

Стратегия развития  
железных дорог

Геоинформационные  
технологии и системы на  
транспорте

Экономика, организация  
работ и безопасность  
движения на транспорте

Интеллектуальные  
системы и технологии  
на транспорте

Цифровые методы  
на железнодорожном  
транспорте

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



**3** стр.

**Стратегия развития железных дорог**

«Современные системы технической диагностики и мониторинга на железнодорожном транспорте»

Озеров А.В., Куроптева А.П.

**27** стр.

**Геоинформационные технологии и системы на транспорте**

«Интервальное управление в радиорелейном информационном пространстве»

Ознамец В.В.

**14** стр.

**Интеллектуальные системы и технологии на транспорте**

«Логистическая коммуникативистика»

Цветков В.Я.

**32** стр.

**Цифровые методы на железнодорожном транспорте**

«Структура семантической интероперабельности для онтологии объектов железнодорожной инфраструктуры»

Дулин С.К.

**20** стр.

**Геоинформационные технологии и системы на транспорте**

«Геоинформатика транспорта»

Бронников С.В.

**39** стр.

**Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте**

«Особенности технологии технического обслуживания конструкции пути обогрузонапряженных участков»

Коваленко Н.И., Крылов С.А.

УДК: 001.895, 004.8, 004.85, 625

# Современные системы технической диагностики и мониторинга на железнодорожном транспорте

## Advanced diagnostic and monitoring systems for railways

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

**Ozerov A.V.**, Head of International Department, JSC NIAS,  
E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Moscow, Russia

**Куроптева А.П.**, Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: a.kuropteva@vniias.ru, Москва, Россия

**Kuropteva A.P.**, Chief Specialist of International Department, JSC «NIAS»,  
E-mail: a.kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

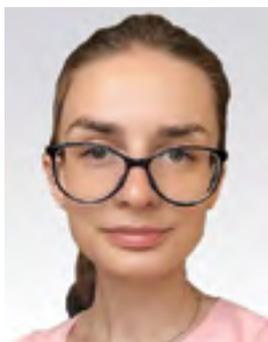
В статье представлен обзор современных средств контроля состояния пути и сооружений на основе перспективных цифровых технологий, предложена общая структура перспективной системы управления движением поездов с интегрированной в нее средствами диагностики и мониторинга. Приведены практические примеры внедрения различных технологий с использованием интеллектуальных средств диагностики и мониторинга.

**Ключевые слова:** Транспорт, системы диагностики и мониторинга, машинное обучение, аналитика больших данных, цифровой двойник, моделирование, интернет вещей, ВСМ.

### Abstract

The article presents an overview of modern systems for monitoring the condition of tracks and structures based on advanced digital technologies, the general structure of a promising train control system with integrated diagnostic and monitoring tools is proposed. Best world practices of implementation of various technologies using intelligent diagnostic and monitoring tools are given.

**Keywords:** Transport, diagnostic and monitoring systems, machine learning, big data analytics, digital twin, simulation, high-speed rail.



На железнодорожном транспорте большое внимание уделяется мерам по обеспечению высокого уровня эксплуатационной надежности подвижного состава и объектов инфраструктуры, от которой напрямую зависит безопасность перевозочного процесса. Большинство систем железнодорожной автоматики, эксплуатируемых в настоящее время, характеризуются достаточно простыми и жесткими логическими функциями безопасности и базируются на анализе текущей, а в ряде случаев и предшествующей, поездной обстановки, а также текущего состояния элементов инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики.

На современном этапе развития систем железнодорожной автоматики исходят из того, что при построении системы управления движением поездов должен учитываться широкий спектр рисков и должны предусматриваться встроенные механизмы раннего обнаружения и предупреждения угроз, до перехода системы в опасное состояние. Это может достигаться за счет создания единого информационного пространства технологического процесса контроля и управления движением поездов, обеспечения интероперабельности отдельных существующих и эксплуатируемых в настоящее время подсистем, использования цифровых моделей и технологии больших данных. В едином информационном пространстве появляется возможность выявлять не только различные дефекты железнодорожной инфраструктуры, но и прогнозировать изменение ее состояния во времени, и на этой основе разрабатывать политику технического обслуживания и ремонта.

Основным источником информации о внешней среде и текущем состоянии инфраструктуры железнодорожного транспорта, задействованной в ответственном технологическом процессе и оказывающей влияние на уровень его безопасности, следует считать системы технической диагностики и мониторинга. Под системами технической диагностики и мониторинга следует понимать не только привычные системы диагностики и мониторинга аппаратных и программных средств железнодорожной автоматики, но и системы мониторинга транспортной безопасности, системы обнаружения признаков асоциального поведения пассажиров и иные системы, позволяющие обнаруживать потенциальные источники дестабилизирующих в отношении штатного протекания ответственного технологического процесса движения поездов факторов.

Существующие системы технической диагностики и мониторинга применяются преимущественно для контроля технического состояния оборудования при организации его обслуживания и ремонта по состоянию. Как правило, при этом речь идет об объектах инфраструктуры железных дорог [1]. Реже системы мониторинга используются для контроля полноты и правильности выполнения процесса технического обслуживания и ремонта сложных систем и устройств железнодорожной автоматики. Анализ тенденций развития систем технической диагностики и мониторинга указывает на расширение перечня контролируемых ими параметров. Ведутся работы по реализации программно-аппаратных комплексов для прогнозирования технического состояния объектов инфраструктуры, а также работы по созданию комплексных систем, контролирующих несколько разнородных объектов, принимающих участие в процессе движения поездов [2].

Средства диагностики и мониторинга (мобильные, съемные, стационарные) проделали значительный эволюционный путь от механизации к электронике, от аналога к «цифре», через автоматизацию к цифровизации и интеллекту. Первые этапы развития систем диагностики и мониторинга заключались в интенсивном наращивании функциональности, повышении степени автоматизации процессов измерений, в цифровой обработке и анализе полученных данных. Последующие этапы были переходными, сочетающими в себе функциональность, автоматизацию, адаптивность и компактность исполнения, получение данных в реальных условиях взаимодействия инфраструктуры и подвижного состава. На современном этапе, определяющем новое поколение средств диагностики, ко всем накопленным возможностям добавляются возможности встроенного интеллекта, автономность работы и интегрированность в системы подвижного состава [3].

Средства последнего поколения уже реализуют в своей конструкции элементы интернета вещей. Локальная бортовая сеть объединяет датчики, электрическое и энергетическое оборудование, контроллеры и вычислительные комплексы в сложную интегрированную систему. Мониторинг состояния железнодорожного пути включает в себя наблюдение за верхним и нижним строением пути, геометрией рельсового пути, а также наблюдение за изменением



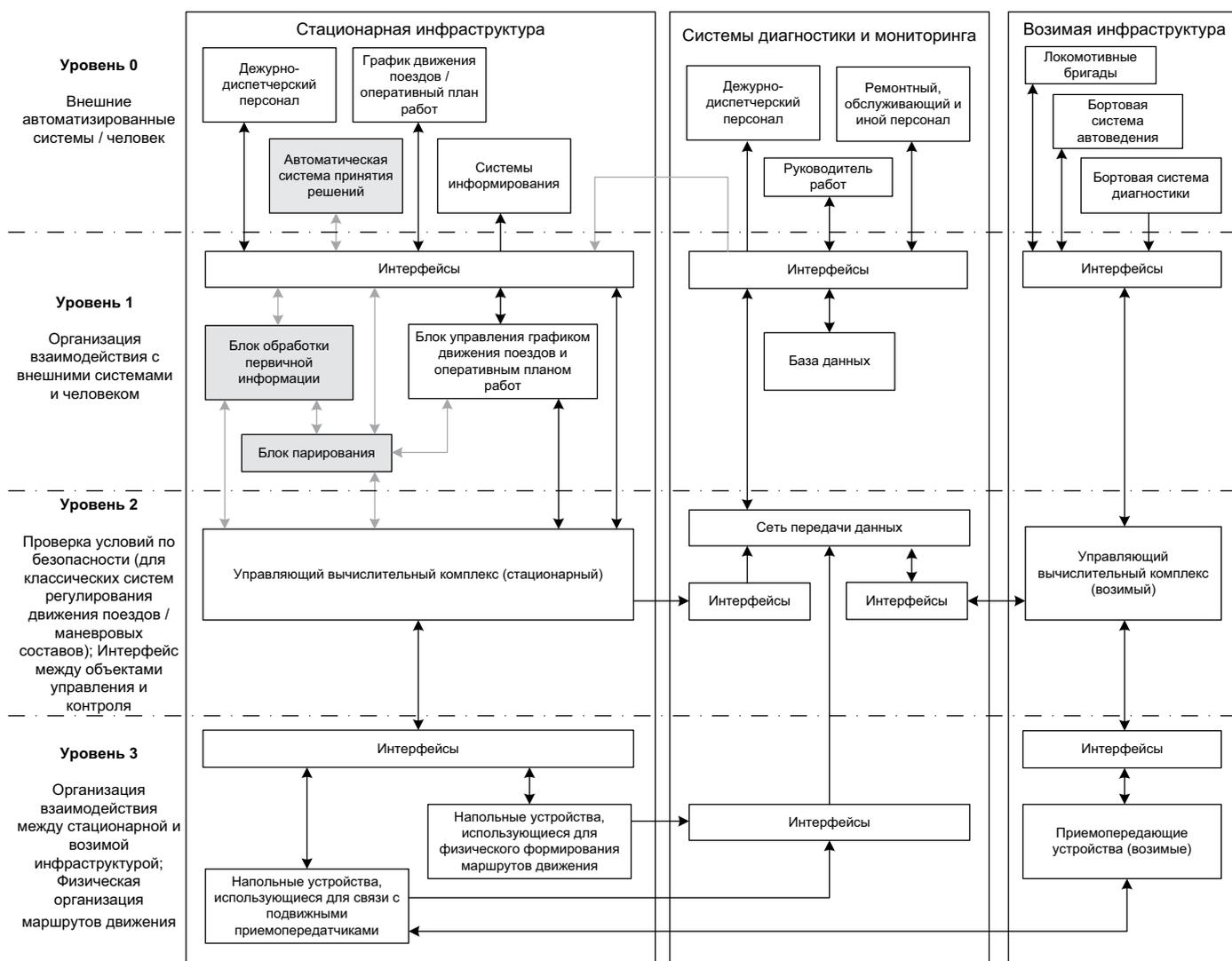


Рисунок 1. Архитектура перспективной системы управления движением поездов с интегрированной в нее системой диагностики и мониторинга

пути во времени. Методы контроля элементов железнодорожной инфраструктуры выбирают в зависимости от того, какие элементы подлежат контролю. Наиболее часто используемыми датчиками для мониторинга состояния пути являются инерциальные (акселерометры и гироскопы), оптические (камеры и лазеры), акустические (в основном ультразвуковые) и магнитные (вихревые датчики) [4].

При построении перспективной системы управления движением поездов исходят из необходимости интеграции в нее подсистем комплексной технической диагностики и мониторинга. На Рис. 1 показана общая структура перспективной системы управления движением поездов с интегрированными в нее средствами диагностики и мониторинга [5].

На основе анализа материалов, изложенных в открытых источниках, можно выделить следующие основные системы технической диагностики и мониторинга, эксплуатируемые и/или планируемые к применению на железнодорожном транспорте, обеспечивающие контроль состояния объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, состояния подвижного состава, возимых технических средств автоматики и связи, которые также могут быть использованы в перспективной системе управления движением поездов:

- мониторинг технического состояния путевых устройств железнодорожной автоматики и телемеханики;
- мониторинг технического состояния локомотивных устройств безопасности;



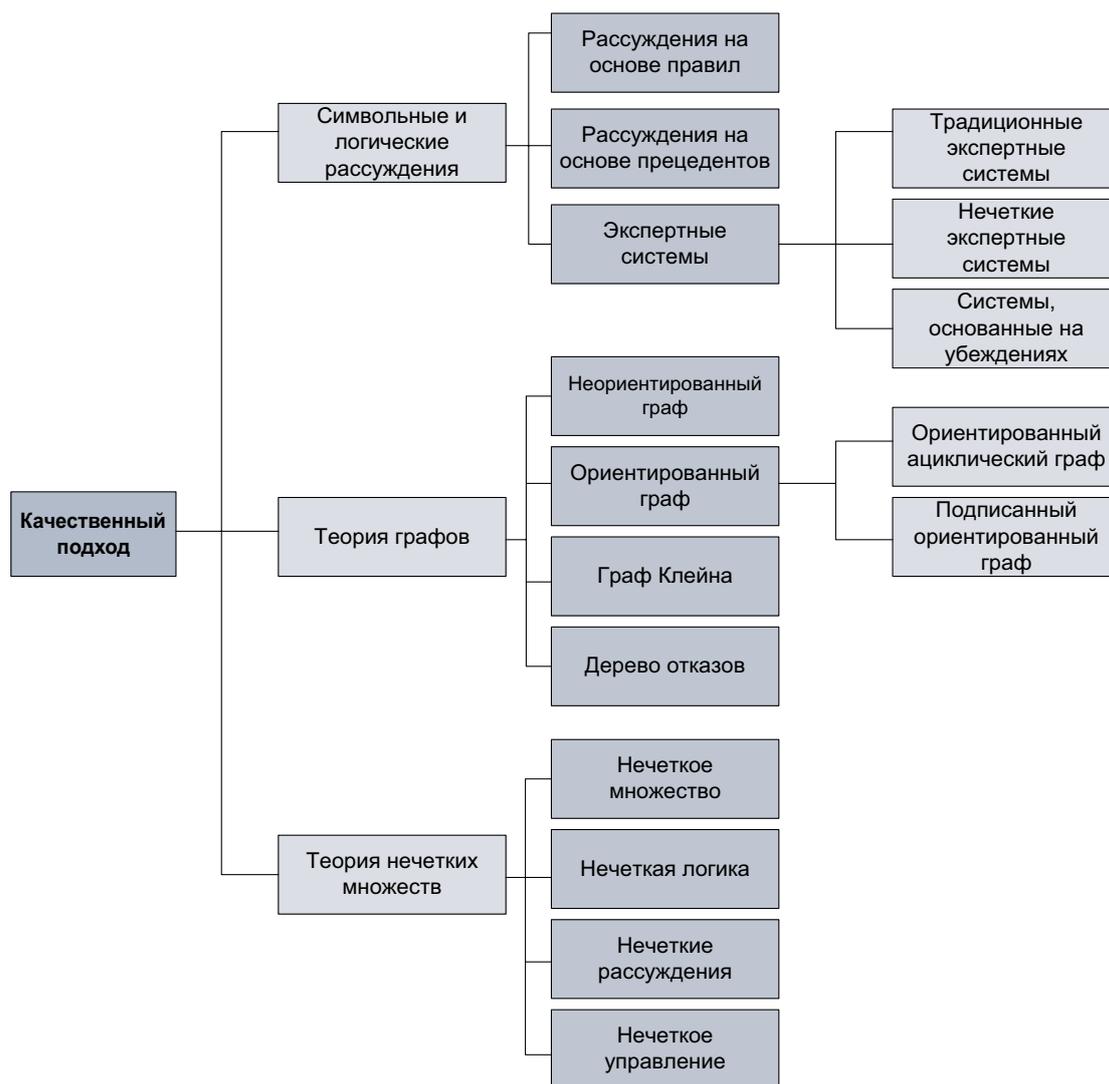


Рисунок 2. Классификация качественных методов интеллектуальной диагностики отказов, которые могут применяться на ВСМ

- мониторинг технического состояния пути;
- мониторинг технического состояния мостов и тоннелей;
- мониторинг технического состояния устройств энергоснабжения;
- мониторинг технического состояния связи;
- мониторинг технического состояния нетягового подвижного состава;
- мониторинг технического состояния тягового подвижного состава;
- мониторинг выполнения технологии обслуживания и ремонта путевой инфраструктуры;
- мониторинг выполнения технологии обслуживания и ремонта тягового подвижного состава;
- мониторинг выполнения технологии обслуживания и ремонта нетягового подвижного состава;
- мониторинг выполнения технологии обслуживания и ремонта устройств связи;
- мониторинг выполнения технологии обслуживания и ремонта локомотивных устройств безопасности и возимых радиостанций;
- система мониторинга доступа на объекты железнодорожного транспорта;
- система определения признаков асоциального поведения в салонах железнодорожного подвижного состава;
- система определения признаков асоциального поведения на пассажирских остановочных пунктах.



