разрушения, наличия дефектных изолирующих стыков с наклад-

ками АпАТЭК, а также сварных стыков, выполненных алюминотермитным способом».

В данной телеграмме отмечается, что – «Обстановка с изломами рельсов в путевом хозяйстве инфраструктурного комплекса сложилась крайне неудовлетворительная. Например, по состоянию на 13.09.2021 г. на сети железных дорог было допущено 70 случаев изломов, за аналогичный период прошлого года – 42, из них 28 изломов алюминотермитных сварных стыков (2020 г. – 8). Кроме того, с начала текущего года по сети допущено 5 случаев схода подвижного состава по причине разрушения рельсов в зоне изолирующих стыков с накладками АпАТЭК».

В данной телеграмме указывается, что – «Несмотря на принимаемые меры по стабилизации ситуации, отдельными Дирекциями инфраструктуры (ДИ) должных выводов не сделано, мер по снижению изломов рельсов не принято, работа по устранению нарушений не проводится».

Материалы и методы

В качестве примера оценки текущего состояния путевого хозяйства рассмотрим историю и последствия аварии в виде схода поезда, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». На наш взгляд, данный инцидент следует отнести к материалам по неудовлетворительному состоянию рельсов, изолирующих стыков, в том числе, АпАТЭК и путевого хозяйства инфраструктурного комплекса в целом.

Характеристика рассматриваемого участка пути. Класс линии – 2, класс пути – 3, специализация – О (особогрузонапряженная), путь уложен при модернизации линии в 2013 году. Пропущенный тоннаж по рассматриваемому пути на момент произошедшего схода составил 766,0 млн. т брутто. Грузонапряженность линии 96,524 млн. ткм брутто/км в год.

Характеристика рельса, разрушившегося в результате схода поезда: тип рельса Р65, завод – изготовитель АО «ЕВРАЗ ЗСМК», дата проката рельса – январь 2013 г. (на шейке рельса указано К12013), категория рельса – ДТ350, износ головки рельса: вертикальный – 2,5 мм, боковой по рабочей грани – 14 мм.

Информация по оценке состояния участка пути накануне произошедшего схода

На данном участке с 2017 года не был выполнен средний ремонт пути, который должен быть запланированным в соответствии с пунктами 5 и 6 (п/п 6.7) «Правил назначения ремонтов пути» [12], а также пунктом 12 Приложения №1 в ПТЭ [13].

На примыкающих концах рельса, на котором смонтирован изолирующий стык, была нарушена эпюра >>>

шпал (в сторону её увеличения), которая предусматривается в соответствии с п. 3.11.10 и п. 3.11.11 Инструкции [14]. Предстыковая шпала с отдающего конца рельса имела раскол.

При зимнем комиссионном осмотре на данном участке 06 января 2021 г., примерно за два месяца до схода, выявлены замечания в виде угла в плане 36 мм на длине 24 м и свехнормативного зазора 26 мм в изолирующем стыке по левой рельсовой нити (на которой в дальнейшем произошел сход подвижного состава). Согласно акту комиссии ОАО «РЖД» эти неисправности были устранены.

При рабочем проходе диагностического комплекса ЭРА на данном участке (километре) 08 февраля 2021 г., примерно за месяц до схода, были обнаружены неисправности в виде бокового износа рабочей грани рельса от 16,6 мм до 19,5 мм, что соответствует оценке «неудовлетворительно».

По отчетным документам на этом же участке пути 22 февраля 2021 г., затем 07 марта 2021 г. производились работы по замене упругой прокладки на промежуточных скреплениях ЖБР-65 ПШМ, которые эксплуатировались на этом участке пути. Далее, 10 марта 2021 г. на данном участке пути выполнялись работы по регулировке ширины колеи.

В материалах расследования, а также в отчетах по текущему содержанию участка пути, где произошел сход, например, в ПУ-74 [15], отсутствуют материалы, в которых было бы указано выполнение работ по осмотру данного участка пути и изолирующего стыка.

Результаты

Для изучения возможных причин схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г. на перегоне Южно-Уральской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», было выполнено моделирование и произведены расчеты [16–19], которыми было установлено, что **при неразрушенной шпале** максимальный изгибающий момент действует в сечении по оси принимающей шпалы. На верхней поверхности (под головкой рельса) будет растянутая зона, на нижней опорной поверхности (над подошвой рельса) – сжатая зона (на схеме указана в виде знаков «минус»). В сечении зазора стыка изгибающий момент и напряжения имеют минимальные значения.

Расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса по оси принимающей шпалы составил: при слабом подрельсовом основании 1,3, при жестком – 1,7.

Выполненное аналогичное моделирование и произведенные расчеты при эксплуатации пути с разрушенной шпалой под принимающим концом рельса максимальный изгибающий момент действует в сечении по оси принимающей шпалы.

