

Наука и технологии железных дорог

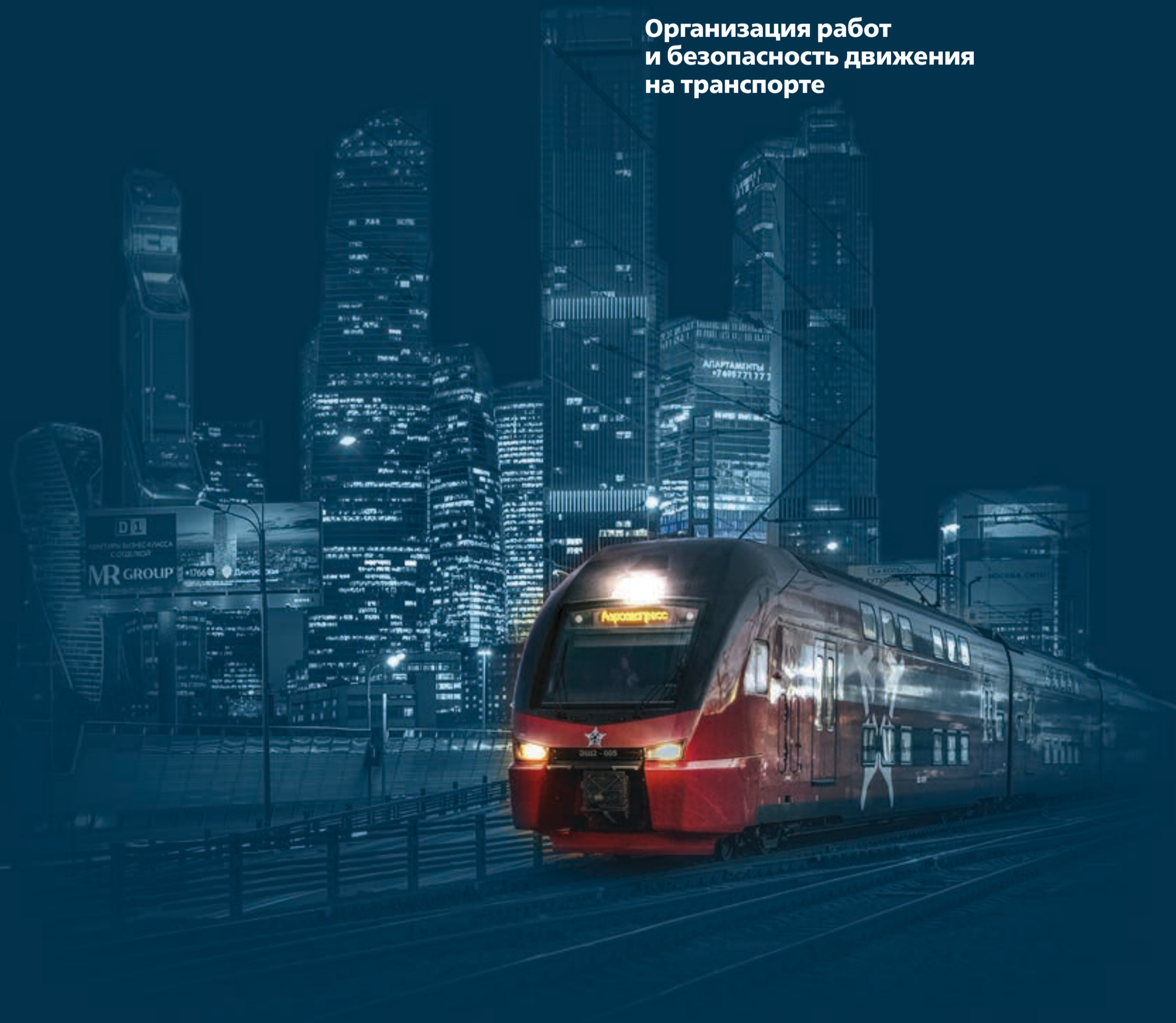
**Стратегия развития
железных дорог**

**Интеллектуальные системы
и технологии на транспорте**

**Геоинформационные технологии
и системы на транспорте**

**Цифровые методы
на железнодорожном
транспорте**

**Организация работ
и безопасность движения
на транспорте**



3 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Развитие транспортной логистики»

Лёвин Б.А., Цветков В.Я.

10 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Управление недвижимостью транспортной инфраструктуры»

Волков Р.В.

17 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Железнодорожная радиосвязь нового поколения»

Озеров А.В., Куроптева А.П.

25 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Проекты развития систем автоматического управления движением поездов»

Охотников А.Л., Волкова И.А.

32 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Геосервис транспортной инфраструктуры»

Ярош И.Д.

38 стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Оценка планов выполнения SQL запросов для решения транспортных задач»

Дулин С.К., Рябцев А.Б.

44 стр.

Организация работ и безопасность движения на транспорте

«Оценка рисков путевого хозяйства по безопасности движения ОАО «РЖД»»

Коваленко Н.И., Коваленко А.Н.

УДК: 519.113.115+681.3

Развитие транспортной логистики

Development of transport logistics

Лёвин Б.А., д.т.н., профессор, Президент, Российский университет транспорта, РУТ (МИИТ),
E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Москва, Россия

Lyovin B.A., D.ofSci(Tech), Professor, President, Russian University of Transport, RUT (MIIT),
E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Moscow, Russia

Цветков В.Я., д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

Tsvetkov V.Ya., D.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Проводится исследование современного состояния и развития транспортной логистики. Отмечено, что в настоящее время существует около двадцати разных видов логистики и она продолжает развиваться. Дана систематика основных видов логистики, связанной с транспортными перевозками. Раскрываются особенности и отличия этих логистик. Системный подход приводит к понятию логистической системы. Дается анализ основных компонентов логистической системы. Раскрывается содержание логистических услуг. Описано значение логистических систем в современной транспортной логистике. Показано значение транспортировки как сервисной технологии. Показано различие между обычной транспортировкой грузов и транспортировкой как логистического компонента. Показано значение пространственного моделирования в логистических процессах. Описана роль геоинформатики в логистике. Дана систематика видов моделирования в логистике.

Ключевые слова: транспорт, транспортная логистика, логистическое информационные единицы, пространственная логистика, логистическая система, бизнес логистика.

Abstract

The article conducts a study of the current state and development of transport logistics. It is noted that currently there are about twenty different types of logistics and it continues to develop. The systematics of the main types of logistics associated with transportation is given. The features and differences of these logistics are revealed. A systematic approach leads to the concept of a logistics system. An analysis of the main components of the logistics system is given. The content of logistics services is disclosed. The importance of logistics systems in modern transport logistics is described. The importance of transportation as a service technology is shown. Shows the difference between normal transportation of goods and transportation as a logistics component. The value of spatial modeling in logistics processes is shown. The role of geoinformatics in logistics is described. The taxonomy of types of modeling in logistics is given.

Keywords: transport, transport logistics, logistics information units, spatial logistics, logistics system, business logistics.



Введение

Для логистики существует много определений [1-3], которые различаются в деталях, но отражают общую сущность. Логистика развивается с 1950-х годов и за прошедшее время были проведены многочисленные исследования в этой области и появились разнообразные приложения логистики. В связи с тенденцией и глобализации важность управления логистикой растет в различных областях. Для отраслей логистика помогает оптимизировать существующие производственные и распределительные процессы на основе одних и позволяет более эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Это обуславливает важность методов управления логистикой для повышения конкурентоспособности предприятий.

Ключевым элементом логистики является логистическая цепочка. Объектом реализации логистики является транспортная система, которая объединяет отдельные виды деятельности. Транспортировка занимает треть объема логистических расходов [4], а транспортные системы оказывают огромное влияние на производительность не только логистической системы, но и на все производство. Логистика применяется во всех производственных процедурах, от изготовления продукции до доставки конечным потребителям и возврата. Только хорошая логистика между каждым компонентом производства позволит максимально использовать ресурсы.

Краткий анализ логистики

Логистика оперирует с прямыми и обратными потоками грузов, товаров, ресурсов, услуг, информации в соответствии с потребностями клиентов. Логистика управляет цепочками поставок [5, 6] таким образом, что эта цепочка соответствует логической цепочке [7] и оптимальной цепочке в сети.

Современная логистика – это не логистика цепочек, а логистика сетей. Существует военная и гражданская логистика. Гражданская логистика занимается приобретением, перемещением и хранением сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Для сервисных организаций, оказывающих услуги: вывоз мусора, доставка почты, ЖКХ и послепродажное обслуживание, также необходимо решать логистические проблемы. Логистика содержит значительную часть операционных расходов организации или страны.

Управление распределительным центром [8] рассматривают как область логистики. С точки зрения моделирования есть сходство между управлением операциями логистикой. С точки зрения моделирования есть сходство между пространственным моделированием в геоинформатике и пространственным моделированием потоками в логистике.

В настоящее время существует множество специализаций логистики. По направлению потоков разделяют входящую и исходящую логистику. Входящая логистика (Inbound logistics) [9] направлена на закупку и организацию входящего движения материалов, деталей или незавершенных запасов от поставщиков на производственные или сбороч-

ные предприятия, склады или розничные магазины. Исходящая логистика (Outbound logistics) [10] связана с хранением и перемещением конечного продукта и связанными с ним информационными потоками от конца производственной линии до конечного пользователя.

По областям применения логистики можно разделить на следующие типы: логистика закупок, дистрибуторская логистика, послепродажная логистика, логистика утилизации, глобальная логистика, логистика внутренних дел, консъерж-сервис, логистика управления активами, обратная логистика, логистика материалов в точках продаж, аварийная логистика, производственная логистика, строительная логистика, логистика капитальных проектов, цифровая логистика, информационная логистика, гуманитарная логистика. Рассмотрим некоторые типы логистик.

Глобальная логистика (Global logistics) [11] представляет собой процесс управления материальными потоками через так называемую цепочку поставок от места производства до других частей мира. Для этого часто требуется интермодальная транспортная система, морские, воздушные, железнодорожные и автомобильные перевозки.

Предварительная логистика (Advance logistics) [12] состоит из действий, необходимых для разработки или разработки плана проведения логистических операций.

Логистика закупок (Procurement logistics) [13] включает: исследование рынков, планирование потребностей, принятие решений «производить или покупать», управление поставщиками, размещение заказов и контроль заказов. Цели в логистике закупок могут быть противоречивыми: максимизация эффективности за счет концентрации на основных компетенциях, аутсорсинг при сохранении автономии компании или минимизация затрат на закупки при максимальной безопасности в процессе поставок.

Распределительная логистика решает задачи оптимального размещения ресурсов, выбор мест размещения производства на основе критериев оптимизации. Она использует теорию нечетких множеств. Типичным ее примером является задача Лаунхардта [14].

Дистрибуторская логистика (Distribution logistics) [15] (логистика распределения товаров) направлена на доставку готовой продукции потребителю. Она включает обработку заказов, складирование и транспортировку. Логистика распределения необходима, потому что время, место и количество производства отличаются от времени, места и количества потребления.

Основной функцией логистики утилизации (Disposal logistics) [16] является снижение затрат на логистику и повышение качества услуг, связанных с утилизацией отходов, образующихся в ходе деятельности предприятия

Обратная логистика (Reverse logistics) [17] направлена на операции, которые связаны с повторным использованием продуктов и материалов. Процесс обратной логистики включает в себя управление и продажу излишков, а также продуктов, возвращаемых поставщикам от покупателей. Обратная логистика – это все операции, связанные с повторным использованием продуктов >>>

и материалов. Это «процесс планирования, реализации и контроля эффективного и рентабельного потока сырья, незавершенного производства, готовой продукции и соответствующей информации от точки потребления до точки происхождения с целью восстановления стоимости или надлежащая утилизация. Точнее, обратная логистика – это процесс перемещения товаров из их типичного конечного пункта назначения с целью получения стоимости или надлежащей утилизации. Противоположностью обратной логистике является «логистика вперед».

Зеленая логистика (Green logistics) [18] включает действия по минимизации воздействия логистической деятельности на окружающую среду. Сюда входят все действия прямого и обратного потоков.

Логистика управления активами (Asset control logistics) [19] оперирует с активами, необходимыми для демонстрации, сохранения и продвижения продукции организации. Некоторыми примерами являются холодильники, пылесосы, мониторы, сезонное оборудование, подставки для плакатов и рамки.

Строительная логистика (Construction logistics) [20] использовалась на протяжении тысячелетий. Поскольку различные человеческие цивилизации пытались построить наилучшие из возможных сооружений для жизни и защиты. Теперь строительная логистика стала жизненно важной частью строительства. За последние несколько лет строительная логистика стала отдельной областью знаний и исследований в рамках предмета управления цепочками поставок и логистики.

Логистика информационно-вычислительных сетей включает действия по балансировке сети, оптимизации маршрутов сетевых потоков, уменьшению помех и диссипации сети. Логистика мобильной связи включает действия по оптимальному размещению станций и оптимизации сетевого трафика с учетом плотности клиентов. Логистика глобальных сетей включает действия по размещению серверов, оптимизации глобальных сетевых потоков, уменьшению помех трафика сети. Значение этого вида в том, что в нем разработаны методы балансировки потоков в сети, что весьма важно для сетевой логистики.

Логистическая система

Системный подход приводит к понятию логистическая система. Логистические услуги, информационные системы и инфраструктура являются тремя компонентами логистической системы. Они тесно связаны между собой. Взаимодействие трех основных компонентов логистической системы интерпретируется следующим образом. Логистические услуги поддерживают перемещение материалов и продуктов от вводимых ресурсов через производство к потребителям, а также связанное с этим удаление отходов и обратные потоки. Они включают в себя деятельность, осуществляемую собственными силами пользователей услуг (например, хранение или контроль запасов на заводе-изготовителе) и операции внешних поставщиков услуг.

Логистические услуги включают в себя физическую активность (например, транспортировка, хранение), а также нефизическую деятельность (например, проектирование цепочки поставок, выбор подрядчиков, переговоры о фрахте). Большинство видов деятельности логистических услуг являются двунаправленными. Логистические системы и логистические услуги применяют разные информационные системы. Эти системы включают моделирование и управление процессом принятия решений и решают технические вопросы отслеживания и прослеживания. Он предоставляет необходимые данные и консультации на каждом этапе взаимодействия между логистическими службами и целевыми станциями. Инфраструктура включает в себя человеческие ресурсы, финансовые ресурсы, упаковочные материалы, склады, транспорт и связь. Большая часть основного капитала предназначена для создания этих инфраструктур.

Без хорошо развитых логистических систем логистика не может быть эффективной. Хорошая логистическая система создает синергетический эффект. Сбалансированная логистическая система может обеспечить высокую эффективность логистики. Она снижает эксплуатационные расходы и повышает качество обслуживания. Совершенствование логистических систем требует усилий государственного и частного секторов. Хорошо функционирующая логистическая система может повысить конкурентоспособность как правительства, так и предприятий.

Логистическая система делает товары и продукты передвижными и обеспечивает своевременную и региональную эффективность для содействия добавленной стоимости в соответствии с принципом наименьших затрат. Транспорт влияет на результаты логистической деятельности и, конечно, влияет на производство и продажу. В логистической системе транспортные расходы можно рассматривать как ограничение объективного рынка. Стоимость транспортировки варьируется в зависимости от отрасли. Для тех продуктов с небольшим объемом, малым весом и высокой стоимостью транспортные расходы просто занимают очень небольшую часть продаж и менее ценятся; для этих больших, тяжелых и малоценных продуктов транспортировка занимает очень большую часть продаж и больше влияет на прибыль, и поэтому она более ценится.

Транспортировка играет связующую роль в логистической системе. Она приводит к превращению ресурсов в полезные товары во имя конечного потребителя. Именно планирование всех этих функций и подфункций в систему движения товаров с целью минимизации затрат на максимальное обслуживание клиентов составляет концепцию бизнес-логистики.

Традиционно транспортировка включает отдельные компании для производства, хранения, транспортировки, оптовой торговли и розничной продажи, однако в основном производственные / производственные предприятия, складские услуги, предприятия мерчандайзинга – все это связано с транспортировкой. Производственные или производственные предприятия требуют сборки материалов, компонентов и расходных материалов, с хранением, обработкой и обработкой материалов или без них в пределах завода и производственных запасов. >>>

Складские услуги между заводами и торговыми точками включают отдельный транспорт. Предприятия мерчандайзинга завершили цепочку с доставкой потребителям. Производители ограничились производством товаров, оставив маркетинг и дистрибуцию другим фирмам. Складирование и хранение можно рассматривать с точки зрения услуг по производственному процессу и дистрибуции продукции. В связи с закрытием многих однопользовательских складов и расширением центров консолидации и распределительных центров произошли серьезные изменения в количестве и расположении объектов. Эти изменения отражают такие факторы, как улучшение транспортных услуг и давление на повышение эффективности логистики.

Роль, которую транспорт играет в логистической системе, является более сложной, чем просто перевозка грузов. Его сложность обусловлена сложностью логистической системы и комплексному использованию транспорта. Эта сложность выражается в необходимости создания транспортной системы, адекватной логистической системе. С помощью хорошо управляемой транспортной системы товары могут быть отправлены в нужное место в нужное время, чтобы удовлетворить требования клиентов. Это приносит эффективность, а также строит мост между производителями и потребителями. Поэтому транспорт является основой эффективности в бизнес-логистике и расширяет другие функции логистической системы. Хорошо работающая транспортная система в логистической деятельности, приносит пользу не только качеству обслуживания, но и конкурентоспособности компании.

Наземная логистика является очень важным звеном в логистической деятельности. Он расширяет услуги по доставке воздушных и морских перевозок из аэропортов и морских портов. Наиболее положительной характеристикой земельной логистики является высокий уровень доступности на земельных участках. Основными видами транспорта наземной логистики являются железнодорожный транспорт, автомобильный грузовой транспорт и трубопроводный транспорт.

Железнодорожный транспорт имеет такие преимущества, как высокая грузоподъемность, меньшее влияние погодных условий и более низкое потребление энергии, в то время как недостатки, такие как высокая стоимость основных объектов, сложное и дорогостоящее обслуживание, отсутствие эластичности неотложных требований и затраты времени на организацию железнодорожных вагонов.

Автомобильный грузовой транспорт имеет такие преимущества, как более дешевые инвестиционные фонды, высокая доступность, мобильность и доступность. Его недостатками являются низкая емкость, более низкая безопасность и медленная скорость.

Преимуществами трубопроводного транспорта являются высокая пропускная способность, меньшее влияние погодных условий, более дешевая плата за эксплуатацию и непрерывная транспортировка; недостатками являются дорогая инфраструктура, более жесткий надзор, специализация товаров и регулярные потребности в обслуживании.

Чрезмерное использование наземного транспорта также сопряжено со многими проблемами, такими как пробки, загрязнение окружающей среды и дорожно-транспортные происшествия. В будущем для повышения эффективности и надежности наземного транспорта требуется революция в транспортной политике и управлении.

Пространственное моделирование в логистических процессах

Большинство видов логистики применяет пространственную информацию. Пространственную информацию обрабатывает геоинформатика. Поэтому применение геоинформатики в логистике и пространственное моделирование является обязательным процессом в логистических системах.

Моделирование включает построение модели объекта или процесса и управление на этой основе. Существует много подходов к моделированию пространственных объектов и явлений, отличающихся типами моделей, конструкцией моделей, схемам моделирования, взаимодействию моделей и методами интерпретации результатов моделирования. В геоинформатике различают общее моделирование и геоинформационное моделирование.

Общее моделирование в геоинформатике использует опыт моделирования в других областях. Оно включает следующие виды моделирования: аналитическое, имитационное, логико-лингвистическое моделирование, информационное, лингвистическое.

Пространственное моделирование включает построение цифровое моделирование, картографическое моделирование, трехмерное моделирование, ситуационное моделирование, топологическое моделирование, моделирование пространственных полей.

Аналитическое моделирование. Аналитическое моделирование основывается на использовании математического формализованного аппарата: множество, граф, вектор, функция, матрица и т.д. При аналитическом моделировании можно исследовать явления, имеющие разное физическое содержание, но описываемые одинаковыми математическими соотношениями. Это дает возможность осуществлять междисциплинарный перенос знаний.

Например, вектор может быть моделью направления деформации инженерного сооружения, моделью потока движения, может характеризовать сложное воздействие внешней среды на пространственный объект. Функция может описывать связь факторов, влияющих на процесс, может описывать процесс, может задавать закон распределения. Аналитическое моделирование позволяет получить описание исследуемых процессов с помощью формул. В настоящее время это наиболее распространенный вид моделирования пространственных процессов.

Имитационное моделирование. Имитационное моделирование использует результаты априорного знания и математический аппарат для получения новых ситуаций, которые в практике не исследованы, но могут быть. Оно может быть рассмотрено как инструмент, с помощью которого реализуется основная идея метода. >>>

В основе имитационного моделирования лежит понимание механизма явления. Реализуется имитационное моделирование с помощью вычислительных систем.

Информационное моделирование. Информационное моделирование основано на применении информационных единиц, которые являются основой построения более сложных информационных моделей. Информационные единицы представляют собой наборы элементов или элементарных моделей, применяемых в разных областях. Информационные единицы применяют как инструмент информационного описания картины мира [21]. Информационные единицы используют как элементы информационного поля [22]. Информационные единицы служат в качестве элементов сложных систем. Информационные единицы описывают элементы транспортной инфраструктуры [23]. Информационные единицы применяют как основу и элементы моделей. Информационные единицы являются элементами логического описания [24]. Информационные единицы применяют в теории коммуникаций для передачи сообщений [25]. Информационные единицы служат элементами управления и элементами визуального описания.

В определенном аспекте даже онтологии рассматривают как информационные единицы. Многообразие применения информационных единиц диктует их применение в логистике и введения понятия логистическое информационные единицы.

Наибольшее распространения из перечисленных методов при исследовании логистики получили аналитические методы моделирования. Многие из них доведены до программной реализации на современных вычислительных средствах.

Цифровое моделирование. Цифровое моделирование включает формирование цифровых моделей объектов и цифровых моделей среды, окружающей объекты. Автор предлагает перейти от стационарных цифровых к динамическим.

Картографическое моделирование. Картографическое моделирование основано на построении картографических моделей. В геоинформатике это модели двух типов. Первый тип моделей включает картографические модели, которые строятся при использовании ГИС как автоматизированной картографической системы. Результатом обработки информации является электронная карта. Эти карты широко применяют в современной логистике. ГИС в этом случае выступает как основное средство обработки и получения результата.

Другой тип картографической модели создается на основе большого информационного комплекса пространственных данных, который хранится либо в базе геоданных (БГД), либо (что бывает чаще из-за большого объема) в банке пространственных данных. Эта картографическая модель формируется на основе запросов к этой базе или банку данных и является картографической визуализацией этого запроса. ГИС в этом случае выступает как вспомогательное средство визуализации информации, а основным средством является программное обеспечение обработки пространственных данных из системы хранения. Автор предлагает использовать специальные картографические логистические модели на основе ГИС технологий.

Трехмерное моделирование. Трехмерное моделирование является одной из тенденций развития геоинформатики, кадастра и логистики [26]. Классическое представление объектов в виде плоских карт не всегда позволяет отразить специфику объекта исследований и соотнести его с окружающими объектами и местностью. Трехмерное моделирование позволяет рассматривать объект в реальной взаимосвязи с окружающей средой и принимать адекватное решение. Оно позволяет адекватно описывать реальную местность, объекты окружающего мира и их взаимное расположение. Существуют две разновидности трехмерного моделирования: трехмерное моделирование САПР (3D) и геоинформационное трехмерное моделирование (3GD). Следует отметить различие между ними.

1. Одной из различий состоит в использовании данных (date -D) и геоданных (geodate – GD) которые по-разному структурированы и организованы, соответственно в ИС и ГИС.
2. Обычное трехмерное моделирование (3D), как правило, решает локальные задачи построения объектов, не связанных с реальными точками поверхности Земли. Геоинформационное трехмерное моделирование (3GD) должно учитывать эту связь и целый ряд дополнительных пространственных связей, которые обозначаются общим понятием «геореференция» [27].
3. Главное целью 3D моделирования является показ объекта. Главное целью 3GD моделирования является показ системы объектов с учетом пространственных отношений.
4. В отличие от 3D моделирования, в котором используют декартову систему координат, в 3GD моделировании используют геоцентрические системы координат для показа кривизны Земли и возможности привязки объектов, находящихся в разных точках земной поверхности.
5. В отличие от 3D моделирования, в котором используют математическую модель как основу представления, в 3GD моделировании применяют составные модели, включающие математическую конструкцию с интегрированным в нее снимком [26]. Работа [26] предлагает использовать специальные трехмерные модели на основе ГИС технологий для решения логистических задач.