При реализации предложенной структуры появится возможность, с одной стороны, обеспечить более высокий уровень функциональной безопасности системы регулирования движения поездов, а с другой стороны, обеспечить повышение эксплуатационных характеристик перевозочного процесса за счет более гибкого подхода к организации графика движения поездов и оперативного плана работ.

В настоящее время многими железнодорожными и технологическими компаниями проводятся работы по внедрению современных средств контроля состояния пути и сооружений на основе перспективных цифровых технологий. К таким технологиям можно отнести инструменты для сбора и анализа данных на основе интернета вещей, качественные методы интеллектуальной диагностики отказов, аналитика больших данных, технологии машинного обучения и др.

Новые технологии, внедряемые на железной дороге, требуют обработки больших объемов данных в режиме реального времени. Например, поезда должны иметь возможность непрерывно надежно и с абсолютной точностью определять свое местоположение и передавать его другим системам в режиме реального времени. Для решения возникающих задач создается новая и безопасная инфраструктура обработки данных. Решение основано на последних тенденциях в области облачных вычислений, но по-прежнему соответствует строгим железнодорожным стандартам.

Такое облако должно представлять собой размещенную в защищенной облачной среде сертифицированную ИТ-платформу, на базе которой могут быть реализованы ответственные железнодорожные приложения, и которая должна соответствовать требованиям различных участников процесса. Облачная платформа может включать в себя инфраструктуру, состоящую из нескольких центров обработки данных, защищенной линии связи между ними с возможностью резервирования, а также из сетевых соединений между центрами обработки данных и централизованно управляемых напольных элементов. Кроме того, должен быть гарантирован низкий уровень задержек и масштабируемость для большого количества подключенных напольных элементов [6].

Традиционные методы диагностики отказов не позволяют выявлять некоторые неисправности на высокоскоростных поездах, поэтому все

чаще используются интеллектуальные методы диагностики отказов, представленные на Рис. 2 [7]:

Аналитика больших данных представляет собой подходы, инструменты, а также методы обработки структурированных и неструктурированных данных, которые характеризуются значительными объемами, высокой скоростью поступления, а также вариативностью. Технология также служит в качестве инструмента анализа и прогноза рисков, связанных с надежностью и безопасностью. Ключевая сложность аналитики больших данных состоит в их высоком разнообразии, гетерогенности, неструктурированности, зашумленности и избыточности [8].

Представляет интерес проект, в рамках которого китайскими специалистами разрабатывается платформа для диагностики неисправностей высокоскоростных поездов, основанная на технологии больших данных (Рис. 3). В рамках платформы применяется комбинация облачных и периферийных вычислений, а также двухуровневая архитектура, с помощью которой обрабатываются большие объемы данных. В качестве базовой платформы используется Hadoop. Системы HDFS, HBase, Redis и базы данных MySQL служат в качестве платформы для хранения данных. В целях решения различных задач анализа данных для диагностики и прогнозирования неисправностей, платформа объединяет онлайн-вычисления, автономные вычисления, потоковые вычисления, вычисления в реальном времени и др. [9].

Следует также выделить технологию машинного обучения, которая позволяет строить математическую модель на основе собранных данных для построения прогнозов и принятия решений. Методы машинного обучения можно разделить на классические методы обучения и методы глубокого обучения. Основное различие между этими методами заключается в уровне их представления. К классическим методам обучения относятся метод главных компонент, метод опорных векторов, деревья решений, случайный лес, логистическая регрессия и метод ближайших соседей.

Машинное обучение на основе имеющихся исторических данных позволяет строить гораздо более точные предсказательные модели. Стандартная практика машинного обучения предполагает построение модели в два этапа: извлечение признаков и формирование обучающей матрицы; применение к полученной обучающей матрице некоторого общего алгоритма машинно- >>>

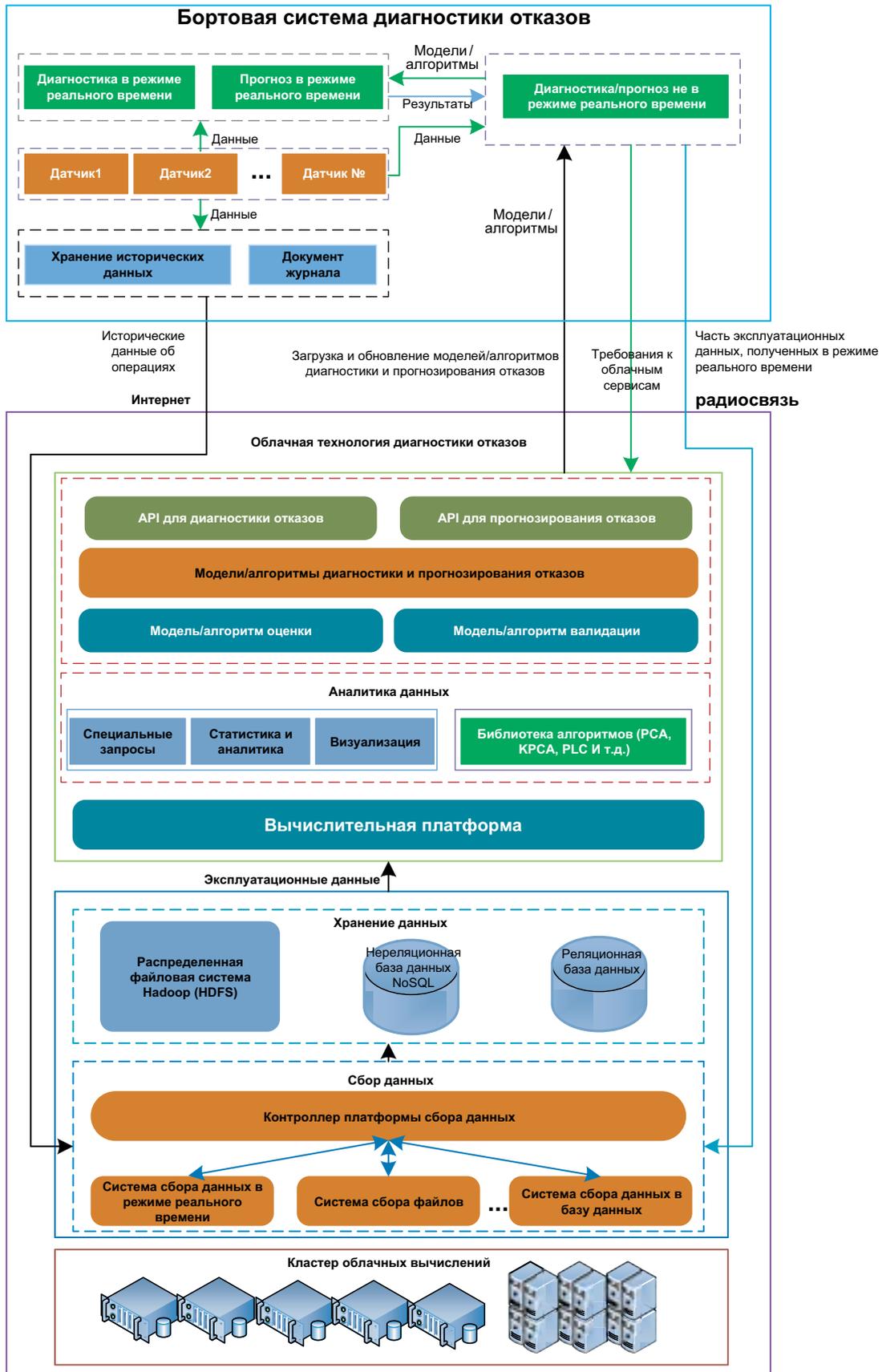


Рисунок 3. Системная архитектура платформы и поток данных



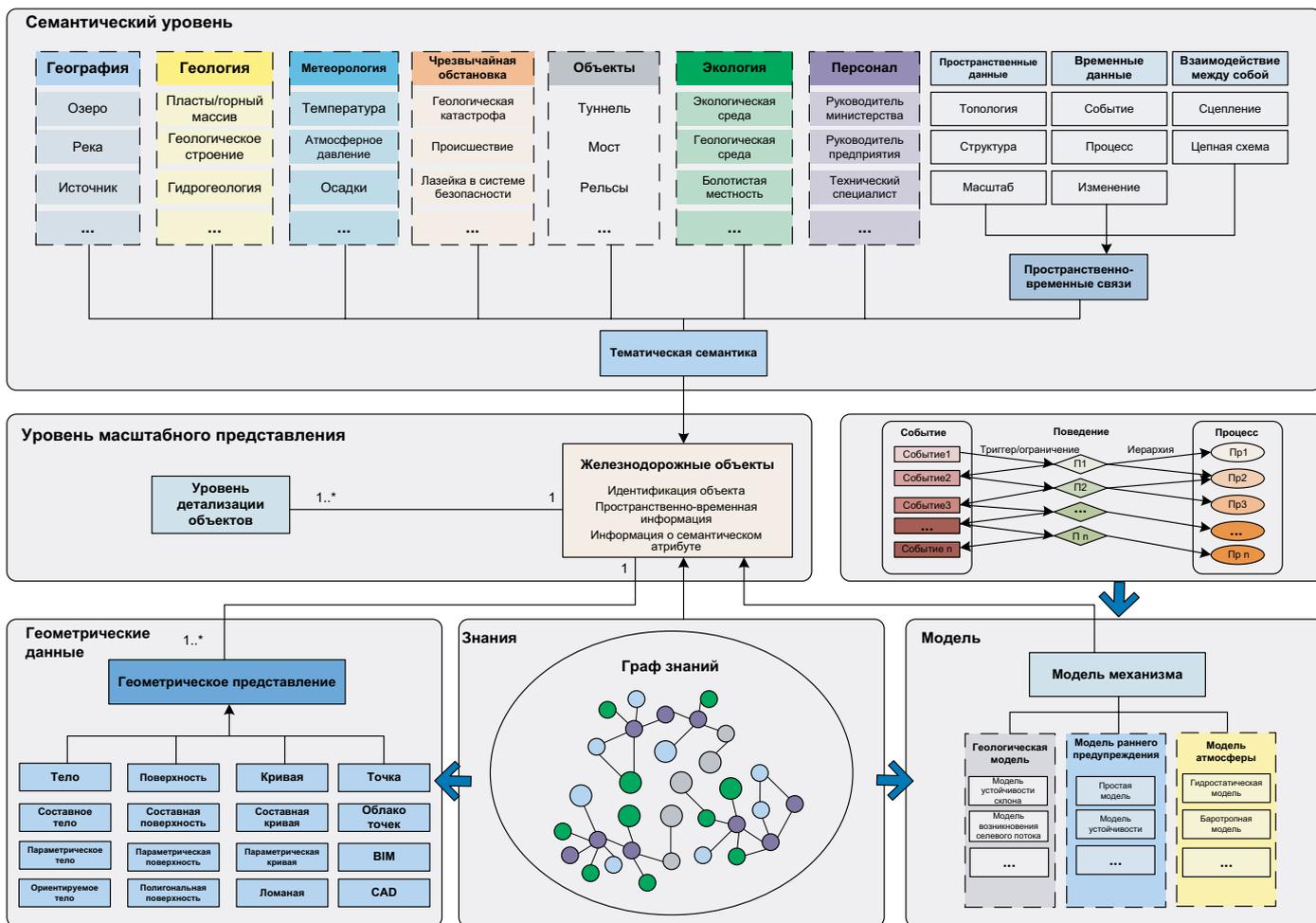


Рисунок 4. Концептуальная модель интегрированного представления «данные-модель-знание»

го обучения. Применение технологии машинного обучения в настоящее время является исследовательским процессом, включающим в себя этапы:

- анализ источников информации о состоянии железнодорожного пути;
- подготовка данных к машинному обучению;
- постановка задачи машинного обучения;
- обучение моделей;
- выбор лучшей модели;
- применение модели [10].

Миланский технический университет (Италия) и Королевский технологический институт (Швеция) предлагают классификаторы неисправностей на основе машинного обучения для мониторинга состояния неровностей пути. Классификаторы обучаются на наборе данных, состоящем из результатов численного моделирования, и проверяются на наборе данных измерений, полученных диагностическим транс-

портным средством на прямолинейных участках высокоскоростной линии (300 км/ч) [11].

Цифровые двойники или цифровые модели являются универсальным средством цифрового представления объектов инфраструктуры, что позволяет использовать их при проектировании, строительстве и мониторинге инженерных сооружений. Одним из средств цифрового моделирования является технология информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM), охватывающая все этапы жизненного цикла объекта: планирование, составление технического задания, проектирование и анализ, выдача рабочей документации, производство, строительство, эксплуатация и ремонт, демонтаж. На этапе эксплуатации и ремонта основной задачей является формирование и поддержание в рабочем состоянии цифрового двойника объекта (комплексной электронной копии объекта, состоящего из субъектов). >>>

Можно выделить три направления данного этапа: постоянный сбор данных о состоянии субъектов с возможностью хранения и обработки больших данных для мониторинга объекта и управления его жизненным циклом; предиктивный анализ – прогнозирование будущего поведения и технического состояния объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений; имитационное моделирование – подбор оптимального режима работы объекта, повышение производительности [12].

Авторы [13] предлагают создать пространственно-временную модель данных для описания геометрии, масштаба, топологии, атрибутов, характеристик поведения и взаимодействия объектов железной дороги с высокой степенью детализации в рамках единой пространственно-временной структуры. Модель состоит из пяти уровней (Рис. 4):

- семантический уровень расширяет и интегрирует соответствующие объекты железнодорожного пространства, формируя тематическую семантику семи основных типов объектов (география, геология, метеорология, объект, стихийные бедствия, экология и персонал), и представляет высокоуровневую семантическую информацию между объектами посредством временных и пространственных связей и взаимодействий;
- уровень масштабного представления данных представляет железнодорожные объекты на нескольких уровнях детализации;
- уровень геометрических данных реализует унифицированное выражение геометрической модели объектов железнодорожного пространства с помощью комбинации точек, кривых, поверхностей и твердых тел;
- уровень знаний устанавливает графы знаний предметной области, такие как графы знаний о геологических опасностях, графы знаний об инженерной безопасности и о качестве;
- уровень модели объединяет модели механизмов различных сценариев применения, таких как модель возникновения селевого потока, используемая для предупреждения о селевом потоке, для формирования базы модели.

В этой связи следует отметить ряд европейских проектов и инициатив (RailTopoModel, RailSystemModel, OntoRail, Linx4Rail), в рамках которых ведутся работы по созданию единого же-

лезнодорожного стандарта с унифицированным описанием инфраструктуры (единая онтология, один язык) и единой универсальной схемой классификации железнодорожных объектов, что, как ожидается, обеспечит формирование единой среды данных и значительно облегчит взаимодействие различных подсистем и подразделений компании.

Одним из решений также служат модифицированные поезда, которые сочетают в себе стандартные свойства эксплуатируемого подвижного состава и комплексы специального оборудования. Такие поезда могут представлять собой специализированные составы, как например итальянский Diamante 2.0, французский Iris 320, британский New Measurement Train (NMT), японский Dr.Yellow, китайский Comprehensive Inspection Train (CIT), либо обычные поезда, укомплектованные необходимыми диагностическими средствами. Используемые в таких поездах бортовые системы диагностических средств непрерывно контролирует различные параметры инфраструктуры, а система позиционирования осуществляет точную геоинформационную привязку, после чего бортовой комплекс обработки данных передает данные в соответствующую службу для планирования работ по текущему содержанию и ремонту с учетом фактического состояния.

Размещение средств диагностики непосредственно на регулярных поездах позволяет максимально полно обеспечить достоверность получаемой информации, что особенно актуально ввиду более жестких требований нормативов содержания высокоскоростных магистралей. При этом важным требованием, предъявляемыми к подобным техническим средствам, является скорость проведения исследований, которая должна быть равна скорости движения на соответствующей линии.

