НИИАС
Ежеквартальное сетевое
научно-практическое издание

3 (27)
сентябрь 2023

Наука и технологии железных дорог

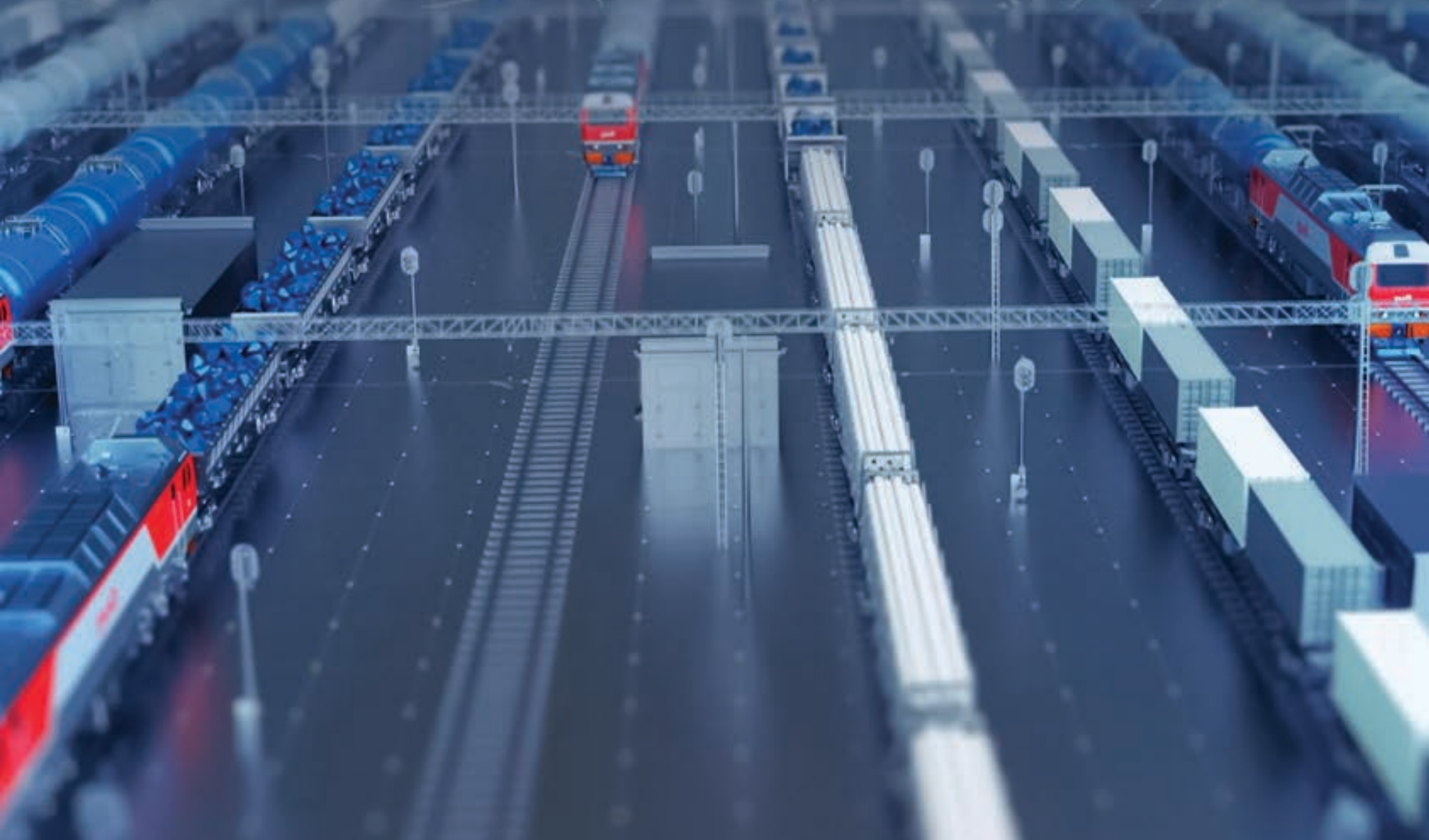
Стратегия развития железных дорог

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте



3 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Принципы построения систем управления движением поездов на высокоскоростных линиях зарубежных стран»

Озеров А.В.

8 стр.

Стратегия развития железных дорог

«Расчет и оценка эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог»

Левин Д.А.

18 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Оптимизация маршрутов в вариативной среде»

Мордвинов В.А., Матчин В.Т., Прокофьев С.Я., Романченко А.Е.

24 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Эргатические транспортные системы»

Цветков В.Я.

29 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Обзор геодезических проекций, используемых при создании координатной основы пространственного описания объектов железнодорожной инфраструктуры»

Духин С.В., Нуйкин А.В., Базлов Ю.А.

35 стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Методы интерпретации в интеллектуальных транспортных системах»

Чехарин Е.Е.

42 стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Интегрированная система хранения геоданных железнодорожной инфраструктуры на базе репозитория»

Дулин С.К.

49 стр.

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте

«Туристические перевозки как основа развития сферы мультимодальных пассажирских перевозок»

Коваленко Н.А., Шорохова Л.С.

УДК: 001.895; 656.3

Принципы построения систем управления движением поездов на высокоскоростных линиях зарубежных стран

General principles of signalling systems for high speed lines around the world

Озеров А.В., Начальник Международного управления АО «НИИАС»,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия
Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIIAS,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются общие подходы к построению и современные тенденции развития систем управления и обеспечения безопасности движения высокоскоростных поездов (СУДП ВСМ), с учетом используемых принципов передачи данных, как, например, кабельные шлейфы, кодовые рельсовые цепи, радиосвязь, а также общая структура СУДП ВСМ. Показано, что современные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов на высокоскоростных магистралях характеризуются существенной адаптацией и комплексированием традиционных систем железнодорожной автоматики, а также гибридизацией схем управления, предполагающей резервирование контура управления по радиоканалу рельсопроводным каналом, для повышения безопасности и живучести систем.

Ключевые слова: ВСМ, система управления и обеспечения безопасности движения, рельсовые цепи (РЦ), радиосвязь, бализы, МСЖД, ETCS/ERTMS, LZB, TVM, BACC, ATC, KTCS, CTCS.

Abstract

The article deals with the general approaches for construction and today's trends in development of train control systems for high-speed rail lines, taking into account the data transmission principles, such as cable loops, track circuits and radio, as well as the general architecture of train control systems for high-speed rail lines. The paper shows that advanced train control systems for high-speed rail lines feature significant adaptation and integration of legacy command and control systems, as well as hybridization of control loops providing for the redundancy of radio control loop with coded track circuits to increase the safety and resilience of the systems.

Keywords: HSR, signalling systems, track circuits (TC), radio communication, balises, UIC, ETCS/ERTMS, LZB, TVM, BACC, ATC, KTCS, CTCS.

»»

Введение

По данным Международного союза железных дорог (МСЖД), на декабрь 2021 года общая протяженность высокоскоростных магистралей (ВСМ) в мире составляет 59 000 км [1]. Безусловным лидером в этом отношении является Китайская Народная Республика – за последние пятнадцать лет в Китае построена сеть ВСМ протяженностью 40 474 км и дополнительно строится еще более 13 тыс. км. Далее с большим отрывом идут Испания (3 661 км), Япония (3 081 км) и Франция (2 735 км) (Рис. 1).

Максимальная скорость движения коммерческих поездов на линиях ВСМ в настоящее время составляет 350 км/ч (Рис. 2). В существующей мировой практике пока нет опыта регулярного движения со скоростями выше 350 км/ч, хотя отдельные тестовые поездки показывают такую возможность. Ограничивающими факторами являются не только высокая стоимость проектирования, строительства и технического обслуживания путевой инфраструктуры под более высокие скорости, но и технические вопросы обеспечения безопасности движения поездов.

Как правило, система управления движением поездов (СУДП) на ВСМ разных стран мира имеет классическую трехуровневую иерархическую структуру и включает верхний (диспетчерский), средний (станционный) и нижний уровни управления. Подсистемы СУДП объединяются в единый комплекс посредством магистральной сети передачи данных на основе ВОЛС. В современных условиях СУДП ВСМ строится на принципах максимальной автоматизации функций диспетчерского персонала и обеспечения автоматического управления движением поездов на перегонах и станциях, а координация движения поездов на линиях ВСМ, как правило, осуществляется из диспетчерского центра. Это может быть специально выделенная зона в дорожном (региональном) центре управления перевозками (ЦУП) или отдельно организованный центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) с интеграцией функций диспетчерской централизации (ДЦ).

На уровне диспетчерского управления предусмотрена реализация функций автоматической установки маршрутов (АУМ), автоматического контроля исполнения графика движения поездов (ГДП), распознавания конфликтов, корректировки и перестроения ГДП, передачи актуализированного ГДП и рекомендаций скоростного режима в бортовую подсистему автоведения поезда (АТО), прогнозирования сбоев и нарушений движения поездов, информирования пассажиров и железнодорожного персонала. Данные функции в той или иной степени реализованы в наиболее известных программно-аппаратных платформах, таких как ARAMIS компании Thales, ICONIS (Alstom), DaVinci (Indra), IROS (JR East) и др.

Основным режимом управления движением поездов на ВСМ является диспетчерское управление из единого центра (ЦУП или ЦДКУ) с возможностью перевода в режим станционного управления при проведении плановых регламентных работ на инфраструктуре или при возникновении нештатных ситуаций.

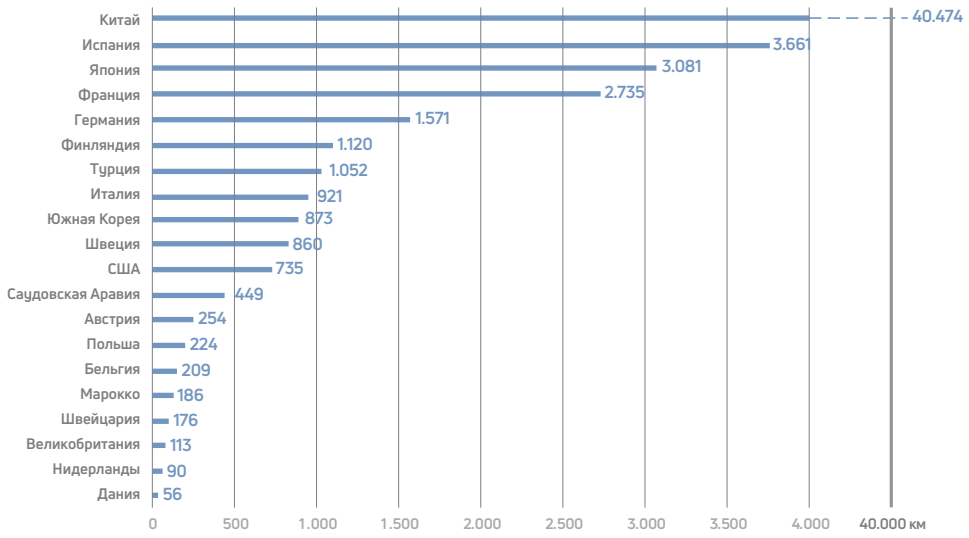


Рисунок 1. **Протяженность линий ВСМ в странах мира**

Рисунок 2. **Максимальная скорость движения на ВСМ разных стран**

Рисунок 2. **Фото зала ЦУП ВСМ в Пекине**

На станционном уровне управление осуществляется посредством устройств электрической централизации (ЭЦ) и автоблокировки (АБ). Информация от устройств станционного уровня передается в ЦУП ВСМ по резервируемым каналам ДЦ и включает данные о местоположении подвижных единиц, состоянии объектов управления ЭЦ, АБ и других устройств [2].

Структура взаимодействия с верхним и нижним уровнями может различаться и зависит от типа применяемых устройств сигнализации и средств передачи сиг- »»

нальной информации. Например, на некоторых линиях ВСМ Германии, Австрии и Испании общей протяженностью примерно 1750 км до сих пор применяется система LZB, в которой для передачи сигнальной информации на поезд используются кабельные индуктивные шлейфы. Управление движением на участке ведется с линейного поста LZB, в котором хранятся данные об участке и который получает от устройств ЭЦ информацию о свободных блок-участках и положении стрелок, а от поезда – данные о его текущем местоположении и тормозных характеристиках. На основе этих данных рассчитывается расстояние до следующей точки изменения скорости и на поезд по шлейфу передается информация о текущем значении максимально допустимой скорости на участке, расстоянии до препятствия, величине уклонов и др. Провода шлейфа LZB скрещиваются через каждые 100 м, что позволяет определять местоположение и скорость поезда путем подсчета бортовым оборудованием изменений фазы при прохождении через пересечение. Свободность пути контролируется системами ЭЦ посредством рельсовых цепей или счетчиков осей. Система LZB резервируется точечной АЛС INDUSI или ASFA [3].

На ограниченных участках скоростного движения используется СУДП с полунепрерывным типом передачи данных на основе путевых приемопередатчиков, как например, система EBICAB в Испании и скандинавских странах, имеющая ограничения по скорости 220 км/ч. Данная СУДП имеет ограниченные перспективы внедрения в силу очевидных лимитирующих факторов.

Более распространенным средством передачи данных на борт поезда являются рельсовые цепи (РЦ). Они применяются на ВСМ Бельгии и Франции (TVM 300/430), Италии (BACC), Японии (ATC, DS-ATC), Южной Кореи (KTCS) и Китая (CTCS-2, CTCS-3) и имеют увеличенную по сравнению с обычными РЦ длину, которая варьируется от 1350 до 2000 м в зависимости от технического решения. Следует отметить, что системы KTCS и CTCS-2 построены как аналоги системы TVM 430 и используют ту же разновидность резонансной РЦ [4].

На некоторых участках TVM резервируется точечной АЛС (система ETCS/ERTMS уровень 1) либо системой передачи данных по радиосети GSM-R (система ETCS/ERTMS уровень 2).

Европейская система ETCS/ERTMS уровень 2, включающая в себя локомотивную сигнализацию ETCS и систему радиосвязи GSM-R, на текущий момент является наиболее широко внедряемой СУДП на линиях ВСМ стран ЕС (Рис. 4) [5].

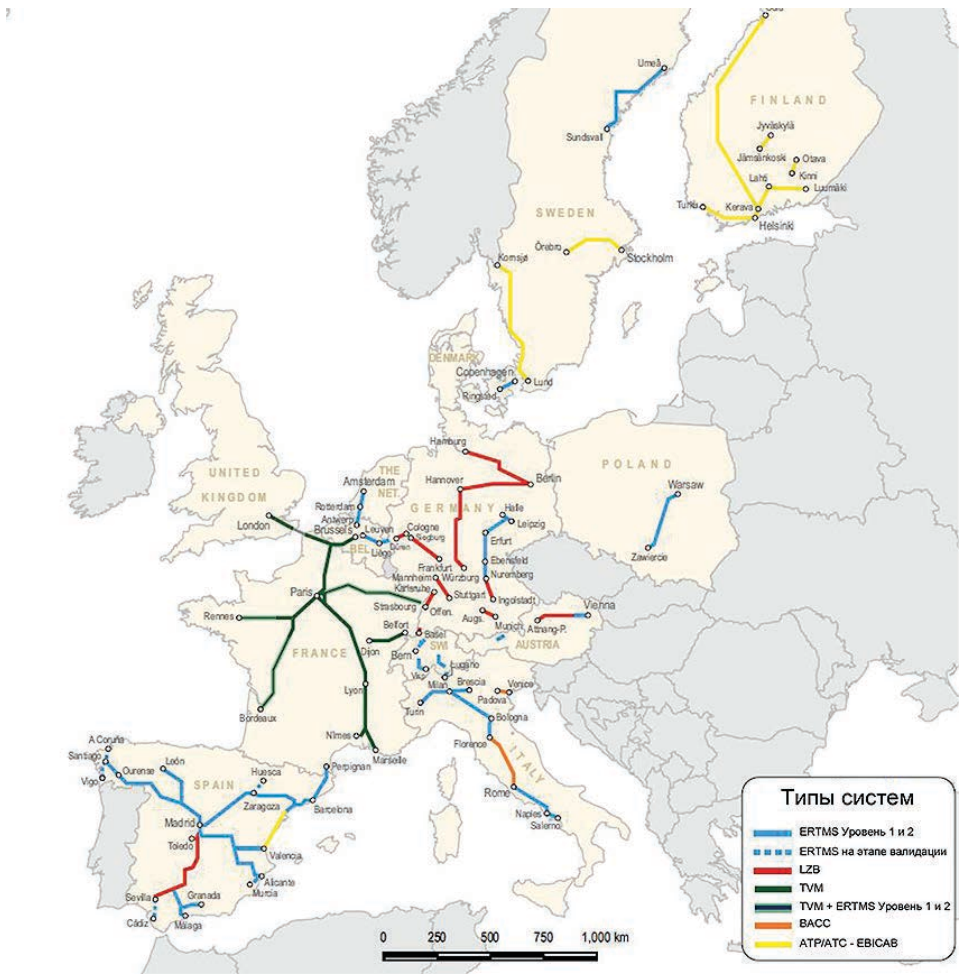


Рисунок 4. **Типы систем управления и обеспечения безопасности движения в странах ЕС**

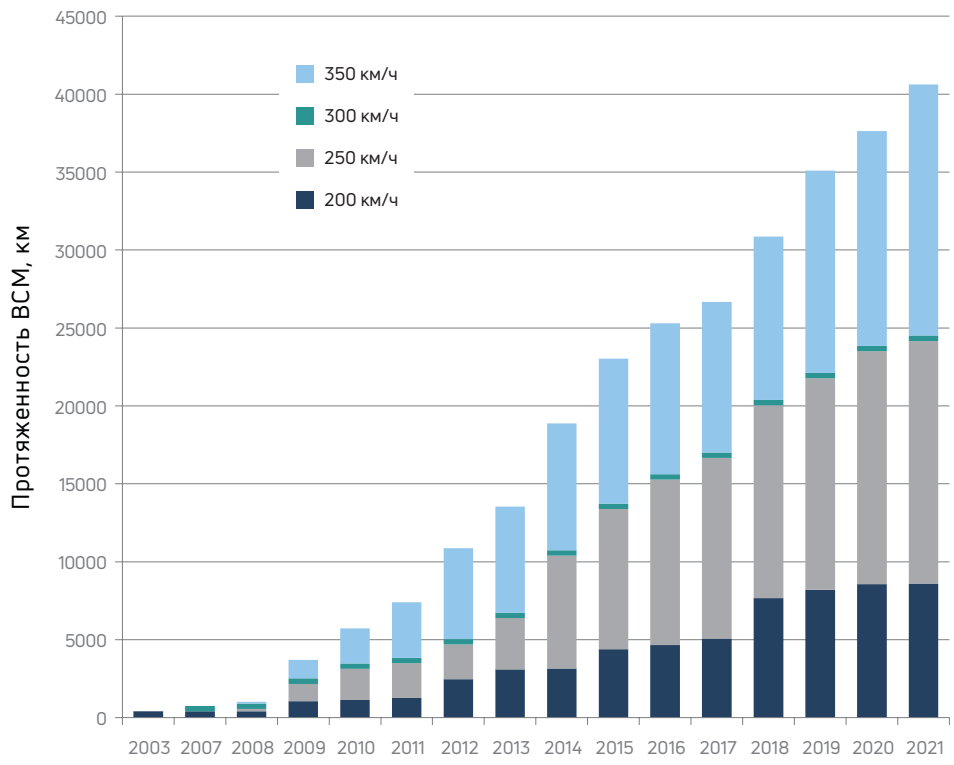


Рисунок 5. **Динамика строительства ВСМ в Китае**

Масштабное внедрение СУДП на основе радиосвязи (ETCS/ERTMS уровень 2 или аналоги) объясняется ограничениями других средств передачи данных на борт поезда как с точки зрения объема передаваемой информации, так и с точки зрения скорости передачи, которые приобретают критическое значение при повышении скоростей движения поездов. Так, например, в TVM 430 размер посылки составляет 27 бит, а средняя скорость передачи 17,3 бит/с, в LZB – 78 бит и 600 бит/с соответственно, при этом по радиоканалу GSM-R в системе ETCS/ERTMS уровень 2 можно передавать сообщения разного размера (в зависимости от назначения и настроек) со скоростью 9,6 кбит/с (например, сообщение «Отчет о местоположении» должно передаваться с борта поезда в центр радиоблокировки RBC не реже одного раза в 6 секунд) [6].

Вместе с тем, система радиосвязи GSM-R также имеет свои ограничения и является устаревшим стандартом, который прекратит свое существование к 2030 году. По этой причине осуществляются работы по его замене [7]. Например, в Республике Корея с 2014 года ведется разработка национальной системы управления и обеспечения безопасности KTCS-2 на основе технологии ETCS/ERTMS уровень 2. Вместо стандарта GSM-R система KTCS-2 »»

Рисунок 6. **Обобщенная структура СУДП ВСМ**

предусматривает использование сети беспроводной связи LTE-R. В апреле 2022 года система KTCS-2 впервые введена в коммерческую эксплуатацию на участке протяженностью 180 км линии Чолла. В новой системе KTCS-2 РЦ по-прежнему применяются для контроля занятости блок-участков.

Безоговорочный лидер по строительству линий ВСМ в мире – Китай. На Рис. 5 показана динамика ввода в эксплуатацию магистралей ВСМ в Китае по годам в зависимости от проектируемых скоростей движения.

Первая высокоскоростная линия в Китае была запущена в 2008 году. Поезда на линиях ВСМ курсируют со скоростью до 350 км/ч. С целью обеспечения требуемого уровня безопасности перевозок при участии зарубежных компаний была создана национальная система управления движением поездов CTCS, которая основана на технологиях европейской системы ETCS/ERTMS. Технологии системы CTCS адаптированы к национальным условиям, включая применение рельсовых цепей как одного из каналов передачи информации с пути на поезд (наряду с радиоканалом).

По аналогии с системой ETCS/ERTMS, система CTCS имеет несколько уровней. При скоростях движения 200-250 км/ч используется система CTCS-2, где рельсовые цепи применяются для контроля занятости участка и передачи информации на поезд, как в системе TVM.

Система CTCS-3 применяется на скоростях движения свыше 250 км/ч. Основным средством передачи информации на поезд является цифровой радиоканал стандарта GSM-R. Необходимая для каждого поезда информация поступает из центра радиоблокировки (RBC). В обратном направлении с поездов в RBC по радиоканалу передается информация о фактическом местонахождении и скорости движения каждого поезда [8].

Необходимо подчеркнуть, что в системе CTCS уровней 2 и 3 предусмотрено резервирование за счет использования системы нижнего уровня. В системе уровня 2 в качестве резерва используется уровень 0 (РЦ и напольные светофоры с ограничением скорости до 120 км/ч), в системе уровня 3 – уровень 2 (РЦ и активные бализы с возможностью обеспечения скоростного режима 200-250 км/ч). Переход между зонами действия CTCS уровней 2 и 3 и их соответствующими резервными системами происходит автоматически при движении поезда без его остановки [9].

На сети высокоскоростных линий Китая достигнута полная эксплуатационная совместимость. Это означает, что поезда могут беспрепятственно переходить с линий, оборудованных CTCS уровня 2, на линии с CTCS уровня 3 и обратно. Также обеспечена эксплуатационная совместимость бортовых устройств, построенных на разных платформах, т.е. поезда, оснащенные бортовыми устройствами разных поставщиков, могут обра- »»

щаться на линиях с центрами радиоблокировки разных изготовителей.

В преддверии Зимних Олимпийских игр 2022 года в Китае на линии ВСМ Пекин – Чжзанцзякоу протяженностью 170 км было запущено движение поездов Fuxing (Olympic Express) с максимальной скоростью движения 350 км/ч, на которых была реализован режим автоведения, не требующий практического участия машиниста в управлении поездом (АТО поверх CTCS 3). Для обеспечения автоматического режима вождения была построена сеть мобильной связи пятого поколения 5G, обеспечившая непрерывный обмен информацией с ЦУП ВСМ о маршрутах и параметрах движения с возможностью их корректировки в масштабе реального времени сообразно поездной обстановке.

Еще один уровень системы CTCS (CTCS-4) находится в стадии разработки и рассматривается в качестве перспективного варианты системы нового поколения. Он предусматривает реализацию принципа подвижного блок-участка, использование интегрированного навигационного модуля на основе данных национальной спутниковой системы BeiDou и цифровой карты для задач высокоточного позиционирования, применение новых видов беспроводной связи типа LTE-R и 5G для двусторонней передачи ответственной информации между поездом и центром радиоблокировки RBC.