Ситуационное моделирование. Ситуационное моделирование существует как общая технология и как геоинформационная технология. Как общая технология она не использует пространственные отношения. Как геоинформационная технология она учитывает пространственные отношения, использует геоданные, модели информационных ситуаций и информационные единицы.

Ситуационное моделирование относится к школе управления при непредвиденных обстоятельствах (contingency school of management) [28]. Оно в значительной мере основано на методах ситуационного управления. Ситуационное моделирование основано на построении информационных моделей ситуации, >>>

которые представляют собой интегрированные модели, объединяющие концепции, теоретические методы и логические последовательности действий. Автор разработал метод ситуационного моделирования в геоинформатике для решения логистических задач.

Топологическое моделирование. Топологическое моделирование основано на представлении пространственной ситуации в упрощенной форме с помощью трех типов моделей отражающих точки, линии и ареалы. Топологические модели являются основными моделями, применяемыми для решения логистических задач. Они служат основой для выделения пространственных отношений и формирования матриц инцидентности. На основе таких матриц осуществляют вычислительный анализ пространственной сети и поиск оптимального маршрута.

Моделирование пространственных полей. Моделирование пространственных полей в геоинформатике опирается на специально разработанный аппарат пространственного анализа, основу которого составляет Кригинг. Эти методы относятся к геостатистике, которую необходимо разграничить со статистикой и отметить, что применение статистики для решения проблем в области геологии и горнодобывающей промышленности, а также гидрологии практиковалось длительное время. Поэтому термин «геостатистика» какое-то время трактовался как статистика применительно к геологии или в более общем плане – статистика для решения проблем в области наук о Земле.

Заключение

Современная логистика непрерывно развивается и появляются новые виды логистики, связанные с появлением новой потребности в логистике. Логистика развивается как потребность и прикладная технология. Наука идет следом, и теория логистики пока не является целостной, а представляет собой набор разных подходов к решению прикладных задач. Объективной причиной является разнообразие применения логистики в разных сферах, что затрудняет ее обобщение.

Связь логистики и геоинформатики обусловлена применением пространственной информации и то что обе науки с потребительских позиций удовлетворяют информационные и транспортные потребности. Транспортная логистика является основным видом логистики и служит основой для написания различных теоретических обобщений. В современной логистике возрастает роль моделирования, среди которого ведущую роль занимает информационное моделирование. Современная транспортная логистика часто является сетевой. Это влечет необходимость задач балансировки потоков в сети. Современная транспортная логистика часто является ситуационной. Это влечет необходимость применения методов системного анализа. Сложность задач современной логистики приводит к необходимости применения логистических систем и информационных систем. Перспективным применением в современной логистике является применение методов кибернетики и искусственного интеллекта. ■



Список литературы

1. Тебекин А. В. Логистика. – Москва. Дашков и К, 2018. – 356с.
2. Неруш Ю. М., Неруш А. Ю. Логистика. – Москва.: ЮРАЙТ, 2019. – 559с.
3. Ивуть, Р. Б. Логистика : учебное пособие для студентов. – Минск : БНТУ, 2021. – 462с.
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Оптимизация движения в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №3 (23). – С.10-19.
5. Tien N. H., Anh D. B. H., Thuc T. D. Global supply chain and logistics management //Dehli: Academic Publications. – 2019.
6. Harrison A. et al. Logistics management and strategy: competing through the supply chain. – Pearson UK, 2019.
7. Раев В.К., Цветков В.Я. Логические цепочки // Дистанционное и виртуальное обучение. 2018. – № 1(120). – С.14-21.
8. Winarno H. et al. Food hubs and short food supply chain, efforts to realize regional food distribution center //International Journal of Supply Chain Management. – 2020. – Т. 9. – №. 3. – С. 338-350.
9. Kalaiarasan R. et al. Supply chain visibility for improving inbound logistics: a design science approach //International Journal of Production Research. – 2022. – С.1-16.
10. Nogueira G. P. M. et al. The environmental impact of fast delivery B2C e-commerce in outbound logistics operations: A simulation approach // Cleaner Logistics and Supply Chain. – 2022. – Т. 5. – С. 100070.
11. Haralambides H. E. Gigantism in container shipping, ports and global logistics: a time-lapse into the future //Maritime Economics & Logistics. – 2019. – Т. 21. – №. 1. – С.1-60.
12. Selviaridis K., Norrman A. Performance-based contracting for advanced logistics services: challenges in its adoption, design and management // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. – 2015.
13. Uusitalo J. A framework for CTL method-based wood procurement logistics //International Journal of Forest Engineering. – 2005. – Т. 16. – №. 2. – С.37-46.
14. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Решение задачи Лаунхардта в нечеткой ситуации. // Информация и космос. – 2018. – №4. – С.103-109.
15. Konstantakopoulos G. D., Gayialis S. P., Kechagias E. P. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: A literature review and classification //Operational research. – 2022. – Т. 22. – №. 3. – С.2033-2062.
16. Xu J., Shi Y., Zhao S. Reverse logistics network-based multiperiod optimization for construction and demolition waste disposal //Journal of Construction Engineering and Management. – 2019. – Т. 145. – №. 2. – С. 04018124.
17. Prajapati H., Kant R., Shankar R. Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics //Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 211. – С.503-520.
18. Baah C., Jin Z., Tang L. Organizational and regulatory stakeholder pressures friends or foes to green logistics practices and financial performance: investigating corporate reputation as a missing link //Journal of cleaner production. – 2020. – Т. 247. – С.119125.
19. Russell S. H. Growing world of logistics //Air Force Journal of Logistics. – 2000. – Т. 24. – №. 4. – С.12.
20. Wegelius-Lehtonen T. Performance measurement in construction logistics //International journal of production economics. – 2001. – Т. 69. – № 1. – С.107-116.
21. Цветков В.Я. Информационное описание картины мира // Перспективы науки и образования. – 2014. – №5(11). – С.9-13.
22. Раев В.К. Информационные единицы в информационном поле // Славянский форум. 2022, 1(35). С.104-114.
23. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – 1(13). – С.57-68.
24. Розенберг И.Н., Цветков В. Я. Логические информационные единицы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2009. – № 4. – С.110 – 111.
25. Цветков В. Я. Информационные единицы сообщений // Фундаментальные исследования. – 2007. – №12. – С.123 – 124.
26. Андреева О. А., Дышленко С. Г. Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1(11). – С.39-46.
27. Куприянов А. О. Информационная модель геореференции //Перспективы науки и образования. – 2016. – №. 6 (24). – С.96-100.
28. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. – №4(12). – С.5-10.

УДК: 523.21

Управление недвижимостью транспортной инфраструктуры

Transport Infrastructure Real Estate Management

Волков Р. В., к.э.н., Первый проректор, Российский университет транспорта,
E-mail: vovkrv@bk.ru, Москва, Россия
Volkov R.V., PhD.(Econ), First Vice-Rector, Russian University of Transport (MIIT),
E-mail: vovkrv@bk.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Исследуется управление недвижимостью транспортной инфраструктуры. Показаны два направления в управлении недвижимостью транспортной инфраструктуры: объектное и корпоративное. Объектное управление использует в основном информационные модели объектов. Корпоративное управление осуществляет управление группами объектов, при этом используются информационные модели ситуаций. Отмечена особенность применения информационного моделирования зданий (Building information modeling) для управления недвижимостью. Подчеркнута необходимость применения системного подхода в управлении недвижимостью с учетом всех этапов жизненного цикла. Отмечена тенденция перехода к интеллектуальному управлению недвижимостью.

Ключевые слова: транспорт, управление, транспортная инфраструктура, управление недвижимостью, пространственное моделирование.

Abstract

The real estate management of transport infrastructure is investigated. Two directions in real estate management of transport infrastructure are shown: object and corporate. Object management uses mainly information models of objects. Corporate governance manages groups of objects, using information models of situations. The peculiarity of the application of building information modeling (Building information modeling) for real estate management is noted. The necessity of applying a systematic approach to real estate management, taking into account all stages of the life cycle, is emphasized. The trend of transition to intellectual real estate management is noted.

Keywords: transport, management, transport infrastructure, property management, spatial modeling.



Введение

Управление объектами транспортной инфраструктуры является актуальной темой, которая постоянно развивается, при этом управление недвижимостью является важным компонентом управления транспортной инфраструктурой в целом. Развитие и модернизация управления недвижимостью транспортной инфраструктуры обусловлено рядом причин. С одной стороны, развиваются технологии управления недвижимостью в зарубежных странах. Это требует внесения изменений в управление недвижимостью транспортной инфраструктуры. С другой стороны, транспортная структура развивается и усложняется, что также требует модернизации технологий управления недвижимостью. Процесс урбанизации влечет интеграции объектов транспортной инфраструктуры в городскую инфраструктуру. Это также требует модернизации управления.

Вследствие интеграции значение транспортной инфраструктуры выходит за рамки транспортной отрасли. Доказано наличие взаимосвязи развития транспортной инфраструктуры и экономического развития любой страны [1]. Транспортную инфраструктуру можно рассматривать как главный фактор, обеспечивающий рост и экономическое развитие транспортной отрасли. Транспортная инфраструктура обладает уникальными функциями пересечения пространства с точки, она связана с перемещением грузов, людей и регулирование обмена ресурсами.

Транспортная инфраструктура имеет разное значение для сельской и городской территорий. Она связана с региональным развитием и влияет на развитие региона и на его экономическую устойчивость. Среди объектов транспортной инфраструктуры важное место занимает недвижимое имущество [2, 3]. Недвижимость является ресурсом и объектом управления в разных отраслях. Воздействие транспортной инфраструктуры на экономику региона во многом зависит от методов управления инфраструктурой и ее недвижимостью. Управление объектами транспортной инфраструктуры использует информационное моделирование [4], цифровые активы [5] и интеллектуальные технологии [6].

Взаимодействие транспортной инфраструктуры и экономики региона

Транспортная инфраструктура определяет устойчивость и экономическое развитие региона [7]. Например, в работе [8] доказано влияние удаления железнодорожных переездов, представляющих опасность для общества, на цены на жилье. Эмпирические данные подтверждают гипотезу о том, что более широкий доступ к возможностям городской инфраструктуры может оказать положительное влияние на стоимость недвижимости [9, 10]. В связи с этим следует появление термина «транспортная география» [10]. Развитие общественного транспорта влияет на цены на недвижимость.

Особенно это заметно в Москве при строительстве линий метрополитена. При этом важную роль играет время проезда до недвижимости. В работе [10] (Испания) на основе моделирования ситуации выявлено, что существует увеличение цен на недвижимость на 1,8% для каждой дополнительной транзитной линии, присутствующей в районах жилья, а также снижение их цен на 1,1% за каждую дополнительную минуту времени в пути до Центрального делового района. В теории управления недвижимостью существует понятие «транспортная доступность» и «железнодорожная доступность». Железнодорожная доступность измеряется как расстоянием до железнодорожной станции (платформы), так и показателем качества железнодорожных услуг, предоставляемых на станции [11].

Процессы субурбанизации влияют на развитие рынков недвижимости вблизи городов. Миграция населения в пригороды способствует росту рынка жилой недвижимости. Миграция населения существенно зависит от транспортной доступности. Чтобы свести к минимуму транспортные расходы, покупатели недвижимости выбирают места, расположенные близко к центру города или к месту работы. Разрастание жилых районов вблизи центра города влияет на морфологию пригородных территорий, их функции, а также развитие пригородной инфраструктуры. Управление транспортной инфраструктурой и УНТИ влияет на рынок загородной недвижимости.

Время в пути сильно влияет на решения, принимаемые покупателями загородной недвижимости. В загородных районах увеличивается доля площадей, предназначенных для жилых, коммерческих и производственных целей [12]. Урбанизация прилегающих к городу сельских территорий тесно связана с удаленностью от функционального городского ядра [12] и наличием транспортной инфраструктуры [13]. Существуют механизмы обратной связи между доступностью, землепользованием и поведением в поездках [14]. Покупатели ищут недвижимость в районах с развитой дорожной сетью.

Жители, мигрирующие в пригороды, продолжают поддерживать тесные связи с городом, а поездки на работу сопряжены с большими затратами. Стоимость и время в пути до работы, школы или торговых точек ниже в пригородных районах, до которых легко добраться из центра города. Ежедневные поездки являются следствием перемещения населения из городов в пригороды, что увеличивает спрос на места [15] с развитой транспортной инфраструктурой. Покупатели недвижимости надеются получить максимальную выгоду и минимизировать затраты, ища компромисс между ценой и качеством недвижимости и ее удаленностью от центра города. Они стремятся минимизировать как физическое, так и временное расстояние между местом проживания и городом. Вышеупомянутое увеличивает спрос на места, характеризующиеся более коротким временем в пути и более низкими транспортными расходами. >>>

Два направления в управлении недвижимостью транспортной инфраструктуры

Управление недвижимостью транспортной инфраструктуры (УНТИ) характеризуется двумя подходами: объектное и корпоративное управление. Объектное управление осуществляет индивидуальное управление отдельными объектами недвижимости транспортной инфраструктуры. Его называют facilities management или FM. Это управление использует информационные модели объектов [16]. Корпоративное управление осуществляет групповое или корпоративное управление недвижимостью транспортной инфраструктуры. Его называют corporate real estate management или CREM. Это управление использует информационные модели ситуаций [17]. Объектное и корпоративное управление направлены на достижение потребительской полезности объектов недвижимости. Вторая технология вводит понятие корпоративная недвижимость (corporate real estate, CRE).

Общей характеристикой CREM и FM является использование информационного моделирования. Для этого необходима качественная информация [18]. Информация и информационные технологии важны во многих областях, включая управление недвижимостью. Качественная информация об объекте недвижимости необходима для принятия решений. Качественная информация позволяет получать оптимальные решения.

В транспортной инфраструктуре характерна тенденция CREM. Существует ряд принципов корпоративного управления [19, 20]. Основным принципом применение системного подхода [21-23]. Он требует построения моделей объектов CRE и моделей технологий CREM как целостных систем. Системная модель CRE является аналогом сложной организационно технической системы (COTC) [24]. Системная модель CREM является аналогом сложной технологической системы (СТС) [25]. Такой подход позволяет использовать опыт управления COTC и СТС для корпоративного УНТИ.

Технологией, основанной на системном подходе в УНТИ, является сервейинг [26]. Эта технология является сложной технологией управления недвижимостью, включающая все этапы жизненного цикла. Сервейинг применим в обоих подходах к УНТИ, но наибольший эффект он дает в CREM. Системный подход в сервейинге включает стратегическое, тактическое и оперативное планирование. Системный подход в сервейинге обеспечивает эффективное использование недвижимости.

Содержание сервейинга включает предпроектные исследования, концептуальное проектирование, проектирование, строительство, эксплуатацию, геомониторинг и ремонт недвижимости. Сервейинг применяет разные виды экспертиз: экономические, юридические, физические, экологические. Совокупность экспертиз можно рассматривать как интегрированный мониторинг недвижимости транспортной инфраструктуры. Он часто реализуется либо как геомониторинг или как геотехнический мониторинг. Мониторинг обеспечивает обратную связь в управлении недвижимостью. Мониторинг дает основу

формирования практических рекомендаций по управлению объектами недвижимости. Он создает возможность организации CRE в управленческий портфель, который обеспечивает стратегическое развитие CRE.

В 80-х годах конкурентное преимущество отраслей и корпораций было направлено на адаптации к изменениям, обусловленным техническим прогрессом. В последние годы отрасли и корпорации стали лучше использовать корпоративные активы для достижения конкурентного преимущества.

Стратегии, основанные на корпоративном управлении в сфере недвижимости транспортной инфраструктуры, повышают ценность производства или основного бизнеса. В [27] показано, что многие фирмы не осознают, как недвижимость увеличивает стоимость бизнеса. Хотя у них может быть корпоративная стратегия в сфере недвижимости, эта стратегия часто не согласуется с общей бизнес-стратегией. Кроме того, показатели эффективности, используемые многими компаниями, сосредоточены исключительно на затратах, а не на добавленной стоимости. Для устранения этого недостатка авторы [27] предлагают свою систему определения и измерения добавленной стоимости корпоративной недвижимости. Система использует информационные модели и моделирование.

Общим для FM, и CREM является использование информации и информационного моделирования [28]. Но это использование существенно различается. Для управления объектами, например вокзалами [29], используются информационные модели объектов, которые являются относительно простыми. Для корпоративного управления используются информационные модели систем объектов, модели информационных ситуаций [17], модели динамики ситуаций и динамики в ситуациях. Эти различия можно назвать информационными.

В экономическом плане FM, и CREM нацелены на поддержку основных бизнес-процессов путем согласования физических ресурсов организаций с организационными стратегиями, чтобы способствовать повышению эффективности организации и повышению ее ценности. Эффективная и действенная поддержка основной деятельности и бизнес-целей является ключевым вопросом в этих направлениях. Различия учитывают концентрацию технологии на объектах и услугах (FM) по сравнению с портфелями зданий и недвижимости (CREM). Для FM характерны более короткие временные рамки. Для CREM характерен длительным жизненным циклом/ Существует перспектива, что обе технологии будут интегрированы на основе информационного моделирования цифровых технологий и главное на основе интеллектуальных технологий.

Пространственная информация в УНТИ

УНТИ основано на использовании пространственной [30] и экономической информации. Применение пространственной информации требует применения технологий геоинформатики [30, 31] и геоданных [32]. Применение геоинформатики приводит к дополнению информационного моделирования геоинформационным моделированием [33, 34].



При переходе к интеллектуальным методам управления и анализа возникает необходимость использования геоинформации [35] и моделей интеллектуальной недвижимости [36].

Одним из современных методов управления недвижимостью является технология Building information modeling (BIM) [37]. Модели BIM можно рассматривать как более совершенные модели Автокада. Однако они являются специализированными и создают новые возможности анализа и управления недвижимостью. Применение BIM в CREM является результатом цифровой трансформации в технологиях управления [38]. Преимущество BIM в том, что оно дает возможность владеть материальными и дополнительно цифровыми активами недвижимости.

Общие принципы УНТИ

УНТИ распределяется на три главные сферы деятельности:

- Недвижимость должна использоваться квалифицированно и экономично.
- Должен быть организован разумный уход, текущий ремонт и капитальное улучшение недвижимости.
- Новые необходимые здания должны быть построены в нужных местах, нужного качества, экономично и в достаточном количестве

В российской сфере недвижимости господствует централизованная управленческая модель. Крупные организации действуют как владельцы и обслуживающие структуры для крупных объектов различной, в первую очередь, жилой недвижимости. Они же являются застройщиками и во многих случаях имеют собственные отделы капитального строительства, выполняя роль подрядчиков. При этом техническое обслуживание систем отопления, водоснабжения и канализации, и вывоз мусора приобретаются как услуги привлеченных (внешних) организаций

Для того чтобы оставаться в эксплуатационно-пригодном состоянии, НТИ специальных мероприятий. Критерии, выдвигаемые в отношении недвижимости, постоянно возрастают. Уход, текущий ремонт и капитальное улучшение недвижимости должны отвечать все более высоким требованиям. Именно поэтому их планирование, организация и контроль за ними должны выполняться систематически. Назначением этих работ является сохранение или повышение технического и функционального уровня недвижимости, а их целью, достижение такого обслуживания, чтобы недвижимость наилучшим образом обеспечивала основную деятельность своего пользователя

Недвижимость транспортной инфраструктуры (НТИ) требует ухода и текущего ремонта. Эти две области деятельности состоят из большого количества чисто практических управленческих и технических задач. Кроме того, требуется решать много обычных ежедневных задач. НТИ обычно включает комплекс, состоящий из не большого количества жилых и социально-бытовых объектов и большого числа технических помещений. Кроме того,

НТИ включает сети транспорта, теплоснабжения, водоснабжения, связи и передачи информации, обслуживающих эти объекты

Организация услуг по уходу и текущему ремонту недвижимости является задачей владельца недвижимости как стороны, участвующей в общем процессе ее содержания. Услуги по уходу за недвижимостью включают задачи управления, общий уход и надзор, ответственность за безопасность территории, техническое обслуживание систем отопления, электроснабжения, водопровода и канализации, техническое обслуживание специальных систем, уборка помещений общего пользования, работа с отходами, а также уход за наружными территориями

Организацию ухода и текущего ремонта недвижимости можно обеспечить силами собственной службы либо поручить ее одному или многим внешним поставщикам соответствующих услуг. Использование для решения этих задач собственного персонала требует его квалификации во многих специальных вопросах. Эффективная организация решения имеет существенное экономическое значение. Ресурсы организации владельца не всегда бывают достаточными для содержания собственного персонала, так что работы по уходу, содержанию, профилактике, текущему ремонту, зачастую эффективнее использовать внешние предприятия, занимающиеся вопросами строительства и технического обслуживания. Приобретение услуг у одного предприятия значительно облегчает задачи контроля за их исполнением, по сравнению с контролем за комплексом услуг, приобретенных у отдельных поставщиков. Выбор единственного поставщика может быть обусловлен и еще тем, что разделение ответственности за решение и их практическая организация переходит к поставщику. В некоторых случаях обойтись единственным поставщиком не всегда возможно из-за особого характера работ.

Более или менее обоснованно одно предприятие можно использовать для выполнения обычной профилактики и технического обслуживания, ухода, но для особо ответственных работ по ремонту и реконструкции привлекать другое предприятие. Содержание специальных приборов и систем требует особой квалификации, которая имеется в случае фирменного обслуживания производителей оборудования. Объединение различных видов деятельности в один комплекс работ требует учета всех факторов в выборе правильного способа организации ухода и текущего ремонта. При этом необходимо выделить как положительные, так и отрицательные стороны разных организационных моделей, и принимать окончательное решение, исходя из особенностей конкретного объекта. Услуги по уходу и текущему ремонту недвижимости должны в равной степени приносить выгоду всем ее пользователям.

На основе оценки технического состояния НТИ составляется предложение по уходу за недвижимостью на ближайшие годы и долгосрочную перспективу, и даются рекомендации по необходимым обследованиям. Составление долгосрочного плана дает предпосылки для проведения ремонта и ухода на последующие годы. Основа плана состоит из сметы расходов, в границах которой и осуществляются мероприятия. Процесс составления плана >>>

основывается на оценке технического состояния, а также на вероятных дополнительных обследованиях. Долгосрочный план составляет владелец недвижимости или нанятый им специалист. Для составления плана необходимо принимать во внимание требуемые ресурсы. Наряду с выполнением оценки технического состояния недвижимости, на основе предварительного предложения по долгосрочному плану и с некоторыми дополнениями можно разработать основной долгосрочный план.

Содержание объекта недвижимости предполагает проведение ремонтных работ. При составлении плана текущего ремонта определяется график проведения ремонтных мероприятий на следующие годы и резервируются необходимые средства. Разбивку ремонтных мероприятий по времени требуется согласовать с имеющимися экономическими ресурсами, ранжировать их по важности и осуществлять их по мере необходимости. Для разумного использования ресурсов необходимо обосновать принятое решение, что предполагает тщательное обследование объектов ремонта и профилактики. Состояние объекта и потребность в ремонте определяется оценкой технического состояния объекта и проведением специальных исследований. При управлении НТИ широко применяют информационные и геоинформационные системы.

В качестве рабочего инструмента ИС или ГИС, используемой для работы с НТИ, используется программа по управлению помещениями. Программа содержит полную систему управления помещениями объектов недвижимости. Система имеет широкую область применения – от обработки базовой до управления техническим обслуживанием, уборкой, ключами, а также профессионального управления арендой

Экономическое воздействие инвестиций на НТИ часто измеряется в понятиях затрат и доходов. В начале реализации проекта затраты образуются из инвестиционных затрат и в течении срока использования объекта – из эксплуатационных затрат. Доходы образуются от продажи результатов строительных работ и от аренды помещений. Доходы определяются на весь жизненный цикл функционирования объекта или на весь предполагаемый срок владения этим объектом.