Примером диагностических средств, размещаемых на регулярном подвижном составе, является автоматизированная система диагностики компании Esimgroup (Италия). Система позволяет оценивать геометрию пути в автоматическом режиме без обслуживающего персонала [14]. Общая структура системы диагностики компании Esimgroup представлена на Рис. 5. Также данная компания предлагает систему обследования туннелей, которая измеряет внутренний профиль железнодорожных туннелей. Используемая технология позволяет точно реконструировать галерею благодаря большому количеству >>>



Рисунок 5. Общая структура системы диагностики компании Esimgroup

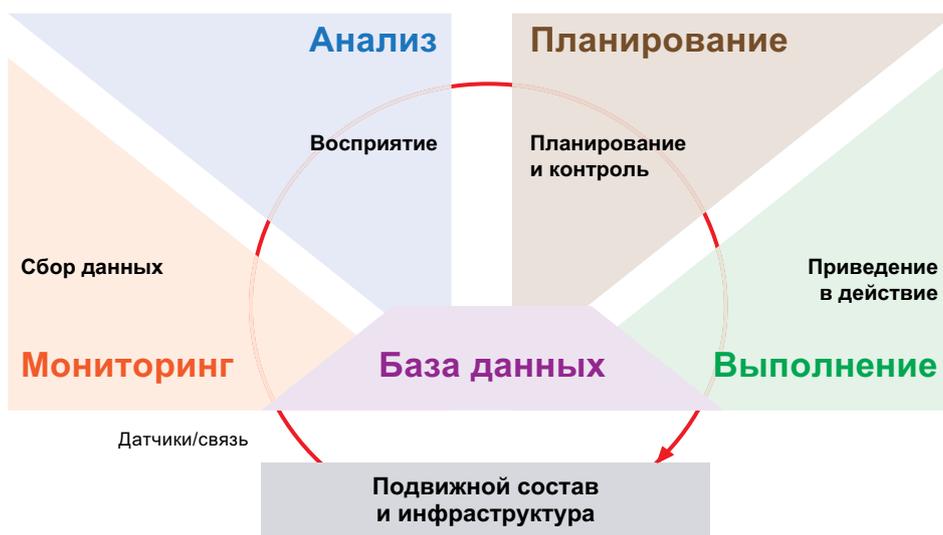


Рисунок 6. Алгоритм MAPE-K

полученных поперечных сечений. Такие системы включают в себя различные системы сбора информации, включая датчики, установленные на подвижной состав, затем полученные данные передаются в центр обработки данных, где обрабатываются в автоматическом режиме.

Применение различных технологий с использованием интеллектуальных средств диагностики и мониторинга представляет собой алгоритм типа MAPE-K (мониторинг, анализ, планирование и выполнение управления движением на основе разделения знаний) (Рис. 6). Для реализации алгоритма должны собираться и обрабатываться данные, поступающие от специальных датчиков различных типов (видеокамер, акселерометров

и т.д.), информация от других поездов или напольного оборудования, и внутренняя информация о работе подсистем поезда, поступающая от его бортовых датчиков. Эти данные в сочетании с уже хранящейся информацией представляют собой массив данных одного поезда, подвергающийся анализу для оценки окружающей обстановки.

Речь идёт об анализе информации о посторонних предметах на путях, значениях сигналов, технического состояния оборудования поезда в целях принятия решений о выполнении соответствующих действий. Последний блок схемы «Выполнение» обеспечивает физическое приведение в действие решений, принятых



во время планирования. Необходимо уточнить, что окружающая обстановка и информация, поступающая от бортовых датчиков, а также от других транспортных средств, постоянно меняется. Искусственный интеллект может играть центральную роль в процессе анализа, поскольку интеллектуальные системы имеют очень высокую эффективность применительно к выявлению изменений в потоке данных.

В целом следует отметить, что современный подход к развитию систем диагностики и мониторинга характеризуется внедрением предиктивных систем диагностики, которые обеспечивают удаленный мониторинг технического состояния железнодорожной инфраструктуры, прогноз ее технического состояния, определение потенциальных угроз безопасности движения поездов и выдача рекомендаций по устранению потенциальных неисправностей инфраструктуры, в ре-

зультате чего владелец инфраструктуры может заблаговременно предпринять действия до появления отказов или смягчить их неблагоприятный эффект. На основе проделанного обзора можно сделать вывод, что современные системы диагностики и мониторинга основываются на вариантных расчетах с использованием многоуровневых моделей и наложением на модели реальных данных эксплуатационного процесса. Процесс включает в себя сбор, подготовку и аналитику данных для извлечения знаний о текущем состоянии инфраструктуры. Далее с помощью цифрового двойника и моделирования определяется будущее состояние инфраструктуры. Затем извлеченные знания используются в системе поддержки принятия решений для автоматической приоритизации мероприятий по управлению инфраструктурой с применением логики оптимизации и операционных ограничений. ■



## Список литературы

1. Шарко, А. В. Автоматизация организации работ повысит эффективность / А. В. Шарко // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 2. С. 34-38.
2. Комплексные системы диагностирования грузового подвижного состава / А.Е. Хатламаджиян, В.В. Шаповалов, В.В. Кудюкин [и др.] // Труды АО «НИИАС»: Сборник статей. Москва: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. С. 108-117.
3. Диагностика – составная часть цифровой железной дороги [Электронный ресурс] / URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2019-08a07> (дата обращения: 09.11.2023).
4. Peinado Gonzalo, A. Railway Track and Vehicle Onboard Monitoring: A Review [Text] / Alfredo Peinado Gonzalo, Mani Entezami, Paul Weston, Clive Roberts, Fausto Pedro Garcia Marquez; International Conference on Management Science and Engineering Management, Cape Town, South Africa. // E3S Web Conf. – 2023. – Vol. 409. – pp. 3-4.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Научные основы функциональной безопасности железнодорожного транспорта. Научный руководитель член-корреспондент РАН Махутов Н.А. – М.: МГОФ «Знание», 2023. – 560 с.
6. Долгий, А.И. Облачные технологии для ответственных систем железнодорожного транспорта / А.И. Долгий, Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров. – Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт: Ежемесячный научно-теоретический технико-экономический журнал. – 2023. – № 11.
7. Cheng, C. [Text] / Wang, J., Chen, H., Chen, Z., Luo, H., Xie, P. A Review of Intelligent Fault Diagnosis for HighSpeed Trains: Qualitative Approaches // Entropy. – 2021. – No.23,1. – pp. 1-33.
8. 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. – Т. 4, № 4(16). – С. 63-76.
9. Quan, X. A Platform for Fault Diagnosis of High-Speed Train based on Big Data [Text] / Xu Q., Zhang P., Liu W., Liu Q., Liu C., Wang L., Toprac A., Qin S. J. // IFAC PapersOnLine. – 2018. – pp. 309-314.
10. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев, О. Б. Проневич [и др.] // Надежность. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 43-53.
11. A De Rosa, R Kulkarni, A Qazizadeh, M Berg, E Di Gialleonardo, A Facchinetti, S Bruni. Monitoring of lateral and cross level track geometry irregularities through onboard vehicle dynamics measurements using machine learning classification algorithms. [Электронный ресурс] / URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0954409720906649#con2> (дата обращения: 13.11.2023).
12. 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. – Т. 6, № 3(23). – С. 20-31.
13. Hankan, L. Integrated representation of geospatial data, model, and knowledge for digital twin railway [Text] / Hankan L. Qing Z., Liguoz Z., Yulin D., Yongxin G., Haoyu W., Qiang W., Runfang Z., Mingwei L., Yan Z. // International journal of digital earth. – 2022, Vol. 15 (No. 1). – pp. 1657-1675.
14. Каталог продукции Esimgroup. [Электронный ресурс] / URL: [http://www.esimgroup.net/wp-content/uploads/2017/02/Esim\\_brochure\\_sistemi\\_diagnostica\\_ENG\\_web.pdf](http://www.esimgroup.net/wp-content/uploads/2017/02/Esim_brochure_sistemi_diagnostica_ENG_web.pdf) (дата обращения: 08.11.2023).

УДК: 519.113.115+681.3

# Логистическая коммуникативистика

## Logistics communication science

**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, Ru



### Аннотация

В статье исследуется специфика и состояние логистической коммуникативистики. Вводится и обосновывается понятие логистической коммуникативистики. Раскрывается содержание этого понятия. Интенсификация транспортных потоков создает проблему предела пропускной способности сетей. Эта проблема приводит к необходимости оперативной реконфигурации транспортных потоков и применения методов логистической коммуникативистики. Логистическая коммуникативистика является инструментом мета эвристического анализа. Описаны две схемы реализации логистической коммуникативистики: организационная и интеллектуальная. На основе методов эвристики и мета эвристики логистическая коммуникативистика формирует рациональное или целесообразное решение по организации маршрутов перевозки. Логистическая коммуникативистика осуществляет реконфигурацию потоков, но не физической сети. Для такой возможности необходимо наличие сетевых ресурсов в виде избыточной структуры сети. Показано преимущество интеллектуальной схемы логистической коммуникативистики перед организационной.

**Ключевые слова:** транспорт, коммуникативистика транспортная логистика, свободная коммуникативистика, целевая коммуникативистика, инструменты коммуникативистики, информационная коммуникативистика, сложные транспортные потоки, реконфигурация потоков.

### Abstract

The article explores the specifics and state of logistics communicativistic. The article introduces and justifies the concept of logistics communication. The content of the concept of logistics communication is revealed. The intensification of traffic flows creates the problem of limiting network capacity. This problem leads to the need for rapid reconfiguration of transport flows and the use of logistics communication methods. Logistics communication is a tool for meta-heuristic analysis. Two schemes for the implementation of logistics communication are described: organizational and intellectual. Based on the methods of heuristics and meta-heuristics, logistics communication forms a rational or expedient decision on the organization of transportation routes. Logistics communication reconfigures flows, but not the physical network. This capability requires the availability of network resources in the form of redundant network structure. The article shows the advantage of an intellectual scheme of logistics communication over an organizational diagram.

**Keywords:** transport, communication science, transport logistics, free communication, targeted communication, tools of communication, information communication, complex transport flows, reconfiguration of flows.



## Введение

Современная логистика разнообразна и интегрирует много методов и направлений [1]. Логистика, как и коммуникативистика [2], развивается с 1950-х годов, но между ними существует существенное различие в развитии. Логистика более разнообразна и математически обоснована [3]. Коммуникативистика в настоящее время социальная наука и не имеет строгой математической теории [4]. Логистика является самостоятельным диверсифицированным научным направлением. Коммуникативистика как социальная наука выполняет роль поддержки. Коммуникативистика существует в логистике как феномен. Однако, если внимательно посмотреть на коммуникативистику как науку об информационном взаимодействии и информационном обмене, то можно увидеть ее корни в живых организмах. Коммуникативистика сотни лет существует в области обмена информацией растениями, насекомыми и животными. Основополагающую работу «Математическая теория коммуникации» [5] можно также отнести к области коммуникативистики. При этом следует отметить, что социальная коммуникативистика ее игнорирует. Коммуникативистика существует во многих областях, где существует необходимость информационного взаимодействия и информационного обмена. Коммуникативистика существует в сфере транспорта [6]. Во всех областях она имеет специфику. Целью данной работы является исследование применения коммуникативистики в логистике

## Свободная и целевая коммуникативистика

Коммуникативистика является инструментом информационного обмена и информационных взаимодействий. При переносе коммуникативистики в область информационного поля [7] можно выделить три основных процесса коммуникативистики. Этими процессами являются: информирование, информационное воздействие, информационное взаимодействие. Информирование представляет собой пассивный односторонний информационный поток. Он повышает информированность субъекта или системы. субъектом может быть человек, системой может быть база данных. В этом случае информирование заключается в накоплении информации в базе данных.

Информационное воздействие заключается в передаче одностороннего информационного потока от субъекта А к субъекту (объекту) В для изменения состояния субъекта. Например, приказ в армии переводить подчиненного из одного состояния в другое. В сфере образования информационное воздействие заставляет учащегося предпринимать определенные действия. Информационное взаимодействие заключается в функционировании двух сторонних информационных потоков между субъектами А и В или системами С и D. Следует подчеркнуть, что коммуникативистика существует между людьми и системами. К таким системам относят: интеллектуальные транспортные системы, кибер-физические системы, технологические системы цифровых двойников, цифровую железную дорогу.

Коммуникативистику можно поделить на две категории: свободная и целевая. Свободная коммуникативистика включает информирование и свободные дискуссии, которые не ставят определенных целей кроме устранения информационной асимметрии и информационное неопределенности. Можно отметить два свойства коммуникативистики. Она уменьшает или устраняет информационную асимметрию и уменьшает информационную неопределенность [8]. Эти свойства важны при формировании управленческих решений и управлении транспортом. В результате свободной коммуникативистики все ее участники повышают информированность и уменьшают информационную неопределенность.

Целевая коммуникативистика включает информирование, информационное воздействие и информационное взаимодействие [9], которые сфокусированы вокруг некой цели и определенной области обсуждения. Например, обсуждение важного проекта или принимаемого решения. В этом случае содержательный информационный обмен (CIE) связан с тематической областью (REALM) и целью обсуждения (PD). Формально это выглядит

$$CIE \subset REALM \cap PD \quad (1)$$

Всякий информационный обмен, не удовлетворяющий условию (1) является бессодержательным. Он не ведет к достижению цели. Можно констатировать, что целевая коммуникативистика является инструментом анализа >>>

и оптимизации. Следует отметить, что коммуникативистика в информационном поле может быть рассмотрена как информационная коммуникативистика [10].

### Специфика логистической коммуникативистики

С информационных позиций логистику можно рассматривать как ответ на информационные потребности в оптимизации перевозок, особенно в сложных и гетерогенных условиях, например мультимодальные перевозки.

Логистика имеет разные формы и разные трактовки [11, 12]. Она помогает не только оптимизировать материальные и информационные потоки, но и решать задачи оптимального размещения ресурсов. Коммуникативистика, как инструмент анализа и оптимизации может помочь в формировании потоков и принятии логистических решений. Именно такая коммуникативистика может считаться логистической коммуникативистикой. Если вернуться к выражению (1), то его уточнение поможет сформировать описание логистической коммуникативистики (LOGCOMM).

$$\text{LOGCOMM} \subset \text{TRAREA} \cap \text{OT} \quad (2)$$

В выражении (2) LOGCOMM – логистическая коммуникативистика, TRAREA – область перевозок, OT – оптимизация перевозок.

Возникает вопрос всегда ли нужна логистическая коммуникативистика? Тем более, что ранее обходились без нее. Ответ простой – нет не всегда. Если условия перевозки простые, транспортные сети не сложные, то можно обходиться без коммуникативистики, за исключением технических совещаний и планерок. В простых условиях перевозок логистическая коммуникативистика не требуется.

Необходимо отметить еще одну особенность информационной коммуникативистики и логистической коммуникативистики. Они являются не просто инструментом анализа, а могут быть инструментом эвристического и мета эвристического анализа [13]. В сложных ситуациях, когда аналитические методы анализа применить нельзя, используют методы эвристики. Человек не компьютер, в скорости вычисления он не может состязаться с ним. Но человек обладает опытом и когнитивными способностями. В сложных

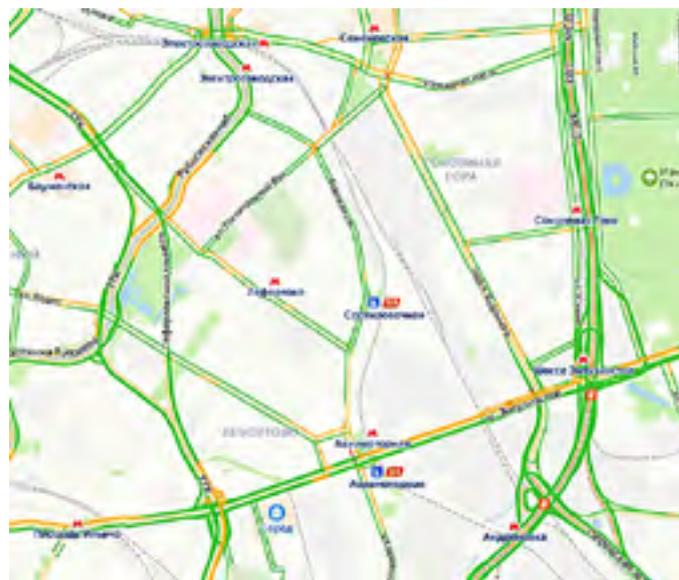


Рисунок 1. Штатная логистическая информационная ситуация

ситуациях человек получает решение путем оценок, приближений и замен оптимальных решений рациональными или целесообразными решениями. Причем это делается на основе своего и опыта коллег. В результате в обозримые сроки принимаются решения.