С учетом указанного масштаба внедрения ВСМ в Китае, можно сделать вывод о том, что наиболее распространённой в мире является СУДП ВСМ с двухконтурной схемой управления по радиосвязи и рельсопроводному каналу с использованием в некоторых случаях дополнительных элементов резервирования в виде активных бализ и путевых электронных устройств LEU, увязанных с системами ЭЦ на станциях. Обобщенная структура такой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов показана на Рис. 6.

Таким образом, современные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов на высокоскоростных магистралях характеризуются существенной адаптацией и комплексированием традиционных систем железнодорожной автоматики, включая аппаратуру диспетчерской и электрической централизации, автоблокировки, автоматической локомотивной сигнализации, для обеспечения более высоких скоростей движения поездов, а также гибридизацией схем управления, предполагающей резервирование контура управления по радиоканалу рельсопроводным каналом, для повышения безопасности и живучести систем. При этом стараются добиться максимальной автоматизации функций диспетчерского персонала и обеспечения автоматического управления движением поездов на перегонах и станциях, включая автоматическую установку маршрутов на станциях и автоматический режим вождения поездов на перегонах. В связи с этим большое внимание уделяется системам диагностики и мониторинга с интеллектуальной функцией прогнозирования отказов технических средств и сбоев графика, а также высокопроизводительным средствам мобильной передачи данных с возможностью непрерывного обмена данными между поездом и центром управления для обеспечения функций автоматического режима движения. ■

Список литературы

1. Táuler, Á. High-Speed Rail 2022 Atlas / Á. Táuler, S. Martín, M. Benito. – 4th Edition. – France: International Union of Railways (UIC), 2022. – p. 204.
2. Никитин А.Б. Управление движением поездов на высокоскоростных магистралях: общесистемные требования // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №1. – С. 12-16.
3. Розенберг, Е.Н. Построение систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на ВСМ / Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 34-41.
4. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko (Eds.). – 3rd Edition. – GmbH: PMC Media House, 2020. – 553 p.
5. Озеров, А.В. Европейская система интервального регулирования / А.В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 14-15.
6. Попов, П. А. Интервальное регулирование на основе цифрового радиоканала / П. А. Попов, А. В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 19-22.
7. Озеров, А. В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24.
8. Розенберг, Е.Н. Современные системы управления движением поездов / Е.Н. Розенберг, Е.Е. Шухина, А.В. Озеров, В.М. Малинов. – Электронное издание. – Москва: Издательские решения, 2020. – 210 с.
9. Xue A.W. The new development of CTCS in the intercity railway. / Xue A.W., Cui S, Yan F., Yi H. // Aspect; IRSE; 2015.

УДК: 656.22

Расчет и оценка эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог

Calculation and evaluation of the effectiveness of the use of transportation capabilities of railways

Левин Д.Ю., д.т.н., профессор, АО «НИИАС»; E-mail: levindu@yandex.ru, Москва, Россия
Levin D.Yu., D.ofSci., Professor, JSC «NIIAS»; E-mail: levindu@yandex.ru, Moscow, Russia

Аннотация

Дальнейшее развитие теории расчёта и использования пропускной и провозной способности железных дорог связано с широким использованием имитационного моделирования движения поездов. Новые возможности позволили: на двухпутных участках учитывать все влияющие факторы, на однопутных участках во всем диапазоне непарности движения поездов получать максимальные размеры, впервые определять пропускную способность разветвленных полигонов, установить целесообразность вождения соединенных поездов и установить взаимодействие пропускной провозной способностей. В условиях дефицита пропускной, провозной и перерабатывающей способности особую актуальность представляют оценка существующего уровня и повышение эффективности использования перевозочных возможностей железных дорог.

Ключевые слова: расчет и использование перевозочных возможностей, пропускная и перерабатывающая способность, имитационное моделирование, однопутные и двухпутные участки, разветвлённые полигоны.

Abstract

Further development of the theory of calculation and use of the throughput and carrying capacity of railways is associated with the widespread use of simulation modeling of train traffic. New opportunities allowed: on double-track sections to take into account all influencing factors, on single-track sections in the entire range of unpaired train traffic, to obtain maximum dimensions, for the first time to determine the throughput of branched polygons, to establish the feasibility of driving connected trains and to establish the interaction of carrying capacity. In the context of a shortage of throughput, carrying and processing capacity, an assessment of the current level and an increase in the efficiency of using the transportation capabilities of railways are of particular relevance.

Keywords: calculation and use of transportation capabilities, throughput and processing capacity, simulation modeling, single and double track sections, branched polygons.

»»

Введение

Развитие железнодорожного транспорта определяется инвестициями и научно-техническим прогрессом. На развитие только Восточного полигона в последние годы тратятся триллионы рублей, но отставание развития железнодорожного транспорта на огромной территории страны в послевоенные годы было настолько велико, что на преодоление этого отставания потребуются многие годы.

Научно-технический прогресс постоянно развивается, достигнуты большие успехи в увеличении технических возможностей подвижного состава, сооружений и устройств. Тем парадоксальней выглядит ситуация, когда при дефиците пропускной способности участков и перерабатывающей способности сортировочных станций, их полезное использование не превышает 60–90 %.

Большое значение приобретает умение оценивать реальные перевозочные возможности существующих и проектируемых участков и эффективно их использовать. Оценка реальных перевозочных возможностей позволяет обоснованно планировать объем перевозок и необходимые для этого ресурсы, заключать договорные обязательства на перевозку пассажиров и грузов, выполнять установленные сроки доставки.

Оценка перевозочных возможностей

В существующей Инструкции по расчету пропускной и провозной способности железных дорог ОАО «РЖД» [1] (далее – Инструкция) есть наличная, проектируемая, потребная и результативная пропускная способность. Но, чтобы оценить сложившуюся ситуацию с использованием пропускной способности нет определения (показателя). Поэтому кроме существующих определений целесообразно включить используемую пропускная способность. Это позволит оценивать реальное использование пропускной способности (особенно при дефиците) и организовать работу по увеличению уровня использования. Также позволит из определения наличная пропускная способность убрать факторы, которые надо учитывать при анализе использования пропускной способности.

Первые определения пропускной и провозной способности предложил А.Н. Фролов [2]: «Пропускная способность есть мощность дороги, зависящая от неподвижных устройств и оборудования», «Провозная способность – мощность дороги, зависящая от подвижных элементов, т.е. паровозов и вагонов».

Первые аналитические формулы предложил В.Н. Щегловитов [3] для определения пропускной способности двухпутных участков при телеграфной и жезловой средствах связи. С тех пор много десятилетий незыблемым считается расчет пропускной способности с помощью графика движения и аналитических формул. Несколько поколений специалистов предложенный тогда подход к расчету пропускной способности считали непреложной истиной и не подвергали сомнению [4–13].

Современные определения пропускной способности участка ошибочно содержат утверждение, что она зависит от организации движения поездов (типа графика), но вариантов разработки графика движения поездов чрезвычайно много и каждому из них соответствует своя пропускная способность. Какое же из этих значений принимать за наличную пропускную способность участка? Необходимо устранить противоречие: максимальные размеры движения в графике определяются пропускной способностью, в то время как сама пропускная способность – графиком движения. Это противоречие устраняется ранжированием пропускной способности и графика движения поездов по приоритету. Первичной должна быть техническая характеристика участка – пропускная способность, а график движения поездов – вторичным, т.к. отвечает на вопрос: как используется пропускная способность. В связи с этим, и теория пропускной способности должна иметь самостоятельные направления: расчет, использование и развитие.

Для расчета пропускной способности нецелесообразно использовать существующие аналитические выражения из-за:

- ограниченности сферы возможного применения лишь невысокой загрузкой участка (при высокой интенсивности движения возникает разрыв между «теоретической» и фактической наличной пропускной способностью);
- использования средних величин, геометрических характеристик участка, постоянной скорости движения;
- зависимости от принимаемого типа графика движения поездов;
- линейной зависимости между слагаемыми;
- невозможности учесть многообразие влияющих факторов на поездную работу;
- невозможности учесть несинхронность движения потока поездов (рассматривается движение одиночного поезда);
- невозможности учесть особенности движения поездов различных категорий;
- отсутствия учета взаимного влияния потока поездов, машинистов и участка и т.д.

Появление вычислительной техники вызвало всплеск научных исследований и возникновение принципиально новых возможностей и методов решения многих практических задач. К сожалению, новые возможности не коснулись вопросов расчета пропускной способности. Эти возможности, прежде всего, связаны с использованием имитационного моделирования движения поездов, которое позволяет заглянуть вглубь поездной работы на участках и описать механизм поведения поездопотоков. При этом выявилось, что аналитические выражения не в состоянии описать процесс поездной работы, учесть многообразие факторов, влияющих на движение поездов, и имеют ограниченную область применения, не охватывающую максимальные размеры движения.

Использование имитационного моделирования предоставляет принципиально новые возможности расчета пропускной и провозной способности железных дорог, в котором:

- на двухпутных участках учитывается все многообразие влияющих факторов и особенности движения потока поездов;

- на однопутных участках получаются действительно максимальные результаты во всем диапазоне непарности движения поездов;
- определять пропускную способность разветвленных полигонов и решение большого числа прикладных задач;
- на конкретных направлениях определяется целесообразность и эффективность вождения соединенных поездов;
- учитывается взаимодействие пропускной и провозной способности и достигается увеличение перевозочных возможностей железных дорог.

Использование имитационного моделирования должно стать основой автоматизированной системы расчета пропускной и провозной способности железных дорог, в том числе для составления паспортов участков, направлений, регионов и сети в целом.

Наличие в графиках исполненного движения поездов рассеяния значений вокруг среднего значения характеристик потока поездов свидетельствует о несинхронности движения поездов, которая присутствует даже при свободном движении одиночного поезда и возрастает с увеличением загрузки участка. Основные характеристики несинхронности движения поездов – среднее квадратичное отклонение времени хода, интенсивности и межпоездного интервала. С учетом несинхронности возможны три схемы графиков движения поездов (рис. 1), где

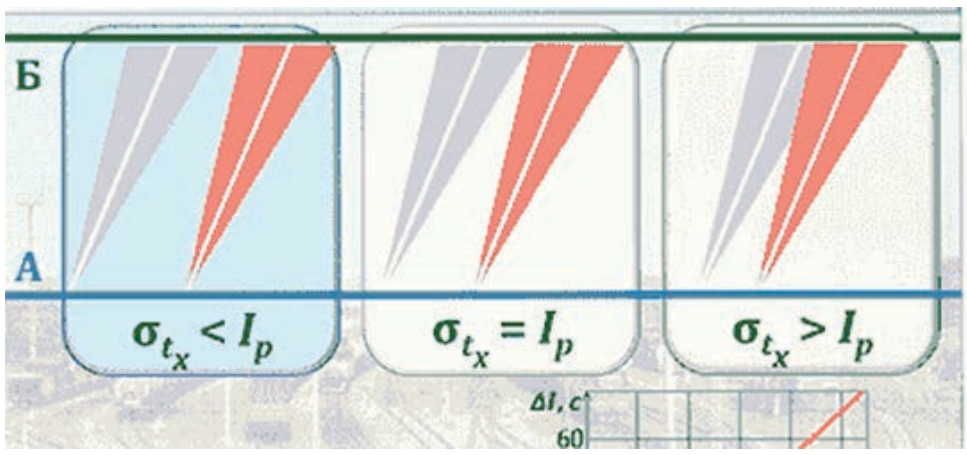
$\sigma_{t_x} < I_р$ – расчетный межпоездной интервал настолько велик, что несинхронность движения не влияет на его фактическую величину, т. е. $I_ф - I_р = \Delta I = 0$ (рис. 1, *а*);

$\sigma_{t_x} = I_р$ – это равенство является границей между $I_ф = I_р$ и $I_ф > I_р$ (рис. 1, *б*);

$\sigma_{t_x} > I_р$ – несинхронность движения вызывает такое влияние поездов друг на друга, что $\Delta I > 0$, т. е. средний фактический межпоездной интервал больше расчетного и интенсивность движения потока поездов на выходе с участка меньше, чем на входе (рис. 1, *в*).

В последнем случае под воздействием несинхронности движения поездов фактический межпоездной интервал на выходе с участка подвергается не только рассеиванию, но его средние значения становятся больше расчетного.

В соответствии с приведенными в Инструкции формулами при существующем путевом развитии и техническом оснащении двухпутных линий наиболее эффективным способом увеличения пропускной способности является снижение межпоездного интервала. Однако практика и исследования показали, что интервал между поездами не может быть уменьшен до сколь угодно малой величины (даже при обеспечении безопасности движения поездов). Кроме этого, при уменьшении межпоездного интервала увеличивается разрыв между реализуемой и наличной пропускной способностью. Существующие методики расчета пропускной способности исходят из геометрических характеристик участка, линейного изменения координат положения поезда на пространственно-временном графике и характеризуют движение одиночного поезда. Это не совсем верно Стохастический характер движения поездов требует учитывать следование не отдельного (одиночного) поезда,



а) *б*) *в*)

Рисунок 1. **Схемы графиков движения с различными межпоездными интервалами**

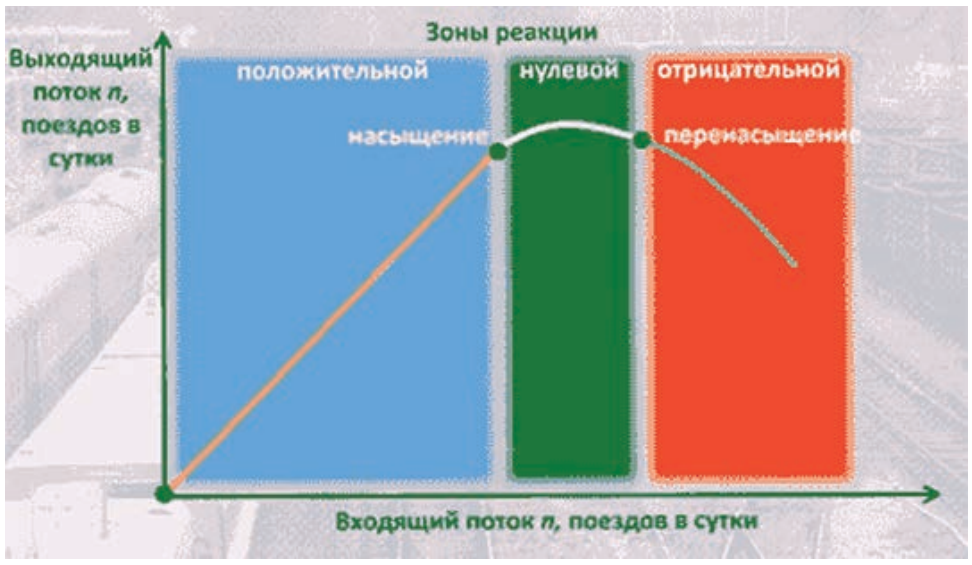


Рисунок 2. **Реакция участка на изменение интенсивности потока поездов**

а группы (потока) поездов; плотность потока (насыщение участка поездами); распределение скорости движения, интервалов между поездами и интенсивности потока.

Выполненными в АО «НИИАС» исследованиями [14] реакции участка на различные размеры движения поездов установлена взаимосвязь интенсивностей входящего потока поездов и выходящего с участка транзитного потока. Полученная зависимость интенсивностей входящего и выходящего потоков приведена на рис. 2. Начальный участок этой зависимости может быть аппроксимирован линейной функцией и соответствует положительной реакции участка на возрастание интенсивности входящего потока поездов, т. е. любое увеличение входящего потока приводит к возрастанию выходящего потока. Участок сохраняет положительную реакцию до тех пор, пока не будет достигнуто состояние насыщения поездами. После этого дальнейшее увеличение интенсивности входящего потока поездов практически не приводит к возрастанию выходящего потока. При достижении состояния перенасыщения любое увеличение интенсивности входящего потока поездов сокращает размер выходящего потока.

Последнее обстоятельство имеет место в тех случаях, когда с ростом числа поездов на участке быстро увеличивается плотность их размещения, следование на зеленое показание светофора все чаще сменяется на желтое и красное, снижается ходовая скорость и увеличивается время хода поездов. Приведенная реакция участка на изменение интенсивности потока поездов (рис. 2) показывает, что увеличение интенсивности входящего »»

потока после достижения точки насыщения приводит к несоответствию пропускной способности, получаемой по формулам в Инструкции и фактической.

Существующие аналитические выражения для расчета пропускной способности на однопутных участках содержат период графика при поочередной смене направления движения поездов. В результате получаются минимальные размеры движения. Потому, что максимальные размеры движения достигаются, когда все поезда следуют с минимальными интервалами в одном направлении. Т.е. для оценки пропускной способности однопутных участков целесообразно иметь весь диапазон размеров движения при коэффициенте непарности от 0 до 1. Существующие аналитические выражения не позволяют на однопутных участках выявить реальное влияние непарности размеров движения поездов на пропускную способность.

Непарность размеров движения носит объективный характер и вызвана многими причинами. Значительное различие профиля пути в четном и нечетном направлениях приводит к разным весовым нормам поездов. И даже, если в обоих направлениях следует одинаковый вагонопоток, для его перемещения при разных весовых нормах требуется различное число поездов. В преимущественно груженном направления составы поездов имеют меньше вагонов, чем в порожнем, что также вызывает непарность движения. На разветвленной сети железных дорог нередко параллельно расположенные однопутные линии специализируют для преимущественного пропуска поездов в одном из направлений.

Непарность характеризуется коэффициентом, определяющим отношение меньшего числа грузовых поездов на направлении $n'_{гр}$ числу поездов другого направления $n''_{гр}$

$$\beta_H = n'_{гр} / n''_{гр}, \ 0 < \beta_H \le 1, \qquad (1)$$

В Инструкции с уменьшением коэффициента непарности сокращаются общие размеры движения поездов на участке. Это связано с недоиспользованием возрастающих межпоездных интервалов вследствие уменьшения числа поездов в одном из направлений для увеличения числа поездов другого направления. Между тем использование освободившегося времени для пропуска дополнительных поездов – крупный резерв повышения общих размеров движения поездов на однопутных участках. На однопутных участках размеры движения поездов тем меньше, чем чаще приходится менять направление движения. Наиболее часто смена направлений на перегонах происходит при парном графике движения поездов, при котором реализуются наименьшие размеры движения, что соответствует точке $n_м$ на рис. 3. При неизменном техническом оснащении на участке и сокращении смен направлений движения за счет увеличения пропуска поездов в одну сторону $n''_{гр}$, т. е. при уменьшении коэффициента непарности, будут расти общие размеры движения поездов $n_\beta = n'_{гр} + n''_{гр}$. Отсюда видно, что увеличение непарности графика на однопутных линиях дает прирост общих размеров движения поездов. Когда необходимо увеличить размеры движения поездов, ускорить следование поездопотока в одном из направлений однопутного участка, надо знать: как увеличение (уменьшение) размеров движения поездов в одном направлении влияет на размеры движения в другом направлении, сколько поездов максимально может быть пропущено в одном на-правлении при пропуске обязательного минимума поездов в другом, каковы максимальные размеры движения поездов в одном и другом направлениях при различных значениях коэффициента непарности.

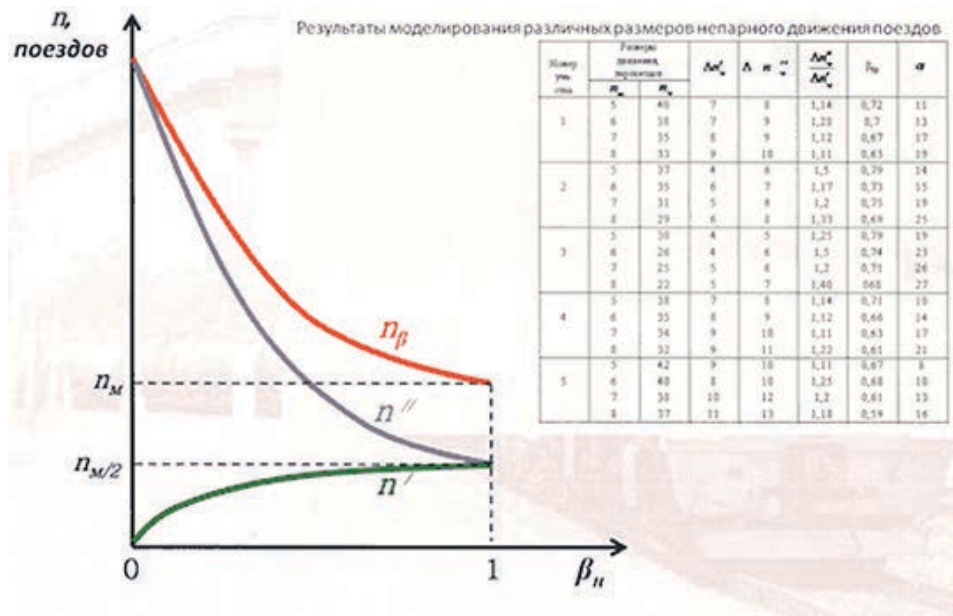


Рисунок 3. **Зависимость размеров движения на однопутных участках n_β от коэффициента непарности $\beta_н$**

Длина блок-участков, определяемая по межпоездному интервалу, на сети железных дорог значительно больше длины, необходимой для обеспечения безопасности движения поездов. Такая расстановка светофоров приводит к занижению наличной пропускной способности участков. Соблюдение расчетного тормозного пути может существенно сократить длину блок-участков и увеличить пропускную способность участков.

В настоящее время на сети железных дорог фактическая максимально допустимая скорость находится в диапазоне от 40 до 90 км/ч. Кроме этого, на участках действует множество сверхграфиковых предупреждений об ограничении скорости. Улучшение состояния пути и реализация максимально допустимой скорости движения грузовых поездов, установленной ПТЭ – 90 км/ч, может позволить увеличить размеры движения на железных дорогах более чем в два раза.

Не менее важной характеристикой участка, чем пропускная способность, является провозная способность, которая оценивает использование размеров, вместимости поездов для перевозки грузов. Провозная способность определяет максимальное количество составов, вагонов, тонн в поездах, которое может быть пропущено на участке за период времени (час, сутки, год) при определенном техническом оснащении инфраструктуры и подвижного состава. Провозная способность позволяет оценить перевозочные возможности железной дороги с помощью величины состава (размера, вместимости) поездов. Размерность провозной способности участка измеряется: млн. т в год; составов/сутки, числом вагонов или тонн груза и определяется формулой »»

$$Г_{max} = \frac{365\,QN_{гр}\,\gamma}{k_н 10^6}, \qquad (2)$$

где Q – средний вес грузового поезда брутто, т; $N_{гр}$ – число грузовых поездов за сутки в данном направлении при реализации максимальной пропускной способности линии (она может ограничиваться пропускной способностью участков, станций или других элементов); γ – соотношение веса грузового поезда нетто и брутто; $k_н$ – коэффициент неравномерности перевозок (отношение средних размеров грузового движения в месяце максимальных перевозок к средним размерам движения за сутки в течение года).

Наибольшее влияние на провозную способность участка оказывают вес, скорость движения поездов и межпоездной интервал

$$Г = \frac{365 \cdot T \cdot V \cdot Q}{60 \cdot S}, \qquad (3)$$

где T – рассматриваемый период времени, мин; V – скорость движения поездов, км/ч; Q – средний вес поездов нетто, тонн; S – межпоездной интервал, км.

Для оценки влияния веса и скорости движения поездов на провозную способность целесообразно использовать функциональную формулу

$$Г = \frac{8760 \cdot Q_{бр}^{ср}(Q_н) \cdot v_х(Q_н)\varphi j}{2l_{ср} + v_х(Q_н)\Sigma\tau}, \qquad (4)$$

где $l_{ср}$ – среднее расстояние между раздельными пунктами; Στ – часть периода графика, включающая станционные интервалы и потери времени на разгон и замедление, ч.

При необходимости увеличения провозной способности необходимо максимизировать значение произведения $Q_{бр}^{ср}(Q_н) \cdot v_х(Q_н)$. Но при этом очень важно учитывать, что между весом и скоростью движения поездов – обратно пропорциональная зависимость. Зависимость между пропускной и провозной способностью при движении поездов с различной весовой нормой при неизменном техническом оснащении участка приведена на рис. 4.