Экономический анализ объекта должен быть выполнен как с точки зрения владельца, так и с точки зрения пользователя объекта. С точки зрения пользователя объект недвижимости должен обеспечивать его помещениями, пригодными для выполнения его основной деятельности, и при этом быть для него выгодным. Владелец имеет определенные требования по доходности в отношении своего объекта. С точки зрения владельца, в инвестиционном анализе должны быть учтены, в числе прочего, арендный доход, ожидаемый после проведения

реконструкции, затраты на капитальный ремонт и снос объекта, эксплуатационные затраты, цена продажи объекта и амортизационные отчисления, связанные с данным объектом. Кроме того, требуется учесть альтернативные затраты инвестиций, затраты на капитал, а также влияние налогов на рентабельность инвестиций.

Функциональные затраты (затраты на выполнение производственной или иной деятельности) складываются из затрат, связанных с деятельностью, выполняющейся на объекте на всем протяжении его жизненного цикла. Например, затраты на использование объекта являются только частью функциональных затрат от главной деятельности. Для владельца недвижимости низкий уровень функциональных затрат пользователя означает получение более высокого чистого дохода и легкость поиска арендаторов

Заключение

Транспортная инфраструктура влияет на развитие города и пригорода. Транспортная инфраструктура влияет на устойчивое развитие города и страны. УНТИ в итоге влияет на всю инфраструктуру и соответственно на экономику территорий и страны. Переход от пассивного управления к активному управлению недвижимостью является современной тенденцией управления недвижимостью транспортной инфраструктурой и управлению корпорациями в целом. Существуют две основные группы технологий УНТИ FM и CREM. Общим для FM, и CREM является использование информации и информационного моделирования. Для FM используют модели объектов, для CREM используют модели ситуаций. Стратегии корпоративного управления в сфере недвижимости транспортной инфраструктуры, повышают ценность производства и активов. Существует тенденция перехода от управления объектами к корпоративному управлению. Цифровые активы мало используют в сфере транспортной инфраструктуры. Применение пространственной информации в УНТИ требует применения методов геоинформатики и геоинформационного моделирования. Применение пространственных информационных моделей является обязательным компонентом при управлении недвижимостью. Управление транспортной инфраструктурой не только влияет на развитие транспортной отрасли, но влияет на развитие городской инфраструктуры, а также на рынок недвижимости. Информационное моделирование в объектном и корпоративном управлении применяется для улучшения технологий управления недвижимостью. Перспективным развитием НТИ является применение моделей интеллектуальной недвижимости. ■

Список литературы

1. Béres A. et al. Spatial econometrics: transport infrastructure development and real estate values in Budapest //Regional Statistics: Journal of the Hungarian Central Statistical Office. – 2019. – Т. 9. – №. 2. – С. 1-17.
2. Волков Б. А., Соловьёв В. В. Недвижимость железнодорожного транспорта России //Недвижимость: экономика, управление. – 2013. – №. 2. – С. 128-130.
3. Марцинковская А. В. Эффективность инновационных технологий в строительстве и управлении недвижимостью на железнодорожном транспорте //Недвижимость: экономика, управление. – 2010. – №. 3-4. – С. 83-87.
4. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №1. – с.102-106.
5. Bolshakov N. et al. Digital Asset in the System of Real Estate Management //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 263. – С. 04039.
6. Munawar H. S. et al. Big data and its applications in smart real estate and the disaster management life cycle: A systematic analysis //Big Data and Cognitive Computing. – 2020. – Т. 4. – №. 2. – С. 4.
7. Prus P., Sikora M. The impact of transport infrastructure on the sustainable development of the region—Case study //Agriculture. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – С. 279.
8. Liang J., Koo K. M., Lee C. L. Transportation infrastructure improvement and real estate value: impact of level crossing removal project on housing prices //Transportation. – 2021. – Т. 48. – №. 6. – С. 2969-3011.
9. Cordera R. et al. The impact of accessibility by public transport on real estate values: A comparison between the cities of Rome and Santander // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 2019. – Т. 125. – С. 308-319.
10. Ibeas Á. et al. Modelling transport and real-estate values interactions in urban systems //Journal of Transport Geography. – 2012. – Т. 24. – С. 370-382.
11. Debrezion G., Pels E., Rietveld P. The impact of rail transport on real estate prices: an empirical analysis of the Dutch housing market //Urban studies. – 2011. – Т. 48. – №. 5. – С. 997-1015.
12. Tokarczyk-Dorociak, K.; Kazak, J.; Szewranski, S. The Impact of a Large City on Land Use in Suburban Area: The Case of Wrocław (Poland). J. Ecol. Eng. 2018, 19, 89–98.
13. Murphy, E. Urban spatial location advantage: The dual of the transportation problem and its implications for land-use and transport planning. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2012, 46, 91–101.
14. Geurs, K.T.; van Wee, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. J. Transp. Geogr. 2004, 12, 127–140.
15. Dubé, J.; Thériault, M.; Rosiers, F.D. Commuter rail accessibility and house values: The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992–2009. Transp. Res. Part A Policy Pract. 2013, 54, 49–66.
16. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №9-3. – с.487.
17. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. – №6. – с.64-69.
18. Gross M., Tuyet M. D. T. Information used in public real estate management //Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum. – 2019. – Т. 18. – №. 4. – С. 353-361.
19. Волков Р.В. Особенности корпоративного управления строительной сферы в современных экономических условиях // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 4. С. 13-18.
20. Volkov R.V., Sinturele D.J.R. Ensuring the strategic focus of a corporate project management system for commercial real estate // Real Estate: Economics, Management. 2021. № 3. С. 23-29.
21. Цветков В.Я. Теория систем. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с.
22. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. – 2014. – 1(5). – С.252 -257.
23. Бутко Е. Я. Системный подход в формировании структуры // Славянский форум. – 2017. -2(16). – С.25-31.
24. Розенберг И.Н., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Комплексные инновации в управлении сложными организационно-техническими системами. /под ред. В.И. Якунина – М.: Феория, 2010. – 248 с.
25. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. – 2017. -4(18). – С.14-19.
26. Лаур А., Волков Р.В., Грабовый П.Г. и др. Сервейинг: организация, экспертиза, управление. Учебник в трех частях Том 2 Часть III (2-е издание, переработанное и дополненное) – Москва, АСВ, 2021. – 520с.
27. Lindholm A. L., Leväinen K. I. A framework for identifying and measuring value added by corporate real estate //Journal of Corporate Real Estate. – 2006.
28. Цветков В. Я. Информационное описание картины мира // Перспективы науки и образования. – 2014. – №5(11). – С.9-13
29. Зюзина Н.Н. Экономическая оценка эффективности управления вокзальным комплексом //Дисс. канд. эконом. наук. – Москва, МИИТ, 2009.
30. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68 с.
30. Кудж С.А. О философии геоинформатики // Перспективы науки и образования. – 2016. – №6. – С.7-16.
31. Андреева О.А. Применение геоинформатики для проектирования железных дорог // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – с.37-52.
32. Болбаков Р.Г., Маркелов В.М., Цветков В.Я. Топологическое моделирование на геоданных // Перспективы науки и образования – 2014. – №2(8). – С.34-39.



33. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
34. Дышленко С.Г. Трехмерное моделирование в ГИС // Перспективы науки и образования- 2014. – №2. – С.28-33.
35. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
36. Ullah F., Sepasgozar S. M. E., Wang C. A systematic review of smart real estate technology: Drivers of, and barriers to, the use of digital disruptive technologies and online platforms //Sustainability. – 2018. – Т. 10. – №. 9. – С. 3142
37. Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry //Leadership and management in engineering. – 2011. – Т. 11. – №. 3. – С. 241-252.
38. Волков Р. В., Данилина Е. И. Ключевые области управления цифровой трансформацией транспортного предприятия //Электронный научный журнал «Транспортное право и безопасность» 2022. № 2 (42). – 2022. – №. 2. – С. 183.

УДК: 001.895, 621.396.931, 656.3

Железнодорожная радиосвязь нового поколения

Next Generation Railway Communication System

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

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

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

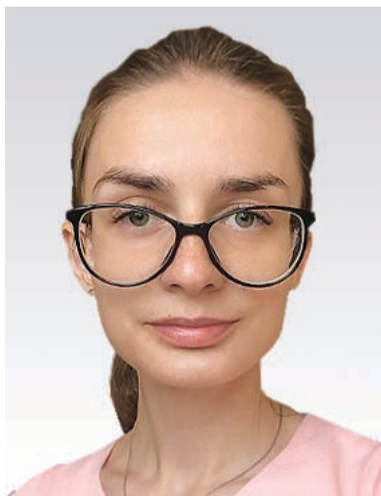
Kuropteva A.P., Chief Specialist of International Department, JSC «NIIAS»,
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания системы железнодорожной радиосвязи нового поколения, в том числе работы по стандартизации требований к системе и оборудованию FRMCS, ведущиеся в рамках Международного союза железных дорог (МСЖД), консорциума 3GPP и Европейского института телекоммуникационных стандартов ETSI. Сделан краткий обзор эволюции стандарта GSM-R, проведен анализ перспектив внедрения нового стандарта радиосвязи на основе LTE/5G, а также дана сравнительная характеристика существующего стандарта радиосвязи GSM-R и перспективных стандартов LTE-R, 5G, 5G-R. Приведены практические примеры внедрения и тестирования системы радиосвязи LTE/5G на железных дорогах мира.

Ключевые слова: транспорт, радиосвязь, FRMCS, GSM-R, 5G, LTE, LTE-R, ERTMS, МСЖД, цифровой двойник, беспилотное движение, высокоскоростные магистрали (ВСМ).



Abstract

The article deals with the issues related to the development of a next generation railway radio communication system, including standardization procedures for the FRMCS system within the framework of the International Union of Railways (UIC), 3GPP consortium and European Telecommunications Standards Institute (ETSI). The paper gives a brief overview of the GSM-R evolution, an analysis of the prospect for the implementation of a next generation radio communication standard based on LTE/5G, as well as comparative analysis of GSM-R and LTE-R, 5G, 5G-R standards. Best world practices of implementation and testing of LTE/5G on railways are given.

Keywords: transport, radio communication, FRMCS, GSM-R, 5G, LTE, LTE-R, ERTMS, UIC, digital twin, autonomous operation, high-speed rail.



Введение

Жизненный цикл телекоммуникационных систем значительно короче, чем жизненный цикл железнодорожного оборудования, и требует более частого изменения не только аппаратуры, но и технологии, соответствующего этапам развития телекоммуникационной отрасли в целом. В условиях цифровизации железнодорожной отрасли необходимость специализированного стандарта беспроводной связи для железных дорог диктуется также появлением целого ряда новых задач, таких как обеспечение беспилотного управления движением поездов, диагностики и мониторинга инфраструктуры и подвижного состава в режиме реального времени, удаленного видеонаблюдения, непрерывного контроля перемещения и сохранности грузов и т.д.

В связи с этим Международный союз железных дорог (МСЖД) рассматривает возможность замены к 2030 году стандарта GSM-R на новый стандарт FRMCS («Система железнодорожной радиосвязи нового поколения»). В качестве технологии FRMCS первоначально изучался стандарт LTE, а в последние годы – 5G. Планируется, что стандарт LTE/5G должен обеспечить возможность построения многофункциональной мультисервисной сети на железнодорожном транспорте, которая позволит решать различные задачи технологической радиосвязи, управления и обеспечения безопасности движения поездов, диспетчеризации, Интернета вещей, а также широкополосного доступа пассажиров к цифровым услугам.

Ключевым для железных дорог является вопрос выделения частот под новый стандарт FRMCS. Для параллельной работы систем радиосвязи GSM-R и FRMCS в переходный период явно не хватает имеющихся частот, как уже зарезервированных под GSM-R, так и дополнительно выделяемых. Поэтому активно прорабатываются различные варианты партнерства с мобильными операторами по организации трафика и резервного канала радиосвязи для передачи неотчетливых данных на уже существующей инфраструктуре. Оцениваются варианты распределения расходов при подготовке перехода к FRMCS между железными дорогами и мобильными операторами, повторного использования базовых станций GSM-R.

Система радиосвязи GSM-R

Система радиосвязи GSM-R получила свое развитие в конце 20-го века с началом разработки и внедрения стандартизированной европейской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов ETCS/ERTMS. В настоящее время сеть GSM-R развернута более чем на 130 тыс. км линий в странах Европы и на 210 тыс. км по всему миру [1]. Особенно интенсивное внедрение продемонстрировал Китай, который оборудовал данным видом беспроводной электросвязи более 69 тыс. км железнодорожных линий (включая ВСМ, высокогорные железнодорожные линии и участки тяжеловесно-

го движения). Технология используется как в качестве технологической радиосвязи (поездной, станционной и ремонтно-оперативной), так и для организации радиоканала обмена данными между напольным и бортовым оборудованием посредством центров радиоблокировки RBC в составе китайской системы управления CTCS. Функциональные и технические требования к системе GSM-R содержатся в актуализируемых спецификациях функциональных требований EIRENE («Европейская интегрированная железнодорожная радиосеть с расширенными возможностями»).

Вместе с тем на данный момент стандарт GSM-R признан устаревшим, поскольку основан на технологии 2G и является узкополосной радиосвязью, не обеспечивает интеграцию новых видов услуг и адаптацию к увеличивающемуся информационному потоку. Для GSM-R выделено две полосы частот в диапазоне 876-880 и 921-925 МГц, а максимальная пропускная способность составляет 9,6 кбит/с, что является достаточным только для приложений с низкими требованиями [2].

Перспективная система железнодорожной связи FRMCS

Начиная с 2014 года на платформе МСЖД созданы и функционируют экспертные группы, работающие над различными аспектами создания интегрированной цифровой системы мобильной связи для железных дорог [3].

Для реализации проекта был разработан трехэтапный стратегический план, охватывающий все мероприятия по внедрению FRMCS с целью запуска системы в Европе в 2025 году (Рис. 1).

Основные требования к системе FRMCS описаны в соответствующих документах МСЖД:

- Спецификация требований пользователя (User Requirements Specification) [4];
- Описание и оценка возможных вариантов миграции FRMCS для существующей системы ETCS и бортовых устройств (TOBA-7515) [5];
- Сценарии применения FRMCS (Use Cases) [6];
- Бортовая система FRMCS – Сценарии миграции архитектуры [7].

В вопросе разработки требований к системе FRMCS МСЖД взаимодействует с Консорциумом по развитию беспроводной связи 3GPP и Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI, которые занимаются стандартизацией систем радиосвязи. Консорциумом 3GPP выпущены следующие основные документы, посвященные стандарту FRMCS:

- TS 22.289 и TR 22.889 [8], в которых представлены нормативные требования для системы 5G;
- TR 23.790 и TR 23.796 [9,10], в которых определены проблемные вопросы, касающиеся требований и спецификаций FRMCS.



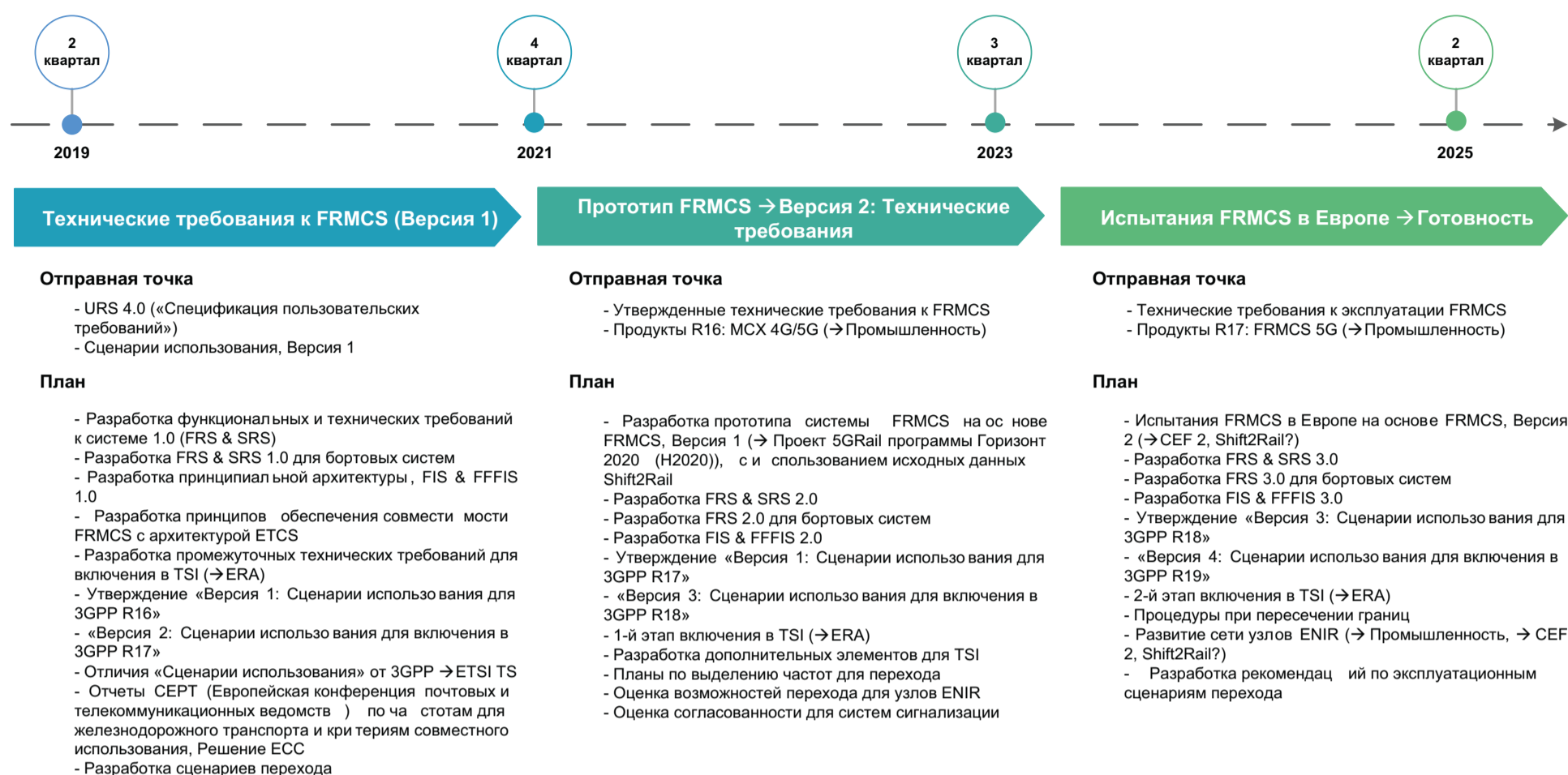


Рисунок 1. Стратегический план по внедрению FRMCS

ETSI выпущен технический отчет TR 103 459, посвященный архитектуре системы FRMCS [11].

Базовые принципы стандарта FRMCS, которые должны учитываться при разработке приложений для голосовых вызовов и передачи данных, включают в себя следующие положения:

- Стандарт должен учитывать различные режимы функционирования железнодорожной системы, характеристики маршрута, климатические и погодные условия, иметь возможность одновременного использования с другими системами с точки зрения частотного диапазона, а также быть достаточно гибким для возможности добавления будущих приложений.
- Стандарт должен обеспечивать автоматический переход между службами передачи данных и сетями (на границах страны или сети связи) и иметь возможность взаимодействовать с GSM-R.
- Использование стандартизированного, интуитивно понятного интерфейса, возможность переключения между разными режимами использования микрофона и динамиков.
- Поддержка применения согласованных правил и принципов работы железнодорожного транспорта. Включает в себя выдачу и отмену разрешений на движение, голосовую связь и передачу сообщений.
- Поддержка межмашинных коммуникаций (M2M). Действия по техническому обслуживанию бортового оборудования и инфраструктурных активов, удаленный мониторинг, а также беспроводное обновление программного обеспечения, изменение конфигурации, диагностика и исправление ошибок.
- Снижение риска ошибок коммуникации. Идентификация вызывающего абонента, информация о местоположении поезда, механизм подавления фонового

шума, технические решения для групповых вызовов («Push-to-talk», обнаружение речи и т.д.).

- Возможность повторного использования установленного оборудования, например, стандарта GSM-R. Снижение затрат путем использования существующего оборудования, у которого еще не закончился срок эксплуатации.
- Обеспечение мер по предотвращению несанкционированного доступа. Система должна обеспечивать защиту от несанкционированных и потенциальных злоумышленных действий, предоставлять способы аутентификации, шифрования и управления ключами.

Предполагается, что сеть FRMCS будет обеспечивать более высокие скорости и меньшие задержки передачи данных, мультимедийную связь и повышенную надежность соединения. Кроме того, сеть будет предоставлять экстренную групповую связь с низкой задержкой и высоконадежную передачу данных и видео на линиях ВСМ, а также обеспечивать приоритетную групповую радиосвязь при возникновении чрезвычайной ситуации, мониторинг и управление поездом в режиме реального времени, отслеживание местоположения подвижных составов.

Требования к трафику в сетях FRMCS определены в технических спецификациях TS 22.289. Требования разработаны для различных категорий услуг голосовой связи, видео и данных (Таблица 1), которые используются в следующих сценариях железнодорожной радиосвязи с учетом скорости движения поезда:

- голосовая радиосвязь для эксплуатационных целей, влияющих на безопасность поездов;
- видеосвязь для целей наблюдения с возможностью косвенного влияния на работу поезда, например, наблюдение за пассажирами;

Таблица 1.

Требования к трафику FRMCS для различных сценариев железнодорожной связи [12]

Сценарий	Время задержки E2E	Надежность (Прим.1)	Ограничения по скорости	Пользовательская скорость передачи данных	Размер полезной нагрузки (Прим. 2)	Плотность трафика в зоне обслуживания	Зона обслуживания (Прим. 3)
Голосовая связь для эксплуатационных целей	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 100 кбит/с до 300 кбит/с	Малая	до 1 Мбит/с на 1 км пути	200 км ж/д путей
Важная видеосвязь для целей наблюдения	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	10 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	200 км ж/д путей
Критически важная видеосвязь, оказывающая прямое влияние на управление поездом	≤100 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 10 Мбит/с до 20 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	200 км ж/д путей
	≤10 мс	99,9%	≤40 км/ч	от 10 Мбит/с до 30 Мбит/с	Средняя	до 1 Гбит/с/км	2 км ж/п в городе или на станции
Стандартная передача данных	≤500 мс	99,9%	≤500 км/ч	от 1 Мбит/с до 10 Мбит/с	От малой до большой	до 100 Мбит/с/км	100 км ж/д путей
Обмен важной информацией	≤500 мс	99,9999%	≤500 км/ч	от 10 кбит/с до 500 кбит/с	От малой до средней	до 10 Мбит/с/км	100 км ж/д путей
Критически важная передача данных	≤100 мс	99,9999%	≤500 км/ч	от 100 кбит/с до 1 Мбит/с	От малой до средней	до 10 Мбит/с/км	200 км ж/д путей
	≤10 мс	99,9999%	≤40 км/ч	от 100 кбит/с до 1 Мбит/с	От малой до средней	до 100 Мбит/с/км	2 км ж/д путей
Обмен короткими сообщениями	—	99,9%	≤500 км/ч	100 кбит/с	Малая	до 1 Мбит/с/км	2 км ж/д путей

Примечание 1: Надежность определена в пп. 3.1 TS 22.289

Примечание 2: Малая нагрузка ≤ 256 октетов, средняя нагрузка ≤ 512 октетов, большая нагрузка 513 - 1500 октетов.

Примечание 3: Оценка для максимальных размеров зоны обслуживания.

- критически важная видеосвязь, оказывающая прямое влияние на управление поездом и работу критически важных функций поездов, связанных с безопасностью поездов, т.е. используемая на беспилотных поездах для автоматического обнаружения препятствий на пути (уровень автоматизации GoA3/4 без участия человека) или дистанционного управления на основе видео (при участии человека в контуре управления);
- стандартная передача данных, используемая для обмена диагностической информацией поезда или иной информацией;
- обмен важной информацией для существующих систем управления и обеспечения безопасности движения поездов;
- критически важная передача данных для усовершенствованных интеллектуальных систем управления железнодорожным движением (например, полностью автоматизированные системы управления поездом (без машиниста) для дистанционного управления), которая требует высокой надежности передачи и сохранения информации обмена данными;
- обмен информацией с обеспечением высокой надежности передачи коротких сообщений, например, о порядке отправления поезда.

Согласно ETSI TR 103 459, общая архитектура FRMCS включает несколько уровней:

1. Логическая архитектура описывает систему FRMCS в виде логических функциональных блоков и сопряжения (интерфейсов) между ними. Логическая архитектура не зависит от решения. Техническая реализация описывает одну или несколько возможностей реализации системы FRMCS с использованием стандартных блоков

3GPP или других организаций. Физическая реализация описывает, как система FRMCS (или ее части) может быть реализована соответствующими физическими модулями (блоками) сети и приложениями от различных производителей.