Таким образом, информационная коммуникативистика и логистическая коммуникативистика могут помочь при анализе сложных ситуаций принятия решений, за счет использования мета эвристического подхода. Следовательно, логистическую коммуникативистику целесообразно применять в сложных ситуациях перевозки грузов. Отличие логистической коммуникативистики от информационной коммуникативистики в том, что логистика исследует транспортные сети и транспортные потоки.

Одна из основных задач логистической коммуникативистики состоит в оптимизации потоков. Эта задача всегда возникает в мегаполисе [14]. С логистических позиций мегаполис можно рассматривать как физическую транспортную сеть, для которой существуют ограничения пропускной способности для разных участков сети. Существует заблуждение, при котором логистику сводят к абстрактным цепочкам поставок. В логистике логистические цепочки являются вторичным, а первичным является транспортная сеть, внутри которой эти цепочки формируют. Транспортная сеть есть физическое ограничение формирования логистических цепочек. >>>

Структуру такой физической сети менять нельзя, но регулировать потоки можно. На рис.1 показана штатная (плановая) информационная пространственная ситуация региона Москвы. Штатная информационная ситуация движения исключает помехи и заторы, пробки и аварии. Она строится по принципу «как должно быть».

На рис.1 зеленым цветом показаны потоки движения с допустимой скоростью. Желтым цветом показаны потоки с замедлением движения, но в допустимых нормах движения. Данная ситуация характеризует движение без каких-либо пробок и заторов.

На рис.2 показана не штатная информационная пространственная ситуация этого же региона в 12 часов дня. Не штатная информационная пространственная ситуация показывает «что есть на самом деле». Информационная ситуация существенно изменилась, причем не в лучшую сторону для перевозок. Красный кружок означает запрет движения. Он появился в силу каких-то объективных обстоятельств. Появились треугольники, обозначающие проведение ремонтных дорожных работ.

Ремонтные работы либо сужают полосу движения, либо создают реверсивное движение. Но в обоих случаях снижают интенсивность перевозок. Появились квадратики, сигнализирующие об авариях в данных местах. В дополнении к зеленым и желтым обозначениям транспортных потоков на рис.1, на рис. 2 появились красные линии, которые говорят о недопустимо медленном движении на этих участках или о полном отсутствии движения.

Рисунок 1 характеризует штатную ситуацию и не требует вмешательства. Рисунок 2 характеризует не штатную ситуацию и требует применения логистической коммуникативистики.

Можно дать формулировку логистической коммуникативистики. Логистическая коммуникативистика это технологическая система, направленная на реконфигурацию и оптимизацию транспортных потоков внутри физической не изменяемой транспортной сети. Логистическая коммуникативистика может быть рассмотрена как один из методов мета эвристики, используемы для конфигурирования и реконфигурирования потоков. Логистическая коммуникативистика может быть рассмотрена как один из методов эвристического анализа.

Существуют две схемы реализации логистической коммуникативистики. Первая схема приведена на рис.3.

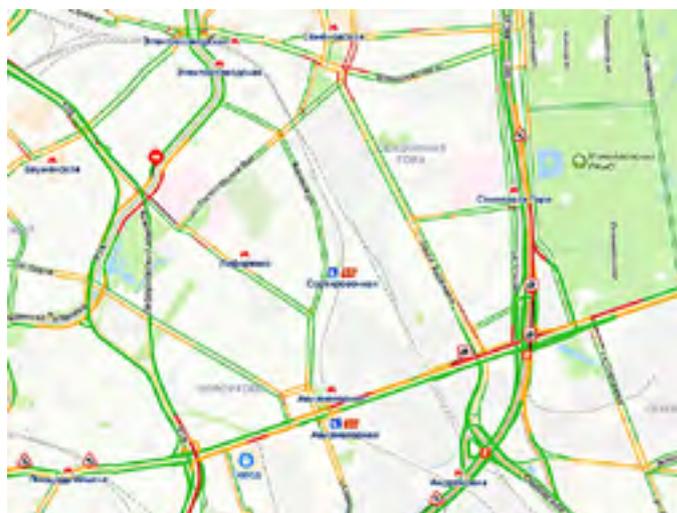


Рисунок 2. Нештатная логистическая информационная ситуация



Рисунок 3. Организационная схема реализации логистической коммуникативистики

Первая схема называется организационной, поскольку коммуникации происходят внутри группы специалистов и от организации работы в группе зависит полезный эффект.

Здесь следует обратить внимание, что коммуникативистика возможна только в группе, а не в составе одно или двух людей. Существует цель перевозок, которая является доминантой коммуникативистики. Существуют плановые маршруты перевозок, которые содержат структуру транспортной сети. Структура транспортной сети должна быть избыточной по отношению к числу плановых маршрутов. Двойные стрелки на рис.3 показывают двух стороннюю коммуникацию. Ядром логистической коммуникативистики является эвристический коммуникативный анализ. Этот вид анализа осуществляется в группе специалистов. На основе эвристического коммуникативного анализа формируют рациональный маршрут. Рациональный маршрут отличается от оптимального. >>>



Рисунок 4. Интеллектуальная схема реализации логистической коммуникативистики

Оптимальное решение требует глобальной оптимизации и учета всех факторов. В условиях информационное неопределенности и ограниченного времени на принятие решений получить оптимальное решение не всегда возможно в отведенный отрезок времени. Поэтому формируют рациональное или целесообразное решение по организации маршрутов перевозки. В настоящее время широко применяют интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [15], транспортные кибер-физические системы (ТКФС) [16], робототехнические мобильные системы, модели цифровой железной дороги (ЦЖД) [17]. Для этих случаев применяют вторую схему логистической коммуникативистики. Она приведена на рис.4.

Схема называется интеллектуальной, поскольку коммуникации происходят между системами без участия человека. Интеллектуальная система входит в состав ИТС, ТКФС, ЦЖД. Интеллектуальная коммуникативистика возможна только в группе систем. Для схемы на рис.4 существует значительно больше информационных взаимодействий. Это обусловлено временными возможностями системы. Коммуникация между людьми медлительная в силу низкоскоростного вербального обмена информацией. Поэтому временные ограничения существенны для схемы на рис.3. Для интеллектуальных систем скорость обмена информацией возрастает на три-четыре порядка. Поэтому такая схема имеет возможность анализировать большее количество информации и осуществлять большее

количество межсистемных взаимодействий. Преимущество схемы на рис.4 в возможности обработки больших объемов информации и принятии решений в более короткие сроки.

Логистическая коммуникативистика осуществляет реконфигурацию потоков, но не физической сети. Для такой возможности необходимо наличие сетевых ресурсов в виде избыточной структуры сети. Логистическая коммуникативистика может также помогать в решении задач размещения ресурсов.

## Заключение

Коммуникативистика является средством организации информационных обменов и взаимодействий. Современная логистика усложняется по объемам перевозок и по интенсификации потоков. Интенсификация транспортных потоков создает проблему предела пропускной способности сетей. Эта проблема приводит к необходимости оперативной реконфигурации потоков и применения методов мета эвристики. Применение методов мета эвристики возможно за счет использования логистической коммуникативистики. Транспортная логистика особенно в мегаполисе, является в первую очередь сетевой. Сложная сетевая структура влечет необходимость конфигурирования потоков в сети на уровне планирования и необходимость реконфигурирования потоков в сети при перевозке и возникновении нештатных ситуаций. Влияние стохастических факторов приводит к тому, что логистика становится ситуационной. Это требует дополнительного анализа, включая применение логистической коммуникативистики. Сложность современной логистики требует применения логистической коммуникативистики как формы мета эвристического анализа. Сложность современной логистики приводит к необходимости применения интеллектуальных систем и информационных систем. ■



## Список литературы

1. Неруш Ю. М., Неруш А. Ю. Логистика. – Москва.: ЮРАЙТ, 2019. – 559 с.
2. Шалина И. В. Современная коммуникативистика – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 128 с.
3. Ding L., Wang T., Chan P. W. Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Т. 388. – С. 135981.
4. Синекопова Г. В. Коммуникативистика как практическая наука: эпистемологический аспект // *Научные исследования и разработки. Современная коммуникативистика*. – 2014. – Т. 3. – №. 2. – С. 4-7.
5. С.Е. Shannon, (1948), "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379–423 & 623–656, July & October, 1948.
6. Левицкий Л.О. Информационная транспортная коммуникативистика // *Наука и технологии железных дорог*. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.15-21.
7. Раев В.К. Информационное пространство и информационное поле // *Славянский форум*. 2021, 4(34). С.87-96.
8. Елсуков П.Ю. Информационная асимметрия и информационная неопределенность // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. 2017 -№4. – С.69- 76.
9. Кудж С.А. Информационное взаимодействие и его атрибуты// *Славянский форум*. – 2017, 4(18). – С.27-33.
10. Левицкий Л.О. Информационная сетевая коммуникативистика // *Славянский форум*. – 2022, 4(38). – С.239-248.
11. Цветков В.Я. Логистика информационных распределенных систем // *Перспективы науки и образования*. – 2016. – №4(22). – С.18-22.
12. Булгаков С.В. Интегрированная логистика // *Наука и технологии железных дорог*. – 2018. – 3(7). – С.57-63.
13. Faramarzi-Oghani S. et al. Meta-heuristics for sustainable supply chain management: A review // *International Journal of Production Research*. – 2023. – Т. 61. – №. 6. – С. 1979-2009.
14. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// *Наука и технологии железных дорог*. – 2018. Т.2. – 4(8). – С.40-47.
15. Amanullah M. A. et al. A taxonomy and analysis of misbehaviour detection in cooperative intelligent transport systems: a systematic review // *ACM Computing Surveys*. – 2023. – Т. 56. – №. 1. – С. 1-38.
16. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // *Мир транспорта*. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С. 138-145.
17. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // *Мир транспорта*. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С. 50-61.

УДК: 523.21

# Геоинформатика транспорта

## Geoinformatics of transport

**Бронников С.В.**, к.т.н., эксперт, РКК «Энергия»,  
E-mail: sbronnik@mail.ru, Королёв, Россия

**Bronnikov S.V.**, Ph.D., assessor, PJSC Corporation Energia,  
E-mail: sbronnik@mail.ru, Korolev, Russia



### Аннотация

В статье рассматривается современное состояние, развитие и динамика транспортной геоинформатики. Геоинформатика транспорта трактуется как синтез прикладной геоинформатики и географии транспортных сетей. В статье показано место транспортной геоинформатики в системе наук. Отмечается, что транспортная геоинформатика изучает транспортную инфраструктуру, а не только подвижной состав. Транспортная геоинформатика связана с теорией управления. поэтому он органично вписывается в технологии управления и является дополнительным ресурсом управления транспортом. Показана диверсификация транспорта по различным видам. Транспортная геоинформатика исследует автомобильные, железные дороги и сетевые системы на основе системного анализа. описаны особенности транспортной системы географической информации. Введено понятие и модель «зон анализа трафика». Описаны методы транспортного геоинформационного моделирования.

**Ключевые слова:** транспорт, геоинформатика, геоинформатика транспорта, география транспортных сетей, транспортное моделирование, геоинформационное моделирование, пространственная неоднородность.

### Abstract

The article examines the state, development and dynamics of transport geoinformatics. Geoinformatics of transport is interpreted as a synthesis of applied geoinformatics and geography of transport networks. The article shows the place of transport geoinformatics in the system of sciences. It is noted that transport geoinformatics studies transport infrastructure, and not just rolling stock. Transport geoinformatics is related to control theory. therefore, it organically fits into management technologies and is an additional resource for transport management. The diversification of transport by various types is shown. Transportation geoinformatics examines roads, railways, and network systems based on systems analysis. the features of the geographic information transport system are described. The concept and model of "traffic analysis zones" is introduced. Methods of transport geoinformation modeling are described.

**Keywords:** transport, geoinformatics, geoinformatics of transport, geography of transport networks, transport modeling, geoinformation modeling, spatial heterogeneity.



## Введение

Современное состояние геоинформатики связано с разработкой технологий и проведения научных исследований. Изучение пространственных процессов окружающего мира как прикладное направление привело к созданию прикладной геоинформатики. Прикладная геоинформатика имеет два направления развития. Самостоятельное развитие и применение для решения прикладных задач на основе интеграции математики, информатики и наук о Земле. Второе направление связано с поддержкой и развития специализированных наук или предметных областей. В рамках второго направления появилась геоинформатика транспорта [1-4]. В рамках второго направления появились ряд наук, связанных в разной степени с геоинформатикой транспорта. Это новое направление в экономике – пространственная экономика [5, 6]. Кроме это науки следует выделить: логистическую геоинформатику [7], экологическую геоинформатику [8, 9], экономическую геоинформатику [10], космическую геоинформатику [11], геоэкологию [12].

## Место геоинформатики транспорта в системе наук

Геоинформатикой транспорта называют специализированную прикладную геоинформатику, ориентированную на изучение и решение задач транспорта. На рис.1 показано место геоинформатики транспорта (ГТ) в системе, связанных с ней наук. Основными источниками ГТ являются география транспортных сетей, прикладная геоинформатика и науки о Земле. Геоинформатика транспорта формировалась задолго до появления прикладной геоинформатики. Первоначально научная дисциплина, которая занималась этим направлением назвалась география транспортных сетей [13]. Она была тесно связана с транспортной географией [14]. География транспортных сетей возникла в Германии в середине XIX века. Основателем ее считается немецкий ученый Иоганн Коль. Он исследовал транспортные сети Европы России, США и Канады. Иоганн Коль обобщил типы транспортных систем во многих странах. На основе исследований и обобщений возникла география транспортных сетей. География транспортных сетей явилась методической основой геоинформатики транспорта. Для срав-



Рисунок 1. Место геоинформатики транспорта в системе наук

нения, методической основой обычной геоинформатики является картография.

Геоинформатика транспорта развивалась на основе интеграции географии транспортных сетей с науками о земле и картографической геоинформатикой. Поэтому наряду с подходами и методами, характерными для география транспортных сетей, она включила ряд специальных методов.

Геоинформатика транспорта имеет отношение с рядом специализированных направлений геоинформатики. Это показывает левый столбец на рис.1. Кроме перечисленных выше направлений геоинформатики, в него входит транспортный кадастр. Правый столбец отражает экономические и строительные направления. Он включает пространственную экономику и экономическую геоинформатику. Прикладная геоинформатика [15] широко применяется в строительстве. Основой контроля за транспортной инфраструктурой является мониторинг транспорта. Основой мониторинга транспорта является геоинформационный мониторинг [16].

Геоинформатика транспорта связана с теорией управления. Особенность геоинформационных систем [17] и геоинформационных технологий [18] в том, что они имеют возможности для управления. Поэтому ГТ органически вписывается в управленческие технологии и задачи.

Геоинформатика транспорта охватывает наземный, водный и воздушный транспорт. Наземные виды: железнодорожный, автомобильный и трубопроводный; водные – морской >>>

и речной; воздушные – авиационный. Делится также на пассажирский и грузовой. Преимущество геоинформатики транспорта в возможности создавать интегрированную информационную модель, которая объединяет разные виды транспорта, что важно для интермодальных перевозок. Геоинформационные модели это есть модели интермодальных перевозок. В частном случае это модели отдельных видов транспорта.

Задачи транспорта разнообразны. Это приводит к диверсификации геоинформатики транспорта на следующие виды:

- теоретическая ГТ, которая включает разработку математических и статистических методов для анализа транспортных потоков и моделей транспортных сетей.
- топологическая ГТ, которая включает изучение функционирования транспортных потоков и топологическую оптимизацию транспортных потоков. В это направление попадает раздел развития путей,
- контролирующая ГТ, которая включает контроль и мониторинг состояния транспортных сетей;
- геоинформатика отдельных видов транспорта (железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского, речного, трубопроводного, телекоммуникаций);
- геоинформатика транспортной инфраструктуры;
- региональная геоинформатика транспорта (описание транспорта отдельных регионов и стран);
- космическая геоинформатика транспорта, которая включает применение космических технологий для мониторинга и управления транспортной инфраструктурой, а также управление подвижным составом.
- логистическая геоинформатика.