При существующем техническом оснащении оптимальный вес поездов, обеспечивающий максимальную провозную способность участка, определяется по формуле

$$l = 365 n_{гр} \cdot Q_{ср}^{бр}\,\varphi \to \max, \qquad (5)$$

где $n_{гр}$ – наличная пропускная способность участка, поездов в сутки; $Q_{ср}^{бр}$ – средний вес брутто поезда, т; φ – соотношение веса поезда нетто и брутто (в современных условиях φ = 0,76).

Как видно из приведенной формулы, провозную способность участка определяют максимальная интенсивность потока поездов и их средний вес. В свою очередь, обе эти переменные величины являются функциями многих влияющих на них аргументов (профиль пути, длина станционных приемоотправочных путей, мощность локомотивов, ходовая скорость грузовых поездов и т.д.).

Максимальное значение провозной способности достигается наибольшим значением произведения $v \cdot Q_{ср}^{бр}(Q_н)$. Зависимость провозной способности участка от изменения этого произведения (рис. 5) показывает,

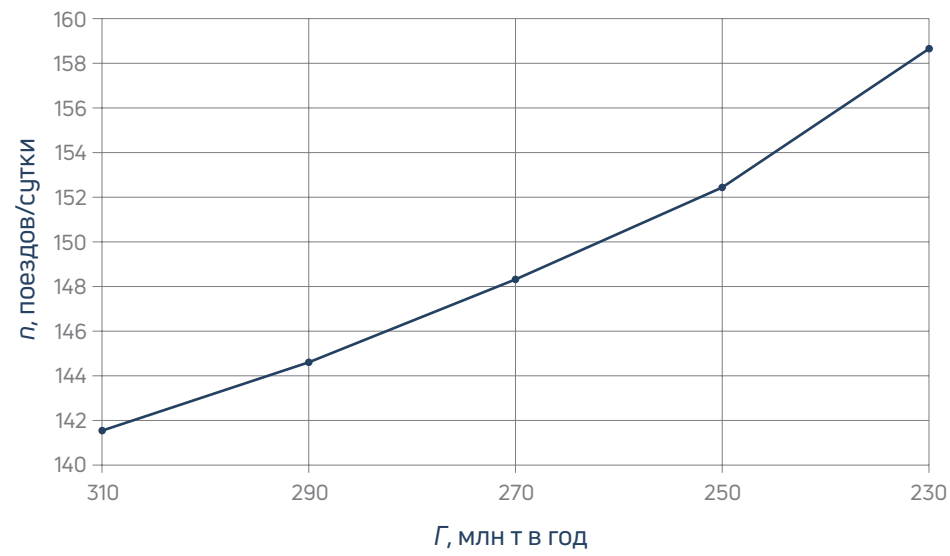


Рисунок 4. **Зависимость между пропускной и провозной способностью участка при изменении весовой нормы поездов**

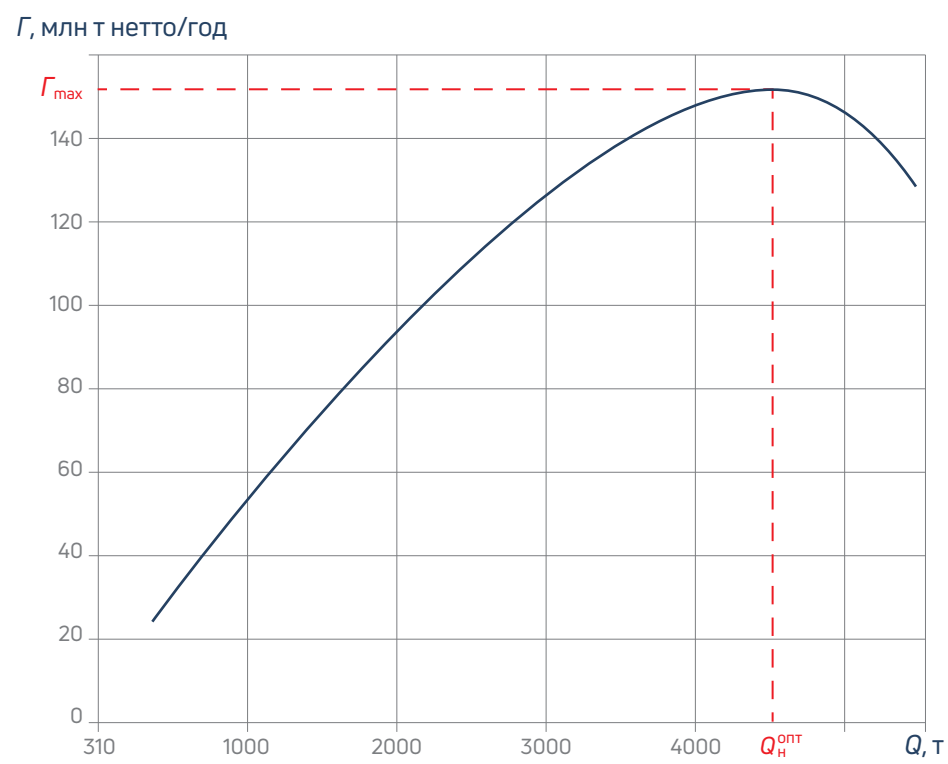


Рисунок 5. **Зависимость провозной способности участка от весовой нормы поездов**

что увеличение среднего веса поезда и соответственно весовой нормы дает больший эффект от прироста провозной способности, чем потери от уменьшения при этом скорости движения поездов. При дальнейшем увеличении весовой нормы потери от уменьшения скорости превышают прирост провозной способности от повышения среднего веса поезда. Таким образом, при высоком уровне использования пропускной способности, несмотря на уменьшение скорости движения поездов есть возможность повысить их средний вес, а вместе с ним и провозную способность, обеспечив освоение возрастающего объема перевозок.

С помощью моделирования движения поездов на ЭВМ выполнены расчеты по установлению влияния вождения соединенных поездов на параметры потока. Преимущества использования модели для этих целей особенно очевидны, если учесть, что эксперименты по пропуску различного числа соединенных поездов в широком диапазоне на реальных железнодорожных линиях невозможны.

В каждом конкретном случае организация движения соединенных поездов должна быть технико- »»

экономически обоснована. При организации регулярного обращения соединенных поездов формирование их целесообразно на технических станциях с мощными струями вагонопотоков и на грузовых, отгружающих массовые грузы маршрутами. Необходимость вождения соединенных поездов возникает при полном использовании пропускной способности.

При рассмотрении изменения интенсивности движения и провозной способности участка при различной доле соединенных поездов установлено, что увеличение числа одинарных составов, объединенных в один поезд, сокращает наличную пропускную способность участка. Так, при одинаковой доле соединенных поездов, равной 10 %, вождение строенных по сравнению с организацией движения сдвоенных поездов снижает наличную пропускную способность на четыре поезда, а вождение пяти составов, соединенных вместе, – на 9 поездов. Кроме того, увеличение доли соединенных поездов также сокращает наличную пропускную способность. Графически эта зависимость представлена в правой части номограммы на рис. 6. В левой части этой номограммы показано влияние организации движения соединенных поездов на использование провозной способности (n'). Таким образом, номограмма на рис. 6 позволяет установить влияние различной доли соединенных поездов на наличную пропускную способность и использование провозной способности. При максимальной интенсивности движения на участке 122 поезда в сутки вождение 20 % сдвоенных снижает наличную пропускную способность на 1,5, а 20 % строенных – на 8,5 поезда в сутки, но при этом провозная способность увеличивается для среднесетевых условий соответственно на 11,4 млн. и 24,5 млн. т грузов в год, или на 19 и 41 одинарный состав в сутки.

По действующей Инструкции расчет пропускной способности железных дорог ограничен нахождением результативной пропускной способности отдельных участков Учитывая большую разветвленность сети железных дорог, наличие параллельных ходов для повышения эффективности эксплуатационной работы, качества планирования перевозок и оптимизации проектирования новых и реконструкции существующих линий важное значение приобретает определение перевозочных возможностей полигонов сети (регионов, дорог и в целом сети). С этой целью целесообразно использовать теорию графов и потоки в сетях.

Задача нахождения максимального потока в любой разветвленной сети является задачей линейного программирования, но поскольку это весьма специальный случай задачи линейного программирования, существуют более эффективные алгоритмы, чем симплекс-метод для общей задачи линейного программирования. Одним из таких алгоритмов является разработанный Л. Фордом и Д. Фалкерсоном метод расстановки пометок, основанный на теореме о максимальном потоке.

Максимальный поток (пропускная способность разветвленного полигона) может определяться с помощью одного из основных понятий теории сетей — разреза. Разрез определяется как множество участков, исключение которых из сети отделяет источник от стока. Как правило,

Рисунок 6. **Номограмма для определения провозной способности (в одиночных составах) в зависимости от доли соединенных поездов α**

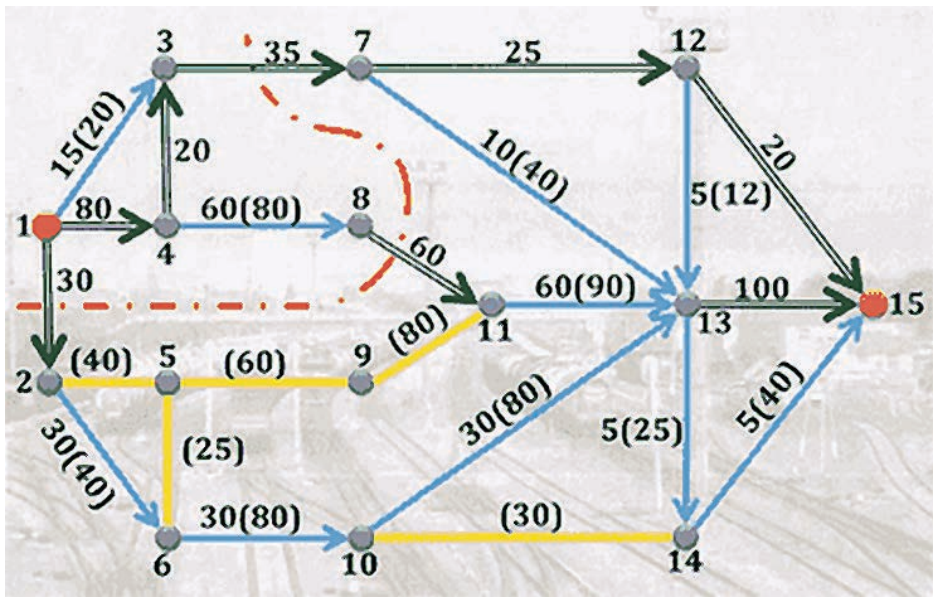


Рисунок 7. **Граф разветвленного полигона**

разрез проходит по участкам с максимальным использованием пропускной способности (штрихпунктирная линия на рис. 7): $n = n_{3-7} + n_{8-11} + n_{1-2} = 35 + 60 + 30 = 125$ поездов.

Сумма наличной пропускной способности участков, входящих в разрез, составляет пропускную способность разветвленного полигона сети железных дорог. Это определение имеет большое практическое значение. Участки, входящие в «разрез»: 3–7, 8–11, 1–2, являются «узким местом» и определяют общую пропускную способность. Поэтому повышение пропускной способности этих участков увеличивает общую пропускную способность.

Понятие разреза имеет большое значение и для оперативного управления потоками поездов. По кратчайшему пути между станциями 1 и 15 (рис. 7) максимально может быть пропущен поток 60 поездов/сутки. В оперативных условиях при временном возрастании потока или уменьшения пропускной способности участков весь заданный поток не может быть пропущен по кратчайшему пути. И тогда возникает вопрос о нахождении промежуточной величины заданного потока между общим максимальным потоком и следующим только по кратчайшему пути. Такие участки выделены в таблице 1. »»

При сменно-суточном планировании с помощью табл. 1 можно проверить:

- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов максимального потока. При превышении, часть поездов должна сдаваться по другим междорожным стыкам;
- не превышает ли заявленная соседними дорогами сдача поездов пропускной способности кратчайшего направления. При превышении, по табл. 1 выбираются кружные пути направления поездов.

Если рассматривать полигон любой дороги, то все они, как правило, имеют более двух стыковых пунктов с соседними дорогами. Тогда все возникающие задачи сводятся к задаче о потоке в сети с несколькими источниками и стоками. Решается задача с одним источником и одним стоком с добавлением одного дополнительного (фиктивного) источника и одного дополнительного (фиктивного) стока. Добавляются новые ориентированные ребра, ведущие из дополнительного источника во все существующие источники, а также ориентированные ребра, ведущие из каждого стока в дополнительный сток и имеющие бесконечно большие пропускные способности. Для нахождения максимального потока на полигоне с несколькими источниками и стоками целесообразно использовать метод, предложенный Гомори – Ху. Основная идея состоит в том, что несколько вершин сети принимаются за одну. Ребра между всеми «сжимаемыми» вершинами получают бесконечную пропускную способность. При этом ребра, связывающие вершину, не принадлежащую к числу сжимаемых, со всеми сжимаемыми вершинами, заменяются одним ребром с пропускной способностью, равной сумме пропускных способностей заменяемых связывающих ребер.

На исходной сети (рис. 8) определен максимальный поток поездов между источниками 1, 2 и стоками 12, 13, 14. Он равен 175 поездам (рис. 8). Разрез для этой задачи проходит по участкам 3 – 7, 8 – 11, 2 – 5, 2 – 6. Сумма пропускной способности участков, входящих в разрез, составляет общую пропускную способность многополюсной сети. Изменение условий задачи на неизмененной сети привело к тому, что увеличение общей пропускной способности обеспечивает повышение наличной пропускной способности на отдельно взятых участках 2 – 5 и 2 – 6 по 15 поездов/сут на каждом.

На стыке интересов участников транспортного рынка возникает проблема эффективного использования пропускной способности, а в условиях ее дефицита – и вопросы ответственности за недостаточное использование.

Повышение уровня полезного использование пропускной способности

Максимальное использование пропускной способности достигается управлением еще только зарождающегося перевозочного процесса, моделированием предстоящей эксплуатационной работы, предвидением и недопущением затруднений.

Таблица 1

Распределение поездопотоков на разветвленном полигоне

Размеры потоков поездов/сут	Дополнительные пути следования потоков	Лимитирующие участки	Увеличение пути следования по сравнению с кратчайшим, км
61–90	1–2–5–9–11–13–15	1–2, 11–13	95
91–110	1–3–7–12–15	1–3, 12–15	170
111–115	1–4–3–7–12–13–15	7–12	230
116–120	1–4–3–7–13–15	13–15	250
121–125	1–4–3–7–13–14–15	3–7	310

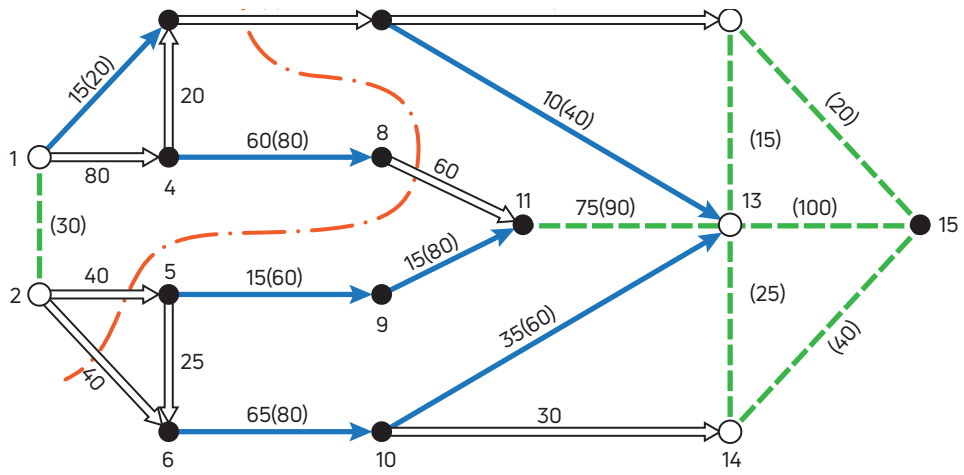


Рисунок 8. **Максимальный поток и разрез на многополюсной сети**

Предстоящий перевозочный процесс зарождается на сортировочных станциях, что определяет возможность в процессе накопления составов управлять поездообразованием, заблаговременно решать многочисленные задачи планирования, оперативного управления и обеспечения эксплуатационной работы железных дорог. Современный пассивный, неуправляемый процесс накопления составов не создает достоверной исходной информации необходимой глубины для оперативного планирования и управления поездной и грузовой работой, регулирования локомотивного парка и организации работы локомотивных бригад, не учитывает возможности своевременного обеспечения сформированных составов локомотивами, обеспечения «ниток» графика движения и насыщения участков поездами, соответствия четных и нечетных поездов в пунктах смены локомотивов, загрузку и условия работы технических и грузовых станций и т.д.

В тоже время технология перевозочного процесса не предусматривает регулирования и управления подводом поездов на сортировочные станции, не обеспечивает своевременного обеспечения сформированных составов локомотивами и отправления поездов со станций и не создает условия для неукоснительного соблюдения технологического процесса работы станций.

Из-за отсутствия управления подвода поездов к станциям коэффициент неравномерности прибытия поездов на сортировочные станции равен 2. На самые крупные отечественные сортировочные станции (Свердловск-Сортировочный, Бекасово-Сортировочное, Орехово-Зуево), перерабатывающие 5–6 составов в час, поезда прибывают в диапазоне от 0 до 10 поездов в час (рис. 9 и 10). Когда прибывает меньше 5 поездов в час, то невосполнимо теряется перерабатывающая »»

способность сортировочных горок. А если больше 6 поездов в час, то возникают простои поездов у входного светофора из-за несвоевременного приема и межоперационные простои вагонов на станции. Межоперационные простои на сортировочных станциях сети железных дорог достигают почти 40 % времени нахождения на станции транзитных вагонов с переработкой и 65 % – транзитных вагонов без переработки.

В результате неравномерности прибытия поездов сортировочные станции работают с избытком вагонного парка, не в оптимальных условиях и замедляют доставку грузов.

Отправленные со станций формирования поезда в пути следования до станций назначения находятся в обезличенном поездопотоке, т.е. каждый отдельный поезд не находится под непрерывным диспетчерским контролем с целью своевременного прибытия на станцию назначения. Уровень выполнения графика движения грузовых поездов – 70 % создает неопределенность времени прибытия поездов на сортировочные станции.

Таким образом, причиной непроизводительного простоя вагонов на сортировочных станциях и невосполнимых потерь перерабатывающей способности сортировочных горок является отсутствие действенного механизма управления подводом поездов к сортировочным станциям и создания оптимальных условий их работы.

Если на сортировочных станциях сравнить моменты завершения накопления составов в течение суток за несколько лет, то мы увидим, что они никогда не повторяются. И само время накопления составов каждого назначения находится в очень широком диапазоне. Колебания продолжительности процессов накопления составов зависят от многих факторов, прежде всего, от изменения среднесуточных и почасовых объемов поступающих вагонопотоков.

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие – последовательность операций и нормы времени на их выполнение. Для эффективного оперативного управления работой станции этого недостаточно. Требуется третья составляющая – создание оптимальных условий работы, а для адаптации к реальной обстановке необходима четвертая составляющая – управление технологией.

Создание сетевой автоматизированной системы взаимодействия станций формирования и назначения поездов, которая позволит непрерывно учитывать, планировать, регулировать и управлять подходом поездов к сортировочным станциям в соответствии с перерабатывающей способностью. Разработка такой системы позволит: ликвидировать невосполнимые потери перерабатывающей способности сортировочных горок, межоперационные простои вагонов на станциях, создать оптимальные условия работы сортировочных станций без содержания избытка ванного парка, задержки поездов из-за неприема станциями.

В сетевой автоматизированной системе предусматривается:

- учет и контроль дислокации всех формируемых поездов назначением на каждую сортировочную станцию;

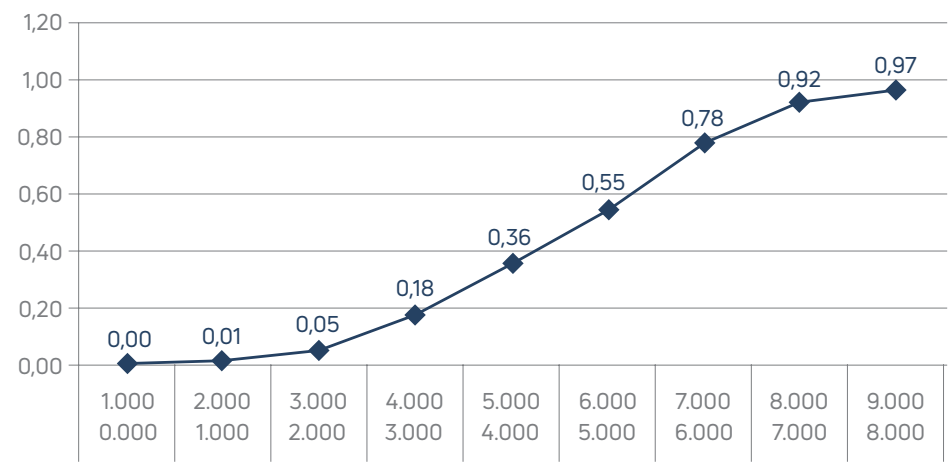


Рисунок 9. **Интегральная кривая распределения почасового прибытия поездов на станцию Бекасово-Сортировочное**

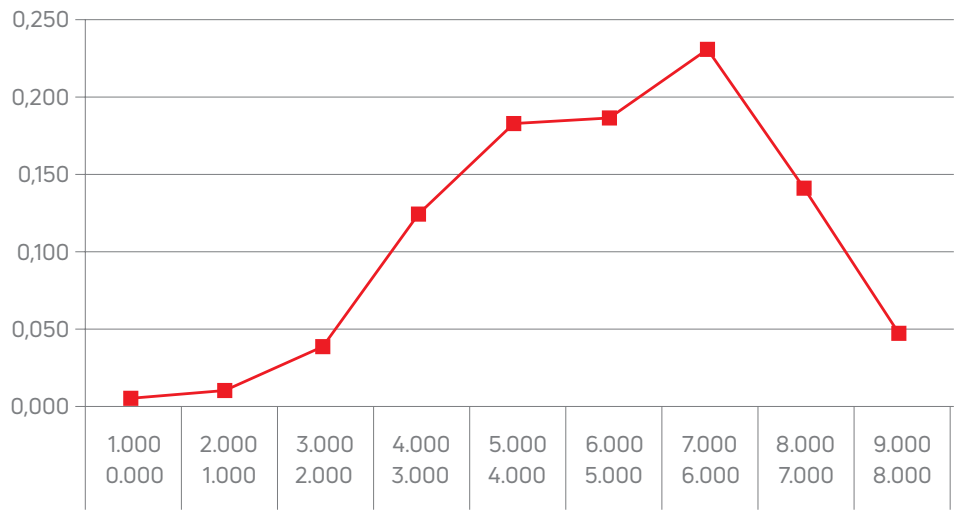


Рисунок 10. **Дифференциальная кривая распределения почасового прибытия поездов на станцию Бекасово-Сортировочное**

- прогноз времени хода (по эталонам) между станциями формирования и назначения поездов и прибытия на сортировочную станцию;
- при отклонениях в ходе перевозочного процесса – своевременная корректировка времени следования и прибытия на сортировочную станцию;
- оперативный учет загрузки сортировочных станций;
- путь следования поездов между станциями формирования и назначения поездов условно делится на часовые пояса (время хода по которым 1 ч), сумма поездов, находящихся в n-ом часовом поясе, оперативно показывает их поступление на сортировочную станцию через n часов;
- сопоставление и оперативное приведение в соответствие интенсивности подвода поездов к сортировочной станции и интенсивности роспуска составов с горки;
- для обеспечения необходимой интенсивности подвода поездов к сортировочной станции применение регулировочных мероприятий;
- качество работы сортировочной станции оценивается режимным графиком (оптимальному режиму работы сортировочных станций соответствует минимальное время нахождения вагонов на станции и соответствующее содержание вагонного парка);
- для реализации системы планирования, управления и регулирования подвода поездов к сортировочным станциям разрабатывается иерархическая структура непрерывного диспетчерского руководства за подходом поездов от станций формирования до станций назначения;

»»

- для создания сетевой автоматизированной системы задача управления подвода поездов к сортировочным станциям формализуется с помощью цепей Маркова (последовательность событий с конечным исходом, где вероятность события зависит только от состояния, достигнутого в предыдущем событии);
- математическая постановка задачи управления подвода поездов к сортировочным станциям с использованием стохастических моделей состояния и управления, что позволит заблаговременно предвидеть возможные затруднения и отклонения и вырабатывать оптимальные управляющие воздействия (регулировочные меры).