2. Бортовая архитектура включает следующие функциональные компоненты:

- железнодорожные приложения для поездов (передача голоса, данных и видео);
- маршрутный шлюз (или несколько шлюзов);
- пользовательское оборудование в поезде.

Архитектура бортовой части системы FRMCS представлена на Рис. 2.

Проект 5GRail

В 2020 году в рамках финансируемой ЕС программы Horizon 2020 был запущен проект 5Grail с бюджетом в 13,2 млн. Евро (окончание проекта – 30 апреля 2023 г.) [13]. Проект предусматривает валидацию первых спецификаций на систему железнодорожной радиосвязи нового поколения FRMCS путем разработки и тестирования прототипов бортовых и напольных устройств.

Одной из решаемых в рамках проекта задач является выбор новой системы радиосвязи. В качестве основного претендента рассматривается стандарт 5G. По мнению участников проекта, большая пропускная способность и меньшие задержки делают стандарт 5G более подходящим для обеспечения межмашинных коммуникаций (M2M) и перехода к беспилотным технологиям управления, включая внедрение ATO (GoA3/4), ETCS уровень 3 с подвижным блок-участком, виртуальной сцепки. >>>

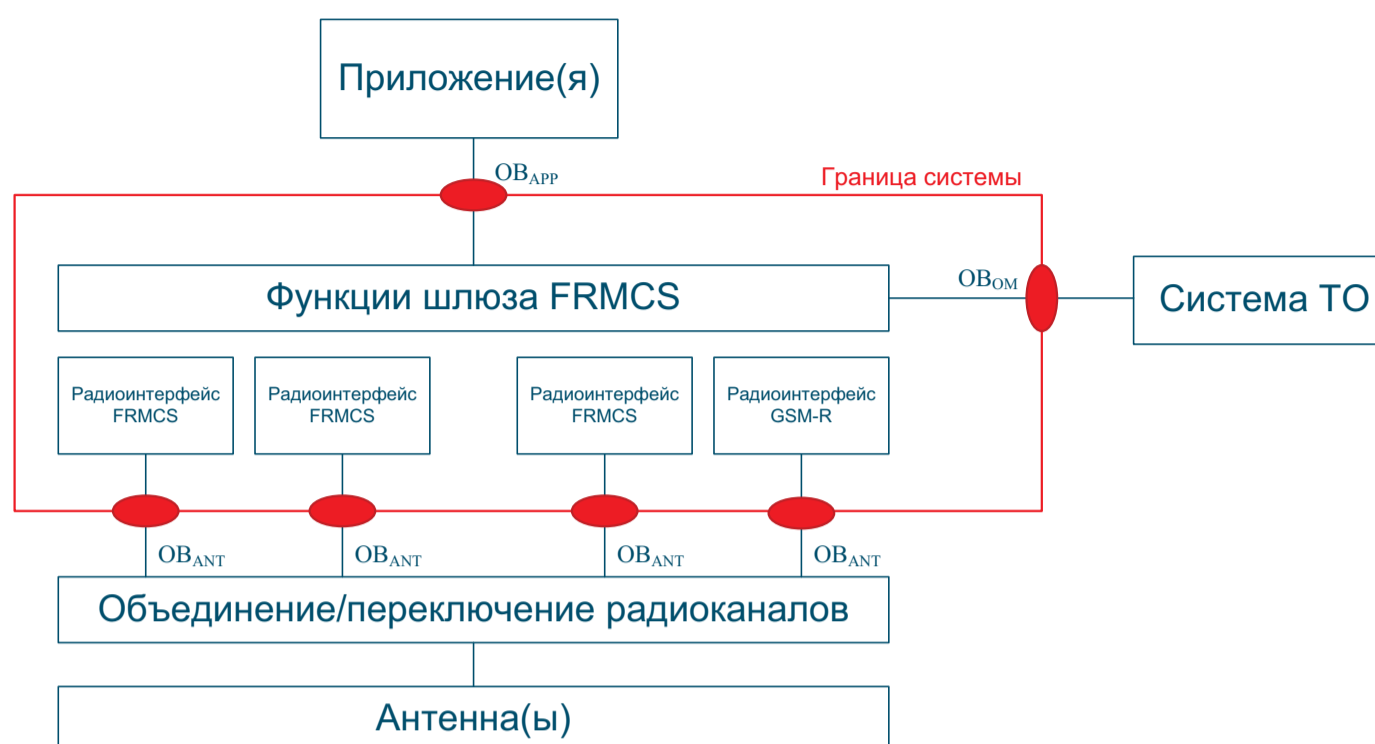


Рисунок 2. Архитектура бортовой части системы FRMCS

где OB_{APP} – интерфейс уровня 3(IP) между бортовой частью системы FRMCS и приложениями;
 OB_{ANT} – увязка бортовой части системы с функцией объединения-переключения радиоканалов или антенной;
 OB_{OM} – интерфейс между бортовой частью системы и системой ТО (технического обслуживания).

Технология 5G/FRMCS также удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системе радиосвязи для высокоскоростных магистралей, умных поездов, станций, депо (прогнозное техническое обслуживание), поддерживает телематические функции и другие критически важные технологические сервисы, основанные на применении искусственного интеллекта (ИИ), интернета вещей (IoT), обработке больших массивов данных (Big Data) [14].

Для реализации проекта был создан консорциум, который включает в себя МСЖД, Европейскую ассоциацию железнодорожной промышленности (UNIFE), ведущих европейских железных дорог и операторов железнодорожной инфраструктуры, компании промышленности (Nokia, Kontron, Thales, Alstom, CAF, Siemens и др.), а также научные центры и университеты.

В Таблице 2 представлено сравнение системных конфигураций GSM-R, LTE-R, 5G и 5G-R, которое свидетельствует о том, что стандарт 5G-R имеет улучшенные характеристики по сравнению с другими системами железнодорожной радиосвязи.

Сценарии применения 5G-R для интеллектуального железнодорожного транспорта в целом можно разделить на 4 категории (Таблица 3): интеллектуальное строительство (объединяет этапы проектирования и строительства железных дорог с применением новых технологий, в т.ч. BIM, цифровое проектирование и управление, IoT, определение местоположения персонала и оборудования; данный сценарий представлен в корейской стратегии BIM 2030), интеллектуальное оборудование (относится к оборудованию, которое основано на сенсорных технологиях, автоматизации, информационных технологиях), интеллектуальное ТО и умные системы для передвижения пассажиров. В Таблице 3 представлены сценарии

применения 5G-R на железнодорожном транспорте. Установлено, что только система радиосвязи на основе 5G-R применима ко всем сценариям.

Тестирование системы радиосвязи LTE/5G на железных дорогах

Появление спецификаций FRMCS позволило перейти к тестированию технологий LTE/5G на железных дорогах. К примеру, компания Nokia, являющаяся одним из поставщиков оборудования GSM-R, также участвует в разработке и тестировании оборудования и железнодорожных приложений мобильной связи 5G. Тестируются возможности связи пятого поколения в решении прикладных задач по обеспечению беспилотного управления движением поездов (повышение точности позиционирования подвижного состава, автоматическое обнаружение препятствий на пути, АТО GoA3/4, система ETCS, маневровые работы), систем информирования пассажиров (информация об интермодальном транспорте, о поезде и наличии мест, видеообъявления на устройствах пассажиров), умных станций (системы видеонаблюдения, автоматизированный мониторинг, обеспечивающий безопасную посадку и высадку пассажиров), умного ТО (ТО с поддержкой дополненной реальности, предиктивное ТО, применение БПЛА), умной инфраструктуры (автоматическое обнаружение опасности, управление движением и пассажиропотоком в режиме реального времени).

В 2020 году французская корпорация SNCF объявила о сотрудничестве с Nokia с целью оценки приложений FRMCS в лабораторных и полевых условиях. >>>

Таблица 2.
Сравнение системных конфигураций GSM-R, LTE-R, 5G и 5G-R

Стандарт	GSM-R	LTE-R	5G	5G-R
Частота	Передача: 876–880 МГц Прием: 921–925 МГц	400 МГц, 800 МГц, 1,4 ГГц, 1,8 ГГц	Менее 6 ГГц: 410–7125 МГц Миллиметровые волны: 24,25–71 ГГц	900 МГц, 1,9 ГГц, 2,1 ГГц
Диапазон	0,2 МГц	1,4–10 МГц	Менее 6 ГГц: 5–100 МГц Миллиметровые волны: 50–2000 МГц	10–20 МГц; возможно ≥100 МГц в более высоких диапазонах частот
Вид модуляции	GMSK, TDMA	QPSK, 16-QAM	256-QAM, OFDM, FBMC, UFMC, GFDM, f-OFDM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, OFDM
Разрешение по дальности	8 км	4–12 км	от десятков метров до нескольких километров	1–6 км
Технология MIMO	Нет	2×2	16×16, 32×32, 64×64, 128×128	4×4, 8×8, 16×16, 32×32
Средняя скорость передачи данных	<10 кбит/с	1–10 Мбит/с	50–100 Мбит/с	10–50 Мбит/с
Максимальная скорость передачи данных	172 кбит/с	Передача: 10 Мбит/с Прием: 50 Мбит/с	Передача: 10 Гбит/с Прием: 20 Гбит/с	Передача: 50 Мбит/с Прием: 200 Мбит/с
Максимальная спектральная эффективность	0,33 бит/с/Гц	2,55 бит/с/Гц	Передача: 15 бит/с/Гц Прием: 30 бит/с/Гц	Передача: 8 бит/с/Гц Прием: 15 бит/с/Гц
Мобильность	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч	макс. 500 км/ч
Надежность	99.999%	99.999%	99.999%	99.9999%
Частота потери связи	≤10 ⁻² /ч	≤10 ⁻² /ч	Нет данных	Голосовая связь: ≤10 ⁻² /ч Видеосвязь: ≤10 ⁻³ /ч
Задержка E2E	500 мс	200–500 мс	1–10 мс	50–500 мс
Коэффициент успешности хэндовера	≥ 99,5%	≥ 99,5%	90–99,5%	≥ 99,9%
Видео с разрешением 4K	Нет	Нет	Поддерживает	Возможная поддержка с увеличенной пропускной способностью

GMSK – гауссова манипуляция с минимальным частотным сдвигом;

TDMA – множественный доступ с разделением по времени;

QPSK – квадратурная фазовая манипуляция;

QAM – квадратурная амплитудная модуляция;

OFDM – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов;

FBMC – метод частотного мультиплексирования с множеством несущих, использующий гребенку фильтров;

UFMC – технология многочастотной передачи с универсальной фильтрацией;

GFDM – технология на основе передачи данных с помощью частотного разделения на несколько несущих;

f-OFDM – фильтрованное мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов.

Также в 2020 году швейцарским железнодорожным оператором SBB совместно с компанией Nokia было проведено экспериментальное тестирование стандарта FRMCS. Испытания проходили в швейцарских кантонах Фрибур и Нёвшатель с использованием удаленных радиостанций стандарта LTE с разделением каналов по времени (TDD) в частотном диапазоне 1900 МГц и подвижного состава, оснащенного измерительной аппаратурой. В 2022 году на испытательном полигоне в Рудных горах немецкий консорциум DSD совместно с Nokia и Kontron Transportation построил и испытал сеть радиосвязи 5G. Испытания проходили на участке протяженностью 10 км с использованием восьми базовых станций.

В Республике Корея в 2020 г. были успешно проведены испытания системы автоматизированного управления движением поездов на базе стандарта 5G. Тестирование проводилось с использованием двух экспериментальных вагонов на опытном полигоне Корейского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

KRRI в Осоне при участии национального оператора сотовой связи SK Telecom. Испытания стали частью девятилетней (рассчитанной до 2024 г.) государственной программы в области исследований и разработки беспилотных поездов. Новая технология предполагает непрерывный обмен между поездами информацией о маршрутах движения, планируемых остановках, скорости, а также о возникающих нештатных ситуациях и реагировании на них. Кроме того, в Республике Корея проведена стандартизация системы радиосвязи LTE для железнодорожного применения (LTE-R), а в 2022 году на участке ВСМ Чолласон протяженностью 180 км впервые введена в коммерческую эксплуатацию система KTCS-2 – корейский аналог европейской системы ETCS уровень 2, работающий в радиосети LTE-R на скоростях до 350 км/ч.

В Китае в 2020 году введена в эксплуатацию первая железнодорожная сеть связи 5G полным покрытием на высокоскоростной магистрали Гуанчжоу-Шэньчжэнь-Гонконг протяженностью 142 км. По маршруту построено >>>

Таблица 3.
Железнодорожные применения 5G-R

Технические требования и поддержка системы		Технические требования							Поддержка системы		
		Надежная передача видео и аудио	Сбор данных с помощью IoT	Контроль в режиме реального времени с помощью IoT	Точность позиционирования	Высокоскоростная передача видео и аудио	Разгрузка сети за счет высокой пропускной способности	Дополненная реальность	GSM-R	LTE-R	5G-R
Сценарии применения											
Интеллектуальное строительство	Проектно-исследовательские работы				+			+			+
	Диспетчерская связь	+			+				+	+	+
Интеллектуальное оборудование	Подвижный состав		+	+	+			+			+
	Системы контроля движения поездов	+			+				+	+	+
Интеллектуальные эксплуатационные процессы и ТО	Мониторинг бортового оборудования	+	+	+	+			+		+	+
	Мониторинг наземной инфраструктуры		+	+	+					+	+
	Мультимедийная диспетчерская связь	+			+	+		+		+	+
	Аварийная связь	+			+				+	+	+
	Обнаружение препятствий и обеспечение безопасности движения		+	+	+						+
	Видеонаблюдение				+	+					+
Умные системы для передвижения пассажиров	Мультимедийные развлечения	+				+		+	+		+
	Навигация на станциях		+		+						+
	Логистика	+	+	+	+						+

более 300 базовых станций, благодаря чему связь доступна на протяжении всей магистрали, в т.ч. в туннелях и на вокзалах. Для создания такой сети был организован альянс 5G-индустрии, в который вошли China Mobile, Huawei и др. В преддверии Зимних Олимпийских игр 2022 года была также запущена сеть станций 5G на ВСМ Пекин – Чжэнцзяо протяженностью 170 км, где было размещено около 400 базовых станций, что обеспечило стабильность сигнала в поезде Fuxing (Olympic Express) на скорости 350 км/ч.

В России в ноябре 2020 года была утверждена дорожная карта развития мобильных сетей пятого поколения. Исполнителями проекта являются: Ростех – в части создания российского оборудования связи 5G, ПАО «Ростелеком» – в части построения сетей связи 5G и развития сервисов на их основе. В 2021 году были проведены контрольные эксплуатационные испытания опытных образцов системы цифровой беспроводной широкополосной передачи данных на базе стандарта LTE в диапазоне радиочастот 1785-1805 МГц на станции Бекасово-Сортировочное Московской дороги. По результатам испытаний в дальнейшем планируется определить производителей оборудования LTE/5G, соответствующих требованиям ОАО «РЖД», которые предусматривают возможность безопасного объединения на одной платформе цифровой радиосвязи более 100 технологических сервисов [15].

Заключение

В настоящее время наиболее распространенным стандартом цифровой связи на железных дорогах является стандарт GSM-R. Однако ограниченный жизненный цикл и ряд других недостатков данного стандарта ставят под сомнение целесообразность его дальнейшего применения на фоне активного развития мобильных коммуникаций.

При выборе нового стандарта учитывается ряд факторов – доступность частот, стоимость развертывания сетей радиосвязи и вопрос интероперабельности (совместимости) с системами предыдущего поколения, объединение технологических задач железных дорог и коммерческого использования трафика для предоставления услуг пассажирам с соответствующим разделением на критические и коммерческие приложения, как железнодорожного, так и иного применения.

LTE является на данный момент наиболее зрелым стандартом широкополосной радиосвязи с отработанными механизмами взаимодействия с GSM. Однако существующие трудности в получении разрешений на использование частотных диапазонов LTE делают на данном этапе более предпочтительным кандидатом на роль будущей цифровой системы радиосвязи стандарт 5G, который по своим характеристикам превосходит LTE, обладает большей пропускной способностью и имеет значительно меньшие задержки. ■

Список литературы

1. Gash G. The Digital Railway. Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) and 5G for Rail Status and Challenges. – Presentation. RailTech Europe 2022, 21 June 2022.
2. Озеров, А. В. Европейская система интервального регулирования / А. В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 14-15. – DOI 10.34649/AT.2019.6.6.004. – EDN AGAXCK.
3. FRMCS and 5G for Rail: Challenges, Achievements and Opportunities, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: https://uic.org/IMG/pdf/brochure_frmcs_v2_web.pdf (дата обращения: 26.01.2023).
4. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103459/01.02.01_60/tr_103459v010201p.pdf (обращения: 26.01.2023).
5. Future Railway Mobile Communication System. User Requirements Specification, 2019, UIC. [Электронный ресурс] / URL: https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_user_requirements_specification_version_4.0.0.pdf (дата обращения: 26.01.2023).
6. TOBA-7515. Description and Evaluation of Possible FRMCS Migration Variants for Existing ETCS and Cab Radio On-Board Units., UIC, 2019. [Электронный ресурс] / URL: https://uic.org/IMG/pdf/description_and_evaluation_of_possible_frmcs_migration_variants_for_existing_etcs_and_cab_radio_on-board_units-toba_7515-v1.2.pdf (дата обращения: 26.01.2023).
7. Use Cases FRMCS, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_use_cases-mg_7900-v2.0.0.pdf (дата обращения: 26.01.2023).
8. FRMCS Telecom On-Board System – Architecture Migration Scenarios, UIC, 2020. [Электронный ресурс] / URL: https://uic.org/IMG/pdf/frmcs_telecom_on-board_system_-architecture_migration_scenarios-toba7540-1.0.0.pdf (дата обращения: 26.01.2023).
9. 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects, FRMCS. Stage 1 (Release 17). [Электронный ресурс] / URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3186> (дата обращения: 26.01.2023).
10. 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects. Study on Application Architecture for the Future Railway Mobile Communication System. Stage 2 (Release 15). [Электронный ресурс] / URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3185> (дата обращения: 26.01.2023).
11. ETSI TR 103 459. Study on System Architecture. V1.2.1, 2020. [Электронный ресурс].
12. Тихвинский, В. Сети мобильной железнодорожной связи FRMCS: перспективы создания и внедрения / В. Тихвинский, С. Портной // Первая миля. – 2021. – № 3(95). – С. 54-65. – DOI 10.22184/2070-8963.2021.95.3.54.64. – EDN NTOMLR.
13. European Commission. 5G for future RAILway mobile communication system. [Электронный ресурс] / URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/951725/results> (дата обращения: 30.01.2023).
14. 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. – EDN FDTZSK.
15. Азерников, Д. В. Отечественные разработки для технологических сетей радиосвязи / Д. В. Азерников // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 9. – С. 2-3. – EDN GJQJYY.

УДК 629.06, 656.2

Проекты развития систем автоматического управления движением поездов

Projects for the development of automatic train control systems

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

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

Волкова И.А., Специалист II категории, АО «НИИАС»,
E-mail: i.volkova@vniias.ru, Москва, Россия

Volkova I.A., Specialist of the 2nd category, JSC «NIIAS»,
E-mail: i.volkova@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье рассмотрены проекты совершенствования и адаптации элементов системы автоматического управления движением поездов (САУ ДП). Дано описание следующих проектов: TAURO, CLUG, RAILGAP, Sensors4Rails, RAILS, URV и др. Проведен анализ представленных проектов и российских технологических разработок. Основные направления проектов сосредоточены в области обеспечения безопасного использования беспилотных поездов на железнодорожном транспорте, использования технологий искусственного интеллекта, высокоточных систем позиционирования и систем технического зрения. Исследования в этих направлениях международных и отечественных производственных и научно-технологических компаний позволяют создавать современные и высокоинтеллектуальные управляющие системы на базе программно-аппаратных средств и комплексов, необходимых для организации автоматического управления движением поездов.

Ключевые слова: транспорт, система автоматического управления, дистанционное управление, автономное управление, искусственный интеллект, система технического зрения, высокоточные системы позиционирования.

Abstract

The article considers projects aimed at improving and adapting the elements of the automatic train control system. The projects such as TAURO, CLUG, RAILGAP, Sensors4Rails, RAILS, URV are described. The analysis of the presented projects and Russian technological developments is carried out. The main directions of the projects are aimed at ensuring the safe use of unmanned trains on railway transport, the use of artificial intelligence technologies, high-precision positioning systems and vision systems. Research in these areas by international and domestic manufacturing and scientific and technological companies makes it possible to create modern and highly intelligent control systems based on software and hardware and complexes necessary for the organization of automatic control of train traffic.

Keywords: transport, automatic control system, remote control, autonomous control, artificial intelligence, vision system, high-precision positioning systems.



Введение

Беспилотные технологии все шире применяются в различных областях. Исключением не стал и рынок железнодорожного транспорта. Система автоматического управления движения поездов (САУ ДП) является перспективным и снижающим зависимость от человеческого фактора направлением, которое можно применять как для организации пассажирских перевозок, так и грузовых. Существует множество примеров в доказательство этому феномену. Одним из них является, например, австралийский проект *RioTinto* по перевозке железной руды автономными поездами на расстояние до 1500 км, также широкое применение получили автоматические метропоезда в Эмиратах, Саудовской Аравии и Европе [1]. Беспилотный скоростной поезд в Китае на 174-километровом участке Пекин-Чжанцзякоу достигает максимальной скорости 385 км/ч. В беспилотном варианте перевозка пассажиров на такой скорости была осуществлена впервые.

Железнодорожные компании стали рассматривать САУ ДП как новую операционную парадигму, в будущем позволяющую повысить гибкость и безопасность при одновременном снижении операционных затрат. В мире рассматриваются три ключевых сегмента использования системы автоматического управления движением поездов: магистральный, маневровый и городской [2].

Для разработки и внедрения высокотехнологичных решений в области искусственного интеллекта (ИИ) и систем автоматического управления в ряде стран создаются проекты, способные довести перспективные разработки с использованием технологий ИИ и сенсорики до промышленного образца. Например, такие как *TAURO* – частично финансируемый Европейской комиссией через совместное предприятие *Shift2Rail* в рамках соглашения большинства европейских стран, а также стартовый в 2024 году новый проект *Europe's Rail* (EU-Rail), созданный в рамках программы *Horizon Europe* (2020-2027) и являющийся преемником совместного предприятия *Shift2Rail* [3].

Проект TAURO

Проект *TAURO* (*Technologies for Autonomous Rail Operation*), запущенный в 2020 году, является связующим проектом между *Shift2Rail* и *Europe's Rail*. Он ставит своей целью проведение исследований для определения спецификации оборудования и технологий для формирования будущего европейского автономного железнодорожного транспорта. Результаты проекта *TAURO* послужат ценным вкладом в мероприятия в области автоматического управления движением поездов и позволят проекту *EU-Rail* ускорить внедрение разработок в области технологических инноваций в железнодорожную систему Европы [4].

Одним из важных элементов проекта является разработка спецификации технологии дистанционного управления. Для трех ключевых сегментов железнодорожного транспорта были разработаны три сценария использования технологии дистанционного управления: в рамках



Рисунок 1. Элементы проекта TAURO

европейской системы управления движением поездов (ETCS), управление маневровыми локомотивами на сортировочных станциях и городскими электричками в депо.

В качестве основы для определения спецификации использовался стандарт EN 15380-4, описывающий железнодорожные транспортные средства общего назначения и их составные части [5]. Вся работа по определению спецификации была поделена на три этапа:

- анализ функциональных возможностей, подходящих для дистанционного управления;
- определение функциональных и нефункциональных требований к удаленному интерфейсу машиниста-оператора;
- выработка стандартизированного решения, обеспечивающего интероперабельность с текущими разработками в части архитектуры и интерфейсов.

Рыночная оценка, проведенная членами *Shift2Rail* в рамках проекта *TAURO*, показала, что требования к интерфейсу для оператора, осуществляющего дистанционный контроль и управление, различаются: одни предпочитают стационарное рабочее место оператора-машиниста, расположенное в центре управления, другие – мобильные переносные устройства, такие как планшет, используемые рядом с автономным объектом, в зоне его видимости. В этой связи проект архитектуры учитывает аспекты, связанные с интерфейсом и эргономикой, но ставит в приоритет обеспечение безопасности транспортного объекта в случае любого инцидента.