Общим для разных направлений является системный анализ [19]. Важными ключевыми параметрами транспортной геоинформатики, являются: топологическая сеть, топологическая система, сложная организационно-техническая система, пространственные связи и отношения, пространственное моделирование, информационное моделирование, цифровые модели, волюметрические модели [20]. Транспорт понятие обобщенное. В ГТ необходимо говорить о транспортной системе, которую следует моделировать как сложную систему. Это обеспечивает вложен-

ность и связанность частей транспортной системы. Отдельные управления и дороги можно рассматривать как подсистемы,

Особенностью геоинформатики транспорта является использование двух типов сложных систем: сложных систем данных и сложных технологических систем обработки информации. Одной из первичных задач геоинформатики транспорта является нахождение и формализация пространственных отношений между объектами транспортной инфраструктуры. Отношения находят в заранее определенных координатных системах.

Координатные системы [21, 22] являются обязательным компонентом ГТ. Они устанавливают пространственные отношения между объектами транспортной инфраструктуры, включая подвижные объекты. Отношения и связи устанавливают на основе качественных [23] и количественных признаков с использованием геометрии, пространственной логики, теории множеств. При этом в геоинформатике используют разные координатные системы, но в единой среде, что позволяет переходить при необходимости от одной к другой. Метод классификаций основан на установлении пространственных отношений на основе качественных признаков между объектами и их элементами и дополняет метод координатных систем в геоинформатике. В совокупности оба метода обеспечивают полноту анализа.

Особенностью развития геоинформатики транспорта является то, что она возникла и развивается на основе интеграции наук и благодаря этому является инструментом междисциплинарного переноса знаний. Процесс интеграции основан на системном подходе, интеграции знаний, нахождении единства и целостности "интегрируемых" дисциплин, получение синергетического эффекта от интеграции.

Методология геоинформатики транспорта основана на использовании методов информационного и геоинформационного моделирования для получения знаний, моделей или данных, используемых в других дисциплинах. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания дает возможность сопоставления явлений на основе использования информационных моделей. Информационное моделирование дополняет и повышает эффективность использования вычислительных средств.

Визуальное моделирование полно представлено в геоинформатике транспорта. Геоинформатика включает в обработку и анализ



графическое представление пространственно-распределенной информации, что позволяет эффективно обрабатывать и анализировать региональную информацию и делать наглядный сопоставительный анализ состояния системы образования по субъектам федерации и даже на уровне более мелких территориальных единиц.

Включение в геоинформационные технологии данных дистанционного зондирования позволяет оперативно отслеживать все существенные изменения в транспортной сфере и, сопоставляя их с текущей информацией, формировать более точные управленческие решения. Геоинформатика дает инструмент анализа транспортных сетей, дополняя его визуальным. Таким образом, транспортная геоинформатика дает возможность многоаспектно и всесторонне исследовать проблемы транспорта.

Одной из особенностей транспортной геоинформатики является исследование дорог и железнодорожных путей, сетевых систем, которые с одной стороны являются сложной системой, как комплекс сооружений и устройств, с другой представляют собой специфические топологические объекты. Это делает необходимым использовать теорию топологии при изучении транспортных систем методами геоинформатики.

## Транспортные ГИС и транспортное геоинформационное моделирование

Применение ГИС на транспорте привело к их специализации и постепенному формированию специализированных ГИС транспорта или ГИС-Т [24]. Тесно с развитием ГИС-Т развивается транспортное геоинформационное моделирование (ТГМ).

Развитие ГИС-Т характеризуется такими направлениями: составление карт, моделирование с использованием спутниковой навигации, моделирование трасс, моделирование логистических потоков, ситуационное моделирование поведения транспортных средств и инфраструктуры. Статическая природа представления карты благоприятствует приложениям, связанным с инвентаризацией и описанием, и поднимает сложные вопросы точности и нахождения. В навигационном представлении добавляются проблемы связности и планарности, а также хранения зависящих от времени атрибутов. Навигация также поднимает проблемы представления, связанные

с масштабом, включая необходимость подключения на уровне полосы движения.

Поведенческие модели основаны на динамической геоинформатике [25] и управляющем транспортном пространстве [26]. Соответствующие представления поведенческой точки зрения еще предстоит разработать. Во всех случаях требуется проводить много исследований.

Современная геоинформатика транспорта позволяет использовать такие потенциалы, такие как пространственное управление общественным транспортом, мобильная маршрутизация, умная логистика. Требуемые интеллектуальные транспортные системы (ИТС) опираются на точные данные и хорошо работающие компоненты связи, управления и анализа, каждый из которых имеет четкое пространственное представление. В системах ТГМ произошел парадигматический сдвиг от агрегированных моделей к геоинформационным моделям и темпоральным моделям.

В современном обществе ГИС и транспортные исследования тесно взаимосвязаны. Современное транспортное моделирование является областью применения ГИС или областью ТГМ. Для моделирования транспортных потоков все чаще предоставляют интегрированные возможности ГИС.

ГИСТ можно рассматривать как среду [27] для сбора, управления, анализа и визуализации пространственных данных о транспорте. Они позволяют интегрировать различные источники данных в масштабируемую, динамическую и адаптируемую пространственную модель.

С помощью моделей, симуляций и анализа, каждый из которых учитывает пространственную природу транспорта, можно получить новую информацию и новое знание. Кроме того, ГИС также облегчает визуализацию информации, которая служит коммуникационной платформой с контурами обратной связи для интеграции данных и настройки моделей, моделирования и анализа.

В стандартной агрегированной транспортной модели системы ТГМ, описанной в [27], использовалась обработка данных для разграничения зон анализа дорожного движения (ЗАДД) и визуализации результатов модели. Модели ЗАДД формируют пространственную привязку для транспортных моделей, основанных на спросе, где оценивается количество поездок из этих зон, в эти зоны и через них. Для этих оценок различные социально-демографические, экономические и структурные данные связываются друг с другом посредством регрессионного



анализа и подаются в модель, которая затем рассчитывает потребности в поездках на основе количества поездок и привлекательности поездок для каждой ЗАДД.

На этом этапе широко игнорируются пространственные зависимости, а также вариации внутри и пространственные отношения между ЗАДД. На следующем этапе ТГМ сгенерированные поездки распределяются по всей изучаемой территории. Обычно это делается в матрицах отправителя-назначения (МОН), которые отображают только очень абстрактную пространственную информацию. Используя физические модели, сгенерированные поездки распределяются в соответствии с матрицей МОН. Недостатки упрощенных подходов к моделированию спроса широко обсуждались концептуально и методологически [27].

Используют разные подходы ТГМ. В первом подходе зоны анализа трафика (ЗАТ) играют главную роль. Однако после того, как они определены, их нельзя изменить, если параметризация модели не начинается с нуля. С разграничением зон связана проблема введения изменяемых участков площади с помощью пространственных информационных единиц. Модель ЗАТ является аналогом метода зонирования в кадастровой оценке стоимости. ЗАТ описывает влияние масштаба и пространственного зонирования на результаты ТГМ. Модели ЗАТ получил широкое признание, например, в региональной статистике или общественном здравоохранении (работа скорой помощи). ЗАТ применимы в областях, которые используют более или менее произвольно определенные пространственные единицы измерения, такие как административные границы. В [27] описали потенциальный вклад ГИСТ в решение этой проблемы.

Если доступны необработанные данные, ГИСТ можно использовать для оценки эффекта масштабирования и зонирования, а также для определения оптимизированных ЗАДД. Эффекты масштабирования и зонирования в более широком смысле актуальны не только для моделей, основанных на спросе, но и практически для всех видов транспортных моделей. Преимуществом этого подхода является возможность применения агентного моделирования движения [28].

Другой подход ТГМ использует концепция пространственной неоднородности. Концепция пространственной неоднородности тесно связана с пространственной зависимостью протека-

ния процессов и трафика. Это обусловлено тем, что в сложных интенсифицированных ситуациях многие пространственные процессы связаны на макроуровне, но не обязательно на микроуровне. Пример движения транспортного средства в ночное и дневное время. При отсутствии диссипативных и стохастических факторов движение регламентируемо, прогнозируемо и регулярно. В этом случае имеет место пространственная однородность движения. При наличии интенсивности движения и появления стохастических факторов, движение становится непредсказуемым. Основная причина в том, что пропускная способность трасс становится ниже интенсивности реального движения. В этом случае (заторы, пробки, очереди) появляется пространственная неоднородность движения.

Игнорирование эффекта пространственной неоднородности может привести к ошибочному прогнозу или ошибочной интерпретации результатов движения. Чтобы справиться с пространственной неоднородностью, было разработано и реализовано в приложениях ГИС несколько методов, таких как пространственно-взвешенный регрессионный анализ, которые можно использовать для определения и взвешивания параметров транспортных. На наш взгляд более эффективным является метод концептуального смешивания.

## Заключение

Транспорт в качестве основной функции осуществляет перемещение объектов (людей или грузов) в пространстве и времени. Хотя пространственная природа транспорта очевидна, при управлении транспортом ею часто пренебрегали. С первых лет существования геоинформационных систем человеческое сообщество активно занимается исследованиями в области геоинформатики транспорта. Современная геоинформатика транспорта представляет собой научное направление, которое развивается в тесной взаимосвязи с прикладной геоинформатикой и рядом близких наук. Одной из тенденций развития транспортной геоинформатики следует считать применение методов искусственного интеллекта [29, 30], включая задачи беспилотного управления [31].

Современная геоинформатика транспорта позволяет выделять и учитывать факторы, которое обычное транспортное модели-



рование не использует. Это пространственная неоднородности, стратификация транспортных потоков, пространственная корреляция и временная корреляция движения. Современная геоинформатика транспорта использует специальные инструменты, такие как ГИСТ или ТГМ, которые позволяют решать задачи, не решаемые ни в обычном транспортном моделировании,

ни в обычной геоинформатике. Как показывает опыт перенос технологии пространственного зонирования из кадастра в транспортную геоинформатику приносит определенную пользу. Развитие транспортной геоинформатики скорее всего будет происходить на уровне транспортных геоинформационных моделей и транспортных геоинформационных технологий. ■

## Список литературы

1. Лёвин Б.А., Круглов В.М., Матвеев С.И., Коугия В.А., Цветков В.Я. Геоинформатика транспорта // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 3 – С. 223-223.
2. Лёвин Б.А., Круглов В.М., Матвеев С.И., Цветков В.Я., Коугия В.А. Геоинформатика транспорта. – М.: ВИНТИ РАН, 2006. – 336 с.
3. Булгаков С. В. Геоинформатика транспорта в условиях цифровой трансформации //Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 28-37.
4. Шайтура С. В., Кожаев Ю. П. Геоинформатика автомобильного транспорта //Славянский форум. – 2019. – №. 3. – С. 379-386.
5. V. Ya. Tsvetkov. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies 2013, Vol.(3), № 1 p.57-60.
6. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // Славянский форум. – 2013. – 1(3). – С.91-95.
7. Цветков В. Я., Булгаков С. В. Логистическая геоинформатика – Москва: МАКС Пресс, 2023. – 192 с.
8. Тодорова А.И. Применение геоинформатики в геоэкологии // Славянский форум. 2023, 1(39). С. 358-362.
9. Awange J., Kiema J. B. Environmental geoinformatics //Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi. – 2013. – Т. 10. – С. 978-3.
10. Иконников В. Ф., Седун А. М., Токаревская Н. Г. Экономическая геоинформатика: учебная программа для магистрантов. – БГЭУ, Минск, 2012. -8с.
11. Bondur V. G., Tsvetkov V. Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design, 2015, 4 (10), pp. 118-126.
12. Rajakaruna N., Boyd S. Geoeology //Oxford Bibliographies in Ecology. – 2014.
13. Rodrigue J. P., Ducruet C. 2.1—the geography of transportation networks. – 2020.
14. Shaw J., Hesse M. Transport, geography and the'new'mobilities //Transactions of the Institute of British Geographers. – 2010. – Т. 35. – №. 3. – С. 305-312.
15. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.
16. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №5. – с.151 -155.
17. Маркелов В.М. ГИС как системы управления транспортом. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. – №2. – С.85. -87.
18. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.
19. Tsvetkov V.Y. Dichotomous systemic analysis // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 7s. С. 246-250.
20. Цветков В.Я., Мордвинов В.А., Матчин В.Т. Технология генерации виртуальных ландшафтов с применением метода вокселизации и волюметрических данных //Образовательные ресурсы и технологии. 2023. № 1 (42). С. 91-99.
21. Sedrak M., Alaminos-Bouza A. L., Srivastava S. Coordinate systems for navigating stereotactic space: >>>

- how not to get lost //Cureus. – 2020. – Т. 12. – №. 6.
22. Mugnier C. J. Coordinate Systems of the World: Datums and Grids. – CRC Press, 2023.
  23. Tsvetkov V.Ya. Qualitative analysis relations // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall., Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. С. 12127.
  24. Goodchild M. F. GIS and transportation: status and challenges //Geoinformatica. – 2000. – Т. 4. – С. 127-139.
  25. Раев В.К. Динамическая геоинформатика // Славянский форум. 2022, 2(36). С. 195-205.
  26. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
  27. Loidl M. et al. GIS and transport modeling—Strengthening the spatial perspective //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2016. – Т. 5. – №. 6. – С. 84.
  28. Мельников Д.А. Поддержка принятия решения в управлении транспортом с использованием мультиагентных систем // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №2 (25). – с.53-57.
  29. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. – 2010. -№ 5. – С.41-43
  30. Ivan I. et al. (ed.). Geoinformatics for intelligent transportation. – Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2015. – С. XIX.
  31. Позняк И.И., Полянская А.С, Поклонская А.В, Шевченко И.А Перспективные проекты беспилотного транспорта // Славянский форум. – 2019. – 2(24). – С.224-227.

УДК: 528.02; 528.06

# Интервальное управление в радиорелейном информационном пространстве

## Interval control in radio relay information space

**Ознамец В.В.**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Москва, Россия

**Oznamets V.V.**, D.ofSci(Tech.), Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Moscow, Russia



### Аннотация

В статье исследуется интервальное управление в радиорелейном информационном пространстве. Раскрывается содержание интервального управления с двух позиций - с пространственной и пространство-временной. Дано описание радиорелейного информационного пространства. Показана связь радиорелейного информационного пространства с системами радио блокировки (RBC). Показана необходимость применения координатной среды для создания радиорелейного пространства. Показано различие в функциях радиорелейного пространства в обычном управлении и в управлении цифровой железной дорогой с моделью подвижных блоков. В первом случае радиорелейное пространство является коммуникационным, во втором случае оно становится управляющим. Показано, что геоинформатика и геоинформационные технологии интегрируются в управление при помощи радиорелейного информационного пространства.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, цифровая железная дорога, технология подвижных блоков, управляющее пространство.

### Abstract

The article explores interval control in the radio relay information space. The content of interval control is revealed from two positions: spatial and space-time. A description of radio relay information spaces is given. The connection between the radio relay information space and radio blocking systems (RBC) is shown. The necessity of using a coordinate environment to create a radio relay space is shown. The difference in the functions of the radio relay space in conventional control and in the control of a digital railway and control with a model of moving blocks is shown. In the first case, the radio relay space is a communication space; in the second case, it becomes a control space. It is shown that geoinformatics and geoinformation technologies are integrated into management using radio relay information space.

**Keywords:** transport, management, digital railway, moving block technology, control space.



## Введение

Китайская система управления поездами (Chinese Train Control System - CTCS) уровня 3 применяется на новых железных дорогах, где ожидается, что скорость поездов превысит 300 километров в час [1]. Для создания платформы моделирования и тестирования системы CTCS уровня 3 важным является исследование и применение функционального Центра радио блокировки (Radio Block Centre - RBC) [1]. Система RBC является фрагментом более крупной системы радиорелейного информационного пространства РРИП [2, 3]. Радиорелейное пространство может усилиться пространством электронных меток [4], которое повышает скоординированность подвижных объектов. С появлением цифровой железной дороги ЦЖД [5-7] у РРИП появились новые функции. Если в обычной железной дороге РРИП выполняло функции координации, то на ЦЖД в РРИП появились функции управления. Это обусловлено появлением новой бортовой аппаратуры на поездах. РРИП дает возможность реализации субсидиарного транспортного управления [8]. РРИП также является системой поддержки транспортных кибер-физических систем [9].

## Принципы интервального управления

Термин интервальное управление трактуется двояко. С одной стороны, это тип высокоскоростного движения [10], для которого необходимо применять интервальную математику и интервальные вычисления [11]. В этой интерпретации рассматривается пространственный интервал как следствие прохождения транспортным средством расстояния за единицы времени. В этой ситуации точечная математика заменяется на интервальную математику.