Создание системы планирования, управления и регулирования подвода поездов к сортировочным станциям позволит за счет приведения прибытия поездов на станции в соответствие с перерабатывающей способностью сортировочных горок: создавать оптимальные условия работы сортировочных станций, ликвидировать простои поездов из-за неприема станциями, увеличить полезное использование перерабатывающей способности сортировочных горок, ликвидировать межоперационные простои вагонов на станциях, содержать в норме вагонный парк на сортировочных станциях, давать достоверную информацию о подходе поездов за 24–30 ч.

Такая глубина достоверного прогноза прибытия поездов на сортировочные станции позволяет до прибытия вагонов на станции заблаговременно моделировать процесс накопления составов, в ходе которого оперативно оптимизировать организацию вагонопотоков, получать исходные данные для обеспечения и планирования предстоящего перевозочного процесса.

Моделирование процесса накопления составов позволит:

- планировать составообразование;
- заблаговременно определять потребность локомотивов и локомотивных бригад;
- оптимально управлять поездообразованием;
- прогнозировать и заблаговременно сопоставлять число планируемых составов, локомотивов, локомотивных бригад и «ниток» графика движения поездов;
- заблаговременно приводить в соответствие число составов, локомотивов, локомотивных бригад и «ниток» графика движения поездов;
- планировать явку локомотивных бригад в основных депо и отдых в оборотных депо;
- планировать поездообразование и отправление поездов со станций исходя из создания оптимальных условий работы участков, пунктов смены локомотивов и локомотивных бригад;
- заблаговременно «развязывать» железнодорожные узлы (распределять сортировочную работу);
- определять затраты времени накопления при изменении нормы длины и массы поездов;
- оптимизировать очередность роспуска составов с горки;
- при скользящей специализации путей сортировочного парка после их освобождения устанавливать новые назначения составов;
- получать исходную информацию для управления локомотивным парком;
- заблаговременно планировать моменты завершения накопления составов в соответствии с «нитками» графика движения, в том числе при его оперативной разработке;
- в соответствии с планируемыми моментами завершения накопления составов выбирать эффективные назначения среди включенных и не включенных в план формирования и т.д.

Некоторые простейшие из этих задач имеются в действующих АСУ, но эффективность решения всех перечисленных задач во многом зависит от глубины планирования составообразования.

Управление поездообразованием обеспечит единство и взаимную связь всего перевозочного процесса, синхронность работы хозяйств, предприятий, нормативно-технологических документов, выполнение различных технологических операций

Заключение

Предложенный подход реализует возможность оперативного управления поездообразованием, позволяющая оптимизировать число формируемых составов, в соответствии с колебаниями размеров вагонопотоков, возможностью своевременного обеспечения их поездными локомотивами, «нитками» графика движения, созданием оптимальных режимов работы участков и сортировочных станций. Оперативное управление поездообразованием значительно расширяет число задач, решаемых планом формирования поездов, и позволит диспетчерскому аппарату вместо фиксирования прошедших и происходящих событий управлять предстоящей эксплуатационной работой.

Оперативное управление поездообразованием предусматривает:

- моделирование процесса накопления составов еще до прибытия вагонов на станцию;
- создание критериев, расчетных нормативов и методики оперативной корректировки плана формирования грузовых поездов;
- корректировку плана формирования грузовых поездов с учетом колебаний интенсивности поступления вагонопотоков, затруднений на грузовых станциях и других влияющих факторов;
- наличие заблаговременной информации о реальной возможности обеспечения формируемых составов локомотивами и локомотивными бригадами;
- наличие информации о «нитках» графика и возможности отправления поездов;
- • наличие информации о насыщении участков поездами и возможности своевременного пропуска поездов до станции назначения;
- в период предоставления «окон» использование возможностей формирования более дальних назначений поездов;
- при возникновении чрезвычайной (нештатной) ситуации – перераспределение сортировочной работы и направления вагонопотоков. ■

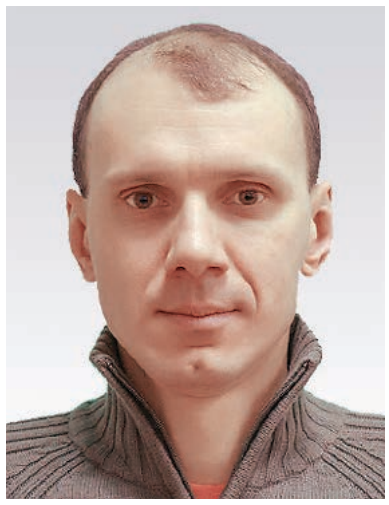
Список литературы

1. Инструкция по расчету пропускной и провозной способности железных дорог ОАО «РЖД». Утверждена Распоряжением зам. Генерального директора ОАО «РЖД» С.А. Кобзевым № 545/р от 04.03.2022, - 342 с.
2. Фролов А.Н. Общие соображения о простое вагонов в сортировочном парке. XX совещательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог 1902 г. Протоколы заседаний и труды. М., 1903.
3. Щегловитов В.Н. Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах. – Варшава.: Типография А.Г. Сыркина, 1909.
4. О'Рурк А.Н. Использование линий, перегонов и подвижного состава. – Л.: Прибой, 1931, - 232 с.
5. Васильев И.И. Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Трансжелдориздат, 1941, - 575 с.
6. Вопросы эксплуатации железных дорог. Труды ЦНИИ МПС. Вып. 1. М.: Трансжелдориздат, 1946, - 130 с.
7. Васильев И.И., Гордеенко И.Я. Организация движения поездов на железнодорожном транспорте. М.: Трансжелдориздат, 1953, - 450 с.
8. Пейсахзон Б.Э. Вес и скорость грузовых поездов. Труды ВНИИЖТ. Вып. 71. М.: Трансжелдориздат, 1957, - 204 с.
9. Пейсахзон Б.Э. Расчеты потребной пропускной способности железных дорог //Вестник ВНИИЖТ, 1961, № 6, С.46-52.
10. Тихонов К.К. Выбор оптимальных параметров эксплуатации железных дорог. М.: Транспорт, 1974, - 192 с.
11. Козлов В.Е., Перминов А.С., Чернюгов А.Д. Повышение веса и скорости движения поездов. М.: Транспорт, 1977, - 65 с.
12. Каретников А.Д., Воробьев Н.А. График движения поездов. М.: Транспорт, 1979, - 302 с.
13. Макарочкин А.М., Дьяков Ю.В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. М.: Транспорт, 1981, - 287 с.
14. Левин Д.Ю., Павлов В.Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. – М. ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2011. – 364 с.

УДК 004.891

Оптимизация маршрутов в вариативной среде

Route optimization in a variable environment



Мордвинов В.А., к.т.н., профессор, РТУ МИРЭА E-mail: mordvin-vlad@list.ru, Москва, Россия
Mordvinov V.A., phD., professor, RTU MIREA, E-mail: mordvin-vlad@list.ru, Moscow, Russia

Матчин В.Т., ст. преподаватель, РТУ МИРЭА E-mail: matchin.vt@gmail.com, Москва, Россия
Matchin V.T., senior lecturer, RTU MIREA, E-mail: matchin.vt@gmail.com, Moscow, Russia

Прокофьев С.Я., магистр, РТУ МИРЭА E-mail: serg.prok477@gmail.com, Москва, Россия
Prokofiev S.Ya., master, RTU MIREA, E-mail: serg.prok477@gmail.com, Moscow, Russia

Романченко А.Е., ассистент, РТУ МИРЭА E-mail: romanchenko@mirea.ru, Москва, Россия
Romanchenko A.E., assistent, RTU MIREA, E-mail: mordvin-vlad@list.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье исследуются методы формирования маршрутов в условиях изменения условий движения или динамической ситуации, окружающей транспортное средство. Эти условия называют условиями повышенной вариативности, а такие маршруты называют вариативными маршрутами. Вариативные маршруты возникают в мегаполисе в условиях нестационарности транспортных потоков, в условиях противодействия движению, в некоторых видах туристического сервиса, когда появляется непредсказуемый интерес к посещению объекта. Особенностью вариативных маршрутов является их непредсказуемость и отклонение от первоначального плана, они характеризуются информационной неопределенностью, и для их формирования и переформирования применяют информационные системы поддержки принятия решений. Для учета и выбора вариативных маршрутов в данной работе использован агентный подход.

Ключевые слова: движение с переменной целью, вариативный маршрут, вариативная среда, оптимизация, принятие решений.

Abstract

The article explores the methods of forming routes in conditions of changing traffic conditions or a dynamic situation surrounding the vehicle. These conditions are called conditions of increased variability, and such routes are called variable routes. Variable routes arise in a metropolis in conditions of unsteady traffic flows, in conditions of counteraction to movement, in some types of tourist services, when there is an unpredictable interest in visiting an object. A feature of variable routes is their unpredictability and deviation from the original plan, they are characterized by information uncertainty, and decision support information systems are used to form and reshape them. To account for and select alternative routes, an agent-based approach was used in this work.

Keywords: movement with a variable purpose, variable route, variable environment, optimization, decision making.

Введение

Формирование маршрутов в условиях нестабильности условий движения транспортного средства является актуальной задачей. Нестабильность условий движения обусловлена либо воздействием внешней среды, либо стохастичностью условий движения. Задача перемаршрутизации возникает также в динамической ситуации, окружающей подвижный объект. Такие условия вариативными и такое движение называют вариативным. Ситуацию с повышенной вариативностью называют вариативной ситуацией. Альтернативой является ситуация движения с неизменяющимися условиями. Маршруты с вариативным движением называют вариативными маршрутами. Подобная ситуация встречается при движении транспортного средства в мегаполисе [1, 2] при наличии пробок и заторов, а также при движении объекта с переменной целью [3].

Движение объекта с переменной целью имеет место при боевых действиях [4], когда истинная цель движения ракеты скрывается от противника и маршрут выбирается в последний момент. Движение объекта с переменной целью имеет место при боевых действиях, когда в процессе движения выясняется наличие и определенное расположение средств противоракетной обороны и возникает необходимость выбора маршрута с минимальным риском поражения. В мегаполисе это соответствует появлению пробок [5] в процессе движения и необходимости их обхода. Ситуация с вариативным траекториями движения встречается в туристических изменяющихся маршрутах. В этих случаях туристы по ходу движения формируют маршрут при появлении потребностей в осмотре новых объектов. Особенностью вариативных маршрутов является то, выбор такого маршрута невозможен с помощью прямого [6] или линейного алгоритма.

В связи с невозможностью применения запланированного фиксированного маршрута решение задачи выбора осуществляют с применением эвристических или мета эвристических [7] методов и алгоритмов. Универсальное решение получают, если для выбора маршрута применяют информационную систему поддержки принятия решений. Следует подчеркнуть, что применяют именно систему поддержки принятия решений (ИС ППР), поскольку она обладает большей гибкостью в сравнении с системой принятия решений. В данной работе исследована и разработана ИС ППР для туристических целей. Анализ аналогов систем показал, что существующие ИС ППР выбора маршрутов и оптимизации в них в основном ориентирована на курьерские задачи. Обычно это доставка курьером корреспонденции по разным маршрутам, которые он выбирает по текущей обстановке, но решает общую задачу доставку набора корреспонденции в разные географические точки.

Авторами выл выбран мультиагентный алгоритм для решения данной задачи. В качестве исходной точки для исследования были использованы клиент-серверные приложения выбора маршрутов. Эти приложения оптимизируют маршруты перемещения. Можно отметить наиболее известные: Яндекс Карты [8], Aurama [9], Google Maps [10], Ponsy [11]. В качестве исходного метода обычно применяют либо алгоритм задачи коммивояжёра [12], либо алгоритм решения транспортной задачи [13]. Особенность данных методов и алгоритмов в том, что они ориентированы на стационарные условия, исключающие вариативность маршрута. Задача коммивояжёра является одиночной. В ней рассматривается один движущийся объект, посещающий разные точки доставки. Оптимизация маршрута состоит в выборе оптимального критерия для одного из маршрутов [14]. Транспортная задача в сравнении с задачей коммивояжера является множественной. В ней существует несколько объектов, доставляющих грузы. В транспортной задаче существует несколько пунктов отправления и несколько пунктов доставки. Объекты доставки функционируют комплементарно [15]. Оптимизация в этом случае более сложная и часто аналитически неосуществимая. Она состоит в нахождении оптимального критерия по всем маршрутам. Коме того, обе задачи требуют стационарных условий в процессе движения. Обе задачи исключают погрешности в условиях движения. Наличие исходной погрешности на начало движения приводит к тому, что якобы оптимальный маршрут на фактически не является оптимальным. Наличие динамической погрешности в процессе движения приводит к тому, что первоначально оптимальный маршрут становится не оптимальным. Предлагаемый авторами метод использует эвристический подход, в частности технологию много агентных систем (МАС) [5, 16]. МАС допускает вариативные маршруты. Предлагаемый авторами метод позволяет решать задачи в условиях, в которых алгоритм задачи коммивояжера или алгоритм транспортной задачи неприменимы.

Анализ типовых решений

В качестве базы исследований были использованы приложения [8-11]. Для обычной и частично вариативной маршрутизации, например, в такси, применяют систему принятия решений «Яндекс.Карты». В августе 2022 «Яндекс.Карты» добавил функцию оптимизации маршрутов, которую обычные пользователи могут бесплатно использовать для построения маршрутов с четырьмя и более точками. Обычно маршрут строится перед началом движения и задача решается решенной, о чем навигатор докладывает «маршрут построен». Это пользовательский вариант приложения, то есть для водителя.

Для диспетчеров (диспетчерский вариант) существует вариант приложения, в котором можно контролировать работу водителей или курьеров. Диспетчерский вариант является динамический, поскольку описывает ситуацию в процессе движения. Оба варианта учитывают пробки путем ввода весов ребер в топологическую модель. Диспетчерский вариант является глобально динамическим, он охватывает всю сеть. Пользовательский вариант является локально динамическим, то есть вносит изменения на ближайший участок по ходу движения, при условии, что такая информация поступила из диспетчерского центра. Оба варианта выполняют оптимизацию до начала движения. В процессе движения они вносят коррекцию в движение, но оптимизацию не проводят. »»

Существует технология геосервис [17], в которую входят рассмотренные выше приложения [8-11]. Геосервис Ponsy [11] предназначен для курьеров и диспетчеров. Поэтому он сложен для обычных пользователей. Для формирования маршрута необходимо ввести большее число данных по сравнению с Яндекс картами. Оптимизация не решается, а решается задача выбора рационального решения (маршрута). Это обусловлено тем. что фактически в этих решениях используют методы дискретного моделирования, в которых оптимальное решение часто заменяется рациональным, а оптимальность заменяется полезностью.

Требование к выбору туристических маршрутов

Выбор туристических маршрутов во многом схож с выбором маршрутов для бомбометания в условия насыщенной ПВО и непредсказуемых ситуаций противника. Различие состоит в том, что при бомбометании возникают точки и районы, которые надо обходить как пробки в мегаполисе, а в туристических маршрутах наоборот возникают точки и районы, которые надо посетить. Математически это одна задача, но с разными критериями. В силу сложности такой задачи нет коммерческих решений и программных продуктов для оптимизации вариативных туристических маршрутов.

Для решения с помощью ИС ППР был проведен анализа, на основе которого были выявлены несколько этапов решения, которые могут служить основой эвристического алгоритма. По мере возможности термин «туристические» исключается для того, чтобы показать универсальность выбора маршрута.

1. Сбор и накопление данных. Он включает сбор данных о возможных объектах посещения. На основе сбора создают базу данных [18], которая используется для анализа и выбора маршрутов. Особенность базы данных состоит в том, что она хранит описание объектов и пространственных ситуаций к ним.
2. Имитационное информационное моделирование. Этот этап имитирует движение на возможных маршрутах, с выделением критериев полезности.
3. Использование эвристически и мультиагентных алгоритмов. Применение эволюционных и генетических алгоритмом, алгоритмов муравьиной колонии, стаевых алгоритмов помогает в выборе оптимального или рационального маршрута.
4. Введение элемента субсидиарности в формирование маршрута оптимизации. Эти алгоритмы помогают учесть динамически меняющиеся факторы, расстояние, стоимость, привлекательность.
5. Использование теории предпочтений. Каждая группа туристов формируется на основе тематики и предпочтений. Теория предпочтений учитывает качественные и количественные факторы в единой системе оценки.
6. Алгоритмизация выбора маршрута.

Дополнительно к этапам были проанализированы методы коррекции и оптимизации. Для оптимизации можно использовать принцип Парето. Этот термин существует официально, хотя официально Парето такой принцип не предлагал, а обнаружил статистическую закономерность (1987), которая послужила основанием для Джозефа Джурана объявить эту закономерность принципов Парето. Метод имеет две основные трактовки. Первая трактовка связана с фильтрацией результата: «20 % сотрудников (или альтернатив принятия решений) дают 80 % результата, а остальные 80 % сотрудников (или альтернатив принятия решений) дают 20 % результата».

Вторая трактовка связана с работой уже выбранных альтернатив. Множеством альтернатив, оптимальных в смысле Парето таково, что это такая совокупность альтернатив (состояний), при котором ни один показатель совокупности альтернатив в определенных границах не может быть улучшен без ухудшения другого показателя. Часто про границы забывают, а на самом деле ценность второй трактовки в том, что она задает границы допустимого изменения, которое не ухудшает общее состояние системы или совокупности альтернатив. «Всякое изменение, которое не приносит ухудшение, а приносит пользу, является допустимым».

Принципе оптимальности Парето позволяет сравнивать альтернативы по нескольким критериям одновременно. Первый Принцип Парето помогает выделить значимые и исключить малозначащие альтернативы. Второй принцип Парето дает возможность изменений без ухудшения рационального или оптимального решения.

Метод топологической точки используют при многокритериальной дискретной оптимизации. Он включает определение точки в топологическом пространстве, которая имеет наименьшую сумму весов (при негативном критерии) относительно альтернатив, обозначенных точками в топологическом пространстве. Альтернативы оцениваются относительно топологической точки и по оценкам их упорядочивают. Этот метод позволяет найти рациональное решение, если оптимальное найти сложно.

Метод квазиоптимального вектора является графическим аналогом метода топологической точки. Параметры точки используют для построения вектора. Вектор стоится как комбинация значений параметров альтернатив. С помощью этой модели можно проводить сравнение альтернатив, выбор оптимального вектора и оценивать отношение альтернатив по отношению к оптимальному вектору. Использование данных методов помогает улучшить выбор альтернативных маршрутов и выбирать туристические маршруты.

Применение муравьиного алгоритма

Для выбора в вариативных условиях применяют мультиагентные алгоритмы. Управление движением такси является слабым аналогом потому, что оно в ходе движения дает детерминированные рекомендации. Реальный алгоритм МАС содержит элемент случайного выбора.

Широко пишут о модели «муравьиного алгоритма» и даже иногда приводят формулу Dorigo [19, 20]. Как справедливо отмечено в [14], эта формула не учитывает все особенности алгоритма и является одним из правил, в дополнение к которому надо вводить свои правила применительно к конкретной задаче и конкретным условиям. »»

В современном понимании «муравьиный алгоритм» или ACO (*Ant Colony Optimization*) относится к интеллектуальным алгоритмам и методам [14]. Он основан на системе эвристических правил. Общая сущность его в том, что он использует два алгоритма – локальный и групповой [21]. С современных позиций «муравьиная колония» есть саморазвивающаяся система, направленная на выживание и развитие. Муравей в терминах моделирования – это агент. Множество муравьев есть мультиагентная система.

Групповой алгоритм использует свойство муравьев наносить феромон на землю для обозначения маршрута при доставке пищи в муравейник. Энтомолог Пьер-Поль Грасс ввел понятие «стигмергия» как обозначение особого вида коммуникации. Эта коммуникация основана на том, что «субъекты стимулируются достигнутыми результатами». Это понятие используют для косвенной, паралингвистической [22] формы коммуникации, Стигмергия реализуется в ACO посредством феромона, который еще имеет свойство испарятся с течением времени. Муравьи чувствуют феромон и следуют тем маршрутом, в котором сравнительно выше концентрация феромона. Этот механизм служит основой глобальной оптимизации при выборе маршрута.

Был проделан ряд экспериментов с реальными муравьями для исследования и описания их как агентов [23, 24]. Были выявлены три основные тенденции: агенты (муравьи) выбирают более короткий путь между источником пищи и колонией, агенты с течением времени выбирают путь к более богатому источнику пищи, агенты следую по маршруту с более высоким содержанием форомона.

Еще раз следует остановится на недостатках модели Дориго. Он дает формулу описания агента, единую для всех агентов. В реальности у муравьев и пчел существуют группы агентов: агенты разведчики; агенты фуражиры (занимающиеся доставкой пищи – основная группа); агенты строители колонии; агенты, опекающие матку. Это минимум четыре группы, которые имеют разные модели поведения и алгоритмы поведения. Дориго дает одну формулу для разведчиков и фуражиров, но не вводит различие при движении к источнику пищи и обратно. Поэтому его формула это всего лишь основа для правила движения и построения более сложного эвристического алгоритма выбора маршрута. Но как модель агента она может быть использован при решении прикладных задач и развитии алгоритма. Агенты в МАС имеют свойство субсидиарности [25], которое обуславливает возможность случайного поведения. Дориго об этом не писал. Заслуга Дориго в том, что он ввел параметр «вероятность выбора маршрута» и правило «перехода между маршрутами».

Разработка модели выбора маршрута

В простом алгоритме ACO применяют две модели агентов, называемые «агент вперед» и «агент назад». Вперед- назад выбирают относительно колонии. Именно эти модели были использованы при выборе алгоритма оптимизации вариативных маршрутов. В дополнении к алгоритму муравьев был введен новый вид стигмергии «новый важный интерес». Он играет роль феромона, но является более «важным», поскольку заставляет агента радикально менять поведение. Проведенные исследования послужили основой разработки, клиент-серверного приложения.

На этой основе в Российском Технологическом университете на кафедре (ИППО) инструментального и прикладного программного обеспечения было разработано программное обеспечение для оптимизации вариативных маршрутов. Дополнение разработанного сервиса по сравнению с сервисами [8–11] является возможность выбора транспортных средств туристом.

Эвристический алгоритм выбора строился на правилах:

1. Среда движения агента есть транспортный граф.
2. Агент занимает узел в сети, с которого выполняет локальный поиск.
3. Агент обладает субсидиарностью.
4. Движение агента происходит с начального узла i, который отождествляют с колонией.
5. Начальное движение происходит от колонии.
6. Стратегическая задача агента состоит в необходимости обойти все «интересующие точки».
7. Промежуточное движение осуществляется от вершины *i* к вершине *j*.Точка *i* называется «точка поиска». Случайная точка *j* называется «точка перебора». Выбранная точка *j* называется «точка выбора».
8. Агент осуществляет локальный поиск, при котором учитывает вес ребра *i–j* и длину ребра.
9. Вес ребра определяется феромоном («обычный интерес») и «новый важный интерес» или отсутствием феромона (интереса).
10. «Обычный интерес» мотивирует штатное движение.
11. «Новый важный интерес» мотивирует вариативное движение.
12. После локального поиска агент двигается из *i* в *j*.
13. После достижения интересующей точки, агент двигается к следующей интересующей точке.
14. Агент ощущает феромоны (информацию о точках возможного посещения) через ребра (возможные маршруты движения).
15. Агент не обладает полной информацией о маршрутах поэтому использует субсидиарное поведение, которое является стохастическим и не мотивировано.
16. В случае обхода всех интересующих точек маршрут заканчивается.

При разработке алгоритма были учтены методы [8–11] и составлен оригинальный алгоритм, описанный выше в 15 правилах.

Была заложена возможность масштабирования алгоритма для разных типов устройств типа смартфоны. Была рассчитана вычислительная и объемная сложность алгоритма. Для оценки типа маршрутов были введены понятия: базовый маршрут, начальный маршрут, промежуточный маршрут, вариативный маршрут. Вариативным маршрутом назвался маршрут, не предусмотренный начальным планом движения. В качестве основной информации были использованы.