Система дистанционного управления в центре управления представляет собой аналог бортового комплекса, но подразделяется на серверную и пользовательскую части. Серверная часть сообщается с интерфейсом поезда через каналы широкополосной связи, которая обеспечивает соответствие необходимому уровню функциональной и информационной безопасности. Пользовательская часть предоставляет необходимые услуги, позволяющие удаленно управлять поездом как от стационарного, так и от портативного мобильного устройства. >>>

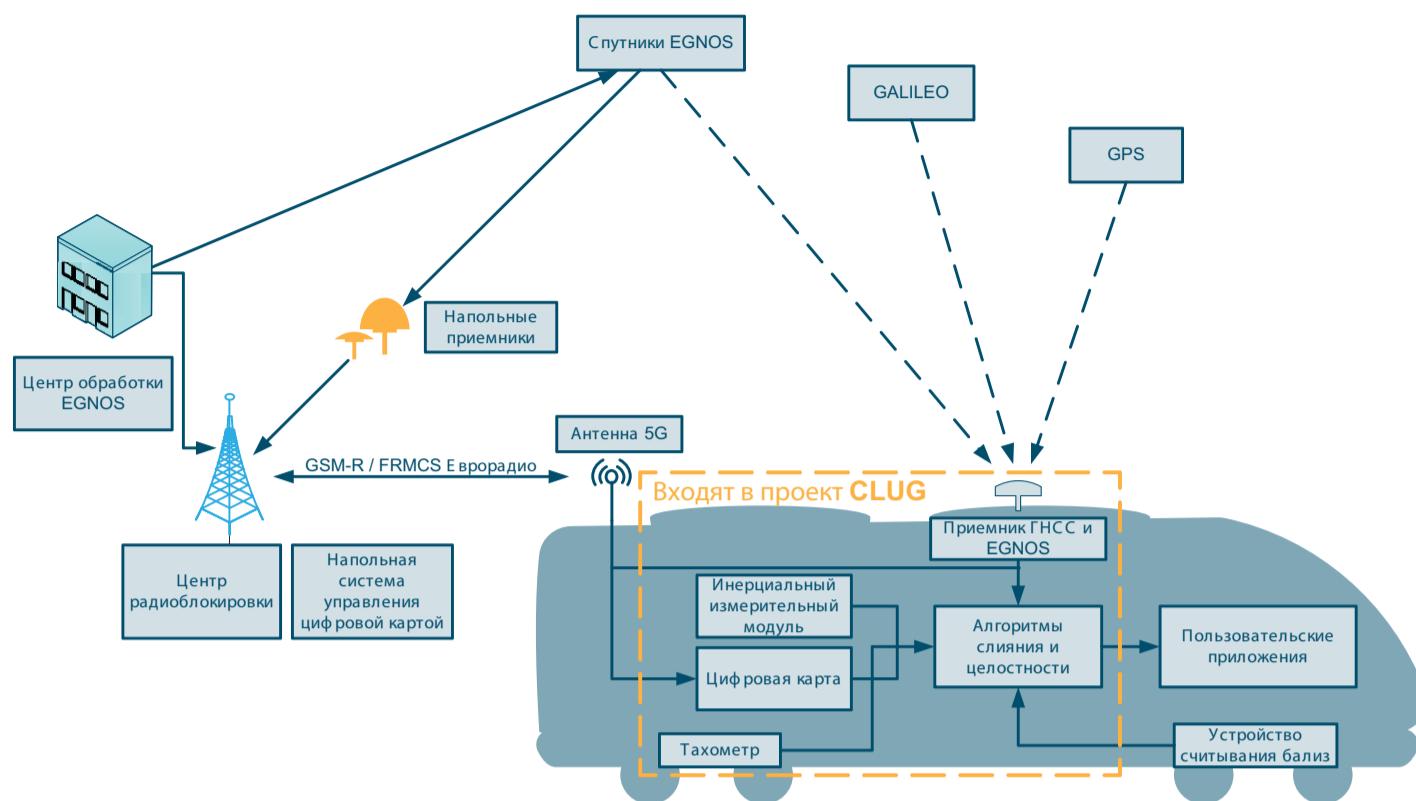


Рисунок 2. Система локализации CLUG

На январь 2023 года в проекте *TAURO* завершаются испытания по проверке алгоритмов *SLAM* (одновременного определения местоположения и картографирования) для железных дорог с использованием полного набора датчиков в качестве способа улучшения системы позиционирования поездов. Проект планируется завершить в мае 2023 года [6].

Проект CLUG

Стартовавший в 2019 году проект *CLUG* объединяет различных партнеров, которыми являются железнодорожные компании (*SNCF, DB Netz u SBB*), предприятия железнодорожной сигнализации (*CAF и Siemens*), специалисты по навигации (*Airbus Defence and Space, Naventik, FDC*), эксперты по сертификации (*Navcert*) и исследовательский институт (*ENAC*) [7]. Цель проекта состоит в изучении и оценке использования глобальной навигационной спутниковой системы (*GNSS*) для управления и обеспечения безопасности движения поездов, а также обеспечения таких приложений, как автоматическое управление движением поезда (*ATO*) или интеллектуальные системы управления железнодорожным транспортом.

В проекте применен подход, заключающийся в проверке концепции бортового блока локализации на основе данных датчиков поезда: *GNSS*, инерциального измерительного модуля (*IMU*), датчиков скорости. Используется цифровая карта, отображающая топологию пути, в том числе центральную линию железнодорожной колеи с абсолютными привязками. В системе *CLUG* используется информация от минимального количества элементов железнодорожной инфраструктуры, т.е. евробализ. Вдобавок к *GNSS* (*GPS* или *Galileo*), в качестве спутниковой системы дифференциальных поправок для повышения как безопасности, так и производительности блока локализации, используется европейская геостационарная

навигационная служба. Для определения местоположения поезда с точностью до метра при требуемых уровнях безопасности, необходимых для различных приложений, алгоритмом слияния и целостности системы локализации *CLUG* используются данные датчиков вместе с цифровой картой (Рис. 2).

Цифровая карта предоставляет необходимую информацию для алгоритма локализации (используются точки центральной линии трека с динамическими расстояниями до объектов путевого развития в 3D-координатах) [8]. Проект цифровой карты предотвращает избыточность и разработан так, чтобы карту можно было универсально расширять благодаря многоуровневой структуре и модели данных (графовая модель).

Проект RAILGAP

Несмотря на то что в целом ряде проектов используются лидары, *IMU* и *GNSS*, только в некоторых из них представлены конкретные параметры их использования в железнодорожном контексте. Кроме того, уже полученные данные и решения отвечают лишь требованиям части проектов и для широкого применения требуют значительных инвестиций. При этом в открытом доступе отсутствует какая-либо информация, касающаяся методологии проведения высокоточных геодезических съемок и создания электронных карт путем сбора данных с помощью регулярных поездов.

Цель проекта *RAILGAP* (*Railway Ground Truth and Digital Map*), стартовавшего в 2018 году, – сформулировать параметры совместного использования лидаров, *IMU* и *GNSS* в железнодорожном контексте и определить методологии применения данных, полученных от устройств и цифровых моделей пути, с целью точного позиционирования железнодорожного транспорта [9]. В частности, бортовые датчики проекта *RAILGAP* обеспечивают получение

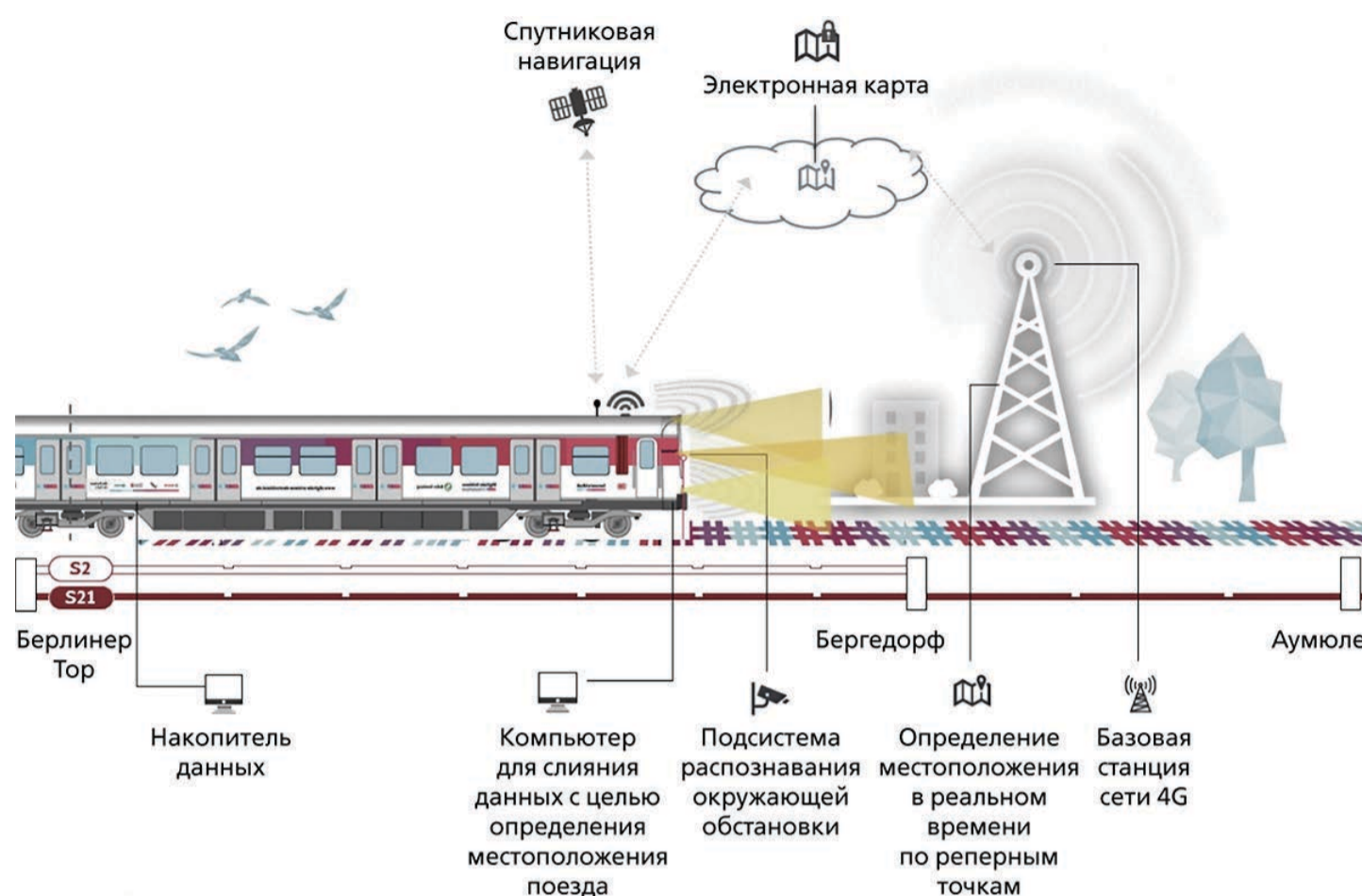


Рисунок 3. Схема реализации системы *Sensors4Rail*. Источник: сайт <https://zdmira.com>

«референсных» данных с достаточной точностью» для различных типов измеряемых параметров (координата, скорость и ускорение), что не требует установки напольного оборудования и априорного знания базы знаний путевой инфраструктуры. В рамках проекта будут разработаны передовые высокоточные цифровые карты, опорные элементы европейской *GNSS* для позиционирования поездов, а также среда верификации и валидации, что в итоге позволит осуществлять позиционирование с беспрецедентной точностью и эффективностью.

В рамках проекта планируется использовать данные разных датчиков и сенсоров различной физической природы, таких как *GNSS*, *IMU*, лидары, камеры, двухчастотная (двойная) *GPS*. *GNSS* и *IMU* являются ключом к повышению точности карт в различных сложных условиях (городская среда, туннели, кроны деревьев). Проект также нацелен на повышение эффективности европейской системы управления железнодорожным движением (*ERTMS*) и системы управления и сигнализации (*CSS*) за счет снижения энергопотребления. Координатором проекта является национальный оператор железных дорог Италии (*RFI*), принимавшая активное участие в тестировании технологии на основе *GNSS* для *ERTMS* на пилотной линии *Novara-Rho*.

АО «НИИАС» решает данную задачу путем использования бортового устройства высокоточного позиционирования, которое позволяет повысить точность и надежность позиционирования поезда в любых погодных условиях, а также в условиях нестабильного спутникового навигационного сигнала при управлении движением, в том числе в автоматическом режиме, за счет комплексирования данных навигационных параметров от сенсоров различного физического принципа действия, смежных устройств и цифровой модели пути.

Результат достигается тем, что бортовое устройство позиционирования содержит установленные на борту поезда двухканальный спутниковый навигационный приемник, инерциальный навигационный блок, состоящий из трех акселерометров и гироскопов, а также блок одометрии, состоящий из двух датчиков пути и скорости, блок обнаружения препятствий, состоящий из лидаров, видеокамер и тепловизора, образующих бортовую систему технического зрения, и вычислитель, выполняющий обработку данных и идентификацию объектов и сравнение данных с цифровой моделью пути.

Решение задачи линейной фильтрации навигационных данных для высокоточной оценки текущего положения поезда является оптимальной в среднеквадратическом аналитическом решении задачи позиционирования поезда для выбранного состава измерителей и определяется вычислителем, который передает в устройство управления поезда данные, в том числе для его точной остановки. Испытания, проведенные на Московском центральном кольце, подтвердили высокие показатели по точности определения координат, скорости и расстояний до опорных объектов на железнодорожной инфраструктуре.

Проект *Sensors4Rail*

Проект *Sensors4Rail*, созданный для разработки системы технического зрения тягового подвижного состава с целью контроля обстановки перед поездом и определения препятствий, был запущен в декабре 2020 года на железной дороге г. Гамбурга (Германия). В проекте приняли участие международные компании: *Siemens Mobility*, *Bosch Engineering*, *Ibeo Automotive Systems* и *Here Technologies* [10].



Siemens осуществляет интеграцию оборудования на подвижном составе, а также отвечает за комплексное тестирование и разработку средств точного определения местоположения головы поезда с применением спутниковой навигации (Рис. 3). Компания *Ibeo* поставляет лидары – лазерные датчики для системы технического зрения, а *Bosch* радары и инфракрасные камеры для обнаружения препятствий на средней и дальней дистанции, а также стереокамеры. *Here Technologies* готовит высокоточные электронные карты пути с указанием опорных объектов – строений, сооружений, знаков, стрелок, краев платформ и т.п., по которым можно определить положение поезда на пути с сантиметровой точностью. Телекоммуникационная компания *Vodafone* предоставляет широкополосную систему связи стандарта 4G.

Использование различных датчиков и систем для железных дорог Германии позволят повысить уровень автоматизации управления поездами до уровня *GoA4*.

Одна из важных задач проекта заключалась в интеграции в состав бортового оборудования поезда аппаратуры *Sensors4Rail* – видеокамер, тепловизоров, радаров и лидаров, системы позиционирования, а также высокопроизводительных серверов с несколькими графическими процессорами, а также хранилища данных и сети передачи со скоростью 10 Гбит/с [11].

Размещенные на кабине машиниста шесть лидаров осуществляют сканирование пространства перед поездом, формируя трехмерное облако точек в реальном времени. Тепловизор, размещенный рядом с лобовым прожектором, служит для обнаружения объектов в инфракрасном диапазоне.

Под лобовым остеклением установлены четыре камеры видимого диапазона. Одна стереокамера выдает изображение объектов ближней зоны с указанием их глубины. Еще две камеры предназначены для контроля средней (до 300 м) и дальней (до 550 м) зон железнодорожного пути. В комплект датчиков головной части поезда входят также четыре радара, применяющие ультразвук.

Бортовая подсистема определения местоположения испытательного поезда включает импульсный колесный датчик пути, оптический датчик головки рельса, инерциальный датчик и вычислительное устройство. Бортовой вычислитель осуществляет обработку данных от всех датчиков, включая подсистему распознавания окружающей обстановки. Определение местоположения поезда по сигналам спутников и одометрии сравнивается с данными эталонной карты пути, и выявленные отклонения анализируются.

В ОАО «РЖД» прошел сертификационные испытания блок обнаружения препятствий, который обеспечивает определение посторонних предметов на расстоянии не менее, чем на 600 м. В составе системы присутствуют радары, лидары, тепловизоры и видеокамеры. Система технического зрения электропоезда «Ласточка» планируется к эксплуатации в любое время года и в различных погодных условиях (дождь, снегопад, туман, в ночное время).

Проект RAILS

Общая цель исследовательского проекта «Дорожные карты по внедрению ИИ в железнодорожный сектор» (*RAILS*), проводимый в рамках инициативы *Shift2Rail*, – изучить потенциал ИИ в железнодорожном секторе и внести вклад в составлении дорожных карт будущих исследований в области создания *CSS* нового поколения, оперативного управления и безопасности [12, 13].

Проект *RAILS* направлен на определение общих положений плана перспективной интеграции ИИ в средства автоматизации, контроля, управления движением и технического обслуживания поездов. Определенно, железнодорожный транспорт имеет целый ряд особенностей в сравнении с другими отраслями, но некоторые из проблем, характерные для него, также присущи другим видам транспорта. Это касается, в частности, бортового радиоэлектронного оборудования, особенно в составе беспилотных летательных аппаратов, а также беспилотных автомобилей. В связи с этим предполагается, что результаты, полученные в других отраслях с применением таких элементов, как ИИ и др., могут быть использованы на железнодорожном транспорте. При этом ранние проекты внедрения, мотивированные необходимостью завоевания конкурентного преимущества, послужат испытательными полигонами для таких технологий, как совместное управление движением в интеллектуальных транспортных системах (ИТС), обнаружение препятствий и распознавание светофоров, которые в дальнейшем могут быть применены на железных дорогах.

Уникальность проекта заключается в том, что он предоставит платформу для изучения вышеупомянутой интеграции ИИ и железных дорог в целостной, унифицированной и последовательной структуре, рассматривая различные аспекты железнодорожной системы как взаимосвязанные, а не изолированные, что позволит вывести автоматизацию железнодорожного транспорта на новый уровень.

Проект URV

RFI представил проект, идея которого заключается в автоматизации процесса контроля линии с помощью разработки беспилотного железнодорожного транспорта (*URV*), оснащенного АТО, для обеспечения безопасности железнодорожной инфраструктуры [14]. Европейский безопасный компьютер (*EVC*) обеспечивает дополнительный уровень защиты и взаимодействует с системой мониторинга инфраструктуры в соответствии со стандартом *ERTMS/ETCS* для высокоскоростных магистралей. Система *ETCS*, напрямую подключенная к тормозной системе, защищает транспортное средство от нарушения скоростных ограничений или проезда в запрещенных местах, а системы визуального зрения, в свою очередь, распознают и собирают информацию об условиях внешней среды. С точки зрения архитектуры, функциональности, требований к безопасности и надежности, конструкция системы является сложной. Чтобы справиться со сложностью ее проектирования и оптимизации, был >>>



Рисунок 4. Архитектура беспилотной системы управления на МЦК

разработан подход к тестированию системы, основанный на формальных методах и конструировании на базе моделей по спецификации и проверки системы. Данный подход поддерживает досрочную оценку проекта, тестирование на этапах реализации, моделирование и контроль выполнения. Определены и рассмотрены четыре тестовые среды для следующих подсистем *URV*: сигнализация и автоматизация, модуль управления поездом, система мониторинга и видеонаблюдения. Это позволяет провести более точные испытания и лучше проверить соответствующие требования в нормальных и ухудшенных условиях эксплуатации.

Среди вариантов тестирования выделяют среду для:

- тестирования подсистемы (*STE*);
- тестирования интеграции подсистемы (*SITE*);
- тестирования на испытательном стенде (*RBTE*);
- пилотного тестирования в реальных условиях (*PTE*).

Рассмотренный подход позволит осуществлять имитационное моделирование, виртуализацию на разных уровнях поведения системы, что способствует заблаговременному выявлению и предотвращению критических проблем, связанных с безопасностью при использовании автономного транспорта.

Проект МЦК

Развитие беспилотного движения на Московском центральном кольце (МЦК) планируется осуществлять в два этапа: реализация уровня автоматизации *GoA3* (с присутствием машиниста), затем *GoA4* (без присутствия машиниста) (Рис. 4). На данный момент проводятся испытания двух поездов разных версий *GoA3/3+*. Поезда оснащены системами автоведения, обнаружения препятствий и позиционирования на инфраструктуре, а также блоком связи с центром дистанционного контроля. Прототипы могут самостоятельно следовать по энергооптимальному

графику, а также автоматически управлять торможением и остановкой в случае обнаружении препятствия.

Оснащенный в 2019 году первый поезд «Ласточка» № 113 используется только для сбора данных в информационном режиме. Он оборудован инфракрасной камерой, восьмью оптическими камерами и лидарами [15].

На основании первых тестов был разработан второй электропоезд «Ласточка» № 136, модифицированный в конце 2022 года и используемый для испытаний широкого спектра функций. Он оснащен новым набором оптических камер, лидарами и инфракрасными камерами с системой очистки, ультразвуковыми датчиками для начала движения, улучшенной системой локализации, камерами для контроля пантографа и контактной сети и системой контроля посадки и высадки пассажиров.

Выводы

Приведенные в статье основные проекты для обеспечения безопасного использования беспилотных ИТС на железнодорожном транспорте, указывают на постоянную и непрерывающуюся работу международных и отечественных производственных и научно-технологических компаний по созданию, отвечающих современным вызовам, программно-аппаратных средств и комплексов, необходимых для автоматического управления движением поездов. В сравнении с зарубежными, российские проекты показывают высокий уровень технологической готовности подразделений холдинга «РЖД» и отечественных машиностроительных компаний к созданию современных автономных поездов с элементами системы автоматического управления [16]. Комплексный подход к решению сложных технических и технологических задач, стоящих перед разработчиками, позволяет двигаться к созданию железнодорожной интеллектуальной транспортной системы. Такие системы должны обеспечить: >>>

- надежное восприятие окружающей среды для выявления всех внешних опасностей и обнаружения сигналов на пути, что позволяет на борту принимать интеллектуальные решения;
- высокоточное позиционирование поезда;
- надежную систему управления и мониторинга поездов;
- безопасность грузов и пассажиров.

Сегодня закладываются основы для дальнейшего развития беспилотных технологий, что позволит в дальнейшем автоматизировать работу магистральных линий. Это позволит повысить эффективность работы железнодорожных операторов в части безопасности, энергоэффективности и увеличения пропускной способности. ■

Список литературы

1. Озеров, А.В. Развитие систем автоматизации управления движением поездов / А.В. Озеров, В.М. Малинов, А.С. Маршова // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 3. – С. 10-15. – EDN XFNHSE.
2. Охотников, А.Л. Алгоритм выбора оборудования для систем технического зрения на железнодорожном транспорте / А.Л. Охотников // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – № 1(17). – С. 65-74. – EDN TWRACV.
3. Europes Rail Catalogue of Solutions / URL: <https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2022/09/Europes-Rail-Catalogue-of-Solutions-v4.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Материалы конференций по проекту TAURO / URL: <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=2b268677-24b0-4d86-9463-f3b1680af7a0>; <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=2008f5d5-c97b-4faa-967c-ba856e1de08a> (дата обращения: 15.11.2022).
5. EN 15380-4:2014 – Railway applications – Classification system for railway vehicles – Part 4: Function groups.
6. TAURO Projects News & Events / URL: https://projects.shift2rail.org/s2r_ipx_n.aspx?p=tauro (дата обращения: 20.01.2023).
7. CLUG – A new approach to train localisation using European GNSS / URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/news/CLUG-Train-Localisation-GNSS> (дата обращения: 10.01.2023).
8. CLUG Projects: Required Digital Map for Localisation. / URL: <http://www.clugproject.eu/en/news/clug-projects-required-digital-map-localisation> (дата обращения: 10.01.2023).
9. RAILGAP IN A NUTSHELL / URL: <https://railgap.eu/download.aspx?id=870338e3-1318-4257-83f9-4b926524fe85> (дата обращения: 12.12.2022).
10. Пилотный проект цифровизации городской железной дороги Гамбурга // Железные дороги мира. – 2021. – № 5. – С. 67-71. – EDN ZTVSNT.
11. Ефремов, А.Ю. Тестирование бортовых датчиков обнаружения препятствий на железных дорогах Германии / А.Ю. Ефремов // Железные дороги мира. – 2022. – № 6. – С. 44-48. – EDN KSTGHY.
12. Flammini, F., Vittorini, V., Lin, Z., “Roadmaps for AI Integration in the Rail Sector – RAILS”, ERCIM News 2020 (121).
13. RAILS Roadmaps for A.I. Integration in the Rail Sector / URL: <https://rails-project.eu/> (дата обращения: 15.11.2022).
14. Mezzo automatizzato (URV) per il monitoraggio delle linee ferroviarie dell’AV/AC ai fini della rilevazione di criticità per la security / URL: <https://www.rfi.it/it/innovazione-e-ricerca/progetti/security.html> (дата обращения: 30.11.2022).
15. Проект беспилотной «Ласточки» на международном семинаре. Гудок. 2021. / URL: <https://gudok.ru/news/?ID=1567824> (дата обращения: 10.01.2023).
16. Автономное движение – отечественный и зарубежный опыт / А.И. Долгий, Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 12. – С. 14-16. – DOI 10.34649/AT.2022.12.12.002.