Другая интерпретация интервального движения рассматривает временной интервал между подвижными объектами. Эта модель связана с понятием подвижные блоки [12] (рис.1)

Подвижные блоки вводят понятие интервал между поездами. Подвижный блок перемещается между поездами. Кроме того, он может менять размеры в зависимости от скорости поездов. Он имеет пространственно-временную характеристику. Его величина определяется рядом параметров, включая массу поезда, кинетическую



Рисунок 1. Модель подвижного блока

энергию, условия торможения условия рельефа, погодные условия, вид экстренного торможения и другое. Модель виртуального блока формируется тремя способами: спутниковым методом, применением кибер-физических технологий, за счет применения РРИП. Управление с применением подвижных блоков называют интервальным.

Применение РРИП требует учета четырех ключевых факторов [1]. Первый фактор определение функциональные требования РРИП посредством глубокого анализа системных требований CTCS уровня 3. Второй фактор формирование проекта компьютерной платформы безопасности для РРИП. Следует отметить, что формирование компьютерной платформы для РРИП намного сложнее, чем для RBC. В основе проекта лежат требования безопасности оборудования управления поездом. Третий фактор включает программное обеспечение функционального прототипа РРИП или в простейшем варианте RBC. Четвертый фактор включает настройку радио блокировки, называемую Virtual Block Function (VBF), которая вычисляет состояния занятости виртуальных блоков VSS в соответствии с концепцией ЦЖД.

## Уровни ETCS

Поскольку речь идет об уровнях ETCS, целесообразно дать их краткий анализ. Европейская система управления поездами (ETCS) предоставляет три прогрессивных уровня управления поездами. На уровне 1 ETCS гусеница оснащена евробалисами. Когда поезда проезжают над этими балисами, они получают точную информацию о местоположении и (статически заранее рассчитанные) полномочия на движение. Оптические сигналы по-прежнему необходимы на уровне 1, и машинист поезда должен подчиняться им. Для уровня 1 также требуются устройства обнаружения на путях, которые определяют, свободен ли какой-либо участок пути от какого-...

либо поезда. На практике это делается с помощью путевых цепей или счетчиков осей. Последние подсчитывают количество осей, въезжающих и выезжающих с участка пути; если осей не осталось, часть пути считается свободной.

В ETCS уровня 2 полномочия на движение предоставляются центром радиоблокировки (RBC), который поддерживает радиосвязь с поездами. Поезда регулярно отправляют в РБК сводки о местоположении. Эти отчеты предоставляют альтернативный способ определения местоположения поездов (с некоторой задержкой и неточностью и, очевидно, только для тех поездов, которые отправляют сообщения). Хотя оптические сигналы больше не требуются, евробалисы по-прежнему используются в качестве ориентиров для позиционирования поездов, а обнаружение на путях также необходимо, например, для борьбы с неразговорчивыми поездами. Уровень 2 ETCS по-прежнему работает с так называемыми фиксированными блоками, которые считаются либо полностью свободными, либо полностью занятыми.

Обнаружение на пути может быть довольно дорогостоящим и не дает подробной информации о том, какие поезда занимают конкретный участок пути. На уровне ETCS 3 можно отказаться от обнаружения обочины пути: больше нет фиксированных участков пути, которые помечаются как свободные или занятые. Вместо этого каждый поезд окружен конвертом (движущимся блоком), предназначенным только для этого поезда. Важным понятием уровня 3 ETCS является целостность поезда: в принципе поезд может потерять свою целостность, например, потерять несколько вагонов. Это может представлять опасность для поездов, следующих за таким поездом, особенно если отсутствует система обнаружения на пути. Если не гарантируется полная целостность поезда, то освобождать участки пути позади поезда небезопасно. Таким образом, уровень ETCS 3 требует, чтобы поезда имели встроенную систему обнаружения целостности поездов, и может потребовать «чистки» пути в случае потери целостности.

Отсутствие обнаружения помех на пути в ETCS уровня 3 может привести к ухудшению производительности, когда поезд теряет целостность или больше не может связываться с РПИП. Целью гибридного уровня 3 (HL3) является объединение преимуществ уровней ETCS 2 и 3. Если существующее обнаружение на пути может ис-

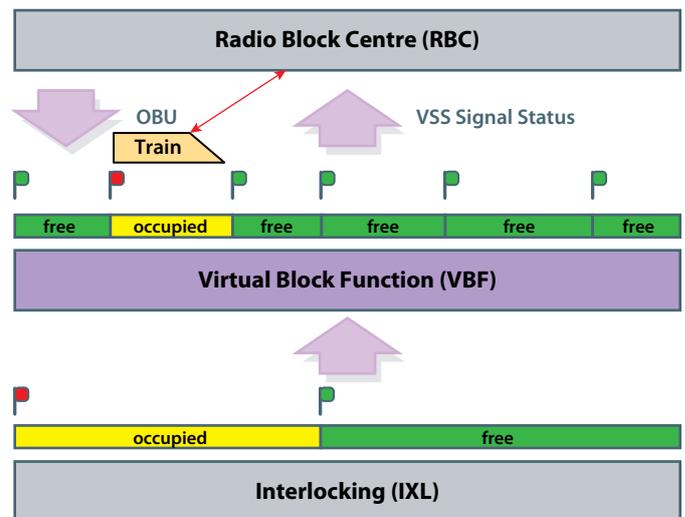


Рисунок 2. Применение РПИП для интервального управления

пользоваться HL3 для борьбы с неразговорчивыми поездами или в ситуациях, когда поезда теряют целостность. Также HL3 не использует полные движущиеся блоки, а делит разделы на виртуальные подразделы. Эти виртуальные подразделы действуют как фиксированные блоки, но с гораздо большей детализацией, чем на уровне 2 ETCS. Это можно увидеть на рис. 1.: внизу есть два раздела с путевым обнаружением, каждый из которых разделен на три виртуальных подраздела.

Статус занятости виртуального подраздела определяется на основе отчетов о местоположении поездов в сочетании с информацией об обнаружении на пути. Следовательно, можно добиться большей пропускной способности (поместить на пути больше поездов), при этом в значительной степени повторно используя оборудование ETCS уровня 2. Кроме того, в отличие от решения без обнаружения придорожных поездов (чистый уровень 3), не все поезда должны быть оборудованы бортовым устройством ETCS и TIMS (системой контроля целостности поездов). На рис.2 приведена схема интервального управления с применением РПИП (RBC)

На верхнем уровне находится радиомачта или RBC. Она контролирует второй уровень, на котором находятся виртуальные блоки. Контроль осуществляется с применением функции VBF. Производится оценка свободных (free) и занятых (occupied) виртуальных блоков. На нижнем уровне ведется анализ групп блоков в случае применения виртуальной сцепки и движения системы поездов.



## РРИП как механизм распределенного управления

Распределенное управление [13], называемое также гранулированным [14] является основным видом управления в транспортной сети. Оно связано с информационным пространством, которое формируется либо за счет ГНСС либо за счет РРИП.

Для РРИП необходима среда координатной поддержки в виде геодезической сети и среда временной поддержки в виде системы единого времени на управляемом участке дороги.

Для РРИП необходима среда геоинформационной поддержки в виде геоинформационных технологий и ГИС. Особенность геоинформационных технологий в возможности прямой реализации управленческих функций [15]/

РРИП как механизм распределенного управления имеет свою управленческую структуру. Как механизм распределенного управления РРИП включает информационные поля. Как управление РРИП является пространственным управлением.

РРИП как механизм управления является масштабным. От масштаба виртуальных блоков зависит масштаб управления и управленческие модели.

РРИП как механизм управления является альтернативой спутниковому управлению. В случае помех радиосвязи, например вспышки на солнце или проведения военных действий в космосе спутниковые навигационные системы будут работать со сбоями. РРИП не зависит от спутниковой связи. Оно зависит от местной связи и бортовой аппаратуры.

Обычное РРИП является коммуникационным. Оно только информирует о состоянии объ-

екта управления и его ситуации. РРИП в сочетании с моделью виртуальных и подвижных блоков является управляющим.

Оно не только является коммуникационным, но и осуществляет прямую и обратную связь между объектами управления за счет специальной бортовой аппаратуры.

РРИП можно дополнить пространством электронных меток (ИПЭМ) [16]. В этом случае оно является динамическим, поскольку информирует о прохождении поезда непосредственно на участке пути. Дополнительным преимуществом РРИП является возможность поддержки мобильной связи, которая является легко доступной и представляет собой дополнительный канал контроля и поддержки управления.

## Заключение

Организация РРИП является основой развития транспорта, особенно высокоскоростного, как показывает опыт китайских коллег. К сожалению, в России работы в этой области ведутся вяло. Создание РРИП вписывается в Доктрину информационной безопасности РФ, утвержденной Президентом РФ в сентябре 2000 г. Как технология РРИП является импортозамещаемой технологией. В аспекте ресурса РРИП является важным информационным ресурсом. В аспекте системы РРИП является сложной организационно технической системой. В инфраструктурном аспекте РРИП является объектом транспортной инфраструктуры. РРИП служит основой поддержки и развития ЦЖД, ИТС, ТКФС и модели «умная» железная дорога [17]. ■



## Список литературы

1. Liu Z., Sun W., Zhou R. Research and Implementation of Functional Prototype of Radio Block Centre in the CTCS Level 3 System //2010 International Conference on Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems. – IEEE, 2010. – С. 1-4.
2. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.46 -52.
3. Цветков В.Я., Дзюба Ю.В. Радиорелейное информационное пространство // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 4. С. 24-25.
4. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геодезические сети электронных меток // Науки о Земле. – 2018. – №4. – С.17-27.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С. 50-61.
6. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181- 185.
7. Nemtanu F. C., Marinov M. Digital railway: Trends and innovative approaches //Sustainable Rail Transport: Proceedings of RailNewcastle 2017. – Springer International Publishing, 2019. – С. 257-268.
8. Лёвин Б. А., Цветков В. Я., Дзюба Ю. В. Субсидиарное управление на железной дороге // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – №4 (83). – С. 22-35.
9. Дзюба Ю.В., Цветков В.Я., Козлов А.В. Киберфизические системы в управлении транспортом // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 1. С. 10-12.
10. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С.6-9.
11. Дубчак И.А. Темпоральные модели в интервальном движении // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №4 (28). – С.30-40.
12. Aoun J. et al. A hybrid Delphi-AHP multi-criteria analysis of Moving Block and Virtual Coupling railway signalling //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2021. – Т. 129. – С. 103250.
13. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Распределенное управление на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 3(7). – С.3-16.
14. Tsvetkov V. Ya., Timofeev V. V. Informational Granular Analysis // European Journal of Technology and Design. – 2023. 11(1) С. 27-32.
15. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.
16. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Применение радиометок при мониторинге железнодорожных дорог // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С. 34-35.
17. Jo O., Kim Y. K., Kim J. Internet of things for smart railway: feasibility and applications //IEEE Internet of Things Journal. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 482-490.

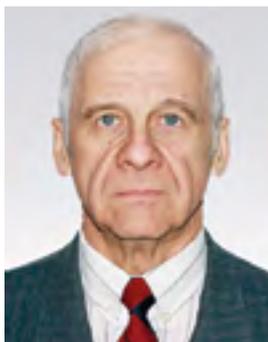
УДК: 004.052.2

# Структура семантической интероперабельности для онтологии объектов железнодорожной инфраструктуры

## Semantic interoperability structure for ontology of railway infrastructure objects

**Дулин С.К.**, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»; ИПИ ФИЦ ИУ РАН, E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия

**Dulin S.K.**, D.ofSci., Professor, Chief Researcher, JSC «NIAS»; Federal Research Center «Informatics and Management» of the RAS, E-mail: skdulin@mail.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В работе представлена структура семантической интероперабельности, ориентированная на использование прикладной онтологии железнодорожной инфраструктуры. При этом установление геоинтероперабельности выходит за пределы простой возможности получить доступ к информации баз геоданных, так как оно требует больше времени на обеспечение транзакций на основе заранее определенного точного словаря базы геоданных инфраструктуры. Но самое существенное – это то, что пользователи и провайдеры должны иметь релевантное понимание семантики запросов и ответов. В работе показано, что моделирование семантики должно быть глубоко внедрено в структуру геоинтероперабельности, обеспечивая исчерпывающее описание семантической геоинтероперабельности, лежащей в основе развития семантической пространственной инфраструктуры данных.

**Ключевые слова:** транспорт, геоданные, семантическая геоинтероперабельность, онтологии, Semantic Web.

### Abstract

The paper presents the structure of semantic interoperability focused on the use of applied ontology of railway infrastructure. At the same time, establishing geointeroperability goes beyond simply being able to access geodatabase information, as it requires more time to provide transactions based on a pre-defined, accurate infrastructure geodatabase vocabulary. But the most important thing is that users and providers must have a relevant understanding of the semantics of requests and responses. The paper shows that semantic modeling should be deeply embedded in the structure of geointeroperability, providing an exhaustive description of semantic geointeroperability, which underlies the development of semantic spatial data infrastructure.

**Keywords:** transport, geodata, semantic geo interoperability, ontologies, Semantic Web.



## Введение

Сегодня ведущей парадигмой структурирования информационного контента являются онтологии, или иерархические концептуальные структуры [1], которые формируются аналитиком на основе изучения и структурирования потоков информации, документов, протоколов извлеченных знаний и других источников. С методической точки зрения это один из наиболее систематических и наглядных способов структурирования и формализации знаний. Онтологии особенно актуальны в прикладных областях, где от точной концептуализации спецификаций зависит безопасность функционирования, например, в транспортных системах.

Онтологии – содержательные теории, которые включают общий набор распространяемых фактов, чье основное назначение – идентифицировать определенные классы объектов и отношений, которые существуют в некоторой части предметной области. Таким образом, неформально определенные онтологии – это соглашения об общедоступной концептуализации. Формальное определение основывалось бы на том, что онтология является (возможно, неполной) аксиоматизацией допустимых прикладных моделей. Другими словами, онтология состоит из основного словаря и отношений, используемых для описания некоторых аспектов действительности, включая ряд аксиом, связанных с предполагаемым значением словаря.

Следует заметить, что специфика географического мира в достаточной мере определяет параметры создания онтологий. Чтобы адекватно представлять географический мир, необходимо иметь компьютерные представления географических знаний (в первую очередь – изображений), которые способны фиксировать не только описательные атрибуты пользовательских концепций, но также и описывать геометрические и позиционные компоненты этих концепций. Эти представления также должны фиксировать пространственные и временные зависимости между экземплярами этих концепций.

В отличие от случая обычных информационных систем большинство пространственных и временных зависимостей не представлены в ГИС и чаще всего могут просто выводиться путем использования различных географических функций. Поэтому обязательно должна быть привнесена дополнительная семантика в схему

географического приложения, семантические спецификации которой, являющиеся частью онтологии этого приложения, зафиксированы разработчиком модели. Новое поколение информационных систем должно обладать способностью обрабатывать семантическую неоднородность, возникающую в результате использования разнородных источников информации.

Использование множественных онтологий становится основной особенностью современных информационных систем, если в них предполагается поддержка семантики при интеграции информации. Онтологии могут фиксировать семантику информации, могут быть представлены в формальном языке и могут также использоваться, чтобы хранить связанные метаданные, допуская, таким образом, семантический подход к информационному интегрированию.

Онтология играет существенную роль в создании ГИС, так как она позволяет устанавливать соответствия и взаимосвязи среди различных типов геоданных – пространственных сущностей и отношений. Использование онтологий будет способствовать улучшению функционирования информационных систем, благодаря тому, что удастся избежать проблем, вызванных противоречиями между онтологиями, неявно внедренными в ГИС, конфликтами между онтологическими концепциями и реализацией, а также конфликтами между онтологиями «здорового смысла» пользователя и математическими концепциями программного обеспечения.

Можно заметить, что существующие концептуальные схемы баз геоданных могут быть весьма полезны для формирования онтологий, так как они – формальные документы, которые были разработаны, чтобы зафиксировать взгляд специалиста на некоторую предметную область реального мира. Поэтому существующие концептуальные схемы могут использоваться, чтобы создать приблизительные онтологии, в то время как существующие онтологии могут использоваться, чтобы генерировать концептуальные схемы с помощью или без помощи опытного разработчика модели [2, 3].