- Задавался граф интересующих точек с промежуточными точками (среда движения).

»»

- Задавались интересующие точки обычного посещения туристами (феромоны).
- Задавались длины ребер между всеми точками возможных маршрутов.
- Задавался начальный базовый маршрут по интересующим точкам.
- Задавался уровень «Новый важный интерес» как феромон, который существенно превосходит феромон обычных интересующих точек.
- Производилась оценка начального маршрута с учетом параметров: транспортное средство, время работы транспортного средства, обязательности посещения «интересующих точек».
- По мере движения производится оценка промежуточного маршрута с учетом возможного появления «Нового важного интереса».
- При появлении «Нового важного интереса» производилась перестройка маршрута, которая включала выбор новых транспортных средств и оптимизацию с новыми параметрами.
- Построение маршрута осуществляется с выводом на экран общего времени пути, расстояния и расчеты этих данных по частям маршрута.

В ходе проектирования и моделирования был создан специальный интерфейс для пользователей. Этот интерфейс давал возможность настраивать выбранный маршрут и менять текущий маршрут.

Интерфейс обеспечивает когнитивную поддержку путем создания и использования визуальной модели. Маршрут показан на визуальной модели на компьютере или на смартфоне. Это мобильное приложение и позволяет туристу оперативно отслеживать свое местонахождение и свой маршрут и менять его согласно предпочтениям. На рис.1 показан визуальная модель с «интересующими точками». Слева показан интерфейс пользователя. За основы были взяты карты Яндекс, на которые наложено оригинальное программное обеспечение с оригинальным интерфейсом.

Красным цветом выделена начальная точка, зеленым цветом обозначена условно конечная точка маршрута. Черным цветом обозначены интересующие точки. Маршрут между ними может меняться в ходе движения. Требования к приложению были разработаны с помощью технологии FURPS+ [26]. Разработанное приложение отличается функциональностью, удобством надежностью и производительностью. Оно позволяет выбирать несколько точек на графе (карте); разделять маршрут на несколько частей; проводить постройку маршрута.

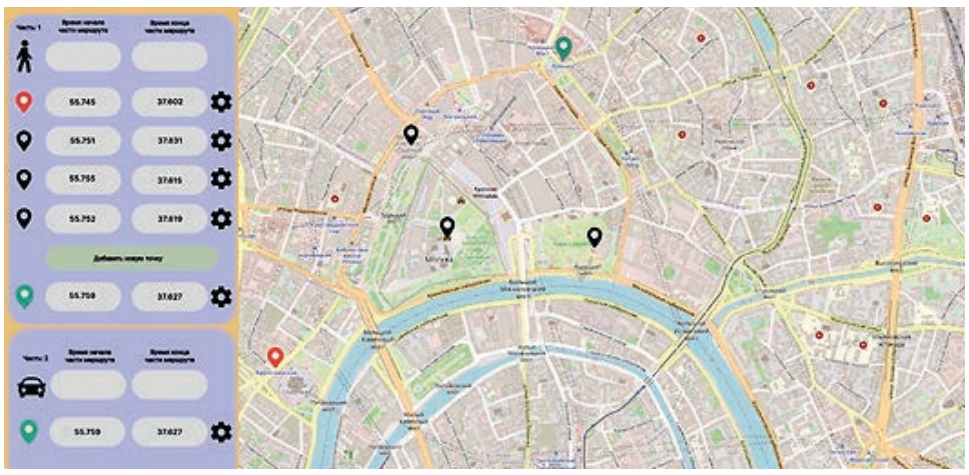


Рисунок 1. **Визуальная модель, помогающая выбирать маршруты**

Приложение обеспечивает резервное копирование; установлена частота сбоев (<раз в месяц). Одновременное количество пользователей достигает 300 человек.

Узким местом приложения является использование карт Яндекса. Эти карты обновляются недостаточно часто. Поэтому при использовании своих карт и своей геоинформационной системы эффективность системы возрастает.

Заключение

Данная система в сфере транспорта применима для оптимизации перевозок в мегаполисе и для мульти модальных перевозок. Система в сфере транспорта применима для оптимизации перевозок при возникновении непредвиденных обстоятельств. Новизной работы является создание вариативного информационного пространства и его использование для маршрутизации. Ее особенностью является возможность подключения когнитивного пространства субъекта к маршрутизации. Она применима при перестройке маршрутов в разных отраслях. Данная система применима при оперативном выборе маршрутов БПЛА. Данная система применима в сфере образования при обучении студентов транспортных вузов и вузов картографического профиля. Данная система применима в сфере образования при обучении студентов экономических специальностей при исследовании решения транспортной задачи и задачи коммивояжера. Она позволяет получать визуальные решения и обсуждать возможные варианты решения этих задач при возникновении проблем с движением. По результатам испытаний на это Приложение получен сертификат Лиги Преподавателей высшей школы. ■

Список литературы

1. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 1(1). – С.27-33.
2. Рогов И.Е. Органический и ситуационный анализ при управлении транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №1 (21). – С.25-33.
3. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2. – 4(8). – С.40-47.
4. Цветков В.Я., Шорыгин С.М. Динамическая информационная ситуация преодоления противоракетной обороны // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014 – № 3 (4). – С.85-100.
5. Рогов И. Е. Применение мультиагентных систем в управлении транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2020. Т.4. – 1(13). – С.26-36.
6. Щенников А.Е. Модели прямых алгоритмов // Славянский форум. – 2017. -4(18). – С.103-109.
7. Цветков В.Я., Козлов А.В. Алгоритм субсидиарной метаэвристики // Образовательные ресурсы и технологии. – 2022. – № 4 (41). – С.87-95.
8. Яндекс. Карты: официальный сайт. – URL: https://yandex.ru/maps (дата обращения: 20.05.23). – Текст: электронный.
9. Aurama mini: официальный сайт. – URL: https://mini.aurama.ru/ (дата обращения: 10.05.23). – Текст: электронный.
10. Google Maps: официальный сайт. – URL: https://developers.google.com/maps/documentation?hl=en (дата обращения: 27.05.23). – Текст: электронный.
11. Poncy: официальный сайт. – URL: https://poncy.su/ (дата обращения: 10.05.23). – Текст: электронный.
12. Калиберда Е. А. и др. «Муравьиный» алгоритм в решении задачи коммивояжера //Прикладная математика и фундаментальная информатика. – 2020. – Т. 7. – №. 2. – С.10-17.
13. Tsvetkov V. Ya. Trade-off transportation problem. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2019. Т. 3. № 435. С.109-113. https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.75
14. Карпова И. П. Об одном биоинспирированном подходе к ориентации роботов, или настоящий «муравьиный» алгоритм //Управление большими системами: сборник трудов. – 2022. – №. 96. – С. 69-117.
15. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24. № 4. – С.103-116.
16. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №6. – С.107-109.
17. Павлов А.И. Геосервис как направление информатики и геоинформатики // Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.7-14.
18. Цветков В.Я. Проектирование структур данных и базы данных – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997. – 90 с.
19. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. An Investigation of some Properties of an" Ant Algorithm" //Ppsn. – 1992. – Т. 92. – №. 1992
20. Dorigo M. et al. Evolving self-organizing behaviors for a swarm-bot //Autonomous Robots. – 2004. – Т. 17. – №. 2-3. – С. 223-245.
21. Козлов А. В. Двух алгоритмическая система управления подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2020. Т.4. – 1(13). – С.37-45.
22. Цветков В.Я. Паралингвистические информационные единицы в образовании// Перспективы науки и образования. – 2013. – 4(4). – С.30-38.
23. Deneubourg J. L. et al. Error, communication and learning in ant societies //European Journal of Operational Research. – 1987. – Т. 30. – №. 2. – С. 168-172.
24. Goss S. et al. Self-organized shortcuts in the Argentine ant //Naturwissenschaften. – 1989. – Т. 76. – №. 12. – С. 579-581.
25. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. – №6. – С.40-43.
26. «Требования к системе: классификация FURPS+»: официальный сайт. – URL: https://sysana.wordpress.com/2010/09/16/furps/ (дата обращения: 18.08.23).

УДК: 528.02; 528.06

Эргатические транспортные системы

Ergatic transport systems

Цветков В.Я., д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj7@mail.ru, Москва, Россия
Tsvetkov V.Ya., Doc.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj7@mail.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье исследуется класс эргатических транспортных систем и раскрывается содержание таких систем. Показаны различия между человеко-машинной системой и эргатической системой по параметрам и областям применения. Даны структурные схемы человеко-машинной системы и эргатической системы. Описаны особенности эргатических транспортных систем с позиций сложных систем и с позиций системного анализа. Основная идея статьи в том, что интеллектуальные транспортные системы и транспортные кибер-физические системы не эффективны в нештатных ситуациях. В этих случаях необходимо использовать эргатические транспортные системы. Интеллектуальные модели и интеллектуальные интерфейсы приводят к созданию интеллектуальных эргатических транспортных систем. Именно эти системы являются дополнением ИТС и ТКФС.

Ключевые слова: транспорт, транспортные системы, эргатические системы. нештатные ситуации, управление.

Abstract

The article explores the class of ergatic transport systems and reveals the content of such systems. The differences between the human-machine system and the ergatic system are shown in terms of parameters and areas of application. Structural diagrams of the human-machine system and the ergatic system are given. The features of ergatic transport systems are described from the standpoint of complex systems and from the standpoint of system analysis. The main idea of the article is that intelligent transport systems and transport cyber-physical systems are not effective in emergency situations. In these cases it is necessary to use ergatic transport systems. Intelligent models and intelligent interfaces lead to the creation of intelligent ergatic transport systems. It is these systems that complement ITS and TCPS.

Keywords: transport, transport systems, ergatic systems. emergency situations, management.

»»

Введение

Эргатическая система является одной из разновидностей сложных систем. Многие сложные системы функционируют при участии человека, но не все такие системы относят к эргатическим. Существует ряд таких систем: человеко-машинные [1,2], организационные [3], технологические [4], автоматизированные [5], информационные, когнитивные, иммерсивные [6–9] интеллектуальные, сложные организационно технические [7]. Эргатическая система является новым этапом развития человеко-машинной системы и качественно от нее отличается.

Эргатические системы (*ergatic systems* – ES) более разнообразны по сравнению с человеко-машинными системами (*man-machine systems* – MMS). MMS можно охарактеризовать как регламентированные системы. ES можно охарактеризовать как когнитивные и субсидиарные системы. В отдельных случаях они являются эвристическими системами. Можно выделить эргатические системы управления, эргатические системы навигации, иммерсивные эргатические системы, эргатические системы в образовании, тренажерные эргатические системы [8], эргатические экспертные системы [9] и другие. Разнообразие функций эргатических систем дает основание выделить группу транспортных эргатических систем. Транспортные эргатические системы это, в первую очередь, ES, предназначенные для управления воздушным, морским, автомобильным и железнодорожным транспортом. Среди перечисленных видов подвижные объекты железнодорожного транспорта являются наиболее регламентированными, то есть они ближе к MMS. К транспортным эргатическим системам относятся системы контроля, навигации и профилактики, в которых важную роль играет человек.

Эргатические системы применяют там, где автопилот или беспилотной управление не работает. Можно дать краткий обзор применения ES. Существуют эргатические системы морского транспорта [10]. Они решают, например, задачи анализа навигационной обстановки штурманом при проходе в узких местах и портовых районах. В таких задачах возникает необходимость применения геометрической или пространственной логики, которая недостаточно формализована и реализуется только человеком. Это мотивирует применять формально-логические [10] и когнитивно-логические [11] подходы. Эргатические системы находят применение в областях, где участие оператора является неотъемлемой частью эффективного функционирования сложных или технических систем. В этих областях существует необходимость оперативно решать проблемы и нештатные ситуации, возникающие в процессе работы. Критические прикладные системы [12] являются одной из разновидностей эргатических систем. В воздушном транспорте эргатические системы возникают в нештатных ситуациях при ведении самолета [13] и при работе диспетчеров. Последнее имеет место и для железнодорожного транспорта.

Эргатические системы применяют там, где возникает информационная неопределенность и так называемые «не-факторы» [14], к которым относят неопределенность, сложность, нестабильность, неоднозначность. Таким образом, исследование и применение эргатических систем является актуальным современным направлением.

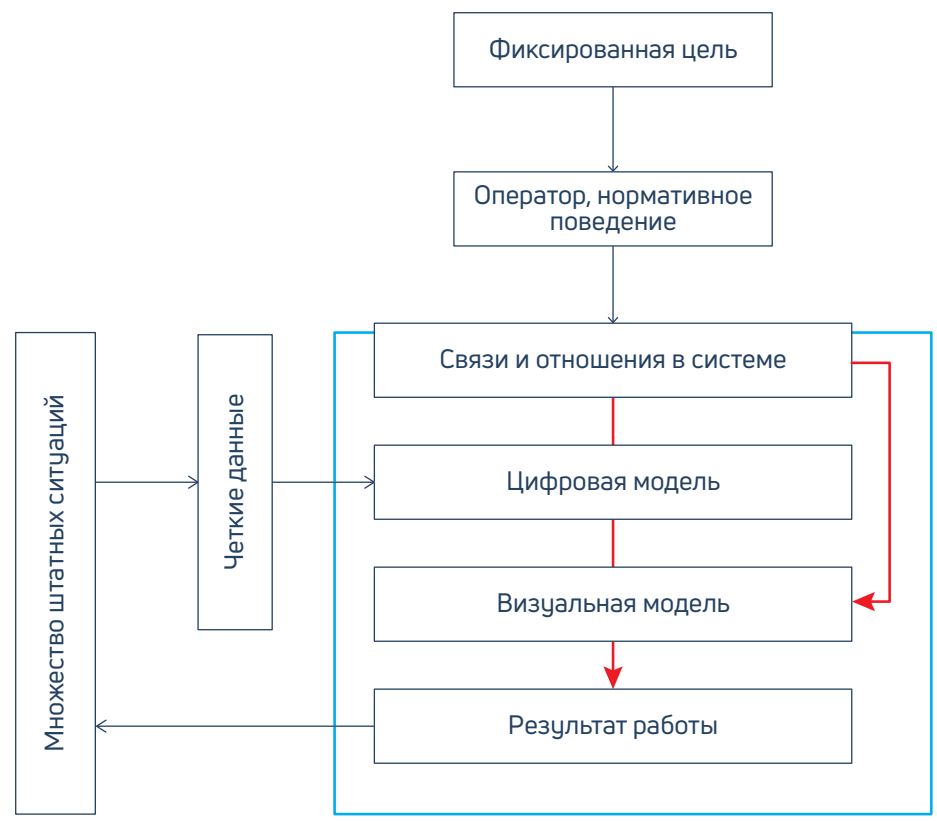


Рисунок 1. **Структурная схема MMS**

Сравнительная характеристика MMS

На первых этапах применения MMS была связана с техникой и этим понятием называли комплекс «человек-техника» [1]. Использование компьютеров расширило понятие до трактовки «человек- компьютер» [2] или «человек – информационная система». Поэтому современные MMS применяют цифровые модели и визуальные модели. В отличие от многих сложных систем, в которых применяют воздействие, в MMS воздействие заменяется на взаимодействие. Взаимодействие может быть техническим (машинист паровоза, водитель городского транспорта) или информационным. Взаимодействие является главным отличием MMS от других сложных систем. На рис.1 приведена структурная схема MMS, построенная с учетом сравнения с ES.

MMS включает следующие составные части: человек, который имеет фиксированную цель и множество инструкций, регламентирующих и одновременно ограничивающих его действие; четкие данные, поступающие от внешней ситуации применения MMS; набор механизмов в виде связей и отношений, задающих систему; набор моделей поддержки (в некоторых MMS отсутствует); результат деятельности. В транспортной области MMS имеет разные реализации: водитель – автоматизированный шлагбаум платной дороги; машинист – поезд в штатном режиме; водитель трамвая – трамвай и другие. Общим для всех систем являются: штатные ситуации (*regular situations* – RS), четкая информация (*clear information* – CI) набор регламентов или правил (*rules* – R). С системных позиций MMS может быть описана как кортеж

$$MMS = F < (CR, Str, RS, CI, R) \wedge (NF = \varnothing) > \quad (1)$$

В выражении (1) CR – связи и отношения в системе, Str – фиксированная структура системы, NF – *not factors* – обозначает «не факторы» или нечеткие факторы. К ним относятся: информационная неопределенность, нестабильность ситуации, неоднозначность трактовки информации, нечеткая информация, сложность ситуации, значимые погрешности. Значимыми погрешностями называем такие которые искажают результат работы MMS и делают его неприемлемым (например, неисправность тормозов, большие люфты в рулевом управлении). Выражение (1) интерпретируется следующим образом MMS – это система, которая функционирует при наличии четкой информации, в штатных ситуациях, согласно ограниченному набору правил, в которой отсутствуют «не факторы».

Сравнительные характеристики MMS и ETS

Эргатическая транспортная система, чаще всего выступает как подсистема в транспортном средстве. Например, рулевое управление и человек образует такую систему.

Эргатические транспортные системы (Ergatic transport systems – ETS) имею ряд существенных отличий от MMS. На рис.2. приведена структурная схема ETS.

Рассмотрим различия по элементам структуры по схемам на рис.1 и рис.2. В MMS цель четкая и одна, в ETS имеется группа целей и допускается существенное изменение цели (например, экстренное торможение или изменение маршрута перевозки к другому потребителю).

В MMS оператор ограничен инструкциями, в ETS оператор действует по инструкциям в штатных ситуациях, но имеет право субсидиарного поведения в нештатных ситуациях. Отсюда вытекает, что сфера действия ETS шире, чем сфера действия MMS.

В MMS оператор чаше всего использует связи и отношения для прямого управления, в ETS оператор через интерфейс, который связан со связами и отношениями. Интерфейс снижает информационную нагрузку на человека и повышает оперативность работы оператора (например, гидроусилитель рулевого управления)

В MMS используют только четкие данные и исключены нечеткие данные, в ETS используют гетерогенные данные (ГД, рис.2), которые включают четкую информацию и допускают определенных пределах наличие нечеткой информации. Отсюда вытекает, что информационная поддержка действий ETS шире, чем информационная поддержка действия MMS.

В MMS используют только детерминированные модели, в ETS используют когнитивные модели, которые в отдельных случаях требуют подключения человеческого интеллекта для решения проблем. Отсюда вытекает, что область принятия решений в ETS шире, чем область принятия решений в MMS.

В обеих системах используют визуальные модели, но разного содержания. В силу наличия интерфейса в ETS применяют виртуальную реальность, дополненную реальность. Смешанную реальность и иммерсивные технологии. В MMS иммерсивные технологии и смешанную реальность не применяют.

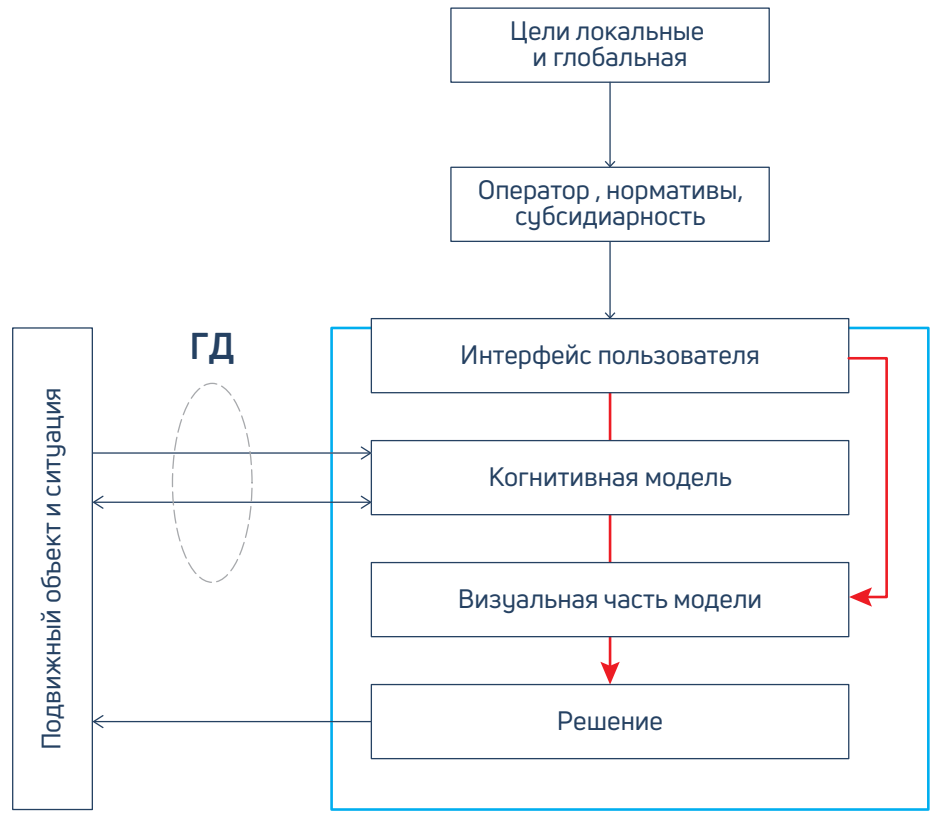


Рисунок 2. **Структурная схема ENS**

В MMS оператор подстраивается под ситуацию, в ETS оператор может подстраиваться и влиять на ситуацию. Отсюда вытекает, что область действия ETS шире, чем область действия MMS. В силу выявленных различий эргатическая система не тождественна человеко- машинной системе.

Человеко-машинная система работает по инструкциям. Например, центр управления городским транспортом сталкивается в основном со штатными ситуациями. Это человеко-машинная система. С нею работает один человек диспетчер. Как альтернативу можно рассмотреть центр управления полетами космических аппаратов [54]. Это эргатическая система, для которой появление нештатных ситуаций ожидаемо и преодолимо. С этой системой работает коллектив операторов центра управления полетами. Для этой системы характерно корпоративное управление, которое уменьшает ошибки отдельного субъекта. В ETS применяют корпоративной управление как средство уменьшения индивидуальных ошибок и средство повышения надежности управления.

Мотивация применения ETS состоит в снятии ситуационной сложности [23] с помощью когнитивных методов анализа и когнитивного управления.

Эргатическая транспортная система обладает свойством эмерджентности. Эмерджентность ETS имеет множество компонентов: интеллектуальный, когнитивный, ресурсный и другие. Это является принципиальным отличием ETS от остальных систем.

Техническая эмерджентность в ETS такая же, как у других сложных технических. Интеллектуальная эмерджентность обусловлена уровнем интеллекта оператора. Чем выше интеллект оператора ETS, тем выше эффективность ее работы, при прочих равных: технических, структурных и информационных характеристиках. Когнитивная эмерджентность обусловлена накоплением опыта взаимодействия и появлением о опера- »»

тора новых возможностей вследствие взаимодействия с системой. Ресурсная эмерджентность обусловлена накоплением моделей взаимодействия и совершенствованием моделей.

С системных позиций ETS может быть описана как кортеж

$$ETS = F2<(CR, VStr, RS, CI, R) \vee (NF \neq \varnothing)> \quad (2)$$

В выражении (1) CR – связи и отношения в системе, VStr –вариативная структура системы, NF – *not factors* – обозначает «не факторы» или нечеткие факторы. К ним относятся: информационная неопределенность, нестабильность ситуации, неоднозначность трактовки информации, нечеткая информация, сложность ситуации, значимые погрешности. Логическое отношение «И» в (1) заменено на логическое отношение «ИЛИ» в (2). Это означает, что ETS допускает наличие «не-факторов». Различие состоит также в связях и отношениях. Для MMS (1) количество связей превосходит число отношений и связи играют главную роль. Для ETS (1) количество отношений превосходит число связей и отношения играют главную роль. Связи задают жесткость и детерминированность, отношения задают гибкость и адаптивность.

Следует отметить особую роль ETS и ES в СОТС. В этих системах они являются подсистемами.

Заключение

Граница между MMS и ETS не всегда четко обозначается. Соотносить системы с MMS и ETS возможно на основе реальной ситуации. Существует качественное и системное различие между MMS и ETS. Приравнивать их как это делается в [14], не представляется корректным.