УДК: 528.02; 528.06

Геосервис транспортной инфраструктуры

Transport infrastructure geoservice

Ярош И.Д., Заместитель начальника управления, Российский университет транспорта,
E-mail: i.yarosh.rut@gmail.com, Москва, Россия
Yarosh I. D., Deputy Head of Department, Russian University of Transport,
E-mail: i.yarosh.rut@gmail.com, Moscow, Russia



Аннотация

В статье исследуется геосервис как инструмент управления и поддержки функционирования транспортной инфраструктуры. Показана роль пространственной информации в управлении транспортной инфраструктурой. Описаны виды мониторинга, которые входят в геосервис. Показано значение геоинформатики для развития геосервиса, а также особенности геосервиса на транспорте. Описано моделирование в геосервисе, 2D, 3D и 5D технологии. Раскрыто содержание информационной основы геосервиса. Описана серветизация как направление развития геосервиса, рассматриваются перспективы развития геосервиса.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, геосервис, управление, мониторинг, геоинформационные услуги.

Abstract

The article explores the geoservice as a tool for managing and supporting the functioning of the transport infrastructure. The role of spatial information in the management of transport infrastructure is shown. The types of monitoring that are included in the geoservice are described. The importance of geoinformatics for the development of geoservices, as well as the features of geoservices in transport are shown. Modeling in geoservice, 2D, 3D and 5D technologies is described. The content of the geoservice information base is disclosed. Serwetization is described as a direction for the development of geoservice, prospects for the development of geoservice are considered.

Keywords: transport, transport infrastructure, geoservice, management, monitoring, geoinformation services.



Введение

Транспортная инфраструктура является основной формирования региональной и городской инфраструктуры. В настоящее время транспортная инфраструктура не соответствует в должной степени модели экономического роста РФ [1]. Некоторые авторы считают синонимами понятия «транспортная инфраструктура» и «транспортная система». Другие считают, что инфраструктура – это некая статическая модель, а транспортная система включает динамику процессов. Общим для «транспортная инфраструктура» и «транспортная системы» является опора на информационное моделирование [2]. Управление транспортной инфраструктурой требует технологической, информационной и интеллектуальной поддержки. Управление транспортной инфраструктурой [3-5] требует использования пространственной информации и поддержки. Поддержку в сфере применения пространственной информации и пространственного управления осуществляет геосервис [6-8]. Геосервис транспортной инфраструктуры выполняет функции информационной, технологической и управленческой поддержки. Геосервис можно разделить на общий и технический. Технический геосервис транспортной инфраструктуры включает разные виды мониторинга: информационный, пространственный, геомониторинг. Геосервис включает экологический мониторинг [10], мониторинг кадастра, мониторинг недвижимости, мониторинг транспорта [11], геотехнический мониторинг [12, 13], и др. Геосервис включает мониторинг ситуаций [14]. Общий вывод геосервис имеет много вариантов реализации и его нельзя сводит к одной технологии.

Содержание геосервиса

Геосервис возник на основе геодезического обеспечения и системного анализа как технология контроля пространственных объектов для последующего управления ими. Простейший вариант геосервиса – это геодезическое обеспечение [9]. В широком смысле термин «геосервис» обозначает разнообразный набор услуг, связанный с использованием пространственной информации с применением современных информационных и геоинформационных технологий. Большинство пользователей Интернета используют электронные карты, это также геосервис. Навигаторы в автомобилях – пример геосервиса. Пользователей смартфонов используют не только электронные карты, но и технологии краудфандинг [15] краудсорсинг (crowdsourcing) [16]. Эти технологии также можно рассматривать как вид геосервиса.

Основная направленность геосервиса на транспорте – поддержка эксплуатации и управление транспортной инфраструктурой, включая недвижимость. В отличие от разрозненных технологий геосервис основан на комплексном управлении недвижимости транспортной инфраструктуры. С технологических позиций геосервис можно рассматривать как геоинформационную технологию, которая применяется для сбора информации и управления.

Геосервис включает: сбор, первичную обработку ин-

формации об объектах инфраструктуры, моделирование, планирование, подготовку проектов по застройке, оценке и управлению недвижимостью. Управление включает мониторинг, аудит, принятие решений, ремонт, реконструкцию, а также продажу или аренду. Мониторинг в геосервисе включает наблюдение, оценку состояния объекта, моделирование состояния, прогноз изменения состояния и подготовку рекомендаций по управлению. Принятие решений включает анализ альтернатив и поиск оптимальных решений.

Транспортная инфраструктура имеет объекты разных типов. Поэтому нет общей технологии геосервиса для всех объектов транспортной инфраструктуры. Выделяют геосервис для объектов одного типа. Например, геосервис строительства, геосервис наблюдения за деформациями, геосервис недвижимости, геосервис пути и так далее.

Основной объект геосервиса – недвижимость транспортной инфраструктуры. Примечательно что в ГОСТ Р 57271.1-2016 «Менеджмент вспомогательных процессов в управлении недвижимостью. Термины, определения и область применения», нет определения термина «недвижимость». Это говорит о недостаточной проработанности данного документа. Другим серьезным недостатком данного документа является перевод словосочетания «управление недвижимостью», его авторы переводят это как «Facility management». Этот перевод неточный, так как за рубежом существуют два направления в управлении недвижимостью. Одно направление – это «управление объектами». Это и есть «Facility management» или FM, и в отношении транспортной инфраструктуры его применяют редко. Также для обозначения недвижимости применяют термин «real estate».

За рубежом интенсивно развивается направление «корпоративное управление недвижимостью» или «corporate real estate management» или CREM. Именно его и применяют в отношении недвижимости транспортной инфраструктуры. При этом следует отметить, что в российской литературе некорректно переводят термин «недвижимость». Часто его обозначают термином «property» (имущество). За рубежом термину «недвижимость» ставят в соответствие «real estate».

Геосервис имеет общие признаки для разных видов, и частные признаки для отдельного вида геосервиса. На основе анализа и обобщения можно сформулировать общее определение геосервиса. Геосервис – это комплексная технология поддержки управления и функционирования пространственных объектов, основанная на использовании геоданных и экономической информации. Дополнительными особенностями геосервиса являются пространственное моделирование, пространственное управление и пространственный анализ.

Пространственная информация в геосервисе

Геосервис работает с пространственными объектами, и он использует пространственную информацию и геоданные. В геоданных выделяют две группы информации – пространственную и экономическую. Пространственная >>>

информация подразделяется на геометрическую и атрибутивную. С экономических позиций геосервис относится к области пространственной экономики [17]. Технологически геосервис применяет методы геоинформатики и геоинформационные технологии, поскольку именно геоинформатика наилучшим образом использует пространственную информацию. Поэтому в сфере геосервиса выделяют особый вид услуг, который называют геоинформационные услуги. Геоинформационные услуги – это услуги, связанные с геоинформационной продукцией: картами, цифровыми моделями, спутниковыми приемниками и пр. Дополнительным преимуществом является то, геоинформационные технологии являются инструментом поддержки принятия решений [18].

Геоданные для геосервиса собирают с применением информационно-измерительных систем и измерительных технологий [19, 20]. Разнообразная информация объединяется в единую систему геоданных. Геоинформационное моделирование основой для геосервиса и пространственного моделирования. Оно включает информационное моделирование.

Пространственное моделирование [21], наряду с экономическим, является основным видом моделирования в геосервисе. Оно включает геометрические, топологические и физические характеристики. Оно служит основой для проектирования и конструирования. [22]. В геосервисе пространственное моделирование реализуется в большинстве случаев через геоинформационное моделирование.

В геосервисе часто применяют когнитивный анализ и пространственные рассуждения. Этот подход редуцирует сложные не формализуемые ситуации.

Моделирование в геосервисе есть основа контроля и поддержки принятия решений в управлении объектами транспортной инфраструктуры. Оно использует множество моделей: первичные измерительные, модели данных, модели объектов, модели процессов, модели ситуаций; модели информационных взаимодействий; модели пространственных отношений, метамодел, информационные единицы.

Одним из видов геоинформационного моделирования является ГИС-моделирование, в котором применяют геоинформационные системы. Это выдвигает дополнительные требования к моделям, применяемым для ГИС. Первое требование к пространственным моделям состоит в том, что они должны быть комплементарны типу ГИС и ее интерфейсу. Второе требование к моделям заключается в наличии информационной основы [23], объединяющей разные наборы и форматы данных.

Методология геосервиса использует методологию сложных организационно-технических систем, бизнес-геодезии, геомониторинга и геоинформационного моделирования. Геосервис работает с 2D и 3D объектами. Характерным примером является 2D -ГИС. С системных позиций геосервис можно рассматривать как сложную технологическую систему.

Среди поддерживаемых технологий в геосервисе следует выделить цифровое моделирование. Цифровое моделирование выполняет несколько функций. Первая функция аналогово-цифрового преобразования.

Цифровое моделирование преобразует непрерывные поверхности в дискретные ряды точек. Для сохранения информативности цифровой модели. используют теорему Шеннона-Котельникова. Цифровое моделирование сжимает на 3-4 порядка информацию об объекте. Цифровое моделирование позволяет восстанавливать аналоговую информацию по дискретным рядам. Цифровое моделирование обладает высокой помехозащищенностью.

В геосервисе применяют эвристические [24] и метаэвристические [25] методы. В лабораторных условиях, особенно при проектировании применяют смешанную реальность, дополненную реальность и иммерсивные технологии. Для анализа проектных решений применяют виртуальное моделирование и его модификации. Виртуальное моделирование в геосервисе включает когнитивный анализ. Это обуславливает применение в геосервисе методов когнитивного моделирования [26]. Накопление опыта в геосервисе требует обобщения, которое осуществляют с помощью метамоделирования [27]

Информационная основа геосервиса

На основе измерений получают разнообразную информацию. Для ее совместной обработки необходим их комплементарное преобразование в систему данных. Таких систем данных в геоинформатике две. Либо интегрированная основа данных, либо геоданные. Интегрированная основа данных создается под конкретное решение задачи. Геоданные являются универсальной системой данных, которая хранится в ГИС или в базах пространственной информации.

Интегрированная основа данных используется для хранения, для описания и для процессов обработки. Интегрированная основа данных используется для вычислений и оценок.

При конструировании геоданных осуществляют систематику, классификацию и селекцию. Селекция включает устранение избыточной информации и отбраковку аномальных данных

Систематика и классификация состоит разбиении и группировки исходных на группы и классы. Систематика и классификация упрощают обработку, поскольку для группы можно применять типовые процедуры обработки, что повышает скорость обработки информации.

Геоданные являются информационным ресурсом. Их универсальность позволяет применять к ним разные виды анализа: сравнительный, интеллектуальный [28], качественный, эвристический [24], когнитивный, логический, системный.

Временная компонента в геоданных дает возможность выделять исторические данные и выполнять прогнозирование. Разделяют геоданные и модели, построенные на основе геоданных. Для принятия решений применяют модели. Для инфраструктуры разделяют модели неподвижных объектов и модели подвижных объектов. модели подвижных объектов позволяют контролировать подвижный объект и управлять его движением. >>>

В реальности многие модели объектов являются не стационарными. Например, сооружение на стадии строительства или ремонта может менять свою конфигурацию и содержание. По мере эксплуатации пути он также меняет конфигурацию и может существенно отличаться от проектного.

Геосервис включает функции контроля не только состояния объекта, но и его конфигурации и соответствия проектным значениям. Эта часть геосервиса использует разные виды мониторинга. Современная проблема обработки пространственной информации связана с «большими геоданными» [29, 30]. Она обусловлена ростом скоростей подвижных объектов, повышением частоты сбора информации и увеличением объемов фактофиксирующих моделей, используемых в управлении и контроле.

Современные приложения геосервиса

Формально геосервис рассматривают как услугу. Но эта технология лишь частично представляет услугу. Она имеет также управленческую составляющую, научную составляющую и контролируемую составляющую.

В качестве контролирующей составляющей геосервис применяет пространственный мониторинг, геоданные, цифровые модели, визуальную обработку изображений. В частности, для контроля состояния пространственных объектов используют БПЛА [31].

Транспортная инфраструктура подвергается множеству природных и техногенных опасностей и различным нагрузкам на протяжении всего своего жизненного цикла. Физический ущерб и нарушение работы транспортных сетей приводят негативным эффектам влияющих на экономику и общество. Это вводит в функции геосервиса функцию оценки рисков.

В работе [32] описаны требования к оценке рисков и оценке устойчивости транспортной инфраструктуры. Предложена модель оценки риска в режиме реального времени с высокой точностью, с целью максимизации функциональности и минимизации потерь. В работе [32] расширено понятие геосервиса, которое дополнено структурным и функциональным геосервисом. Расширенный геосервис дает детальную оценку рисков. С позиций решения прикладных задач геосервис можно считать прикладной системой [33].

Цифровое моделирование является основой построения не только трехмерных объектов, но и 4D моделей и 5D моделей. 4D используют при мониторинге и прогнозировании. 5D модели применяют при управлении недвижимостью. 5D является моделью, включающая в себя стоимость объекта или любую другую исчисляемую характеристику. Ее используют для расчета стоимости жизненного цикла [34]

Расчет стоимости жизненного цикла (Life Cycle Costing, LCC) — это учет всех «соответствующих» затрат и доходов, связанных с приобретением и владением активом. LCC имеет ряд соответствующих приложений, в том числе оценку проектов; управление объектами; закупки и торги, а также как средство оценки устойчиво-

го строительства. Хотя эти преимущества очевидны, этот процесс недостаточно используется из-за ряда автономности. В системе геосервиса он становится экономичней и выгодней.

Серветизация как направление геосервиса

Направлением геосервиса, связанным с развитием территорий, причем воспроизводимых, является серветизация (servitization) [35]. Этот термин переводят также как территориальное обслуживание. Территориальное обслуживание представляет собой анализ того, как производственные фирмы и секторы наукоемких бизнес-услуг (knowledge-intensive business service, KIBS) сотрудничают в работе по возрождению производственной конкурентоспособности в регионах с развитой экономикой. В этой редакционной заметке представлены четыре идеи. Во-первых, он суммирует существующий объем знаний по теме. Во-вторых, он дает количественную оценку и отображает деятельность по территориальному обслуживанию в испанских регионах. В-третьих, он представляет и размышляет над сборником из пяти статей в этом специальном выпуске, которые приносят новое понимание того, как географическая близость, инновационные системы и неоднородность KIBS помогают пониманию территориальной серветизации [26].

С 1980-х транснациональные корпорации изменили производственные процессы, включая управление инфраструктурой и территориями. Производственные процессы постепенно превратились из локального явления в глобальное явление. Эти изменения увеличили производственные мощности производственных компаний из стран с формирующейся рыночной экономикой, что потребовало переосмысления конкурентных преимуществ производственных компаний в развитых странах. Исследование [37] показывает, что развивающиеся страны смогли воспроизвести производственные мощности, но еще не смогли имитировать деятельность с более высокой добавленной стоимостью, связанную с использованием цифровых технологий для добавления услуг, создающих стоимость, к предлагаемому продукту. Этот процесс переосмысления бизнес-модели производственных фирм широко изучался в литературе как серветизация производства [38].

Территориальное обслуживание является результатом симбиотических отношений между секторами наукоемких услуг (KIBS) и производственными фирмами, что, в свою очередь, обеспечивает превосходную территориальную устойчивость, возрождение и конкурентоспособность производства, а также региональное развитие.

Территориальное обслуживание является направлением геосервиса, но довольно долго развивалась как независимая технологий без использования возможностей геосервиса. Довольно долго доминантой серветизации была услуга без адекватной пространственной привязки. В настоящее время ситуация меняется и возможности геосервиса существенно усиливают технологию серветизации. В настоящее время серветизация трактуется как пространственная услуга, то есть как часть геосервиса. >>>

При этом не следует серветизацию путать с сервейингом (surveying). Этот термин переводится как «геодезия», хотя в некоторых Российских экономических журналах его стали использовать для обозначения технологии управления недвижимостью. Соответственно, surveyer (сервейер) переводится как «геодезист», о его используют как специалист по недвижимости, хотя существует термин риелтор. Серветизация ближе сервису и геосервису, но не геодезии.

Заключение

Геосервис возник как услуга, но с течением времени превратился в комплексную технологию по поддержке управления и функционирования объектов недвижимости, объектов транспортной инфраструктуры и коммуникаци-

онной технологией пространственного анализа и использования пространственной информации. Пока геосервис развивается как прикладное направление, которое опирается на технологические разработки и опыт применения. Системный подход позволяет рассматривать геосервис как сложную систему. Обобщение применения геосервиса позволяет формировать пространственные знания [39] и геознания [40, 41]. Геосервис как технология поддержки обеспечивает устойчивость функционирования объектов транспортной инфраструктуры. Потребность применения геосервиса растет, что обусловлено широким применением электронных карт и мобильных систем. Применение систем спутниковой навигации также создает сферу геосервиса. Цифровая железная дорога и транспортные кибер-физические системы требуют поддержки. Такую поддержку дает геосервис. ■

Список литературы

1. Кох И. А. Стратегия управления транспортной инфраструктурой города: социологические аспекты // Вопросы управления. – 2017. – № 2 (45). – С. 106-112.
2. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №1. – С.102-106.
3. Кудрявцев А. М., Тарасенко А. А. Методический подход к оценке развития транспортной инфраструктуры региона // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-4. – С. 789-793.
4. Ланцева В. Ю., Кутало Я. Д. Концептуальные основы управления развитием транспортной инфраструктуры Российской Федерации // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 3-9.
5. Сирина Н. Ф., Юшкова С. С. Совершенствование системы управления транспортной инфраструктурой полигона железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 2 (62). – С. 98-108.
6. Кудж С.А. Геосервис как сложная организационно-техническая система // Славянский форум. -2020. – 2(28). – С.55-64.
7. Шайтура С. В., Ознамец В. В. Теоретические и технологические основы геосервиса // Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. – 2020. – С. 94-104.
8. Цветков В. Я. Гео сервис–опыт использования и методология использования // Отходы и ресурсы. – 2017. – Т. 4. – № 3. – С.10.
9. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение как геосервис // Славянский форум. – 2020. – № 2. – С. 237-245.
10. Затыгалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №5(8). – С.94-99.
11. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.14-21.
12. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – №4. – С.054-058.
13. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.42-49.
14. Guerra V. M. V. et al. Automatic pose recognition for monitoring dangerous situations in Ambient-Assisted Living // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2020. – Т. 8. – С. 415
15. Moritz A., Block J. H. Crowdfunding: A literature review and research directions // Crowdfunding in Europe. – 2016. – С.25-53.
16. Estellés-Arolas E., González-Ladrón-de-Guevara F. Towards an integrated crowdsourcing definition // Journal of Information science. – 2012. – Т. 38. – № 2. – С. 189-200.
17. Tsvetkov V. Ya. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies, 2013, № 1(3). – p.57-60.
18. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.
19. Галеев А.П. Измерительные технологии в геоинформатике // Славянский форум. 2022, 4(38). С.483-502.
20. Цветков В.Я. Информационно-измерительные системы и технологии в геоинформатике. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 94с.
21. Лотоцкий В.Л. Пространственное информационное моделирование // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – 3 (15). – С.114-122.
22. Шайтура С.В. Моделирование и конструирование // Славянский форум. -2019. – 1(23). – С.68-79.
23. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №4. – С.150-154.



24. Martí R., Reinelt G. Heuristic methods //Exact and Heuristic Methods in Combinatorial Optimization. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2022. – С. 27-57.
25. Цветков В.Я. Мета эвристики в информационном поле // Славянский форум. 2022, 4(38). С. 408-420.
26. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С.3-9.
27. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е. Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. – №1. – С.112-119.
28. Шайтура С.В. Интеллектуальный анализ геоданных // Перспективы науки и образования. – 2015. – №6. – С.24-30.
29. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110-115.
30. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
31. Ознамец В.В. Обработка снимков с БПЛА с помощью проективных алгоритмов // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. № 2. С.74-81.
32. Dimitra V. A., Stergios A. M., Sotirios A. A. Ying Wang: monitoring of transport infrastructure exposed to multiple hazards: a roadmap for building resilience //Sci. Total Environ. – 2020. – Т.746.
33. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005.- №3. – С.76- 85.
34. Smith P. Project cost management with 5D BIM //Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2016. – Т. 226. – С.193-200.
35. Bellandi M., Santini E. Territorial servitization and new local productive configurations: The case of the textile industrial district of Prato // Regional Studies. – 2019. – Т. 53. – №. 3. – С. 356-365.
36. Herrero F. V., González E. M. L., Vaillant Y. Territorial servitization: Conceptualization, quantification and research agenda //Investigaciones Regionales= Journal of Regional Research. – 2020. – №. 48. – С.5-15.
37. Buckley, P. J., Strange, R., Timmer, M. P., & de Vries, G. J. (2020). Catching-up in the global factory: Analysis and policy implications.// Journal of International Business Policy, 3, pp.79–106.
38. Bustinza, O. F., Vendrell-Herrero, F., & Baines, T. (2017). Service implementation in manufacturing: An organisational transformation perspective. International Journal of Production Economics, 192, pp.1-8.
39. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68с.
40. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
41. Савиных В.П. Геознание. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 132с.

УДК: 004.052.2

Оценка планов выполнения SQL запросов для решения транспортных задач

Evaluation of execution plans of SQL query for solving transport problems

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

Рябцев А.Б., аспирант, Московский физико-технический институт (МФТИ),

E-mail: antr5@mail.ru, Москва, Россия

Ryabtsev A.B., Postgraduate student, Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT),

E-mail: antr5@mail.ru, Moscow, Russia



Аннотация

Существующие подходы к проблеме поиска оптимального плана выполнения SQL запроса далеки от идеала. Учитывая многопараметрический характер транспортных задач, минимизация времени выполнения запроса может иметь решающее значение. Функция стоимости, которая каждому плану ставит в соответствие время его выполнения должна удовлетворять следующим требованиям: 1) отношение порядка стоимостей должно как можно больше совпадать с отношением порядка времени, 2) стоимость любого плана не может быть больше стоимости другого плана, полученного путём добавления операций соединений. В работе рассматривается задача оптимизации планов выполнения SQL запросов с помощью методов машинного обучения. В работе подробно описан традиционный подход к решению данной задачи, рассмотрены его недостатки. Также приведён анализ существующих методов машинного обучения, которые призваны устранить ряд недостатков традиционного оптимизатора. Рассмотрены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: транспорт, оптимальный план выполнения запроса, функция стоимости, методы машинного обучения, кардинальность таблицы.

Abstract

Existing approaches to the problem of finding a good SQL query execution plan are far from ideal. Given the multi-parameter nature of transport problems, the optimal plan that minimizes query execution time can be critical. The cost function that associates each plan with its execution time must satisfy the following requirements: 1) the order of cost ratio should match the order of time as much as possible, 2) the cost of any plan cannot be greater than the cost of another plan obtained by adding join operations. The paper considers the problem of optimizing SQL query execution plans using machine learning methods. The paper describes in detail the traditional approach to solving this problem, and considers its shortcomings. An analysis of existing machine learning methods is also given, which are designed to eliminate a number of shortcomings of the traditional optimizer. Their advantages and disadvantages are considered.

Keywords: transport, optimal query execution plan, cost function, machine learning methods, table cardinality.