Имеются три различных уровня абстракций, как для онтологий, так и для концептуальных моделей (рис. 1) [4].

Первый уровень формальный, на котором в конструкции онтологий и концепту-



альных схем включены абстрактные концепции. В случае онтологий на этом уровне мы имеем абстракции формальных особенностей сущностей, такие как понятия времени и пространства. В случае концептуальных схем на этом уровне мы находим основные идеи, взятые из концептуальных моделей данных, т. е. понятия, которые широко используются в концептуальном моделировании данных: объекты, поля и связи.

Когда мы сопоставляем содержание формального уровня с географическими приложениями, мы получаем второй уровень абстракции, или уровень типов геоданных.

На этом уровне онтологии описывают словарь, который используется, чтобы представить действительное содержание знания о свойствах геоданных. На этом уровне явно присутствует онтология географических понятий, которая описывает географическое пространство, географические объекты и явления географического пространства.

На прикладном уровне онтологии более конкретны, являясь уточнением специализаций уровня типов геоданных, и формируются в соответствии с концепциями поля знания, заданного приложением. На этом уровне онтология – это способ осмысления набора концепций, позволяющего совместно и согласованно использовать его группой пользователей. В концептуальном моделировании данных на прикладном уровне примитивы концептуальной модели объединены, чтобы образовать удобочитаемые диаграммы, из которых можно получить детальные потребности приложения по организации данных. Следовательно, примитивы модели данных используются, чтобы определить концептуальную схему приложения, перемещаясь от уровня типов геоданных до прикладного уровня.

Представление пользовательских онтологий прикладной области в этом контексте рассматривается как существенная часть фиксации концепций информационного пространства. Исследование онтологического статуса пространственных типов данных [5] – наиболее актуальное направление в геоинформатике. В [6] впервые было введено понятие ГИС, управляемой онтологиями, призванной обеспечивать пользователей географической информации возможностью достигнуть соглашения по основным сущностям географического мира. Идея управления с помощью онтологий заключается в том, что существенная часть географического знания зафиксирована

Тип представления / Вид уровня	Онтологии	Концептуальные модели
Формальный уровень	Абстракция формальных особенностей научных предметов: геометрия, география, время, пространство	Понятия концептуального моделирования: объекты (цели), области (поля), отношения
Уровень логических типов данных прикладной области	Онтология географических видов: представление, местоположение, топология, географическая информатика	Концептуальная модель и нотация: классы, пространственные отношения, пространственные ограничения целостности
Прикладной уровень	Онтология инфраструктуры объектов ОАО «РЖД»: станции, перегоны и др.	Концептуальная схема БГД: атрибутивное описание сущностей ОАО «РЖД»

Рисунок 1. Уровни онтологий



Рисунок 2. Формирование геоонтологии

процедурами, которые извлекают информацию из пространственных наборов данных, т. е. для этого необходимо создать онтологии не только для объектов некоторой области, но также и для намеченных действий, которые выражены процедурами, применимыми к набору данных, предназначенному для извлечения знания.

Модели географического мира должны сводиться друг к другу, а формальное описание геоинформационных сущностей может обеспечить создание онтологий географических видов (рис. 2).

### Структура семантической геоинтероперабельности

В [7] было введено понятие интероперабельности, означающей способность клиентов одной системы использовать части другой системы без специальных условий. Здесь с позиции информатики основная суть определения – это способность использовать информацию, полученную в результате обмена.



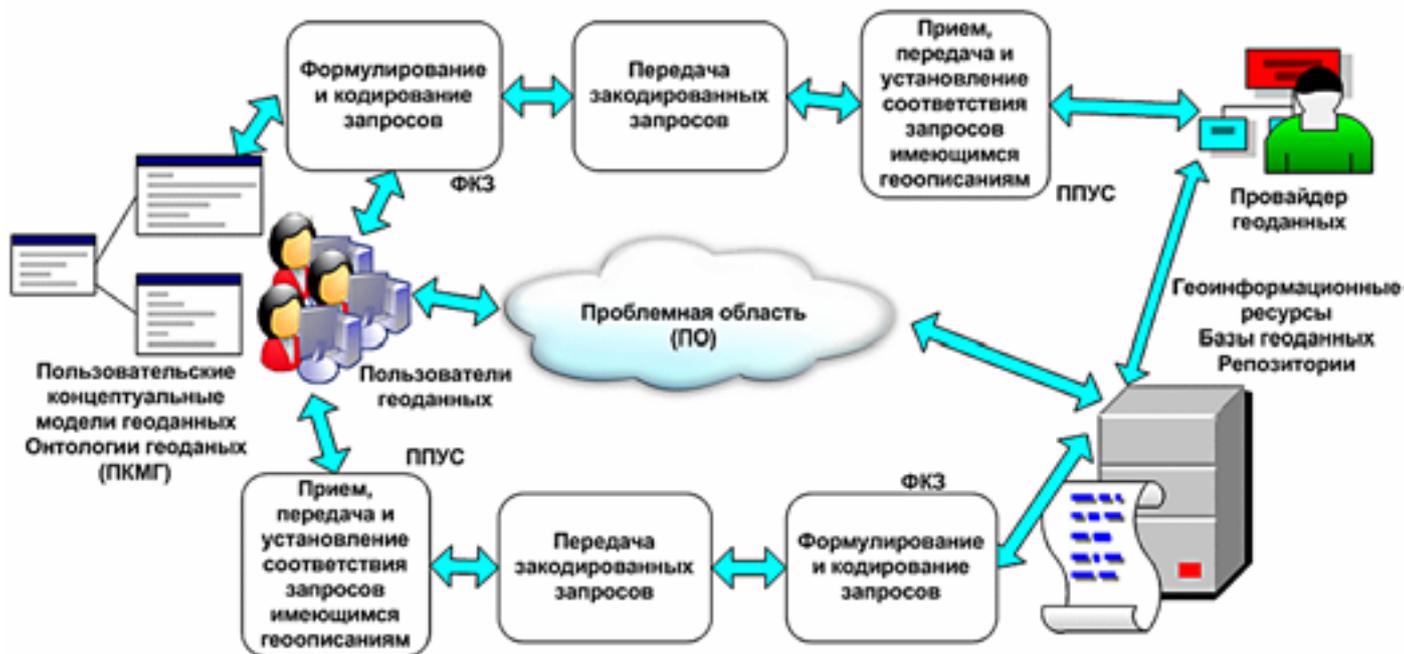


Рисунок 3. Структура семантической геоинтероперабельности

В свою очередь, географическая интероперабельность – это способность информационных систем к 1) свободному обмену всех видов пространственной информации о Земле и об объектах и явлениях на, выше и ниже поверхности Земли; 2) совместному сетевому использованию программного обеспечения, предназначенному для управления такой информацией». Семантическая геоинтероперабельность заключается в обеспечении согласованного понимания смысла геоданных, например в процессе взаимодействия пользователей геопорталов при решении задач, требующих совместной обработки и использования ими геоданных, или при решении задач концептуального поиска в базах геоданных. Семантическая геоинтероперабельность принципиально отличается от синтаксической [7], так как в последнем случае речь идет только об обеспечении согласованной обработки и обмена геоданными на нескольких уровнях взаимодействия (сетевом, обменных форматах, вызовах удаленных процедур, запросов к базам геоданных).

Геоинтероперабельность можно сравнить с межличностным процессом коммуникации. Попробуем описать это в контексте взаимодействия двух агентов, т.е., пользователя (П) и провайдера геоданных (ПД), взаимодействующих на основе географической информации (рис. 3). П хотел бы получить информацию о некоторых географических

характеристиках местности, пусть это дорожная сеть в некотором регионе. П посылает запрос дорожной информации к ПД по интернету (каналу коммуникации), используя собственный словарь. Как только запрос достигает ПД, ПД интерпретирует его, чтобы идентифицировать и собрать имеющуюся информацию для ответа на запрос П (например, станция Северная, Восточный полигон и т.д.; пространственные пиктограммы, содержащие одномерные и двумерные объекты).

В свою очередь, когда П получил ответ на свой запрос от ПД, он интерпретирует его, чтобы определить, удовлетворяет ли ответ посланному запросу. Геоинтероперабельность между двумя агентами существует, если посланный запрос удовлетворен. Здесь два агента используют свои собственные словари, чтобы выразить абстракции реальных явлений. Эта ситуация показывает четыре различных выражения действительности, обозначенных через ПО, ПКМГ, ФКЗ и ППУС. Эти выражения связаны друг с другом как части процесса коммуникации. Во-первых, есть топографическая действительность (ПО), поскольку она существует на данный момент и предъявляется П. Это референт для П.

Во вторых, П разработал свое собственное когнитивное представление ПО, т.е. ПКМГ как симбиоз ее наблюдения и структуры справочной информации, т.е. набора правил >>>

и знаний, используемых для абстрагирования явлений. Оно составлено на основе существенных свойств (например, геометрический объект, временные и описательные свойства, поведение и отношения), которые объединяются и структурируются в понятия (т.е. символизируются). Следовательно, понятие – это упрощенное представление реального явления или его части, которое соответствует символу восприятия. Таким образом ПКМГ состоит из онтологии, созданной П.

Так как понятия – это только теоретические представления реальных явлений, П не может передать их непосредственно. Следовательно, понятия должны быть преобразованы в физические формы (например, звуки, биты и байты, и т.д.), чтобы образовать сообщение. Этот процесс называется операцией кодирования. С ее помощью П преобразует понятия топографической действительности в знаки, такие как слова, сокращения, пунктуации, символы и пиктограммы, организованные определенным способом, например, «мост через реку». Эта часть коммуникации обозначена как ФКЗ и относится к организации знаков. После того, как сообщение закодировано, оно может быть отправлено по каналу коммуникации в сторону ПД. После передачи сообщение теряет свое значение и становится набором данных, передающихся с целью взаимодействия. Когда ПД получает сообщение, он начинает операцию декодирования, которая является необходимой для интерпретации сообщения. Так же, как и П, ПД полагается на свой собственный набор понятий, т.е. ППУС, чтобы определить соответствующее значение полученному сообщению. В нашем примере это соответствует «мост через реку». Здесь ППУС является онтологией ПД.

В то время, когда ПД придал значение сообщению, он инициирует поиск и сбор информации, которая позволяет выполнить запрос (т.е. Крымский мост, Строгинский мост и т.д.). В результате эта информация кодируется и помещается в канал коммуникации как данные для П. Эта часть коммуникации обозначена как ФКЗ.

Когда П получает ответ на свой запрос, он инициирует декодирование сообщения, идентифицирует понятия, которые он знает, чтобы придать значение сообщению, и, наконец, оценивает, отвечает ли сообщение правильно на его начальный запрос. Эта часть коммуникации обозначена как ППУС. Успешное взаимодействие соответствует установлению геоинтероперабельности между двумя агентами П и ПД.

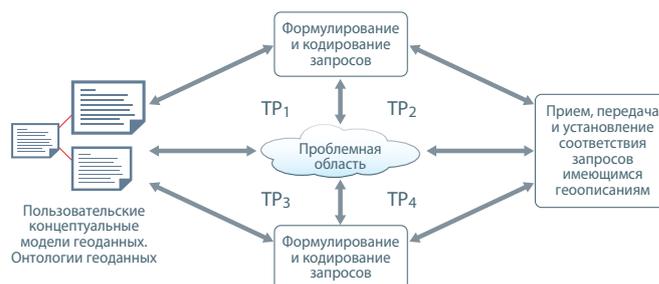


Рисунок 4. Семиотика в структуре семантической геоинтероперабельности

Структура семантической геоинтероперабельности включает четыре различных случая семиотического треугольника Фреге [8], изображенные на рис.4.

Первый треугольник возникает как результат отношений между действительностью (ПО), онтологией П – (ПКМГ) и закодированным запросом (ФКЗ). Второй треугольник – отношения между действительностью (ПО), закодированным запросом (ФКЗ) и онтологией ПД (ППУС). Третий треугольник появляется в результате отношений между действительностью (ПО), онтологией ПД – (ППУС) и закодированным ответом (ФКЗ). Наконец, четвертый треугольник – это отношения между действительностью (ПО), закодированным ответом (ФКЗ) и онтологией П – (ПКМГ). Все это показывает, что моделирование семантики глубоко внедрено в структуру геоинтероперабельности и, таким образом, обеспечивает исчерпывающее описание семантической геоинтероперабельности в целом, которая лежит в основе развития семантической пространственной инфраструктуры данных и геосемантической сети Geosemantic Web.

## Семантическая геоинтероперабельность через SDIs

Геоинтероперабельность представляет собой основу для развития и реализации пространственных инфраструктур данных (Spatial Data Infrastructures (SDIs)) [9]. Цель SDIs состоит в том, чтобы координировать полезный обмен и совместное использование географической информации с использованием соответствующих сервисов. SDIs – это средства разработки функциональной совместимости для географической информации. SDIs составлены из пяти >>>

элементов: методики, технологии, стандарты, человеческие ресурсы и релевантные действия, требуемые для сбора, обработки, управления, доступа, поставки и использования географической информации. SDIs были разработаны на основе референсной модели для Open distributed processing (RM-ODP) [10]. RM-ODP состоит из структуры пяти разделов: раздел предприятия, информационный раздел, вычислительный раздел, технический раздел и раздел технологии. В контексте SDIs раздел предприятия описывает цели и возможности, методики, обязанности и бизнес-процессы SDIs. Информационный раздел, по существу, посвящен информации, доступной через SDIs и необходимой для семантической геоинтероперабельности. Вычислительный раздел касается функциональной декомпозиции SDIs в сервисы с интерфейсами и операциями. Этот раздел представляет большой интерес для определения семантических компонентов и сервисов. Технический раздел главным образом связан с взаимодействием между данными, сервисами и системными взаимосвязями. Наконец раздел технологии относится к определенно выбранной технологии для реализации SDIs.

Первые три из указанных разделов особенно важны с точки зрения семантической геоинтероперабельности. Именно в разделе предприятия цель достижения семантической геоинтероперабельности должна быть четко сформулирована. Раздел предприятия должен идентифицировать любой репозиторий, который должен участвовать в SDIs, а также поставщиков данных, которые помогут пользователям и провайдерам в поиске соответствующих данных, релевантных их словарю и семантике. Вряд ли все пользователи могут знать заранее точный словарь и семантику, используемую геоинформационными источниками, доступными в SDIs.

Поэтому пользователи должны быть в состоянии взаимодействовать с SDIs, используя свой собственный словарь и находить данные, которые соответствуют их определенной цели. Следовательно, информационный раздел должен включать необходимые информационные компо-

ненты, чтобы обеспечить семантические запросы (т.е. запросы, сделанные в словаре пользователя и правильно интерпретируемые информационным сервером). Поэтому онтологии должны быть объединены как часть информационного раздела, обеспечивая фундаментальное знание для рассуждения, интерпретации запроса и выдачи соответствующих ответов. Вычислительный раздел нуждается также в определенном внимании, чтобы можно было решать проблемы определения семантических интерфейсов, связанных с онтологиями, включая операции и функции логического вывода, которые помогают интерпретации запросов и ответов. Этот раздел включает также кодирование онтологий, позволяющее устанавливать с помощью интерфейса связь с семантическими сервисами.

Учет семантики на раннем этапе разработки SDIs облегчает их дизайн и позволяет идентифицировать онтологии и требуемые семантические сервисы.