Необходимость в ETS обусловлена тем, что как показывает опыт, интеллектуальные транспортные системы и транспортные кибер-физические системы, которые хорошо работают с беспилотным транспортом на основе регламентов и правил, становятся не эффективными в сложных, стохастических и нечетких ситуациях. В этом случае решение задач управления подвижными объектами возможно только с помощью ETS. Прогнозы по уменьшению роли человека в эргатических системах не оправдываются [6]. Новые эргатические системы, использующие технологии искусственного интеллекта, требуют от операторов качеств на уровне предела человеческие возможностей. Это ставит задачи разработки специальных интерфейсов, снижающих нагрузку на оператора.

Мало того, для ETS требуется разработка специальных моделей [6, 15], учитывающих их специфику. В целом ETS дополняют интеллектуальные, автоматизированные и кибер-физические системы. эргатические транспортные системы хорошо вписываются в концепцию цифровизации и интеллектуализации. Использование интеллектуальных моделей и интеллектуальных интерфейсов приводит к созданию интеллектуальных эргатических транспортных систем. Именно эти системы являются дополнением ИТС и ТКФС. По видам транспорта ETS могут шире использоваться в воздушном, морском и автомобильном транспорте и меньше в железнодорожном транспорте. Это обусловлено высокой регламентированностью железнодорожных систем. В тоже время как инструмент поддержки, например, при использовании БПЛА, эргатические транспортные системы являются не заменимыми. ■

Список литературы

1. Омельченко А. С. ГИС как человеко-машинная система и семь принципов академика Глушкова // Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. - №3 - С.127-133.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Человеко-машинные системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №3 (19). – С.3-8.
3. Павлов А.И. Сложные организационные системы // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С.54-59.
4. Буравцев А.В. Сложные технологические системы// Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.14-19.
5. Скаткова Н. А. Гарантоспособные технологии реконфигурации автоматизированных транспортно-произодственных систем //Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №. 6. – С.52–57.
6. Sergeev S., Burmistrov I. Immersive media in simulators of complex ergatic systems //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – Т. 337. – №. 1. – С. 012052.
7. Кудж С.А. Развитие сложных организационно-технических систем // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.107-114.
8. Petukhov I., Steshina L., Glazyrin A. Application of virtual environments in training of ergatic system operators //Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – Т. 16. – №. 3. – С. 398-403.
9. Veshneva I. et al. Model of formation of the feedback channel within ergatic systems for monitoring of quality of processes of formation of personnel competences //International Journal for Quality Research. – 2015. – Т. 9. – №. 3. – С.459.
10. Nosov P. S. et al. Development of means for experimental identification of navigator attention in ergatic systems of maritime transport. – 2020.
11. Savnykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Cognitive logic's principles. В сборнике: Artificial Intelligence in Intelligent Systems. proceedings of Computer Science On-line Conference. Сер. "Lecture Notes in Networks and Systems" Zlín, Czech Republic, 2021. С. 288-296.
12. Zverev G. I., Menshikh V. V. Optimizing the selection of combination of alternative functions of ergatic system multifunctional elements // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1479. – №. 1. – С. 012062.
13. Pila J., Kozuba J. Safety of complex aircraft ergatic systems //Transport Problems. – 2019. – Т. 14.
14. Prokopenko E. et al. Intelligent control based on ergatic systems in conditions of incomplete and fuzzy information //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2131. – №. 2. – С. 022101.
15. Obukhov A. D., Dedov D. L., Arkhipov A. E. Development of structural model of adaptive training complex in ergatic systems for professional use //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Т. 327. – №. 2. – С. 022075.
16. Lavrov E. et al. Mathematical models for reducing functional networks to ensure the reliability and cybersecurity of ergatic control systems //2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). – IEEE, 2020. – С.179-184.

УДК: 528.235.1

Обзор геодезических проекций, используемых при создании координатной основы пространственного описания объектов железнодорожной инфраструктуры

Overview of geodetic projections used to create the coordinate basis for the spatial description of railway infrastructure objects

Духин С.В., к.т.н., начальник Научно-технического комплекса, АО «НИИАС», E-mail: s.duhin@vniias.ru, Москва, Россия
Dukhin S.V., Ph.D., Head of Department, JSC NIIAS, E-mail: s.duhin@vniias.ru, Moscow, Russia
Нуйкин А. В., начальник Центра, АО «НИИАС», E-mail: a.nuykin@vniias.ru, Москва, Россия
Nuykin A.V., Head of the Center, JSC NIIAS, E-mail: a.nuykin@vniias.ru, Moscow, Russia
Базлов Ю.А., главный специалист, АО «НИИАС», E-mail: u.bazlov@vniias.ru, Москва, Россия
Bazlov U.A., Chief Specialist, JSC NIIAS, E-mail: u.bazlov@vniias.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье описываются способы проецирования поверхности Земли на плоскость и правила установления зависимости (соответствия) между геодезическими координатами точек земного эллипсоида и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости. Подробно рассмотрены равноугольные проекции, применяемые для решения геодезических задач на плоскости: проекция Гаусса-Крюгера, универсальная проекция Меркатора UTM, равноугольная коническая проекция Ламберта.

Ключевые слова: транспорт, картографические проекции, геодезические проекции.

Abstract

The article describes the methods of projecting the Earth's surface onto a plane and the rules for establishing the relationship (correspondence) between the geodetic coordinates of the points of the Earth's ellipsoid and the rectangular coordinates of the same points on the plane. The equiangular projections used to solve geodesic problems on the plane are considered in detail: the Gauss-Kruger projection, the universal Mercator UTM projection, the equiangular conic Lambert projection.

Keywords: transport, cartographic projections, geodetic projections.

Введение

Достижение целевых параметров развития холдинга Российские железные дороги в последние годы тесно связано с созданием цифровых платформ и технологий, представляющих собой комплексы специализированного оборудования и информационных систем, интегрированные бизнес-процессы и технологические производственные процессы железнодорожного транспорта с целью обеспечения единства представления объектных и процессных моделей для использования всеми участниками процессов, включая производственный персонал, руководство, клиентов и партнеров, поставщиков и потребителей услуг [1–3]. В состав информационно-технологического обеспечения таких бизнес-блоков как строительство, эксплуатация, ремонт и эксплуатация производственной инфраструктуры, организация управления движением, управление тяговыми ресурсами входят современные геоинформационные технологии, в том числе высокоточные методы координатно-временного обеспечения, внедряемые в производственные процессы.

Одним из важнейших назначений применения геоинформационных технологий является использование постоянно актуализируемых и верифицируемых пространственных данных об объектах инфраструктурного комплекса в ходе их проектирования, строительства и эксплуатации, в том числе в качестве информационного обеспечения технологий информационного моделирования (ТИМС). Накопленные в ходе проектных, изыскательских и строительных работ сведения и построенные цифровые модели (цифровые двойники) построенных объектов позволят обеспечить эффективный технический контроль их состояния на всех стадиях жизненного цикла. Внедрение цифровых моделей позволяет вывести эффективность строительных работ на качественно новый уровень, объединить «цифровые паспорта» построенных инфраструктурных объектов в единый информационных ресурс ОАО «РЖД» [4].

Особенностью цифрового представления линейно-протяженных объектов производственной инфраструктуры железнодорожного транспорта является необходимость обеспечения точности, близкой к масштабу 1:1, и в пределе измерений обеспечивающей такой масштаб. Среднеквадратическое отклонение геодезических измерений при выполнении инженерных изысканий для проектирования железнодорожного пути, например, составляет 1 сантиметр. Для создания систем координат, обеспечивающих такие измерения, используются специальные локальные или местные геодезические сети, создаваемые путем сгущения местных региональных геодезических сетей, точности которых значительно (на порядок и более) хуже, чем точности создаваемых сетей. Если размеры измеряемого объекта таковы, что система координат является плоской, то есть не имеет расхождений в измерении расстояний вследствие кривизны земной поверхности, задача решается просто закрепление созданной системы координат на местности путем закладки долговременных реперов. Но и в этом случае в процессе эксплуатации построенного объекта могут возникнуть проблемы вследствие утери опорных реперов или их координат, так как повторное построение специальной реперной сети путем сгущения одной и той же местной региональной сети, даст результат, отличный от первого вследствие низкой точности исходной сети. Если же объект имеет значительную протяженность, необходимо создание такой системы координат, которая учитывает кривизну земной поверхности и не зависит от параметров местных сетей. В противном случае, неизбежно возникают коллизии при попытке стыковки проектных решений различных проектировщиков, а также повторных изысканий [5].

То есть, с учетом вышесказанного, необходимо разработать методику построения специальных геодезических сетей в любом месте земной поверхности, точность которых приближается к абсолютной. Для этого необходимо, прежде всего, определить тип проекции, наиболее подходящий для создания специальных геодезических сетей.

Поскольку поверхность земного эллипсоида не может быть развернута на плоскости без деформаций и разрывов, в геодезии, как и в картографии, применяют различные законы взаимного отображения (проекции) поверхности эллипсоида на плоскости.

В какой бы проекции ни строилось изображение земной поверхности на плоскости, поверхность эллипсоида никогда не может быть развернута в плоскость без растяжения или сжатия площади территории, поэтому при проецировании изображение на плоскости всегда искажено.

При переходе с эллипсоида на плоскость могут искажаться углы, площади, формы и длины линий, поэтому для конкретных целей можно создать проекции, которые значительно уменьшат какой-либо один вид искажений. Искажения всех видов тесно связаны между собой. Они находятся в такой зависимости, что уменьшение одного вида искажения сразу же влечет за собой увеличение другого вида искажений. Например, при уменьшении искажений площадей увеличиваются искажения углов и т. д. При этом, необходимо отметить, что искажения длин вообще невозможно исключить полностью.

При проецировании земной поверхности на плоскость необходимо, чтобы в обязательном порядке были выполнены следующие **требования:**

- изображение территории должно быть непрерывным, без разрывов и перекрытий;
- каждой точке земной поверхности должна соответствовать только одна точка на плоскости.

Для выполнения этих требований в местах разрывов территории производят её равномерное растяжение, а в местах перекрытий – сжатие. В результате этого на плоскости всегда возникают искажения территорий. Полностью избавиться от искажений невозможно, но можно уменьшить их влияние.

Проекции предназначены для отображения объектов, находящихся на поверхности эллипсоида (шара), на плоскость, и устанавливают зависимость (соответствие) между геодезическими координатами точек земного эллипсоида и прямоугольными координатами тех же точек на плоскости. »»

Из данного определения следует, что прямоугольные координаты x и y заданной точки на плоскости можно вычислить по значениям геодезической широты B и геодезической долготы L этой же точки на поверхности земного эллипсоида [6] с привлечением значений параметров принятого земного эллипсоида (большая полуось и сжатие):

$$x = f_1(B, L),$$
$$y = f_2(B, L).$$

Функции f_1 и f_2 могут быть бесконечно разнообразными и поэтому количество проекций может быть неограниченным.

В **математической картографии** подробно рассматриваются различные виды проекций, а также вопросы учета искажений геометрических элементов на поверхности эллипсоида при их отображении на плоскости с целью создания самых различных **карт**: от наиболее точных – **топографических**, до обзорных – **географических**.

По характеру искажений применяемые в картографии проекции подразделяются на: равноугольные, равновеликие, произвольные и равнопромежуточные [8].

Равноугольными (конформными) проекциями называют такие, в которых отсутствуют искажения углов и азимутов линейных элементов, но в них деформируются длины линий и площади.

Равновеликими (равноплощадными) проекциями называют проекции, в которых площади соответствующих областей на поверхности эллипсоидов и на плоскости тождественно равны (пропорциональны). В этих проекциях искажены углы и формы объектов.

Произвольные проекции имеют искажения углов, площадей и длин, но эти искажения распределены по карте таким образом, что они минимальны в центральной части и возрастают на периферии.

Равнопромежуточными называют проекции, сохраняющие длину по одному из главных направлений. Как правило, это проекции с ортогональной картографической сеткой. В этих случаях главными являются направления вдоль меридианов и параллелей.

В качестве **геодезических проекций** [7] предпочтение отдается проекциям, обеспечивающим медленное нарастание в них искажений элементов геодезических построений при постепенном увеличении площади территории. Особенно важным является требование, чтобы в проекции обеспечивалась высокая точность и удобство учета этих искажений, причем по наиболее простым формулам.

По характеру искажений геодезические проекции относятся к классу равноугольных проекций.

Равноугольными (конформными) проекциями называют такие, в которых отсутствуют искажения углов и азимутов линейных элементов. Эти проекции сохраняют без искажений углы (например, между севером и востоком всегда угол должен быть прямым) и формы малых объектов, но в них резко деформируются длины и площади. Следует отметить, что сохранение углов для больших территорий труднодостижимо, и этого можно добиться только на сравнительно небольших участках.

Анализ проекций для решения **геодезических задач** на плоскости (геодезических проекций), получивших наибольшее применение в мировой геодезической практике, показывает следующее:

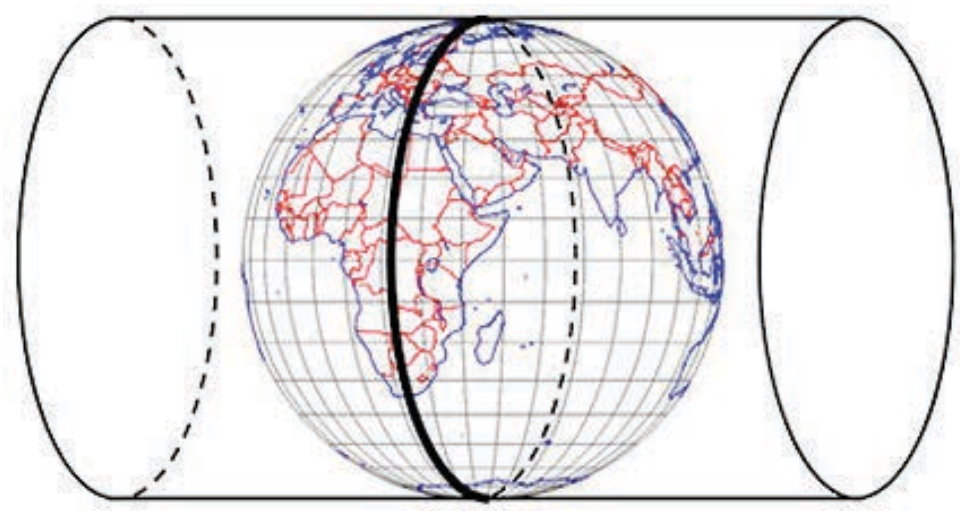


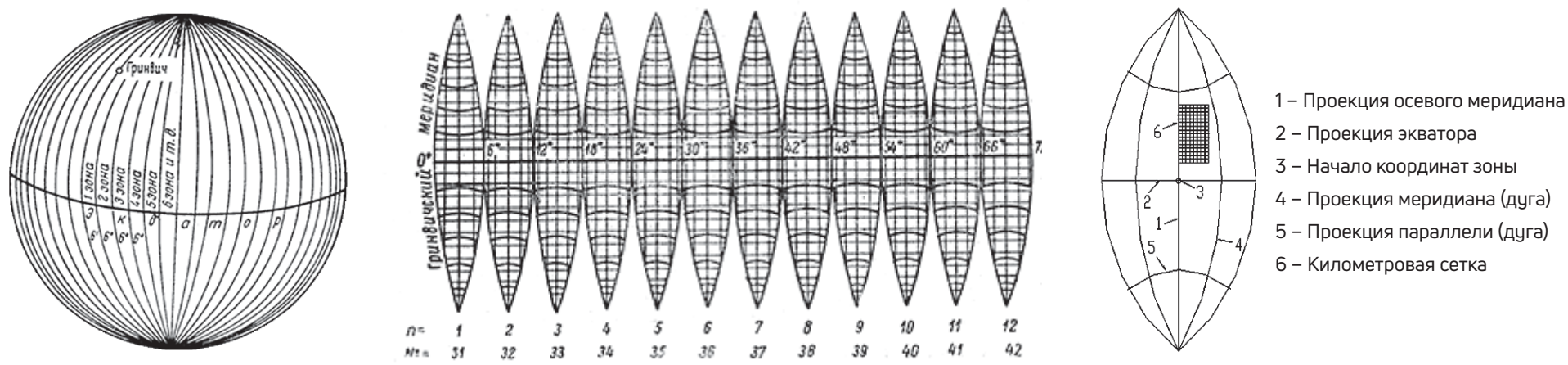
Рисунок 1. **Проецирование поверхности Земли на цилиндр**

- геодезические проекции получают на основе теории равноугольного (конформного) отображения поверхностей, когда частный масштаб длин в точке не зависит от направления и сохраняется подобие бесконечно малых фигур;
- геодезические построения на отдельных объектах и в отдельных государствах, как правило, охватывают небольшие по сравнению со всей площадью Земли территории;
- все геодезические проекции относятся к весьма узкому классу перспективных и симметричных проекций, когда все виды искажений возрастают по мере удаления от линии или точки симметрии;
- в геодезических проекциях по крайней мере один из меридианов эллипсоида на плоскости изображается прямой линией и принимается за одну из координатных осей, в левой системе – за ось абсцисс, и этот меридиан называется осевым меридианом.

В настоящее время в Российской Федерации наиболее широкое применение для создания топографических карт масштабов 1:10 000 – 1:1 000 000 и планов масштабов 1:500 – 1:5 000, а также для обработки геодезических измерений, получила **равноугольная проекция Гаусса-Крюгера** [6,7]. Вообще говоря, и в других странах, как правило, для этих целей применяется та же проекция или система плоских координат, что обеспечивает удобство совместного применения топографических карт, каталогов координат геодезических пунктов и результатов геодезических измерений при геодезическом обеспечении проектирования, строительства и эксплуатации самых различных объектов [7].

Следовательно, топографические карты и планы также имеют искажения и переменный масштаб. Однако эти искажения при измерениях на картах и планах можно считать незначительными, и поэтому считается, что масштаб любой топографической карты и плана для всех ее участков является практически постоянным.

Еще раз подчеркнем, что, благодаря принятой в России единой геодезической проекции, все наши топографические карты и планы связаны с единой системой плоских прямоугольных координат, в которой определяется и положение геодезических пунктов, а это позволяет получать координаты точек в одной и той же систе- »»



а) *б*) *в*)

Рисунок 2. **Деление поверхности земного эллипсоида на шестиградусные зоны**

ме как по карте, так и при выполнении геодезических измерений на местности.

Геометрическую сущность равноугольной проекции Гаусса-Крюгера, применяемой при создании российских топографических карт, можно представить, вообразив цилиндр, который касается осевого меридиана одной из зон земного эллипсоида, расположенного поперек цилиндра (рисунок 1). Цилиндр используется потому, что форма его боковой поверхности приближена на линии касания к форме Земли и в то же время может быть развернута в плоскость без искажений. Отсюда и происходит полное название проекции Гаусса-Крюгера: **равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция.**

Весь земной эллипсоид (в России для проецирования на плоскость преимущественно применяется референц-эллипсоид Красовского) делят на зоны и для каждой зоны в отдельности составляют карты. При этом устанавливают такие размеры зон, чтобы можно было каждую из них развернуть в плоскость, то есть изобразить на плоскости (карте или плане), практически без заметных искажений. Для получения картографической сетки и составления по ней карты в проекции Гаусса-Крюгера поверхность земного эллипсоида разбивают по меридианам, начиная с Гринвичского меридиана, на 60 зон по 6° каждая (рисунок 2).

Зона проецируется по математическим законам на боковую поверхность цилиндра так, чтобы при этом сохранилось свойство равноугольности изображения (равенство всех углов на поверхности цилиндра их величине на эллипсоиде). Затем, поворачивая земной эллипсоид вокруг малой оси, последовательно проецируются на боковую поверхность цилиндра все остальные зоны, одна рядом с другой (рисунок 2*а*). Далее, разрезав цилиндр по образующей и развернув его боковую поверхность в плоскость, получим изображение земной поверхности на плоскости в виде совокупности отдельных зон (рисунок 2*б*).

Осевой меридиан и экватор каждой зоны изображаются прямыми линиями, перпендикулярными друг к другу. Все осевые меридианы зон изображаются без искажения длин и сохраняют масштаб на всем своем протяжении. Остальные меридианы в каждой зоне изображаются в проекции кривыми линиями, поэтому они длиннее осевого меридиана, то есть искажены. Все параллели также изображаются кривыми линиями с некоторым искажением (рисунок 2*в*). Искажения длин линий увеличиваются по мере удаления от осевого меридиана на восток или запад и на краях зоны становятся наибольшими, достигая величины порядка 1/1000 длины линии, измеряемой по карте. Например, если вдоль осевого меридиана, где нет искажений, масштаб равен 500 м в 1 см, то на краю зоны он будет равен 499,5 м в 1 см.

Меридианы и параллели изображаются кривыми, симметричными относительно осевого меридиана зоны и экватора. Осевые меридианы шестиградусных зон совпадают с центральными меридианами листов карты масштаба 1:1 000 000. Порядковый номер зоны (*n*) отсчитывается к востоку от меридиана с долготой 0° (Гринвичский меридиан).

Долготы осевых меридианов шестиградусных зон определяются по формуле: $Ln = 6n - 3$, где n – номер зоны.

Прямоугольные координаты x и y в пределах зоны вычисляются относительно экватора и осевого меридиана, которые изображаются прямыми линиями.

В пределах территории бывшего СССР абсциссы координат проекции Гаусса-Крюгера (*x*) положительные; ординаты (*y*) положительные к востоку, отрицательные к западу от осевого меридиана. Чтобы избежать отрицательных значений ординат, точкам осевого меридиана условно придают значение y = 500 000 м с обязательным указанием впереди условного значения абсциссы любой точки зоны номера соответствующей зоны (*n*) [6,7].

В странах западного полушария для составления топографических карт применяют универсальную поперечно-цилиндрическую проекцию Меркатора UTM (*Universal Transverse Mercator*) в шестиградусных зонах. Проекция Гаусса-Крюгера и UTM – это разновидности поперечно-цилиндрической проекции. Проекция UTM близка по своим свойствам и распределению искажений к проекции Гаусса-Крюгера [6,7].

В отличие от проекции Гаусса-Крюгера, UTM – это проекция на секущий, а не на касательный, цилиндр (рисунок 3*а*). При этом на осевом меридиане зоны реализуется масштабный коэффициент, равный 0,9996. В этой проекции коэффициент масштаба, равный единице, находится не на линии центрального меридиана, а на некотором расстоянии (около 180 км) по обе стороны от него, благодаря чему максимальное искажение в пределах шестиградусной зоны не превышает 0,1% (рисунок 3*б*). »»

Проекции отличаются также нумерацией зон. Центральный меридиан первой зоны UTM имеет долготу 177° з. д. Таким образом, например, 7-я зона в проекции Гаусса-Крюгера соответствует 37-й зоне UTM.

Отличается и порядок записи координат: в проекции Гаусса-Крюгера ось абсцисс направлена на север, а в UTM ось абсцисс направлена на восток, а ось ординат – на север. Во избежание отрицательных значений координат, к значению абсциссы прибавляются 500 000 м, а к значению ординаты в южном полушарии – 10 000 000 м.

К геодезическим проекциям относится и **равноугольная коническая проекция Ламберта.**

Коническая проекция Ламберта, обычно основана на двух стандартных параллелях, что делает ее секущей проекцией. Стандартными параллелями называются параллели касания или сечения, образующиеся в результате касания или сечения поверхности эллипсоида заданной поверхностью (рисунок 4) [8].

Все линии координатной сетки пересекаются под углом 90°. Коническая проекция Ламберта – это равноугольная проекция, поэтому направления, углы и формы сохраняются в бесконечно малом масштабе. Расстояния являются точными вдоль стандартных параллелей. Искажения масштаба, площади и расстояний постепенно возрастают по мере удаления от стандартных параллелей, но одинаковы вдоль любой заданной параллели и симметричны относительно центрального меридиана.

Наилучшие результаты применения равноугольной конической проекции Ламберта получаются при её использовании для регионов (объектов), вытянутых в направлении с востока на запад, расположенных в средних северных или южных широтах. При этом, общий диапазон широт не должен превышать 35°.

Как правило, стандартные параллели проходят на расстоянии одной шестой части широтного диапазона ниже верхней и выше нижней части картируемой области.