При разрушенной шпале под принимающим рельсом на верхней поверхности (под головкой рельса) будет растянутая зона, на нижней опорной поверхности (под подошвой отдающего конца рельса) – сжатая зона.

- в случае разрушения принимающей шпалы, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса по оси отдающей шпалы составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании (принимающая шпала отсутствует);
- на разработанной модели при разрушении принимающей шпалы (или ее отсутствии) надрыв сечения рельса прогнозируется в ослабленном сечении, расположенном на расстоянии, порядка, 48 мм от оси шпалы.

Обсуждение результатов

Для установления возможной причины схода подвижного состава, произошедшего 16 марта 2021 г., были проведены исследования и выполнены расчеты, приведенные на схемах нагружения и эпюрах изгибающих моментов в рельсах и накладках, рисунков 1 и 2. Значения модулей упругости подрельсового основания принимаются равными: 23 МПа при слабом или мягком основании (при разрушенной шпале) и 121 МПа при жестком основании (при не разрушенной шпале). Установлено, что для достижения предельных напряжений в поперечных сечениях рельсов от воздействия вертикальных сил давления колес, необходимо приложить силу 86,4 тс от одного колеса или 172,8 тс от колесной пары при слабом основании, при жестком основании – 129,0 тс от одного колеса или 258 тс от колесной пары при неразрушенных шпалах и не изломавшихся рельсах. Вертикальные прогибы головки рельса по оси стыка составят в случае подрельсового основания с жесткостью 23 МПа – 36 мм, при жесткости основания 121 МПа – 24 мм.

При расчетной динамической нагрузке от колеса при осевой нагрузке 25 тс (от колеса – 12,5 тс) с учетом ударного взаимодействия составит 20,1 тс (расчетная схема 1). Соотношение фактически действующих сил и сил, приводящих к излому рельсов, составит: $86,4/20,1=4,3$ раза при слабом и $129,0/20,1=6,4$ раза при жестком основании.

Таким образом, для излома поперечного сечения рельса от воздействия вертикальных сил от колес на рельсы при неразрушенных шпалах и не изломавшихся рельсах необходимо приложить силы в 4,3 и 6,4 раза превышающие реализующиеся воздействия при осевых нагрузках 25 тс при слабом и жестком основании соответственно.

Результатами исследований и выполненных расчетов установлено, что наиболее вероятной причиной схода вагонов, произошедших 16 марта 2021 г. на Южно-Уральской железной дороге – филиале ОАО «РЖД» является излом рельса в районе первого отверстия под перемычку диаметром 22 мм, вызванного усталостными процессами деградации рельсовой стали (пропущенный тоннаж более 766 млн. т брутто при нормативной величине 700 млн. т брутто в согласно ранее приведенных ПТЭ и «Правил назначения ремонтов» в условиях интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии более 96 млн. ткм брутто >>>

на км в год). А также не выполнении работ по замене упругой прокладки на скреплении ЖБР-65 ПШМ и не выполнении регулировки ширины колеи и недостаточной эффективности выполнения мероприятий по текущему содержанию данного участка пути и изолирующего стыка. В частности, при текущем содержании данного участка пути применялись регулировочные прокладки (карточки) для устранения неисправностей в виде локальных просадок и перекосов.

На стадии предварительных исследований, проведенного анализа, произведенных расчетов было установлено, что использование регулировочных прокладок (карточек) при локальном устранении неисправностей в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, следует учитывать последствия такого процесса в виде изменения, как геометрических характеристик такой конструкции, так и характеристик динамического взаимодействия. В частности, геометрические размеры (длина и ширина) регулировочных прокладок (карточек) на 10–20 % меньше опорных размеров подрельсовых элементов промежуточных скреплений или подрельсовых опор (шпал, брусьев, плит и других конструкций). Следствием уменьшения опорной площади является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7–15 % и увеличение усталостных процессов деградации рельсовой стали. На предварительной стадии это увеличение может составлять 8–18 %.

С целью определения необходимых параметров регулировочных прокладок (карточек), их размеров, количества применения на единице длины участка пути и других характеристик необходимо уточнить изменения модуля упругости подрельсового основания, а также модуля упругости рельсов при использовании регулировочных прокладок (карточек). Кроме этого, следует уточнить технологические параметры их применения, такие как продолжительность эксплуатации пути на регулировочных прокладках (карточках), порядок их укладки и замены и другие характеристики регулировочных прокладок (карточек).

Стратегической задачей эффективной эксплуатации пути является достижение равноресурсности при эксплуатации его элементов за счет продления (увеличения) жизненного цикла элементов конструкции пути путем оптимизации ремонтной схемы и снижения затрат на ремонты, в том числе, снижения затрат на текущее содержание, что позволит в целом уменьшить затраты на материалы и снизить трудозатраты [10, 20].

Условием эффективной организации ремонтов пути и его текущего содержания является минимизация суммарных затрат, связанных с выполнением путевых ремонтных работ и задержек поездов, с учетом количества и продолжительностью требуемых «окон» (закрытия перегона). При выполнении расчетов учитываются только переменные факторы, зависящие от организации и технологии выполнения работ.