## Заключение

Семантическая геоинтероперабельность стала областью активных научных исследований в течение последних двух десятилетий. Описание структуры семантической геоинтероперабельности в процессах совместной обработки географической информации важно для многих прикладных областей. Моделью семантики здесь является классическая триада (семиотический треугольник Фреге), включающая, знак (символ), концепт (осмысление) и денотат (референт). Познание напрямую связано с семантикой, где перцепционные символы, сохраненные в человеческой памяти, составляют набор понятий, используемых людьми. Информатика заимствовала понятие онтологии из философии для описания понятий, которые необходимы для развития семантической геоинтероперабельности. Онтологии – это часть жизненного цикла данных, которые должны быть разработаны и сделаны доступными с соответствующими спецификациями. ■



## Список литературы

1. Грегер С.Э., Поршнева С.В. Построение онтологии архитектуры информационной системы // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10 (часть 11) С. 2405-2409.
2. Jian H Qin, Maja Žumer, Xiaoguang Wang, Wei Fan. Conceptual models and ontological schemas for semantically sustainable digital libraries // *Proceedings of the ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries (JCDL '20)*. 2020.P. 441–442.
3. Verdonck M., Gailly F., Pergl R., Guizzardi G., Martins B., Pastor O. Comparing traditional conceptual modeling with ontology-driven conceptual modeling // *An empirical study. Information Systems*. 2019. V.81, P. 92 – 103.
4. Дулин С.К., Поповидченко В.Г. Структура представления онтологии геоданных. М.: ВЦ РАН, 2007. 23 с.
5. Fonseca F., et al. Ontologies and Knowledge Sharing // *Urban GIS. Computer, Environment and Urban Systems*, 2000. № 24, Vol. 3. P. 232-251.
6. Fonseca F., Egenhofer M., Davis C. Semantic Granularity in Ontology-Driven Geographic Information Systems // *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. 2002. V.36. P. 121–151.
7. Дулин С.К., Дулина Н.Г. От согласованности геоданных к семантической геоинтероперабельности. М.: ВЦ РАН, 2014. 28 с.
8. Фреге Г. Смысл и денотат // *Семиотика и информатика*. Вып. 35. М.: Языки русской культуры, 1997. С. 352–379.
9. J. Hjelmager, H. Moellering, A. Cooper, T. Delgado, A. Rajabifard, P. Rapant, D. Danko, M. Huet, D. Laurent, H. Aalders, A. Iwaniak, P. Abad, U. Düren, A. Martynenko: An initial formal model for spatial data infrastructures // *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 2008. V. 22, P. 1295–1309.
10. ISO/IEC 10746:1998 Information technology – Open distributed processing – Reference model: Overview (International Organization for Standardization, Geneva 2017).

УДК: 625.17.1

# Особенности технологии технического обслуживания конструкции пути особогрузонапряженных участков

## Features of the technology of maintenance of the track structure of specially stressed sections

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

**Крылов С.А.**, аспирант, Российский университет транспорта (РУТ),  
E-mail: rfnjirby3@yandex.ru, Москва, Россия

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

**Krylov S.A.**, graduate student, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: rfnjirby3@yandex.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

Особогрузонапряженные участки железной дороги являются важнейшими звеньями в железнодорожной инфраструктуре, эти участки играют важную роль в экономике железных дорог. Из-за больших нагрузок, эти участки нуждаются в тщательном и непрерывном мониторинге неисправностей пути, с оперативным устранением выявленных неисправностей. Выполненным моделированием и произведенными расчетами установлено, что 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 данный момент все большую популярность набирает один из способов выправки пути с использованием регулировочных прокладок (карточек), этот метод плано-предупредительной выправки пути почти никак не регламентирован и малоизучен, что ставит под угрозу безопасность движения поездов и выявляет необходимость изучения данного метода выправки пути.

**Ключевые слова:** транспорт, особогрузонапряженные участки, регулировочные прокладки, техническое обслуживание.



### Abstract

Especially heavy load areas of the railway are the most important links in the railway infrastructure, due to the increased load, these sections play an important role in the economy on the railways, but due to heavy loads, they need careful and continuous monitoring of track faults, with prompt elimination of identified faults. By modeling and calculations performed, it was found that in the event of destruction of the receiving sleeper or its absence, the stress safety factor in the most loaded section was 0.82 for both weak and rigid sub-rail base. At the moment, one of the ways of straightening the track using shims (cards) is gaining more and more popularity, this method of planned preventive straightening of the track is almost not regulated and little studied, which endangers the safety of train traffic and reveals the need to study this method of straightening the track.

**Keywords:** transport, especially heavy load areas, shims, maintenance.



## Введение

Особогрузонапряженными линиями железных дорог России считаются те участки, на которых суммарный расчётный объем перевозок грузов (нетто) на 10-й год эксплуатации свыше 80 млн. ткм/км в год и скорость пассажирских, контейнерных, рефрижераторных поездов равняется 140 км/ч, грузовых поездов 90 км/ч. [1]

Техническое обслуживание конструкции пути особогрузонапряженных участков является одной из важнейших задач железнодорожного транспорта. Так как именно эти участки железнодорожной инфраструктуры берут на себя основную часть грузовых и пассажирских перевозок. Вследствие развития железнодорожной инфраструктуры грузонапряженность и скорость движения поездов на железной дороге постепенно увеличиваются. Повышенная грузонапряженность оказывает влияние на ускоренный износ рельсов, шпал, скреплений, а также на загрязнение балластного слоя внутренними и внешними засорителями и загрязнителями, что приводит к увеличению дефектов пути. [2]

Грузонапряженность играет ключевую роль в определении необходимой прочности элементов верхнего строения пути, интервалов между ремонтами, объемов работ при ремонте и содержании пути, системы ведения путевого хозяйства, а также в организации движения поездов. При высокой грузонапряженности и интенсивности движения поездов усложняются условия текущего ухода и ремонта пути, что требует особых подходов к содержанию железнодорожного пути. [2]

## Конструкция пути

Железнодорожный путь представляет собой комплексную систему, состоящую из верхнего и нижнего строений. Верхнее строение включает в себя рельсы, скрепления, шпалы, балласт и соединительные конструкции. Нижнее строение состоит из земляного полотна, мостов и тоннелей. Земляное полотно выполняет функцию выравнивания земной поверхности, а также передачи давления от верхнего строения и подвижного состава на землю. Типы земляного полотна включают в себя насыпи, выемки, полунасыпи-полувыемки и нулевые места. [3]

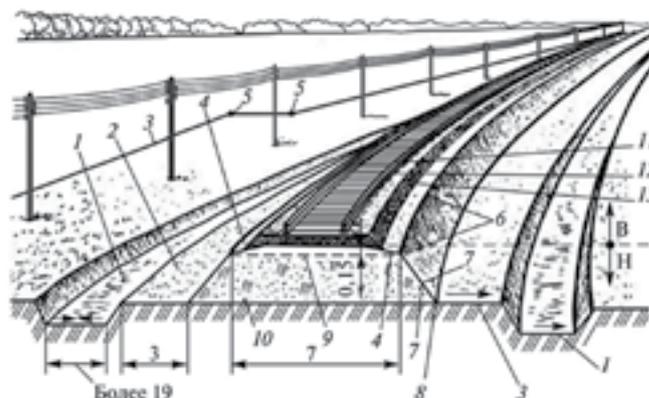


Рисунок 1. Типовой поперечный профиль железнодорожного пути:

В – верхнее строение пути; Н – нижнее строение пути; 1 – резерв; 2 – берма; 3 – граница полосы отвода; 4 – обочина; 5 – межевой знак; 6 – бровка откоса; 7 – откос; 8 – подошва откоса; 9 – основная площадка; 10 – основание насыпи; 11 – рельс; 12 – шпалы и скрепления; 13 – балластная призма (размеры указаны в м) [3].

## Основные особенности технологии обслуживания особогрузонапряженных участков

Основной целью текущего содержания железнодорожного пути является обеспечение безопасности и непрерывности движения поездов без снижения установленных наибольших скоростей. Для достижения этой цели необходимо поддерживать путь в постоянной исправности, своевременно выявлять и устранять причины возможных неисправностей как на всем пути в целом, так и на его отдельных участках. Основное внимание в текущем содержании пути уделяется предотвращению возникновения неисправностей [4].

На участках с высокой грузонапряженностью наблюдается значительный прирост загрязнителей в балластной призме. Щебень подвержен загрязнению в результате износа его зерен под воздействием динамической нагрузки и шпалоподобивочных механизмов, а также вследствие поступления внешних загрязнителей. Выявлено, что балластный слой наиболее подвержен загрязнению внешними засорителями [5]. Это обстоятельство обуславливает необходимость проведения сплошной очистки щебеночного слоя через каждые два года. Данное явление имеет серьезное значение для обеспечения надлежащего функционирования и безопасности

железнодорожных участков, требующих регулярного ухода и технического обслуживания для обеспечения нормального движения поездов [2].

На участках с высокой грузонапряженностью путь работает в сложных условиях, поэтому требуется высокий уровень организации для выполнения планово-предупредительных работ по обслуживанию и ремонту пути. На сегодняшний день интервалы между движением поездов на определенных участках дороги настолько коротки, что возникают серьезные трудности при проведении срочных работ, таких как выправка подшпального основания с использованием шпалоподбивочных машин, замена рельсов, доставка необходимых материалов и, в частности, выправка пути [6].

В связи с этим, все большее распространение получают регулировочные прокладки, также известные как карточки, для коррекции дефектов, таких как локальные просадки, перекосы и другие отклонения положения рельсовых нитей от профильной геометрии [7-9]. В практике текущего содержания и технического обслуживания железнодорожного пути данный метод получил широкое распространение, включая его применение на участках бесстыкового пути.

Эффективность данного метода обусловлена относительно низкой трудоемкостью процедур установки регулировочных прокладок (карточек) на местных участках, а также относительно коротким временем, необходимым для выполнения данных работ. [10] На данный момент укладка регулировочных прокладок почти никак не регламентирована и не отслеживается, также не проводились в достаточной степени исследования влияния регулировочных прокладок на подрельсовое основание и путь, поэтому этот метод выправки пути можно считать небезопасным из-за малой изученности. Стоит обратить особое внимание на исследование влияния и определение допустимых норм использования регулировочных прокладок.

Для установления возможных причин воздействия подвижного состава на рельсы и подрельсовое основание, которые могут приводить к авариям и крушениям, были исследованы следующие вопросы:

- при какой величине упругой просадки рельсов, уложенных на шпалах с расчетным модулем упругости подрельсового основания, произойдет излом рельсов от вертикальной нагрузки;

- каково значение данной вертикальной нагрузки.

При проведении исследований и выполнении расчетов рассматриваются различные схемы нагружения и эпюры изгибающих моментов в рельсах и накладках рельсовых стыков. 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 накладках от воздействия вертикальных сил давления колес на рельсы в зоне стыка, необходимо приложить силу 86,4 тс от одного колеса или 172,8 тс от колесной пары при слабом основании. При жестком основании соответственно 129,0 тс от одного колеса или 258 тс от колесной пары при не разрушенных шпалах и не изломанных рельсах. Вертикальные прогибы головки рельса по оси стыка составят в случае подрельсового основания с жесткостью 23 МПа – 36 мм, при жесткости основания 121 МПа – 24мм.

В процессе исследований ставилась задача установить соотношение расчетной величины нагрузки, при которой возможен излом рельсов, а также накладок и фактически реализуемой в стыковой зоне при осевых нагрузках 25 тс.

Расчетами установлено, что при расчетной динамической силе от колесной пары с осевой нагрузкой 25 тс (от колеса – 12,5 тс) в зоне стыкового зазора с учетом ударного воздействия составит на одно колесо 20,1 тс. Соотношение фактически действующих сил и сил, приводящих к излому рельсов, а также накладок, составит:  $86,4/20,1 = 4,3$  раза при слабом основании и  $129,0/20,1 = 6,4$  раза при жестком основании.

Таким образом, для излома рельса (или стыковых накладок) от воздействия вертикальных сил от колес на рельсы в зоне стыка при не разрушенных шпалах и не изломанных рельсах необходимо приложить силы соответственно в 4,3 и 6,4 раза превышающие реализуемые при осевых нагрузках 25 тс при слабом и жестком основании.

Результатами исследований и выполненных расчетов установлено, что наиболее вероятной причиной излома рельса при наличии стыков является зона в районе первого отверстия под перемычку диаметром 22 мм. Причиной излома являются усталостные процессы деградации рельсовой стали, при фактическом пропущенном тоннаже по рельсам составляющем более >>>

нормативного значения, то есть более 750 млн. т брутто. Нормативный тоннаж указан в соответствии с правилами технической эксплуатации.

Как правило, усугубляющими факторами является не выполнение средних и подъёмочных ремонтов пути, нарушение эпюры шпал (в сторону её увеличения), возникновение углов в плане, наличие свехнормативных зазоров в стыках, в том числе изолирующих стыках, наличие негодных шпал и креплений, загрязненность и засорённость балласта, другие неисправности.

Установлено, что стратегической задачей увеличения эксплуатационной надежности пути и рельсов в частности, является повышение ресурсов работы его элементов для достижения их равноресурсности в эксплуатации [5, 6].

В технических условиях на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути и Паспорте параметров железнодорожного пути и показателей его функционирования, в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 19 января 2018 года № 101р, нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути для каждого участка с различной грузонапряжённостью и установленными скоростями движения поездов, определяющими класс пути, рассчитывается по формуле:

$$W_{norm} = \frac{L_i \times G_{god}}{Q_{norm} \times f_i} = \frac{L_i}{N_{god} \times f_i} \quad (1)$$

где  $W_{norm}$  – нормативная потребность работ, км;  $G_{god}$  – грузонапряжённость, млн. ткм брутто/км в год;  $Q_{norm}$ ,  $N_{god}$  – тоннаж в млн. т брутто или количество лет, соответствующие нормативному периоду между капитальными ремонтами пути;  $L_i$  – развёрнутая длина участка пути данного класса, км;  $f_i$  – коэффициент, учитывающий дополнительные эксплуатационные факторы, например, наличие средней длины плетей меньше нормативной; наличие на участках недостаточной толщины чистого щебня; невыполнение шлифовки рельсов; близость мест погрузки угля или руды и другие.

Численные значения приведенных выше величин берутся из технического паспорта дистанции пути.

Потребный объём работ разных видов ( $V_i$ ) по участкам определяются по формуле:

$$V_i = w_{kap} \times n_i \quad (2)$$

где  $w_{kap}$  – нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути;  $n_i$  – количество повторений работ различного вида за период между капитальными ремонтами пути.

## Выводы

Для поддержания железнодорожного пути в исправном состоянии важно уделить особое внимание технологии его содержания. Что включает в себя регулярное обследование и ремонт основных элементов пути, а также укрепление и поддержание стабильности грунта и балласта.

Изучение новых методов содержания пути на особогрузонапряженных участках позволяет разработать эффективные стратегии поддержания и ремонта инфраструктуры. Новые технологии и методики могут улучшить процесс обслуживания и эксплуатации железнодорожного пути, повысить безопасность движения поездов и сэкономить ресурсы и временные затраты на ремонт.

Наиболее пагубным в условиях интенсивной эксплуатации пути (при грузонапряженности линии 100 млн. ткм брутто/км в год и более), приводящим к накоплению в пути различных неисправностей в виде, например, углов в плане, угона рельсов, вызвавшего свехнормативный зазор и других, является нарушение нормативных требований продолжительности эксплуатации и невыполнения номенклатуры промежуточных ремонтов и текущего содержания.

Установлено, что для высокой интенсивности эксплуатации пути, характерной для рассматриваемых условий, необходимо предусматривать повышенную потребность производства работ по замене упругой прокладки на креплениях, в частности ЖБР-65ПШМ, регулировку ширины колеи, а также эффективное выполнение мероприятий по текущему содержанию участков пути и изолирующих стыков.

Таким образом, особенности технологии технического обслуживания пути на особогрузонапряженных участках требуют постоянного изучения и совершенствования новых методов, чтобы обеспечить эффективное и безопасное функционирование железнодорожной инфраструктуры, в частности, изучение и регламентирование использования регулировочных прокладок при планово-предупредительных выправках железнодорожного пути. ■



## Список литературы

1. СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм».
2. Прогрессивные методы организаций и технологии текущего содержания и ремонта пути / сост. И. Т. Шарбатов. – Москва: Транспорт, 1974. - 272 с.
3. Ашпиз Е. С. Железнодорожный путь. – 2013.
4. Крейнис З. Л., Селезнева Н. Е. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. – 2019.
5. Величко Д. В. Оценка состояния балластного слоя в условиях пропуска сверхнормативного тоннажа // Политранспортные системы. – 2017. – С. 153-158.
6. Певзнер В. О. и др. Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных участках // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – №. 9. – С. 18-21.
7. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 22-23.
8. 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 Cham 05 January 2020, pp 177-183.
9. Об утверждении и введении в действие инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» от 16.11.2016 г. № 2288р (ред. 02.11.2022). Доступ из справ.-правовой системы «АСПИЖТ» в локальной сети.
10. Коваленко Н.И. Повышение эксплуатационной надежности железнодорожного пути // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – С. 54.

## 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