На рисунке 5 приведен пример равноугольной конической проекции Ламберта со стандартными параллелями на северном полушарии (слева) и южном полушарии (справа). ■

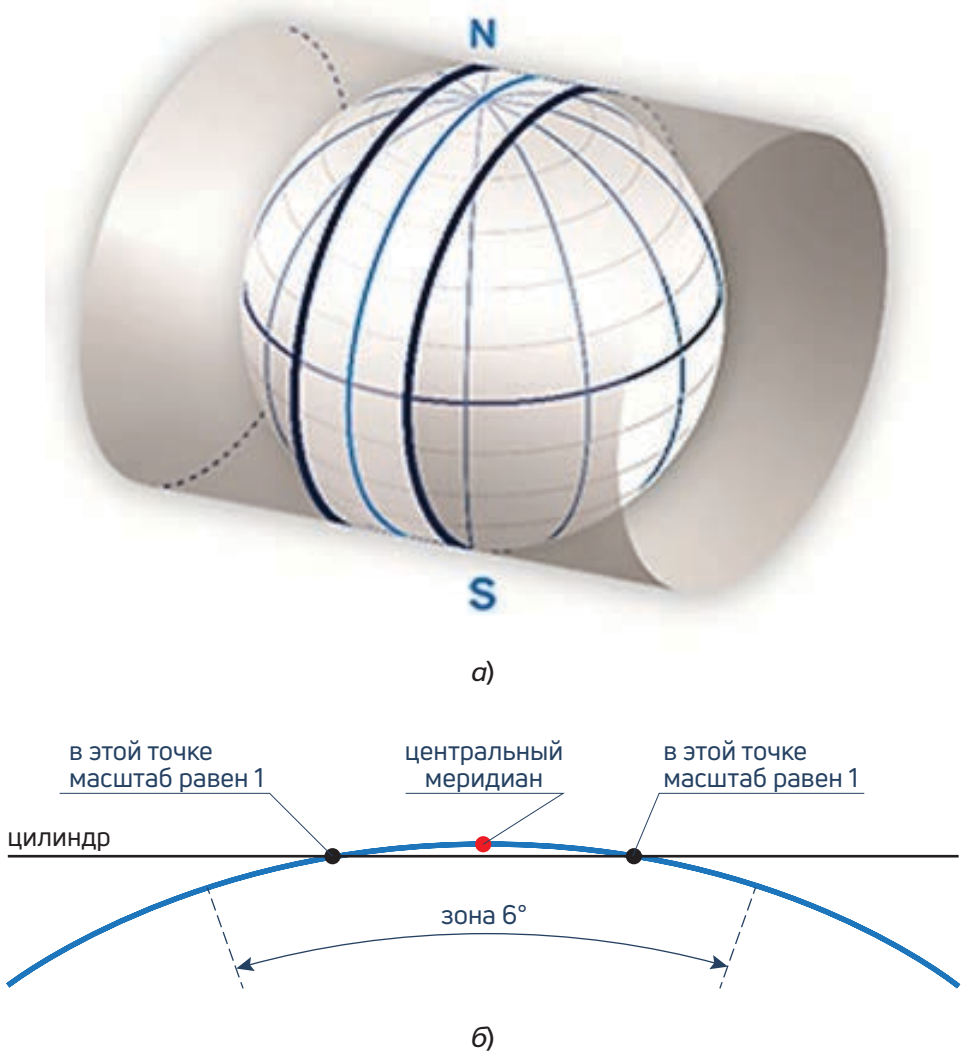


Рисунок 3. **Универсальная поперечно-цилиндрическая проекция Меркатора**

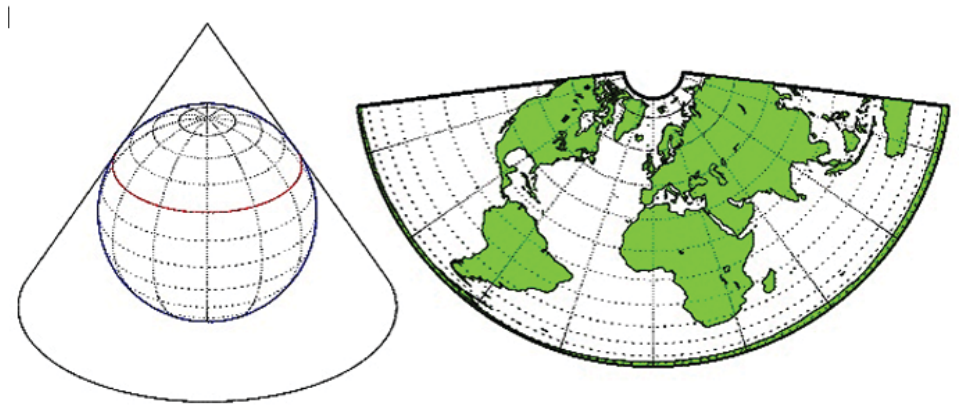


Рисунок 4. **Равноугольная коническая проекция Ламберта**

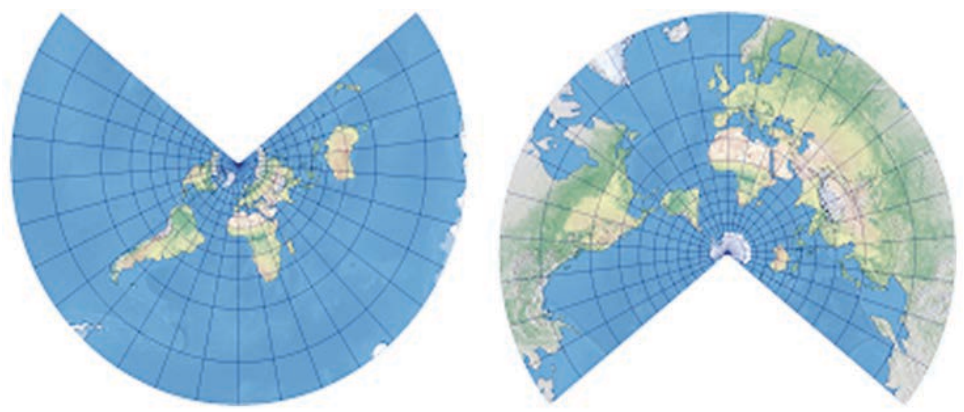


Рисунок 5. **Равноугольная коническая проекция полушарий Ламберта**

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации 19 марта 2019 г. № 466-р.
2. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года («Белая книга»), утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. № 769р.
3. Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года (приложение № 4 к протоколу заседания совета директоров ОАО «РЖД» от 25 октября 2019 г. № 5).
4. Концепция внедрения геоинформационных технологий, в том числе высокоточных методов координатно-временного обеспечения, в производственные процессы строительства, эксплуатации, ремонта и диагностики инфраструктуры, организации движения, управления тяговыми ресурсами. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2976/р 30 декабря 2020 г.
5. С.В.Духин, А.В.Нуйкин, А.О.Куприянов, Е.С.Бекчанова. Разработка высокоточной координатной системы высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург – Бусловская. //Известия высших учебных заведений, раздел Геодезия и аэрофотосъемка, №2, М.: 2013.
6. Л.А.Вахрамеева, Л.М.Бугаевский, З.Л.Казакова. Математическая картография: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1986. – 286 с.
7. Б.Б.Серапинас. Математическая картография. Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
8. О.А.Лебедева. Картографические проекции: Методическое пособие, Новосибирский учебно-методический центр по ГИС и ДЗ, Новосибирск, 2000. – 35 с.

УДК: 528.88; 551.465; 551.463.8; 551.463.6

Методы интерпретации в интеллектуальных транспортных системах

Interpretation methods in intelligent transport systems

Чехарин Е.Е., Зам. начальника Центра, РТУ МИРЭА E-mail: tchekharin@mirea.ru, Москва, Россия

Cheharin E.E., Deputy Head of the Center, RTU MIREA, E-mail: tchekharin@mirea.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье исследуются методы интерпретации, применяемые в интеллектуальных транспортных системах. дается систематика видов интерпретации. Дано современное состояние и тенденции развития интеллектуальных транспортных систем. отмечено влияние проблемы «больших данных» на функционирование интеллектуальных транспортных систем. Описана множественная интерпретация, информационная интерпретация, системная интерпретация, гипотетическая интерпретация, объектная интерпретация, ситуационная интерпретация. Описаны основные правила интерпретации. Показано различие между ситуационной и объектной интерпретацией. Описана эквифинальная интерпретация как инструмент повышения надежности. Описана прямя и обратная интерпретация как инструмент снятия информационной неопределенности. Дана систематика применения методов интерпретации для решения задач интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: транспорт, интеллектуальные транспортные системы интерпретация, искусственный интеллект, информационная интерпретация.

Abstract

The article explores the methods of interpretation used in intelligent transport systems. the systematics of types of interpretation is given. The current state and development trends of intelligent transport systems are given. the influence of the problem of "big data" on the functioning of intelligent transport systems is noted. Multiple interpretation, information interpretation, system interpretation, hypothetical interpretation, object interpretation, situational interpretation are described. The basic rules of interpretation are described. The difference between situational and object interpretation is shown. An equifinal interpretation is described as a tool for increasing reliability. Direct and reverse interpretation is described as a tool for removing information uncertainty. The systematics of application of interpretation methods for solving problems of intelligent transport systems is given.

Keywords: transport, intelligent transport systems interpretation, artificial intelligence, information interpretation.

»»

Введение

Широкое применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1–3], транспортных кибер-физических систем [4], технологий цифровой железной дороги [5], беспилотного вождения [6] – ставит проблему развития технологий интерпретации информации. Термин «интерпретация» трактуется множественно, подобно термину «классификация». Этим термином обозначают результат интерпретации, процесс интерпретации и реже механизм интерпретации. Существуют лингвистическая [7], цифровая [8], информационная [8] и компьютерная интерпретации. Основой обычной интерпретации является лингвистическая. Основой интерпретации в ИТС является информационная интерпретация. При исследовании информационной интерпретации необходимо показать ее сходство и различие с лингвистической и гипотетической интерпретацией.

Информационной интерпретацией называют интерпретацию с применением компьютера и информационных технологий. Такая интерпретация использует идеи лингвистики, перенесенные в информационное поле. В информационной интерпретации компьютер используется только как средство поддержки, например для обработки больших объемов информации или для ускорения процесса анализа. Методической основой информационной интерпретации является лингвистическая интерпретация. Она закладывает основы интерпретации как преобразования на основе рассуждений и анализа. Лингвистическую интерпретацию можно назвать аналоговой как противопоставление цифровой интерпретации.

Информационной интерпретацией называют интерпретацию с построением и использованием информационных моделей и применением методов прикладной информатики [10] при обработке. Цифровая интерпретация есть компьютерная интерпретация с использованием и обработкой цифровых моделей и цифровых карт. Например, цифровой водяной знак в криптографии использует цифровую интерпретацию. Цифровая интерпретация кроме цифровых моделей или цифровых образов может использовать и специальные цифровые методы обработки. Таким образом цифровая интерпретация имеет обязательный признак цифровые модели и дополнительный необязательный признак цифровые методы обработки. Иногда информационную интерпретацию называют цифровой, но это разные понятия и виды интерпретации. Общим для цифровой, компьютерной, информационной и лингвистической интерпретацией является изменение логических построений.

Особенности развития ИТС

В 1980-х годах идея интеллектуальных транспортных систем (ИТС), первоначально интеллектуальных транспортных средств и магистральных систем, родилась у небольшой группы профессионалов в области транспорта, как результат влияния вычислительных и интеллектуальных технологий в транспортной автомобильной сфере. В последние десятилетия ИТС сыграли значительную роль в глобальном мире, и их приложения выходят за рамки дорожного движения. В настоящее время ИТС предоставляет услуги в области управления, а также навигации для железнодорожного, водного и воздушного транспорта. Таким образом первой особенностью ИТС является их применение для навигации, а не только для непосредственного управления.

Рост сервиса ИТС сопровождается ростом обрабатываемых данных и производства большого объема данных. Это приводит к необходимости решения проблемы больших данных [11, 12]. Термин «большие данные» первоначально означал объем данных, который невозможно было собрать, обрабатываются и анализируются традиционными моделями и инструментами баз данных. В современной трактовке «большие данные» – это данные, которые включают структурированные данные, полу структурированные данные и разнообразные данные. Разнообразие обусловлено многими технологиями сбора данных. Аналитика больших данных включает в себя процессы сбора, управления, обработки, анализа и визуализации постоянно меняющихся данных.

Появление больших данных в ИТС становится очевидным благодаря массовому внедрению смарт-карт, глобальной системы позиционирования (GPS), датчиков (датчиков дорожных площадок, датчиков плавающих автомобилей, датчиков большой площади), а также подключенных и автономных транспортных средств (CAV) и других источников. Оборудование для мониторинга, такое как камеры и придорожные датчики, устанавливается в городах для сбора данных. Подключенные автомобили обмениваются информацией с другими устройствами и дорожной инфраструктурой. Люди используют социальные сети и навигационные системы. Все эти и многие другие транспортные средства генерируют огромный объем данных.

Генерируемые данные будут продолжать расти в размере и сложности, а рост автоматизации приведет к дальнейшему увеличению производства данных. Многие алгоритмы ИТС успешно применяют для прогнозирования транспортных потоков, прогнозирования времени движения, распознавания дорожных знаков, обнаружения происшествий, оптимизации и обеспечения безопасности транспортных средств и дорог. Эти подходы в первую очередь можно разделить на параметрические и непараметрические методы. Одним из средств работы с большими данными в ИТС являются технологии и методы их автоматической интерпретации. Особенностью ИТС является применение технологий субсидиарности [13, 14], поскольку ИТС способна принимать решения независимо от человека. В то же время эта технология используется как средство снятия информационной неопределенности.

Информационная интерпретация

Интерпретация может быть рассмотрена как информационный вероятностный морфизм [15]. Интерпретация может быть утвердительной, вероятностной и ги- »»

потетической. Информационная интерпретация может быть рассмотрена как отображение исходного множества данных (DS) на множество известных понятий (CS) или дескрипторов. Она включает условия (1)

$$x \in DS;\ y \in CS, \qquad (1)$$

и информационную интерпретацию (2)

$$x \rightarrow y, \qquad (2)$$

В выражении (2) x – исходные данные или интерпретируемый образ, y – результата интерпретации. При этом подразумевается выполнение нескольких правил. Первое правило допускает множественные интерпретационные преобразования. Второе правило требует наличие семантического соответствия. Это означает, что x, y могут иметь разную морфологию, но соответствие по содержанию (sem).

$$x_0(sem) \rightarrow x_1\ (sem) \rightarrow x_2(sem) \rightarrow x_n\ (sem) \rightarrow y = sem, \qquad (3)$$

Выражение (3) показывает множественные интерпретационные преобразования и означает, что разные морфологические преобразования не меняют содержание. Это допустимо е условие интерпретации. Третье правило допускает множественную интерпретацию

$$x \rightarrow y_1(sem_1) \vee y_i(sem_i) \vee y_n(sem_n), \qquad (4)$$

Выражение (4) показывает множественную интерпретацию или альтернативную интерпретацию. Это означает, что при наличии информационной неопределенности возможно наличие нескольких интерпретационных смыслов semi, которые дополняют друг друга. Четвертое правило допускает возможность визуальной интерпретации, то есть визуального представления интерпретационного образа. Информационная интерпретация делится на образную и ситуационную. На рис.1 показана схема объектной интерпретации.

Объектная интерпретация применяется реже и для анализа. Чаще применяют ситуационную интерпретацию. На рис.2 показана схема ситуационной информационной интерпретации.

Ситуационная интерпретация является более полной. Она показывает характеристики объекта, его место в ситуации и связи между объектами. В ИТС информационная интерпретация заменяет человеческий анализ и повышает оперативность решений. Информационная интерпретация применяется при автоведении [6] и в транспортных кибер-физических системах [4].

Гипотетическая интерпретация

Гипотетическая интерпретация (ГИ) является частным случаем информационной интерпретации с включением в нее логических закономерностей. При ГИ говорят о гипотезе интерпретации. Под гипотезой интерпретации GI понимается такой механизм интерпретации B, что

$$(B(o) \rightarrow GI) \equiv 1.$$

Механизм интерпретации B(o) показывает, что существует объект (o) к которому применяют механизм B. Это порождает гипотезу. Гипотеза GI называется полной и однозначной гипотезой интерпретации, если она есть конъюнкция переменных x, называемых интерпретантами.

$$GI = Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge\wedge x_n),\ i = 1 \ldots n \qquad (5)$$

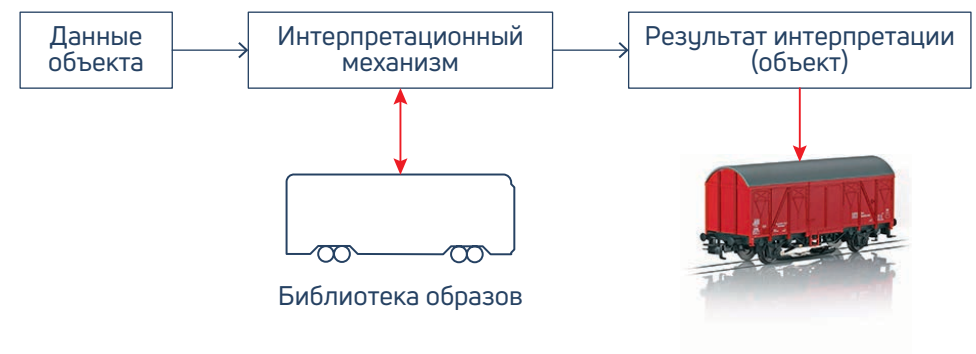


Рисунок 1. **Объектная интерпретация**

Рисунок 1. **Объектная интерпретация**

В выражении (5) Fc есть интерпретирующая функция, то есть сами по себе интерпретанты не дают интерпретацию, а играют роль основания интерпретации. Выражение (5) трактуется так: интерпретация GI является определенной и однозначной.

Один интерпретант или небольшая их совокупность является недостаточной, но необходимой частью комбинации интерпретантов, которая приводит к получению результата интерпретации. Интерпретант должен появляться в комбинациях с другими интерпретантами. Совокупность интепретантов, которая позволяет получить полную и однозначную гипотезу интерпретации (5), называет целостной совокупностью интерпретантов.

После отбрасывания любого из интерпретантов в целостной совокупности GI перестает быть полной и однозначной гипотезой интерпретации и становится гипотезой неполной интерпретацией GIu.

$$GIu = Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge\wedge x_m)\ (1),\ i=1 \ldots m;\ m<n, \qquad (6)$$

Запись (6) трактуется так: интерпретация GIu содержит информационную неопределенность или GIu описывает информационную неопределенность. Гипотеза GIu также может использоваться для частичной интерпретации. Совокупность GIu может приводить к построению полной и однозначной гипотезой интерпретации.

Гипотеза интерпретации называется множественной GIm, если целостная совокупность интерпретантов допускает неоднозначность. В этом случае имеет место

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge\wedge x_n) \rightarrow GIm_1 \vee GIm_2 \vee GIm_3 \vee\vee GIm_J, \qquad (7)$$

Запись (7) читается как: целостная совокупность интерпретантов приводит к совокупности допустимых гипотез интерпретации в разных сочетаниях. Гипотеза интерпретации называется альтернативной Gia, если имеет место

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge\wedge x_n) \rightarrow GIa1 \oplus GaI2 \oplus GIa3 \oplus\oplus GIaJ, \qquad (8)$$

Запись (8) читается как: целостная совокупность интерпретантов приводит к одной из альтернативных гипотез интерпретации. Например, если куплен билет, то субъект поедет либо на воздушном, либо на железнодорожном, либо на автомобильном, либо на речном транспорте. »»

Гипотеза интерпретации называется эквифинальной GIef, если разные целостные совокупности интерпретантов приводят к общей гипотезе

$$Fc(x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4 \wedge\wedge x_m) \rightarrow GIef \quad (9)$$

$$Fc(y_1 \wedge y_2 \wedge y_3 \wedge y_4 \wedge\wedge y_m) \rightarrow GIef \quad (10)$$

$$Fc(z_1 \wedge z_2 \wedge z_3 \wedge z_4 \wedge\wedge z_m) \rightarrow GIef \quad (11)$$

В выражениях (9–11) показаны разные наборы интерпретантов и разные интерпретирующие функции, но результат интерпретации является одинаковым. Такой механизм интерпретации применяют в экспертизе и криминалистических доказательствах. Он подтверждает надежность интерпретации. В этом случае гипотетическая интерпретация переходит в категорию утвердительной интерпретации. Гипотетическая интерпретация принимается в системах поддержки принятия решений и в ситуационных центрах.

Прямая и обратная интерпретация

Одним из средств верификации и уточнения гипотетической интерпретации является прямая и обратная интерпретация. Прямая интерпретация связана с отношением «причина (*cause*) – результат (*result*)», обратная с отношением «результат – причина». Для этой цели применяют прямую и обратную импликацию. Для прямой интерпретации применяют прямую импликацию

$$C \rightarrow R. \quad (12)$$

Для обратной интерпретации применяют обратную импликацию

$$C \leftarrow R. \quad (13)$$

Такие интерпретации часто применяют в причинно-следственном или каузальном анализе и в криминалистике. Они показывают направление следования. Соответственно, такие интерпретации называют причинно-следственными. Во многих исследованиях узкое понятие «причина» заменяют на широкое понятие «объект интерпретации». Такие интерпретации называют объектными. В этом случае для прямой интерпретации применяют описание

$$O \rightarrow R. \quad (14)$$

Для обратной объектной интерпретации применяют аналог (13)

$$O \leftarrow R. \quad (15)$$

Объектами интерпретации могут быть события, факты, множества, переменные, совокупности, функции, конструкции, включая информационные конструкции. Результатом интерпретации может быть значение, утверждение, вывод, парадигма.

Информационная конструкция [16] занимает особое место в интерпретации. Как модель она является объектом интерпретации. Как алгоритм она служит механизмом интерпретации. Как результат интерпретации информационная конструкция может принимать разные формы: структура, закономерность, закон, вывод.

Часто интерпретация является многошаговой. В этом случае на каждом шаге выделяют причину и следствие или объект результат. Отношения между причиной и следствием на каждом шаге легче проследить логически и аналитически, они помогают контролировать третьи факторы и могут быть легче подтверждены экспериментальными данными и общими законами покрытия. Прямая и обратная интерпретация могут быть оппозиционными [17, 18].

Системная интерпретация

Применение системного подхода приводит к системной интерпретации. Системная интерпретация – это интерпретация, построенная с использованием системного подхода. Ее применяют для интерпретации объектов, которые относят к системам, например поезд. Ее применяют для интерпретации ситуаций, (рис.2) в которых могут протекать системные процессы.

Любая прикладная или сложная система может быть рассмотрена как причинный механизм. Можно ввести понятие интерпретационная сложная система *ISYS*. На практике простые интерпретации встречаются редко и большинство интерпретаций попадают в категорию сложных систем.

Интерпретационная сложная система *ISYS* осуществляет интерпретацию или функциональное преобразование входного множества параметров объекта (интерпретантов) *X* на выходное множество результатов интерпретации *Y*. Входное множество *X* можно рассматривать как набор интерпретантов. Выходное множество *Y* можно рассматривать как результаты интерпретации. В системном представлении это будет соответствовать выражению.

$$ISYS: X \rightarrow Y \quad (16)$$

С позиций интерпретационного анализа это выражение означает, что совокупность фактов *X* с помощью процесса интерпретации, обозначенного стрелкой, преобразуется в выходное множество *Y* – совокупность интерпретаций. В этом выражении *ISYS*: – механизм интерпретации. Стрелка показывает направление интерпретации. Это выражение является альтернативой выражению (5), в котором описана функциональная интерпретация. Выражение (16) описывает системную или теоретико- множественную интерпретацию. Оно является общим по отношению к (9). В нем по иному показан механизм интерпретации

При обработке информации выражение (12) имеет место и алгоритм в общем случае может быть рассмотрена как причинный механизм *ISYS*. В процессе обработки информации выделяют входные x и выходные y переменные. Если рассматривать алгоритмическую интерпретацию, то она дает один результат и должна быть видоизменена.

Входные переменные факты (*x*) можно рассматривать как исходные данные, выходные переменные y можно рассматривать как интерпретанты или результат интерпретации. Логическое следование между входными переменными x и выходными переменными y записывается при помощи прямой импликации

$$IAL: x \rightarrow y. \quad (17).$$

Выражение (17) является аналогом выражения (16). Оно означает, что входные переменные *x* (факты) преобразуются во выходные переменные *y* (результат »»

интерпретации) с помощью интерпретационного алгоритма *IAL* – механизма интерпретации. Особенность интерпретационного алгоритма *IAL* в том, что это не столько вычислительный алгоритм, сколько алгоритм рассуждений или логическая конструкция.