Выводы

Изменение нормативных параметров в конструкции пути и его элементах, а также изменение технологии производства работ, приводит к накоплению в пути различных неисправностей, в особенности для условий интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии 100 млн. ткм брутто/км в год и более) в виде, например, просадок, перекосов, углов в плане, угона рельсов и других неисправностей.

Выполненным моделированием и произведенными расчетами установлено, что коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении рельса составил 1,7 при жестком (стабилизированном) подрельсовом основании, при слабом (мягком, сразу после ремонта) подрельсовом основании его величина составила 1,3. В случае разрушения принимающей шпалы или её отсутствия, коэффициент запаса прочности по напряжениям в наиболее нагруженном сечении составил 0,82 как при слабом, так и при жестком подрельсовом основании.

На стадии предварительных исследований установлено, что использование регулировочных прокладок (карточек) при локальном устранении неисправностей в виде локальных просадок, перекосов, других отклонений положения рельсовых нитей железнодорожного пути в профиле, следует учитывать последствия такого процесса в виде изменения как геометрических характеристик такой конструкции, так и характеристик динамического взаимодействия.

На предварительной стадии установлено, что следствием уменьшения подрельсовой опорной площадки при использовании регулировочных прокладок (карточек) является уменьшение модуля упругости подрельсового основания на 7–15 % и увеличение на 8–18 % усталостных процессов деградации рельсовой стали. Это необходимо учитывать с точки зрения равноресурсности путевых элементов для повышения эксплуатационной надежности пути. ■



Список литературы

1. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 22-23.
2. Kovalenko Nikolay, Volkov Boris, Kovalenko Aleksandr, Kovalenko Nina (2020). Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC "Russian Railways" in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer Cham05 January 2020, pp 177-183.
3. Методика классификации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2015 г. № 551р.
4. Kovalenko Nikolay, Ponomarev Valentin, Kovalenko Nina, Fomina Nadegda, Kovalenko Aleksandr (2020). Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, Cham05 January 2020, pp 184-194.
5. Kovalenko Nikolai, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S Web of Conferences, Vol. 157 06031 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031 Springer, 20 March 2020, pp 92-99.
6. Гапеенко Ю.В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 10. — С. 13–16.
7. Путевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы. Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта / Атаманюк А.В., Бредюк В.Б., Бугаенко В.М. и др.; под ред. Поповича М.В., Бугаенко В.М. - М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 285 с.
8. Величко Д.В. Толстикова Н.А. Анализ загрязненности щебеночного балласта // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск. – 2016. – № 3 (27). – С. 110 – 117.
9. Путевые машины. Учебник для вузов ж.д. транспорта / С.А.Соломонов, М.В.Попович, В.М.Бугаенко и др.; под ред. С.А.Соломонова. — М.: Желдориздат, 2000. — 756 с.
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. № 1734-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года» (в ред. распоряжения Правительства РФ от 11.06.2014 № 1032-р).
11. Tsvetkov V.Ya. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol. (1), №1. – pp. 45-50.
12. «Правила назначения ремонтов железнодорожного пути», утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2021г. введенные в действие 29.04.2022г. (далее «Правила назначения ремонтов»).
13. «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждены Министерством транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010г. № 286 с изменениями в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 09.02.2018г. № 54».
14. «Инструкция по текущему содержанию пути, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016г. № 2288р».
15. «Журнал учета работ по текущему содержанию и оценке состояния пути и путевых устройств, утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 02 мая 2012 г. № 857р (далее ПУ-74) /электронный ресурс sdorzduchetnaya...pu-74-eto...sdo-rjd.html/».
16. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: учебное пособие для вузов / Г.М. Ицкович, А.С. Минин, А.И. Винокуров; Под общ. ред. Л.С. Минина. – М.: Высшая школа, 2001. – 592 с.
17. Перельмутер, А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Издание четвертое, переработанное и дополненное Издательство СКАД СОФТ Издательство Ассоциации строительных вузов Издательство ДМК Пресс Москва 2011. – 736 с.
18. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов / А.В.Александров, В.Д.Потапов, Б.П.Державин; Под ред. А.В. Александрова. – 3-е изд. Испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 560 с.
19. Горшков, А.Г. Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. / А.Г. Горшков, В.Н. Трошин, В.И. Шалашилин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.
20. Державин А.Н. Методика назначения капитального ремонта пути на перегоне/А.Н. Державин Н.Н. Лысенко, А.В. Замуховский // Путь и путевое хозяйство. 2021.- №5. –С.31-33.

Контакты

Редакция

8 (916) 433-60-72
journal@vniias.ru

АО «НИИАС»

Россия, Москва, 109029,
Нижегородская ул. 27, стр 1

+7 (495) 967 77 06

info@vniias.ru