Введение

В современном мире транспорт является одним из ключевых факторов экономически эффективного функционирования промышленной отрасли. С точки зрения системного подхода — транспорт представляет сложную адаптивную экономическую систему, состоящую из взаимосвязанных в едином процессе транспортного логистического обслуживания региональных материальных и людских потоков. На транспорте можно выделить порядка 100-120 тыс. информационных объектов (железнодорожные и автобусные станции, морские и речные порты, аэропорты, транспортные предприятия в городах и поселках), около 20 тыс. железнодорожных станций, аэропортов, морских и речных портов, автобусных станций, более 25 тыс. железнодорожных участков, морских и речных путей, автомобильных дорог и авиалиний, порядка 5 тыс. наименований перевозочных средств транспорта. Все это предполагает фантастические объемы информационного контента транспортных систем и, соответственно, серьезные затраты на обслуживание запросов к транспортным базам данных, что делает особенно актуальным вопрос оптимизации реализуемых запросов. В ряде случаев имеет смысл обратить внимание на колоночные СУБД, демонстрирующие отличную функциональность, которая позволяет увеличивать производительность запросов и сжимать данные. Однако не следует рассматривать их как идеальное решение. Выигрыш будет получен лишь для соответствующих данных и SQL-запросов с определенными характеристиками. Тем самым, для транспортных информационных ресурсов необходимы исследования, связанные с оптимизацией запросов к базам данных, в частности, с анализом плана выполнения запроса.

Несмотря на то, что проблема поиска хорошего порядка соединения таблиц (плана выполнения запроса) — одна из наиболее изученных проблем в области баз данных, используемые на практике подходы далеки от идеала. При выполнении запроса соединение таблиц производится попарно, поэтому план выполнения запроса имеет структуру двоичного дерева, у которого листьями являются базовые отношения (таблицы), а промежуточными вершинами — операторы соединения. Планом выполнения запроса называют готовое дерево, предписывающее порядок соединения всех таблиц, участвующих в запросе. Подпланом же называют промежуточное состояние при построении плана — набор поддеревьев полного дерева (рисунок 1).

Под идеальным планом понимается план оптимальный, то есть тот, который выполняется быстрее других допустимых для выбранного запроса планов. Самый надежный метод поиска оптимального плана — это полный перебор всех возможных планов и их выполнение с замером времени. План с самым малым временем выполнения есть оптимальный план. Понятно, что выполнять все возможные планы на практике никто не будет, но выбрать хороший план как-то всё-таки надо. Допустим существует функция, которая каждому плану соотносит его стоимость в условных единицах — в литературе эта функция называется функцией стоимости [5].

Идеальная функция стоимости устанавливала бы отношение порядка на всём пространстве возможных планов для всех возможных запросов. Но аналитически найти такую функцию пока никому не удалось. На практике же эту функцию аппроксимируют кусочной функцией на ручных правилах. В разных СУБД эти функции сделаны по-разному, но все они должны удовлетворять ряду требований: 1) отношение порядка стоимостей должно как можно больше совпадать с отношением порядка времени, так как выбирая самый дешёвый план мы надеемся выбрать самый быстрый; 2) стоимость любого плана не может быть больше стоимости другого плана, полученного из первого путём добавления соединений — в процессе выполнения более крупного плана, очевидно, будет выполнен и меньший план, являясь его подпланом, плюс какие-то ещё действия по присоединению.

Чтобы решить, что должно являться областью определения стоимостной функции, следует разобраться, что делает одни планы быстрыми, а другие медленными. В процессе выполнения плана происходит соединение таблиц. Соединение может производиться разными методами [8]. Например, самый примитивный метод — двойной цикл по ключам соединения двух таблиц для поиска совпадений. Временная сложность такого алгоритма $O(nm)$, где n — количество строк в одной таблице, а m — в другой. Более хитрый метод, называемый соединением с помощью хеша, строит по ключам одной таблицы хеш-таблицу, а по ключам второй таблицы выполняет поиск.

Временная сложность такого подхода в среднем $O(n+m)$. Чтобы понять какой метод эффективнее в том или ином случае, нужно знать размеры таблиц. Если две таблицы достаточно малы, то эффективнее будет воспользоваться примитивным способом соединения. Поэтому стоимостная функция должна учитывать как минимум размеры таблиц и способы их соединения. Размер таблицы традиционно называют кардинальностью [9].

Определение 1.1. Кардинальность таблицы — это общее количество строк, присутствующих в таблице в любой момент времени.

Определение 1.2. Селективность предиката — это доля строк таблицы, удовлетворяющих данному предикату.

Порядок соединения тоже важен, так как при определённой очередности соединений в промежуточных результатах можно получать таблицы поменьше, что благоприятно сказывается на общем времени выполнения. Кардинальности базовых отношений (таблиц) нам известны, чего нельзя сказать о размерах промежуточных результатов. Более того, наличие в запросе предикатов (фильтров) делает кардинальности промежуточных результатов соединений ещё более непредсказуемыми. Поэтому функция стоимости использует оценки кардинальности.

Как и многие оценки, они получаются на основе некоторых допущений, на практике зачастую оказывающихся ложными, что приводит к отклонениям оценок от реальных значений. Масштаб таких ошибок растёт с ростом числа таблиц, участвующих в запросе. Но на сегодняшний день в абсолютном большинстве СУБД оптимизаторы запросов работают именно так. Чтобы преодолеть >>>

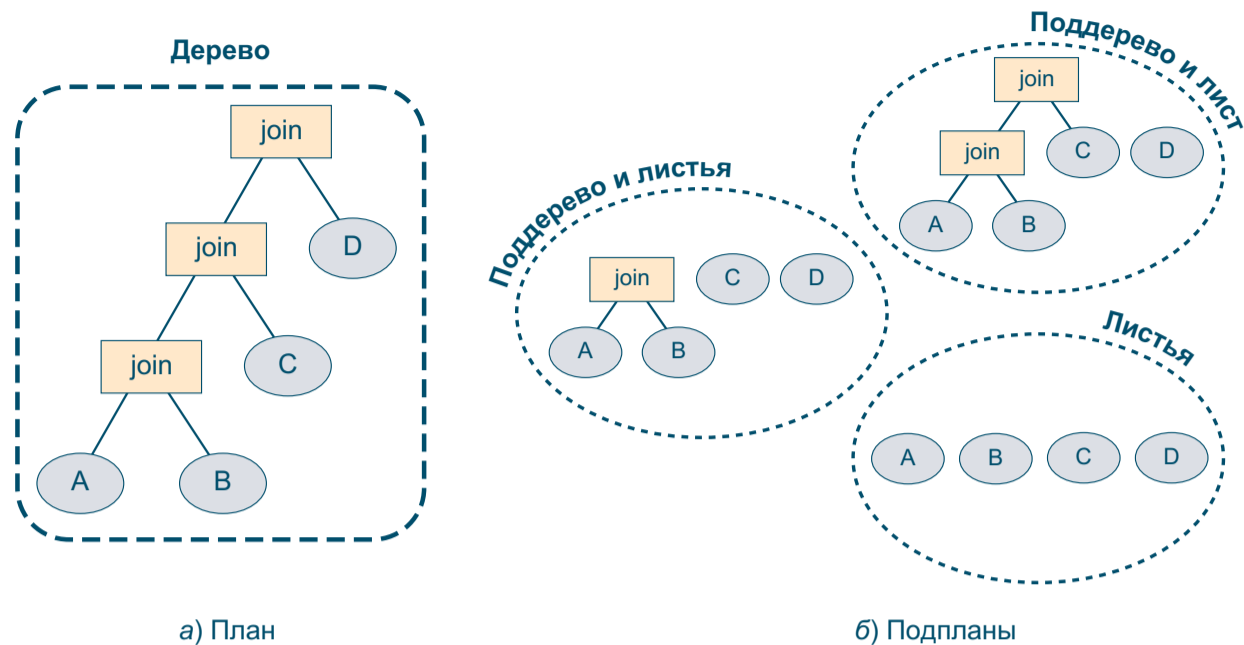


Рисунок 1. План выполнения запроса и его подпланы

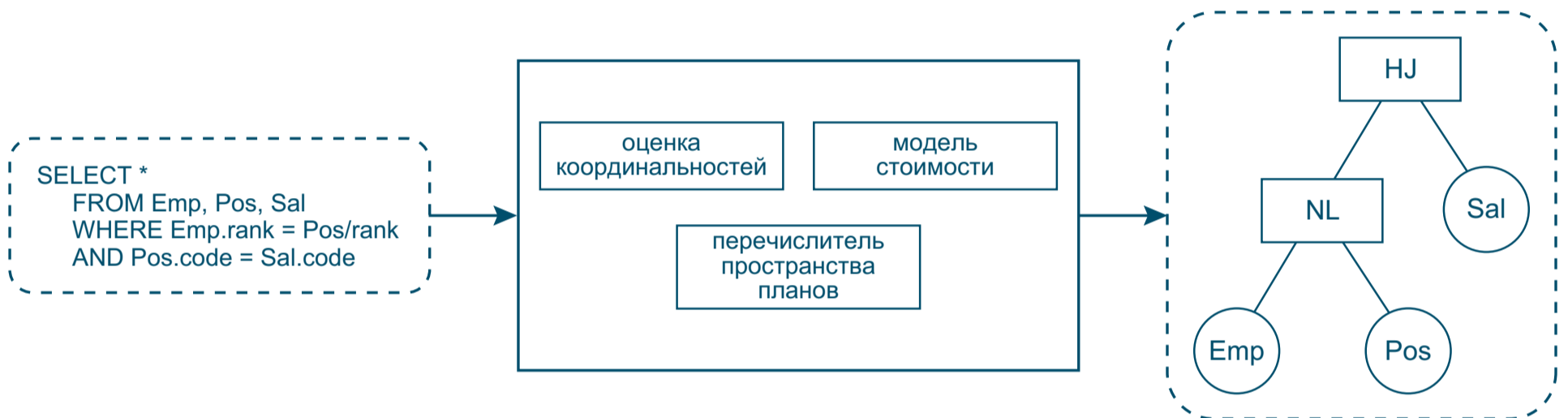


Рисунок 2. Архитектура традиционного оптимизатора запросов

имеющиеся слабые места традиционных подходов, можно прибегнуть к методам машинного обучения. Их можно применить как для более точных предсказаний кардинальности, так и для аппроксимации функции стоимости.

Традиционные методы

На рис. 2 показан классический [5] подход, основанный на получении оценок стоимости. Чтобы получить эффективный план выполнения запроса, оптимизатор запросов перечисляет некоторое подмножество допустимых порядков соединения, например, используя динамическое программирование. Используя оценки кардинальности в качестве основных входных данных, модель стоимости затем выбирает самую дешёвую альтернативу из семантически эквивалентных альтернатив планов. Теоретически, если оценки кардинальности и модель стоимости точны, эта архитектура получает оптимальный план запроса. На самом деле оценки кардинальности обычно вычисляются на основе упрощающих предположений, таких как равномерность и независимость данных в БД. В наборах данных реального мира эти предположения часто ошибочны оказываются ошибочны, что приводит к субоптимальным, а иногда и катастрофическим планам.

Модуль оценки кардинальности (CardEst) играет важную роль в оптимизации запросов. Он нацелена на получение оценок размеров результатов всех подпланов каждого запроса и руководит оптимизатором для выбора оптимальных операций соединения. Точность CardEst критически влияет на качество сгенерированных планов запросов. Из-за своей важной роли в СУБД CardEst широко изучается как академическим [12], так и индустриальным сообществом [26, 22, 19]. Современные СУБД с открытым исходным кодом и коммерческие СУБД в основном используют один из двух традиционных методов CardEst: гистограммы [3, 4, 7, 1, 2, 6] в PostgreSQL [24] и SQL Server [20], сэмплирование [10, 14, 15, 11, 18] в MySQL и MariaDB [23].

Подходы к оптимизации запросов на основе глубокого обучения

Совсем недавно сообщество баз данных начало исследовать возможности использования нейронных сетей для улучшения оптимизаторов запросов. Большая часть этих работ была сосредоточена на замене компонента оптимизатора обученными моделями. Например, DQ [16] и ReJOIN [17] используют обучение с подкреплением в сочетании с традиционными функциями стои- >>>

мости, созданными человеком, чтобы автоматически изучать стратегии поиска и исследовать пространство возможных порядков соединений. Эти статьи показывают, что выученные стратегии поиска могут превзойти обычные эвристические методы для данной функции стоимости. Более того, помимо традиционной функции стоимости, эти системы по-прежнему полагаются на эвристику для оценки кардинальности, выбора физического оператора и выбора индекса.

Другие подходы демонстрируют, как можно использовать машинное обучение для получения более точных оценок кардинальности. Кроме того, в отличие от выбора порядка соединения, выбор операторов соединения (например, хеш-соединение, соединение слиянием) и выбор индексов не могут быть полностью сведены к оценке количества элементов. SkinnerDB показала [28], что стратегии адаптивной обработки запросов могут выиграть от обучения с подкреплением, но для этого требуется специализированный (адаптивный) механизм выполнения запросов.

Подходы на основе более точной оценки кардинальности

Методы оценки кардинальности, основанные на машинном обучении, пытаются обучить модель для прямого сопоставления каждого запроса Q с его кардинальностью $Card(T, Q)$. Методы оценки кардинальности по данным, основанные на машинном обучении, не зависят от запросов. Они рассматривают каждый кортеж в таблице T как точку, выбранную в соответствии с совместным распределением $P(T(A)) = P(T(A_1, A_2, \dots, A_n))$. Пусть $P(T(Q)) = P(T(A_1 \in R_1, A_2 \in R_2, \dots, A_n \in R_n))$ — вероятность, определяемая областью Q . Тогда насесть $Card(Q, T) = PR(Q) \cdot |T|$, так что задача оценки кардинальности может быть сведена к моделированию функции плотности вероятности $P(T(A))$ таблицы T .

AQO (Adaptive Query Optimizer) – встроенный в PostgreSQL подход AQO [13] усложняет стандартную формулу расчёта селективности: вводит для каждого простого условия свой собственный коэффициент. С помощью машинного обучения (используется регрессия методом ближайших соседей) AQO подбирает эти коэффициенты так, чтобы селективность, вычисленная по формуле, наилучшим образом соответствовала реальной селективности, которую AQO наблюдал ранее.

Среди всех подходов, что были рассмотрены в данной работе, этот подход самый простой как в плане реализации, так и в части идеи, стоящей за ним. Более того, этот подход уже внедрён в PostgreSQL и может быть включён в настройки системы. Однако в PostgreSQL по умолчанию используется три типа соединения отношений: соединение вложенным циклом, слиянием и с помощью хеширования. В OLAP системах, где пользователи имеют дело с большими аналитическими запросами, на практике используют только соединение с помощью хеширования, поскольку в среднем такие планы всегда работают быстрее. С ориентиром на OLAP системы, в рамках данной работы было проведено тестирование подхода

для случая, когда включены только соединения с помощью хеширования. В такой конфигурации оптимизатора использование оценщика кардинальности AQO не дало ускорения времени выполнения запросов.

NeuroCard Подход построен на модели глубокой авторегрессии [25]. Он раскладывает совместную функцию плотности вероятности (ФПВ) по цепному правилу и моделирует каждую (условную) ФПВ параметрически с помощью 4-слойной нейронной сети. Стоит отметить, что исходный метод NeuroCard предназначен только для наборов данных с древовидной схемой соединения. В экспериментах данной работы с циклической схемой соединения производилось разделение схемы на несколько древовидных схем соединения и строилась отдельную модель NeuroCard для каждой схемы.

Метод точный и даёт желаемый результат. Но отличный прототип разбивается о продуктовую реальность. Число древовидных схем растёт экспоненциально с ростом числа таблиц в запросе, предсказание кардинальности делается с помощью нейросетевой модели, поэтому время вывода слишком велико для встраивания прототипа в оптимизатор промышленной СУБД.

Pessimistic CardEst [19] – альтернативный подход к получению оценок кардинальности. Здесь, в отличие от остальных подходов, предсказывается не кардинальность, а оценка сверху. И задача стоит не в том, чтобы как можно точнее предсказать значение, которое по факту может оказаться как меньше, так и больше фактического, а как можно сильнее улучшить верхнюю оценку, которая точно будет не меньше фактического значения.

За этим подходом стоит изящная теория – оценки выводятся через формулы условной энтропии, граф соединения представляется в виде гиперграфа для дальнейшей оптимизации вычислительной сложности, описано пространство для поиска компромисса между точностью и скоростью. Тем не менее подход всё-таки далёк от внедрения в оптимизатор СУБД, поскольку имеет ряд понятных ограничений, таких как невозможность работы с циклическими графами соединений и необходимость использовать в худшем случае линейную дополнительную память.

FLAT (fast, lightweight and accurate method) [29], основанный на сетях факторизации-разделения-суммы-произведения (FSPN), улучшается по сравнению с SPN за счет адаптивного разложения $PT(A)$ в соответствии с уровнем зависимости атрибута. Добавляется узел факторизации PT на $PT(W) \cdot PT(H|W)$, где H и W являются сильно и слабо коррелированными атрибутами в T . $PT(W)$ моделируется так же, как и SPN. $PT(H|W)$ разбивается на небольшие ФПВ с помощью узлов разделения до тех пор, пока H не станет локально независимым от W . Затем многолистовой узел используется для непосредственного моделирования многомерной ФПВ $PT(H)$. Подобно SPN, структура FSPN и вероятность запроса могут быть получены рекурсивно в нисходящем и восходящем порядке соответственно.

Идея разделения БД на кластеры сильно связанных между собой данных и слабо связанных с данными других кластеров позволяет использовать простые и, следовательно, быстрые модели машинного обучения, >>>

поскольку зависимости, которые необходимо выучить после факторизации данных, достаточно хорошо аппроксимируются кусочно-линейными функциями. При изменениях данных в БД обновление структуры выполняется быстро. Этот подход является самым перспективным, поскольку он хитрее, чем AQO, и при этом уже успешно внедрён в одну коммерческую СУБД.

Подходы на основе замены традиционной функции стоимости на нейросетевую

Известно, что улучшение оценок кардинальности не гарантирует ускорение времени выполнения запроса. Повышение точности оценок кардинальности в 10 раз в экспериментах с MSCN (multi-set convolutional network) [21] привело к ускорению времени выполнения запросов всего на несколько процентов. А улучшение точности в двух других подходах в 3 и 2 раза соответственно вообще привело к увеличению времени выполнения запросов. При оптимизации запросов посредством улучшения оценок кардинальности всегда есть риск не прийти к желаемому, поскольку точность оценок не коррелирует с основной мерой качества – временем выполнения запросов. Помимо оценок кардинальности на итоговый результат также влияет используемая оптимизатором стоимостная функция, которая является своего рода эвристикой и разнится от СУБД к СУБД.

Понятные риски использования подхода на основе более точного предсказания кардинальности привели сообщество к идее оптимизации планов выполнения запросов напрямую, безотносительно оценок кардинальности. Идея этого класса подходов заключается в оптимизации стоимостной функции в обход расчёта оценок кардинальности. Здесь стали широко использоваться подходы на основе обучения с подкреплением (RL). Последовательное упорядочение соединений при построении плана выполнения запроса — это та же структура проблемы, которая лежит в основе RL. Можно использовать эту алгоритмическую связь, чтобы внедрить RL в традиционный оптимизатор запросов; везде, где используется алгоритм перечисления, стратегия, полученная из алгоритма RL, может быть легко применена.

Подход из статьи «Learning to Optimize Join Queries With Deep Reinforcement Learning»

DQN (Deep Q-Network – глубокая нейросеть, аппроксимирующая Q-функцию) формулирует оптимальное планирование как проблему прогнозирования [16]: учитывая затраты на ранее рассмотренные подпланы, какое одноэтапное решение, скорее всего, будет оптимальным? Говоря более конкретно, Q-learning устанавливает регрессию от решения объединить конкретную пару отношений к наблюдаемой выгоде от выполнения этого объединения по историческим данным (то есть влияние на окончательную стоимость всего плана запроса).

Подход из статьи «Neo: A Learned Query Optimizer» (Neural Optimizer) [27] строит обученный оптимизатор запросов, который обеспечивает аналогичную или улучшенную производительность по сравнению с современными коммерческими оптимизаторами (Oracle и Microsoft) на их собственных механизмах выполнения запросов. Neo учится принимать решения о порядке соединения и выборе оператора. Neo оптимизирует эти решения, используя обучение с учителем с петлёй "обратной связи" (постоянным дообучением), адаптируя себя к экземпляру базы данных пользователя и основывая своё решение на фактическом времени выполнения запроса.

Заключение

Подводя итоги, стоит отметить, что подходы на основе оценок кардинальности сами по себе не гарантируют ускорения запросов. Если у СУБД стоимостная функция подобрана не лучшим образом, улучшение оценок кардинальностей ничего не даст, и разработчикам придётся всё равно смотреть в сторону улучшения стоимостной функции. Подходы на основе аппроксимации функции стоимости в этом плане более перспективные. Однако, учитывая сложность задачи предсказания стоимости при ограничениях, характерных для транспортных задач, наиболее удачные подходы требуют колоссальных вычислительных мощностей, что делает невозможным их внедрение в СУБД. Оптимальным направлением в этих условиях представляется замена стоимостной функции не моделью машинного обучения, а просто более удачным вариантом кусочной функции на ручных правилах. ■

Список литературы

1. M Muralikrishna and David J DeWitt. Equi-depth multidimensional histograms. Proceedings of the 1988 ACM SIGMOD international conference on Management of data. 1988, pp.28–36.
2. P Griffiths Selinger, Morton M Astrahan, Donald D Chamberlin, Raymond A Lorie and Thomas G Price. Access path selection in a relational database management system. Readings in Artificial Intelligence and Databases. Elsevier, 1989, pp. 511–522.
3. Nicolas Bruno, Surajit Chaudhuri and Luis Gravano. STHoles: A multidimensional workloadaware histogram. Proceedings of the 2001 ACM SIGMOD international conference on Management of data. 2001, pp. 211–222.
4. Amol Deshpande, Minos Garofalakis and Rajeev Rastogi. Independence is good: Dependencybased histogram synopses for high-dimensional data. ACM SIGMOD Record 30.2 (2001), pp.199–210.
5. Abraham Silberschatz, Henry F Korth and Shashank Sudarshan. Database system concepts. Vol. 5. McGraw-Hill New York, 2002.
6. Hai Wang and Kenneth C Sevcik. A multi-dimensional histogram for selectivity estimation and fast approximate query answering. Proceedings of the 2003 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research. 2003, pp.328–342.
7. Dimitrios Gunopulos, George Kollios, Vassilis J Tsotras and Carlotta Domeniconi. Selectivity estimators for multidimensional range queries over real attributes. VLDB Journal 14.2 (2005), pp. 137–154.
8. Gavin Powell. Beginning database design. John Wiley & Sons, 2006.
9. Hector Garcia-Molina. Database systems: the complete book. Pearson Education India, 2008.
10. Max Heimerl, Martin Kiefer and Volker Markl. Self-tuning, GPU-accelerated kernel density models for multidimensional selectivity estimation. Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 2015, pp. 1477–1492.
11. Feifei Li, Bin Wu, Ke Yi and Zhuoyue Zhao. Wander join: Online aggregation via random walks. Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data. 2016, pp. 615–629.
12. Hazar Harmouch and Felix Naumann. Cardinality estimation: An experimental survey. Proceedings of the VLDB Endowment 11.4 (2017), pp. 499–512.
13. Oleg Ivanov and S Bartunov. Adaptive query optimization in PostgreSQL. PGCon 2017 Conference, Ottawa, Canada. 2017.
14. Martin Kiefer, Max Heimerl, Sebastian Breß and Volker Markl. Estimating join selectivities using bandwidth-optimized kernel density models. Proceedings of the VLDB Endowment 10.13 (2017), pp. 2085–2096.
15. Viktor Leis, Bernhard Radke, Andrey Gubichev, Alfons Kemper and Thomas Neumann. Cardinality Estimation Done Right: Index-Based Join Sampling. Cidr. 2017.
16. Sanjay Krishnan, Zongheng Yang, Ken Goldberg, Joseph Hellerstein and Ion Stoica. Learning to optimize join queries with deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1808.03196 (2018).
17. Ryan Marcus and Olga Papaemmanouil. Deep reinforcement learning for join order enumeration. Proceedings of the First International Workshop on Exploiting Artificial Intelligence Techniques for Data Management. 2018, pp. 1–4.
18. Zhuoyue Zhao, Robert Christensen, Feifei Li, Xiao Hu and Ke Yi. Random sampling over joins revisited. Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data. 2018, pp. 1525–1539.
19. Walter Cai, Magdalena Balazinska and Dan Suciu. Pessimistic cardinality estimation: Tighter upper bounds for intermediate join cardinalities. Proceedings of the 2019 International Conference on Management of Data. 2019, pp. 18–35.
20. Pedro Lopes, Craig Guyer and Milener Gene. Sql docs: cardinality estimation (SQL Server). 2019.
21. Lucas Woltmann, Claudio Hartmann, Maik Thiele, Dirk Habich and Wolfgang Lehner. Cardinality estimation with local deep learning models. Proceedings of the second international workshop on exploiting artificial intelligence techniques for data management. 2019, pp. 1–8.
22. Zongheng Yang, Eric Liang, Amog Kamsetty, Chenggang Wu, Yan Duan, Xi Chen, Pieter Abbeel, Joseph M Hellerstein, Sanjay Krishnan and Ion Stoica. Deep Unsupervised Cardinality Estimation. Proceedings of the VLDB Endowment 13.3 (2019).
23. MariaDB Server Documentation. Statistics for optimizing queries: InnoDB persistent statistics. 2020.
24. Postgresql Documentation. 12. 2020. Chapter 70.1. Row Estimation Examples. 2020.
25. Zongheng Yang, Amog Kamsetty, Sifei Luan, Eric Liang, Yan Duan, Xi Chen and Ion Stoica. NeuroCard: one cardinality estimator for all tables. Proceedings of the VLDB Endowment 14.1 (2020), pp. 61–73.
26. Yuxing Han, Ziniu Wu, Peizhi Wu, Rong Zhu, Jingyi Yang, Liang Wei Tan, Kai Zeng, Gao Cong, Yanzhao Qin, Andreas Pfadler et al. Cardinality Estimation in DBMS: A Comprehensive Benchmark Evaluation. arXiv preprint arXiv:2109.05877 (2021).
27. Ryan Marcus, Parimarjan Negi, Hongzi Mao, Chi Zhang, Mohammad Alizadeh, Tim Kraska, Olga Papaemmanouil and Nesime Tatbul. Neo: A Learned Query Optimizer. Proceedings of the VLDB Endowment 12.11 (2021).
28. Immanuel Trummer, Junxiong Wang, Ziyun Wei, Deepak Maram, Samuel Moseley, Saehan Jo, Joseph Antonakakis and Ankush Rayabhari. Skinnerdb: Regret-bounded query evaluation via reinforcement learning. ACM Transactions on Database Systems (TODS) 46.3 (2021), pp. 1–45.
29. Rong Zhu, Ziniu Wu, Yuxing Han, Kai Zeng, Andreas Pfadler, Zhengping Qian, Jingren Zhou and Bin Cui. FLAT: fast, lightweight and accurate method for cardinality estimation. Proceedings of the VLDB Endowment 14.9 (2021), pp. 1489–1502.

УДК: 004.5:378.1//625.173.1

Оценка рисков путевого хозяйства по безопасности движения ОАО «РЖД»

Assessment of the risks of the track facilities for the traffic safety of Russian Railways

Коваленко Н.И., д.т.н., профессор, Российский университет транспорта,

E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия

Kovalenko N.I., DofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport,

E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

Коваленко А.Н., менеджер, АО «Уголь-Транс»,

E-mail: alexnikkovalenko@gmail.com, Москва, Россия

Kovalenko A.N., Manager, Transportation Organization JSC "Ugol-Trans",

E-mail: alexnikkovalenko@gmail.com, Moscow, Russia



Аннотация

Факторным анализом риск-факторов и их последствий с точки зрения безопасности движения в подразделениях ОАО «РЖД» выявлено, что наиболее проблемным является состояние путевого хозяйства. Установлено, что наибольшая критичными являются величина пропущенного тоннажа или срока службы в годах, а также одиночный выход дефектных (остродефектных) рельсов. Также надо учитывать сверхнормативное количество дефектных узлов скреплений и негодных шпал, сверхнормативная протяженность пути с загрязненным балластом и протяженность участков пути с выплесками, другие неисправности. Проведенными исследованиями уровня риск-факторов на сети ОАО «РЖД» за 2021 год установлено, что в качестве мер реагирования рекомендуется в течение предстоящего года для 5-ти железных дорог (5-ти регионов) назначение капитального и других видов ремонта пути. Анализ транспортных происшествий на путях общего пользования в 2021 году показал, что одной из основных причин нарушений безопасности движения является нарушение технологии технического обслуживания пути, составившей порядка 40%.

Ключевые слова: транспорт, факторный анализ; пропущенный тоннаж; одиночный выход рельсов; риск-фактор; сверхнормативное количество неисправностей; коэффициент учета тяжести последствий.

Abstract

A factor analysis of risk factors and the severity of their consequences indicates that one of the most problematic structural units in Russian Railways is the track facilities of railway transport. For example, in 2021 11 traffic accidents (10 crashes and 1 accident) were allowed on the infrastructure of the railway transport of the Russian Federation, of which 5 crashes (45%) were due to a violation of the technology for the maintenance and repairs of the railway track. It has been established that the highest degree of risk factor for track facilities is characterized by the value of missed tonnage or service life in years, as well as by a single exit of defective (sharply defective) rails. Additional criteria influencing the increase in risk factors in the field of traffic safety in the track facilities are the excess number of defective fasteners and unusable sleepers, the excess length of the track with polluted ballast and the length of track sections with splashes, and other malfunctions. The conducted studies of the level of risk factors on the network of JSC "Russian Railways" for 2021 found that it is recommended that over the coming year for 5 railways (5 regions) JSC "Russian Railways" the appointment of overhaul and other types of track repairs is recommended as a response measure. An analysis of traffic accidents on public tracks in 2021 showed that one of the main causes of traffic safety violations on the railway infrastructure is: a violation of track maintenance technology, which amounted to about 40%.

Keywords: factor analysis; missed tonnage; single rail outlet; risk factor; excessive number of faults; coefficient for accounting for the severity of consequences. >>>

Введение

По отчетным данным в 2021 году на инфраструктуре железнодорожного транспорта Российской Федерации было допущено 11 транспортных происшествий (10 крушений и 1 авария), из которых 5 крушений (45%) были допущены по причине нарушения технологии текущего содержания и ремонтов железнодорожного пути.

Кроме того, в 2021 году было допущено 274 случая сходов и столкновений железнодорожного подвижного состава с другим железнодорожным подвижным составом, из которых 26% (каждый 4 случай) – по причине нарушения технического состояния элементов железнодорожного пути.

С целью упорядочивания методических подходов и введения единообразия по оценке событий, связанных с нарушениями безопасности движения в транспортном комплексе различных видов транспорта: железнодорожном, автомобильном, авиационном, речном, морском, трубопроводном и других, в Минтранс Российской Федерации разрабатываются типовые требования по формированию факторного анализа рисков в области безопасности движения [1, 2].

Для РФ железнодорожный транспорт является наиболее массовым видом, имеющим специфические особенности в системе организации перевозочного процесса, управления всех структур транспортного комплекса, влияния различных составляющих транспортного комплекса, учета технической и технологической специфики конструкций и объектов железнодорожного транспорта [1, 3, 4].

Для путевого хозяйства железных дорог РФ факторный анализ имеет целый ряд особенностей [5, 6, 7]. В частности, подлежат учету как линейно протяженные объекты в целом, например, верхнее строение железнодорожного пути, земляное полотно, водоотводные сооружения, полоса отвода и так далее, так и локально расположенные объекты, например, искусственные сооружения, переезды, стрелочные переводы и так далее, которые являются частью линейно протяженных объектов.

В настоящее время при подготовке и применению факторного анализа как инструмента по управлению рисками в области безопасности движения [8, 9, 10] на центральном, региональном, территориальном и линейном уровнях ОАО «РЖД», разработаны требования по формированию факторного анализа рисков в области безопасности движения поездов и маневровой работе.

Материалы и методы

Основой факторного анализа являются «Типовые требования по формированию факторного анализа рисков в области безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД», утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 09.09.2022г. № 2349/р.

Статистический анализ параметров, или измеренные характеристики объектов, а также оценка производственных процессов, связанных с обеспечением безопасности движения за предыдущие периоды, в основном, служат базой экспертной оценки.

Таблица 1.
Оценка риск-факторов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 21.09.2011 № 2068р

Балл	Описание
5 – критический	Очень высокий уровень воздействия преобладающего фактора
4 – высокий	Существенное воздействие преобладающего фактора на возникновение события
3 – значительный	Значимое воздействие преобладающего фактора на возникновение события
2 – умеренный	Несущественное воздействие преобладающего фактора на возникновение события
1 – незначительный	Слабое воздействие преобладающего фактора на возникновение события
0 – без оценки	Отсутствует влияние фактора на возникновение события в прогнозном периоде

Риски, рассматриваемого риск-фактора, их контроль по параметрам, утвержденным ОАО «РЖД», по условиям возникновения идентифицированного рискового события, как правило, осуществляется на основании экспертной оценки по 5-ти бальной системе.

Оценка рассматриваемого риск-фактора (таблица 1) определяется «Ситуационным центром мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями» по регламенту, утвержденному распоряжением ОАО «РЖД» от 21.09.2011 г. № 2068р и согласовывается с Департаментом безопасности движения.





Полученная оценка устанавливается по итогам прошедшего года и учитывается в течение всего последующего периода наблюдения (как правило, в течение последующего календарного года) в соответствии с разработанными стандартами и методиками анализа рисков, а также методов и инструментов аудита,

Показатель состояния безопасности движения при эксплуатации железнодорожного пути представляет собой суммарное отношение количества транспортных происшествий и сходов железнодорожного подвижного состава, допущенных по причине нарушения технологии текущего содержания и ремонтов железнодорожного пути, количество выявленных Госжелдорнадзором нарушений текущего состояния элементов железнодорожного пути при проведенных контрольных (надзорных) мероприятиях, протяженность участков пути со сверхнормативным выходом дефектных (остродефектных) рельсов в сумме за срок службы в среднем на участке, протяженность участков железнодорожного пути со сверхнормативным пропущенным тоннажем с учетом удельных коэффициентов к общей протяженности железнодорожных путей, на 1000 км железнодорожного пути (формула 1).

Критерии оценки рисков по верхнему строению пути:
Основные критерии:

1. Пропущенный тоннаж или срок службы в годах.
2. Одиночный выход дефектных (остродефектных) рельсов в сумме за срок службы в среднем на участке ремонта, шт./км (кроме эксплуатационных дефектов). >>>

Таблица 2. Степени проявления риск-фактора* для рассматриваемого объекта, например, дистанции пути (по основным и дополнительным критериям риска) в отчетном периоде более установленного норматива**

Оценка уровня влияния риск-фактора на реализацию риска	Критерии (по диапазону уровня риск-фактора относительно норматива*)	Индикатор
КРАЙНЕ ОПАСНО	превышающий 20 до 25%	 красный
ОЧЕНЬ ОПАСНО	превышающий 15 не более 19,99%	 оранжевый
ОПАСНО	превышающий 5 не более 14,99%	 желтый
НЕОПАСНО	превышающий 1 до 4,99%	 зеленый
БЕЗ ОЦЕНКИ	0	Отсутствует влияние фактора на возникновение события в прогнозном периоде

Примечания:

* – степени проявления риск-фактора установлены в соответствии с «Типовыми требованиями по формированию факторного анализа рисков в области безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД», утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 09.09.2022 г. № 2349/р, введенные в действие 01 января 2023 г.

** – количественные параметры критериев определяются «Правилами назначения ремонтов железнодорожного пути», утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» 17.12.2021 г. № 2888/р, введенными в действие 29 апреля 2022 г.

Степени проявления риск-фактора для рассматриваемого объекта, например, пропущенный тоннаж или срок службы в годах в отчетном периоде более установленного норматива приведены в таблице 2.

Основным современным нормативным документом для установления параметров рассматриваемых факторов влияния основных и дополнительных критериев на возникновение рисков нарушения безопасности движения при эксплуатации железнодорожного пути являются «Правила назначения ремонтов железнодорожного пути», утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» 17.12.2021 г. № 2888/р, введенные в действие 29 апреля 2022 г.

Дополнительные критерии:

- Наличие негодных узлов скреплений, шт. на 1 км пути;
- Наличие негодных шпал, шт. на 1 км пути;
- Протяженность пути с загрязненным балластом, шт. на 1 км пути;
- Протяженность участков пути с выплесками, шт. на 1 км пути;
- Наличие мест временного восстановления бесстыковых рельсовых плетей в шт./км.

Степени проявления риск-фактора для рассматриваемых объектов в виде дополнительных критериев в отчетном периоде более установленного норматива выполняются по параметрам, аналогичным приведенным в таблице 2.

Результаты

Расчет показателя количества нарушений норм технического обслуживания пути (ПН) на предварительной стадии может выполняться по формуле 1:

$$P_H = \frac{[(a \times 0,3 + \phi \times 0,2) + (c + \psi + b + y + m) \times 0,06] + (p \times 0,1 + t \times 0,1)}{d} \times 1000 \quad (1)$$

где, а – количество транспортных происшествий, допущенных по причине нарушения технологии текущего содержания железнодорожного пути, шт.;

ф – количество транспортных происшествий, допущенных по причине нарушения технологии производства ремонтов железнодорожного пути, шт.;

с – сверхнормативное количество негодных узлов скреплений железнодорожного пути, выявленных Госжелдорнадзором при контрольных (надзорных) мероприятиях, шт.;

ш – сверхнормативное количество негодных шпал железнодорожного пути, выявленных Госжелдорнадзором при контрольных (надзорных) мероприятиях, шт.;

б – протяженность участков пути со сверхнормативным загрязненным балластом, выявленных Госжелдорнадзором при контрольных (надзорных) мероприятиях, шт.;

у – сверхнормативная протяженность участков пути с выплесками, выявленных Госжелдорнадзором при контрольных (надзорных) мероприятиях, шт.;

м – участки пути с сверхнормативным наличием мест временного восстановления бесстыковых рельсовых плетей, выявленных Госжелдорнадзором при контрольных (надзорных) мероприятиях, шт.

р – сверхнормативное количество дефектных (остродефектных) рельсов в сумме за срок службы в среднем на участке, шт.;

т – протяженность участков железнодорожного пути со сверхнормативным пропущенным тоннажем, шт.;

д – общая протяженность железнодорожных путей, рассматриваемого полигона, шт.

0,2 – коэффициент, учитывающий тяжесть последствий транспортного происшествия;

0,3 – коэффициент, учитывающий тяжесть последствий от сходов и столкновений;

0,06 – коэффициент, учитывающий тяжесть последствий для выявленных нарушений состояния



различных элементов конструкции пути, соответственно для каждого вида нарушений: сверхнормативного количества негодных скреплений и негодных шпал; выявленных участков пути со сверхнормативным загрязненным балластом и участков пути с выплесками; количество участков бесстыкового пути со сверхнормативным наличием мест временного восстановления рельсовых плетей;

0,1 – коэффициент, учитывающий тяжесть последствий для выявленных случаев возникновения острodefектных рельсов;

0,1 – коэффициент, учитывающий тяжесть последствий для участков железнодорожного пути со сверхнормативным пропущенным тоннажем.

На предварительной стадии разработки методики оценки состояния безопасности движения при эксплуатации железнодорожного пути принят коэффициент равный 0,06 для выявленных нарушений состояния различных элементов конструкции пути, например, наличия сверхнормативного количества негодных скреплений или негодных шпал; выявленных участков пути со сверхнормативным загрязненным балластом или участков пути с выплесками; выявленных участков бесстыкового пути со сверхнормативным наличием мест временного восстановления рельсовых плетей, принимается одинаковым по причине их, практически, близких результатов влияния на безопасность движения.

Риск-факторы могут группироваться с учетом возложенных на подразделение функций и задач по видам деятельности или состоянием обслуживаемых технических средств.

Для подразделения общий уровень влияния полного набора риск-факторов на возникновение всех видов идентифицированных рисков событий определяются как среднеарифметическое значение по максимальным величинам уровня риск-фактора, выбранных в каждой группе риск-факторов анализируемого объекта контроля с охватом всех видов идентифицированных рисков событий.

В соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 09.09.2022г. № 2349/р по итогам деятельности регионов ОАО «РЖД» в 2021 года рассматриваются следующие виды *рисков* и предусмотрены следующие *меры реагирования на них органов Госжелдорнадзора*:

- **Высокий риск** – оранжевая зона риска возникновения нарушений безопасности движения. В качестве мер реагирования рекомендуется в течение предстоящего года для 5-ти железных дорог (5-ти регионов) ОАО «РЖД» назначение капитального и других видов ремонта пути. Вид ремонтов, их количество и объемы работ определяются в соответствии с «Правилами назначения ремонтов железнодорожного пути», утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» 17.12.2021г. № 2888/р, введенными в действие 29 апреля 2022г. Для органов Госжелдорнадзора предусматривается повышенная организация внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий. Например, по итогам 2021 года необходимо инициирование внеплановых проверок для этих же 5-ти железных дорог (5-ти регионов) ОАО «РЖД», входящих в оранжевую зону риска возникновения нарушений безопасности движения.

- **Средний риск** – рассматривается желтая зона риска возникновения нарушений безопасности движения. В качестве мер реагирования необходимо увеличить количество профилактических мероприятий в отношении контролируемых лиц при составлении «Плана профилактических мероприятий на следующий год». Например, по итогам 2021 года органами Госжелдорнадзора в отношении 11 железных дорог (11-ти регионов) проведены профилактические мероприятия (направлены информационные письма, выданы предостережения). При средней желтой зоне риска в качестве мер реагирования в Директивных планах и других нормативно-правовых документах, необходимо планировать выполнение капитального и других видов ремонтов участков пути через один год. Вид ремонтов, их количество и объемы работ определяются в соответствии с «Правилами назначения ремонтов железнодорожного пути», утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 года № 2888/р, введенными в действие 29 апреля 2022 г.

- **Низкий риск** – рассматривается зеленая зона риска возникновения нарушений безопасности движения. Для органов Госжелдорнадзора не предусматривается проведение контрольных (надзорных) мероприятий. При низкой зеленой зоне риска в качестве мер реагирования в Директивных планах и других нормативно-правовых документах, необходимо в течение 2 – 3 лет планировать выполнение промежуточных видов ремонтов на участках пути. Вид ремонтов, их количество и объемы работ определяются в соответствии с «Правилами назначения ремонтов железнодорожного пути», утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» 17 декабря 2021 г. № 2888/р, введенными в действие 29 апреля 2022 г. Капитальный ремонт участков пути в течение 2-х – 3-х лет не требуется.

Задачами Госжелдорнадзора является снижение количества железных дорог, находящихся в зоне высокого оранжевого и среднего желтого уровней риска возникновения нарушений безопасности движения.

Пример прогнозного расчета степени проявления риск-фактора (Пн,%)

Исходные данные значений параметров для выполнения расчетов:

д – длина полигона в км – 450;
а = 0; ф = 0; с = 10; ш = 8; б = 6; у = 12; м = 5; р = 5; т = 30.

$$П_n = \frac{[(0+0)+(10+8+6+12+5) \times 0,06] + (5 \times 0,1 + 30 \times 0,1)}{450} \times 1000 = 12,1\%$$

Таким образом, для представленного примера, в соответствии с индикаторами, приведенными в таблице 2, степени проявления риск-фактора рассматриваемого полигона (условной дистанции пути) соответствует желтому уровню риска в области безопасности движения. В качестве мер реагирования на данном рассматриваемом полигоне необходимо увеличить количество профилактических мероприятий в отношении контролируемых лиц при составлении «Плана профилактических мероприятий на следующий год». В Директивных планах и других нормативно-правовых документах дистанции пути, >>>

Таблица 3.
Ранжирование объектов по уровню влияния риск-факторов (распоряжение ОАО «РЖД» от 09.09.2022г. № 2349/р)

Ранжирование групп (зон) по уровню влияния риск-факторов	Критерий оценки
Недопустимый (высокий)	Выбираются 20% равнозначных объектов контроля с наивысшим значением риск-фактора, исключая эталонные объекты контроля. Нижняя граница «Х» данной группы (зоны) устанавливается по наилучшему (наименьшему) итоговому значению из перечня вышеуказанных объектов контроля. Данная процедура проводится по итогам 4 квартала. Значение «Х» задается базовым для следующего года.
Нежелательный (значительный)	Верхняя граница данной зоны задается значением «Х», а нижняя граница зоны «У» определяется среднесетевым значением уровня влияния риск-факторов по итогам 4-ого квартала из числа равнозначных объектов контроля, исключая эталонные объекты контроля. Значение «У» задается базовым для следующего года. Если полученное значение для «У» хуже (больше) среднесетевого показателя предшествующего периода, то значение последнего принимается нижней границей зоны «У» в предстоящем периоде.
Допустимый (средний)	Верхняя граница данной зоны задается значением «У». Нижняя граница «Z» данной группы (зоны) устанавливается по значениям уровня влияния риск-факторов эталонного объектов контроля.
Не принимаемый в расчет (умеренный)	Верхняя граница данной группы (зоны) устанавливается значением «Z». В этой зоне размещаются эталонные объекты контроля.

необходимо предусмотреть планирование выполнения капитального и других видов ремонтов участков пути через один год [11, 12, 13].

Выводы

На основании распоряжения ОАО «РЖД» от 09.09.2022 г. № 2349/р, факторный анализ с целью оценки реальной динамики уровня риск-факторов, целесообразно проводить не чаще одного раза в квартал на основе статистического анализа параметров (или производимых измерений).

С целью ранжирования очередности и определения приоритетных участков пути для назначения ремонтов или участков повышенного контроля с высоким – оранжевым (недопустимым – красным) уровнем влияния риск-факторов, выбираются 20% объектов контроля с их наибольшими значениями уровня влияния риск-факторов.

Результаты проведенной оценки уровня влияния риск-факторов формируются в форме таблиц, например, таблицы 3, по каждому подразделению дирекций инфраструктуры ОАО «РЖД» с ранжирова-

нием подразделений по убыванию значения уровня влияния риск-факторов.

Для других объектов контроля – аналогично по убыванию значения уровня влияния риск-факторов с их группировкой по признакам территориального расположения и административной принадлежности.

Результаты факторного анализа и оценки уровня влияния риск-факторов на состояние объектов контроля являются основой риск-ориентированного подхода при осуществлении контрольно-ревизионной деятельности ОАО «РЖД» в области безопасности движения.

Анализ транспортных происшествий на путях общего пользования в 2021 году показал, что основными учетными причинами нарушений безопасности движения на инфраструктуре железнодорожного транспорта являются:

- нарушение технологии маневровой работы, 42%;
- нарушение технологии технического обслуживания пути, 40%;
- нарушение технологии ремонта подвижного состава, 18%. ■

Список литературы

1. Коваленко Н.И., Гринь Е.Н. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство №1, 2013 г., С. 22-23.
2. Kovalenko Nikolai*, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S Web of Conferences, Vol. 157 06031 (2020). [Электронный ресурс]: doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031 Springer, 20 March 2020, pp. 92–99. Доступ 02.05.2021.
3. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Социальная кибернетика в цифровизации транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 3(15). – Т. 3. – С. 3–14.
4. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплиментарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 4. (Т. 24). – С. 103–116.
5. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. – 2015. – № 3. – С. 297–301.
6. Цветков В.Я., Мордвинов В. А. Подход к систематизации алгоритмов // Онтология проектирования. – 2018. – № 4(26). Т. 7, – С. 388–397.
7. Елсуков П.Ю. Парадигматические и синтагматические отношения в дихотомическом делении // Славянский форум. – 2019. – № 3(25). – С. 19–26.
8. Katz M., Domshlak C. Optimal admissible composition of abstraction heuristics // Artificial Intelligence. Vol. 174, Iss. 12–13, August 2010, Pages 767–798. [Электронный ресурс]: https://doi.org/10.1016/j.artint.2010.04.021. Доступ 02.05.2021.
9. Щенников А.Н. Использование паттернов при конструировании алгоритмов // Славянский форум. – 2018. – № 1(19). – С. 96–103.
10. Корнаков А.Н. Концептуальная модель процессов информационного управления промышленной организации. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/ Экономика. – 2010. – № 2. – С. 95–100.
11. Коваленко Н.И. Ремонт при минимуме риска // Мир транспорта. 2012. № 5. С. 132-137.
12. Коваленко Н.И., Гринь Е.Н. Технология предотвращает угрозу // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 138–142.
13. Методика расследования транспортных происшествий (железнодорожный транспорт): учеб. пособие/ под ред. С.А. Вазюлина. – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – 200 с.

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