Выражение (16) описывает общее системное преобразование с использованием множеств, выражение (17) описывает частное преобразование с использованием переменных. Однако выражение (17) является частным из выражения (16).

Следует отметить, что интерпретационный алгоритм можно также рассматривать как механизм информационного преобразования, например, как информационный морфизм. С этой точки зрения развитие теории информационного морфизма в теории интерпретации представляется эффективным.

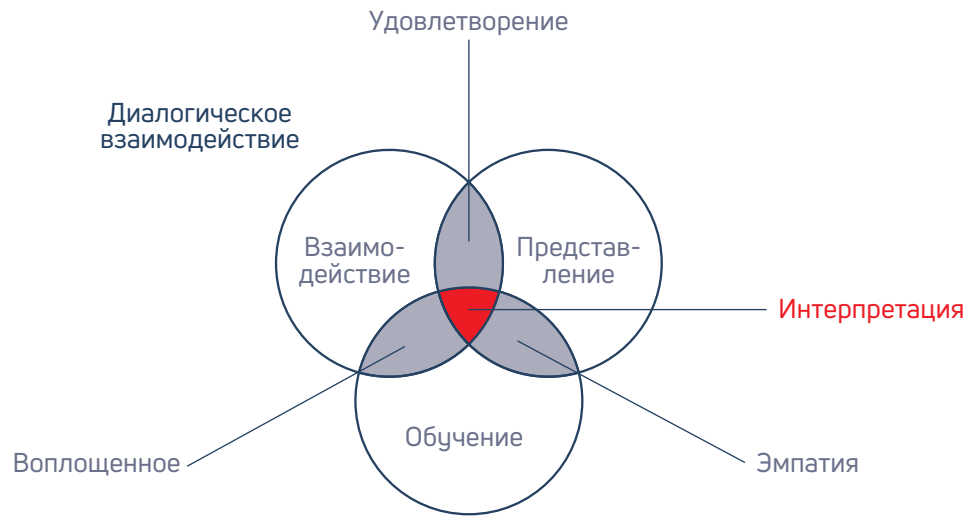


Рисунок 3. **Концептуальная модель цифровой интерпретации**

Цифровая интерпретация

Цифровая интерпретация рассматривается как эффективный инструмент обучения, коммуникации и управления, который повышает осведомленность субъектов и улучшает их понимание действительности. Часто «цифровую интерпретацию» понимают как процесс, а не как фиксированный инструмент для представления результатов. Это приводит к понятиям интерактивная интерпретация и инкрементная интерпретация. Цифровая интерпретация применяется чаще при обработке цифровых изображений или цифровых карт [19, 20]. Достаточно широкое применение цифровая интерпретация находит при анализе «цифрового наследия» [21], то есть архитектурных памятников, имеющих цифровую форму представления. Анализ этого направления помогает понять сущность цифрового интерпретационного процесса. Особенность такой интерпретации сложных объектов состоит в формировании «частичных моделей» как «частей мозаики понимания». Другими словами, здесь работают модели интерпретации (10) и (12).

При анализе «цифрового наследия» [21] полагают, что понимание и реконструкция цифрового объекта могут быть возможны только тогда, когда система интерпретации реализует множественность интерпретации на уровне содержания. При этом важно, что для исследования виртуального объекта механизм интерпретации или рассуждения становятся «интерпретатором» для конечного пользователя. Дефиниции «интерпретации» в теории и дискурсе цифрового наследия расплывчата.

Ученые и специалисты работают над улучшением цифровой интерпретации конечными пользователями путем использования различных цифровых инструментов таких как: игровой движок для создания герменевтической среды [22], соматический импульс [23], тактильные устройства [24] для воплощенного взаимодействия, искусственный агент, динамический контент с несколькими пользовательскими виртуальными средами (MUVE), дополненные стереографические панорамы, иммерсивные дисплеи и голографические дисплеи с приложением дополненной реальности [25] для более высокого погружения. Однако такие частные цифровые технологии могут обеспечить только частичную интерпретацию.

Из-за разнообразия и не согласованности цифровая интерпретация носит преимущественно описательный, технологический и узкий характер, а не ориентирована на разнообразного пользователя.

Наряду с развитием социального программного обеспечения и Web 3.0 появилась возможность расширяемой, референтной и интерпретирующей среды цифровой интерпретации. Эти изменения представляют собой фундаментальный сдвиг в цифровой интерпретации в отношении, от пассивных рецепторов информации к активным участникам через дискурс. Интернет является примером такой тенденции.

Метод цифровой интерпретации или общения с конечными пользователями устанавливает четыре цели интерпретации и четыре фактора:

1. **Удовлетворенность информационной потребности.** Пользователи должны быть удовлетворены. Процесс интерпретации должен поддерживать запросы и интересы конечных пользователей.
2. **Эмпатия.** Этот процесс должен повысить осведомленность о сущности и применении цифрового продукта.
3. **Обучение.** Процесс должен быть направлен на то, чтобы передать символическое и семантическое значение объекта интерпретации конечным пользователям с использование учебных мероприятий. Это имеет большое значение в системе образования при использовании цифровых обучающих ресурсов.
4. **Множественность интерпретации.** Интерпретативный процесс должен представлять результат интерпретации с возможных множественных точек зрения; таким образом, он предоставит возможность иметь более широкое и альтернативное понимание фактов или событий.

Накапливая эти четыре фактора, цифровая интерпретация в первую очередь накапливает информацию. Во-вторых, это открывает возможность использования этих факторов в качестве индикаторов для оценки эффективности интерпретации.

Дэвид Уззелл [26] упомянул два типа интерпретации ряда объектов. включая цифровое наследие: «воссоздание» и «переосмысление». У архитекторов исторических памятников это звучит как восстановление и реконструкция. «Воссоздание» цифровых объектов в основном разрабатывается для тематических целей как «кусочек прошлого». Подход «реконструирования» цифровых объектов является более полным и представляет историю развития объекта в прошлом и будущем.

Affleck [27] в первый раз попытался разработать модель интерпретации для проекта цифрового наследия под названием реконструктивный, дискурсивный подход к интерпретации наследия». На в данной работе предлагается нелинейная цифровая интерпретация, при которой процесс позволяет активным участникам в создании дискурсивного контента и диалогическом взаимодействии (т.е. общении и диалоге между участниками и экспертами) использовать множественное и интерсубъективное понимание прошлого культурного наследия.

Подобная модель представлена на рис.3 [28]. Согласно модели для интерпретации цифрового наследия, процесс интерпретации должен учитывать четыре аспекта: представление, обучение и взаимодействие – в рамках среды, которая поддерживает диалоговые взаимодействия между участниками и экспертами для создания коллективной базы знаний через диспозицию общего пространственного опыта.

Взаимодействие — это создание, манипулирование и совместное использование смысла через вовлеченное взаимодействие с цифровыми объектами. Воплощение играет ключевую роль в проектировании взаимодействия как реакция пользователей на окружающую среду с учетом его знаний и понимания. В итоге интерпретация представляет собой диалогический процесс, в котором активно участвуют, исследуют и лучше понимают через общий опыт.

С другой стороны, взаимодействие относится к процессу или ситуации, когда две или более сущностей имеют контакт друг с другом. Интерпретационное исследование состоит в свободе изучения цифрового контента. В рамках этого процесса пользователям разрешено манипулировать цифровыми объектами или их элементами и создавать свой или вносить цифровой контент. В этом преимущество цифровой интерпретации, что она позволяет на основе интерпретации исходного цифрового объекта получать не только результат интерпретации. Но создавать свой цифровой контент, который в дальнейшем можно использовать для разных целей, включая интерпретацию или обучение.

Заключение

Термин «интерпретация» имеет разные терминологические отношения [29]. Объем и доступность данных в интеллектуальной транспортной системе обусловливают потребность в подходах, основанных на интерпретации данных. Алгоритмы и методы интерпретации применяют для дальнейшего повышения интеллекта приложений в области транспорта [2]. Цели интерпретации в ИТС включают: повышение оперативности анализа, исключение «медленного» участия человека в обработке, сжатие больших объемов информации при сохранении информативности, нахождение причинно-следственных связей, накопление типовых ситуаций и методов принятия решений в таких ситуациях. Интерпретация в ИТС имеет множественные трактовки: результат интерпретации, процесс интерпретации; механизм интерпретации. Совокупность методов и подходов дает основание ввести термин «интерпретационный анализ». Применение интерпретационного механизма имеет важное значение для управления транспортом, особенно высокоскоростным. Однако следует учитывать, что исходные данные могут интерпретироваться посредством различных механизмов, что дает разные результаты интерпретации. Эквифинальность интерпретации есть критерий надежности результатов интерпретации. Информационная интерпретация является универсальным инструментом интерпретации. Открытый процесс интерпретации позволяет субъектам исследовать и «вносить свой вклад» как в содержание. ■

Список литературы

1. Gohar A., Nencioni G. The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 9. – С. 5188.
2. Kaffash S., Nguyen A. T., Zhu J. Big data algorithms and applications in intelligent transportation system: A review and bibliometric analysis // International Journal of Production Economics. – 2021. – Т. 231. – С. 107868.
3. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы – Saarbrücken, 2012. – 297 с.
4. Deng H. W. et al. Commercial cloud computing for connected vehicle applications in transportation cyberphysical systems: A case study //IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2020. – Т. 13. – №. 1. – С. 6–19.
5. Tsvetkov V. Ya., Shaytura S.V., Ordov K.V. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181–185.
6. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44–52.
7. Brants S. et al. TIGER: Linguistic interpretation of a German corpus //Research on language and computation. – 2004. – Т. 2. – С.597–620.
8. Bodryshev V. V., Nartova L. G., Rabinskiy L. N. Digital interpretation of gas dynamics problems as a means of optimizing fundamental general engineering education //Asia Life Sciences. – 2019. – №. 2 Suppl. 21. – С. 759–774.
9. Чехарин Е.Е. Методы и алгоритмы информационной интерпретации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №5 (17). – С.39–49.
10. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. – М.: Янус-К, 2002. – 392 с.
11. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110–115.
12. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20–30.
13. Козлов А. В. Анализ субсидиарных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 69. С.160–167.
14. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – №6. – С.40–43.
15. Ожерельева Т. А. Метамоделирование и информационный морфизм // Славянский форум. 2021, 3(33). С.69–78.
16. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64 с.
17. Цветков В.Я. Использование оппозиционных переменных для анализа качества образовательных услуг // Современные наукоёмкие технологии. – 2008. – №1. – С.62–64.
18. Cohen J. et al. An empirical analysis of local opposition to new transmission lines across the EU-27 //The Energy Journal. – 2016. – Т. 37. – №. 3.
19. Soman S. et al. Worldwide detection of informal settlements via topological analysis of crowdsourced digital maps //ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2020. – Т. 9. – №. 11. – С. 685.
20. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147–155.
21. Liu Y. Evaluating visitor experience of digital interpretation and presentation technologies at cultural heritage sites: a case study of the old town, Zuoying //Built Heritage. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 14.
22. Champion E., Dave B. Where is this place //Proceedings of ACADIA 2002: Thresholds Between Physical and Virtual. – 2002. – С.87–97.
23. Flynn B. Augmented visualisation: Designing experience for an interpretative cultural heritage //2008 12th International Conference Information Visualisation. – IEEE, 2008. – С.447–452.
24. Roussou M. The components of engagement in virtual heritage environments //New Heritage. – Routledge, 2007. – С.241–257.
25. Pedersen I. et al. More than meets the eye: The benefits of augmented reality and holographic displays for digital cultural heritage //Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH). – 2017. – Т. 10. – №. 2. – С.1-15.
26. Uzzell D. Heritage interpretation in Britain four decades after Tilden //Manual of heritage management. – 1994. – С.293–302.
27. Affleck J., Kvan T. A virtual community as the context for discursive interpretation: A role in cultural heritage engagement //International Journal of Heritage Studies. – 2008. – Т. 14. – №. 3. – С. 268–280.
28. Rahaman H. Digital heritage interpretation: a conceptual framework //Digital Creativity. – 2018. – Т. 29. – №. 2-3. – С. 208-234.
29. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Цветков В. Я. Терминологические отношения // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 5. – С.146–148.

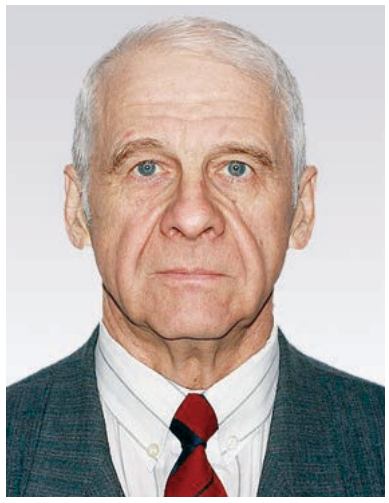
УДК: 004.052.2

Интегрированная система хранения геоданных железнодорожной инфраструктуры на базе репозитория

Integrated geodata storage system for railway infrastructure based on repository

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

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



Аннотация

Одной из целей представленной работы является создание эффективной информационно сервисной инфраструктуры, предназначенной для поддержки выполнения процессов управления железнодорожной инфраструктурой. Речь идет о создании современной системы информационной поддержки и непрерывного обеспечения данными, поступающими от различных сенсоров, выполняющих постоянные и регулярные наблюдения за инфраструктурой и объектами железнодорожного транспорта программно-аппаратными средствами автоматизированного мониторинга. Здесь в качестве одной из первоочередных задач можно указать разработку архитектуры единой системы сбора информации со станций приема и передачи данных в репозиторий, аккумулирующий разнородные данные дистанционного зондирования для систем оперативного мониторинга и геопространственные данные с картографическими материалами. Необходима также технология описания и обработки разноформатных геопространственных данных на основе метаописаний со структурой соответствующих каталогов.

Ключевые слова: транспорт, процессы управления, архитектура единой системы сбора информации, технология описания и обработки разноформатных геопространственных данных.

Abstract

One of the objectives of the presented work is to create an effective information and service infrastructure designed to support the implementation of railway infrastructure management processes. We are talking about the creation of a modern system of information support and continuous provision of data from various sensors that perform constant and regular monitoring of the infrastructure and objects of railway transport with software and hardware for automated monitoring. Here, one of the priorities can be the development of the architecture of a unified system for collecting information from stations for receiving and transmitting data to a repository that accumulates heterogeneous remote sensing data for operational monitoring systems and geospatial data with cartographic materials. There is also a need for technology for describing and processing multi-format geospatial data based on meta descriptions with the structure of the corresponding catalogs.

Keywords: transport, management processes, architecture of a unified information collection system, technology for describing and processing multi-format geospatial data.

»»

Введение.
Общая характеристика системы

В перспективе можно говорить о создании специализированной распределенной системы хранения разнородных данных (репозитория) для сбора и хранения информации о множестве различных ГИС-ресурсов, баз знаний и геоданных железнодорожной отрасли.

В рамках выполненной работы создан прототип репозитория для проведения анализа тематических пространственных данных стационарного, мобильного и дистанционного наблюдения и измерения параметров железнодорожной инфраструктуры. Репозиторий включает в себя каталог геопространственных метаданных, основанный на системе множественной (фасетной) классификации – совокупности нескольких независимых классификаций, осуществляемых одновременно по различным основаниям.

Такой вид классификации предоставляет пользователю многоаспектное (многомерное) описание ресурсов, поэтому пользователь может ориентироваться на частичное знание об объекте. Каталог представляет собой комплекс программно-технологического обеспечения обработки массивов геопространственных данных с развитыми средствами поиска и фильтрации информации; с возможностью построения пользовательских наборов (выборок) геоданных и динамическим формированием на их основе сервисов управления железнодорожными объектами. Встроенный веб-интерфейс визуализации отдельных слоев и формируемых наборов геоданных обеспечивает оперативный просмотр информации, которая может быть передана в сторонние приложения.

Каталог обеспечивает поиск пространственных данных по ключевым словам, классификаторам данных и геоинформационных услуг (геосервисов), названиям уполномоченных органов, критериям качества и достоверности данных, географическому положению, в соответствии с условиями доступа и использования данных, а также по правилам реализации. Возможность выбора пользователем необходимых слоев данных для их подключения в выбранном приложении становится принципиальной в случае, когда каталог перманентно расширяется и содержит большое количество ресурсов (подключать их все сразу нецелесообразно).

Основой каталога является совокупность независимых классификаторов. Каждый классификатор содержит в себе набор категорий, которые могут быть иерархически связаны между собой (внутри одного классификатора). Категории из двух различных классификаторов не связаны ни семантически, ни иерархически. Они также не должны совпадать синтаксически. Каждый ресурс системы описывается одной или несколькими категориями из каждого классификатора. Таким образом, пользователь получает многомерное описание каждого ресурса, что позволяет осуществлять эффективные поиск и фильтрацию по категориям.

Пользовательский интерфейс каталога геопространственных метаданных обеспечивает собственно визуализацию геоданных, навигацию по изображению, скроллинг, масштабирование, графическое наложение (оверлей) слоев изображения, отображение легенд. Просмотр метаданных предполагает вывод на экран списка найденных ресурсов (названия и/или элементы аннотации), возможно, отсортированных по релевантности, датам, пространственному охвату и снабженных дополнительными характеристиками, а также просмотр выбранного элемента списка с той или иной степенью полноты вплоть до выдачи полного текста метаданных ресурса. Предусмотрена возможность подготовки и отображения пространственных метаданных в нескольких стандартах (ISO, ГОСТ, и т.д.).

Система состоит из нескольких программных модулей, обеспечивающих интеграцию и коммуникацию описанных в предыдущих главах сервисов обработки данных высокоточного спутникового позиционирования. Модуль коммуникаций является программным модулем, исполняющим функции сервера связи периферийного оборудовании (датчиков, контроллеров, измерителей) с остальными модулями управления на основе методов спутникового позиционирования. База данных репозитория – это реляционная база данных семантической и управляющей информации по модулям управления железнодорожными объектами, спроектированная для работы на платформе MS SQL Server.

Для нормальной работы модулей управления необходимо поддержания структуры репозитория и целостности геоданных в соответствии со схемой организации метагеоданных, заданной разработчиками системы. Развертывание структуры репозитория производится на этапе инсталляции системы силами квалифицированных специалистов, допущенных разработчиком системы к установке.

После развертывания структуры репозитория необходимо на клиенте (рабочей станции, где будут установлены модули управления) создать регистрационную запись ODBC подключения к SQL-серверу базы данных репозитория.

Модули управления на основе методов спутникового позиционирования являются независимыми друг от друга (самостоятельными) приложениями. Модули реализуют функции оперативного автоматизированного управления железнодорожными объектами, допуская одновременную установку копий на несколько рабочих станций. Связь с периферийным оборудованием осуществляется через модуль коммуникаций.

После настройки соединения с SQL-сервером все модули, обращающиеся к репозиторию, при запуске автоматически подключаются к базе данных репозитория. Настройка параметров соединения с модулем коммуникаций производится из интерфейса модуля «Системный оператор».

Модуль «Системный оператор» реализован как модуль расширения клиентской оболочки ГИС. Этот модуль обеспечивает функции оперативного диспетчерского управления работой программного комплекса модулей управления железнодорожными объектами и его подсистем. Для установки и настройки необходимо подключить модуль «Системный оператор» к программной »»

клиентской оболочке ГИС. При последующих открытиях ГИС для запуска модуля уже не требуется производить действия по подключению модуля к оболочке ГИС.

Подход к проектированию репозитория поддерживающего ограничения целостности геоданных

Один из недостатков существующих коммерческих ГИС – невозможность обеспечить адекватную операционную среду для конечных пользователей, которые являются экспертами в своей прикладной области, но обладают минимальным опытом в разработке программного обеспечения и проектировании базы данных [1]. Такие пользователи лишены возможности использования многих из особенностей коммерческой ГИС. Другой недостаток – отсутствие средств наложения ограничений целостности данных, что ставит под угрозу качество геоданных [2]. Проектирование базы геоданных с контролем целостности при помощи существующих инструментальных средств требует знания некоторого языка сценариев. Конечные пользователи редко обладают этим типом знания.

В представленной работе использовался прототип ГИС, который предоставляет конечным пользователям средство определять подмножество пространственных классов ограничения целостности геоданных без потребности в программировании.

Если первые шаги в разработке базы геоданных для ГИС ставили в качестве главной цели приобретение данных и размещение их в релевантное место в системе [3], то в настоящее время акцент смещается в сторону эффективной организации и анализа геоданных, хотя никто не отрицает важности усовершенствований технологии сбора геоданных. На ранней стадии разработки непространственных систем управления базами данных контролю целостности уделили недостаточно внимания. В результате этого и пространственные наборы данных создаются с сомнительным качеством данных, что приводит к соответствующим результатам анализа, выполненного с использованием таких данных.

Учитывая высокую стоимость фиксации данных в формате ГИС, уже недостаточно неавтоматизированным способом обрабатывать определяемые пользователем ограничения целостности, которые влияют на качество данных. В [4] была предложена ставшая уже классической архитектура, которая предусматривает определение и совместное использование бизнес-правил в приложениях ГИС. В общих чертах она проиллюстрирована на рисунке 1.

Можно реализовать бизнес-правила непосредственно через приложения, тогда приложение и правила должны быть логически согласованы. Когда рассматривается несколько приложений, этот подход становится более сложным, так как контроль бизнес-правил во всех приложениях становится трудной задачей из-за большой избыточности, и увеличивается опасность потери правила. Отметим, что бизнес-правила указаны в двух местах на рис. 1: атрибутивные правила типа «шпала должна быть сделана из бетона или из древесины, пропитанной

Рисунок 1. **Модель Чадвика использования бизнес-правил геоданных**

антисептиком» сохранены в логическом описании базы данных, тогда как топо-семантические правила сохранены в специализированном репозитории бизнес-правил, который может быть использован многими приложениями или проектами.

Есть два основных подхода к проблеме качества данных. Первый, – уменьшить ошибки в пространственных наборах данных, и второй, – вооружить пользователей знанием качества наборов данных и их содержания. Первому подходу посвящены работы [5–7]. В них предлагается автоматически идентифицировать и исправлять топологические ошибки в пределах существующих наборов данных. Чтобы устанавливать ограничения целостности до ввода данных, необходимо включить ограничения целостности в язык определения данных базы данных так, чтобы они были автоматически контролировались во время выполнения загрузки данных. Метаданные для этого процесса – словарь метаданных, описывающих характеристики, отношения и структуры. Каталог метаданных описывает происхождение и качество данных. Сопоставление информации, типа, «Кто ввел данные?» и, «Каково их происхождение?» представляет собой важную задачу при вводе данных для пользователя.

Репозиторий метаданных, который поддерживает хранение и обновление каталога метаданных, важен при проектировании геопространственных систем. Ограничения целостности могут быть неявно включены при проектировании, это позволит автоматически включить их в спроектированную систему. Пространственные и непространственные отношения также сохраняются вместе с ограничениями целостности и данными, касающимися преобразования объектов. Эта особенность проектирования репозитория обоснована в [8, 9], где поддержка составления диаграмм часто обеспечивается на том же самом уровне, что и поддержка генерации схемы, то есть одна из задач репозитория – определить, какая сущность появится на диаграмме сущность-связи. Сказанное выше относится и к картографическим данным. »»

Репозиторий активизируется при вводе геоданных, контролируя соблюдение ограничений на данные, или же фиксируя такие нарушения в файле регистрации нарушений.

Важную роль в реализации ограничений целостности играет использование дедуктивных объектных баз данных. Было показано, что они полезны на уровне метаданных и применимы к ГИС [10].

Важно различать географическую информационную систему (ГИС) и пространственную информационную системную среду разработки. Дополнительная функциональность часто обеспечивается для разработчика приложения ГИС объединением ГИС с внешними программами или написанием специальной прикладной программы. Кроме того, ГИС, или приложение, могут быть ориентированы на определенную проблему (например, управление сетью дорог). Часто этот процесс представляется поставщиками как настройка программного обеспечения ГИС. В таком случае, это – среда разработки, обеспеченная используемой ГИС. Другими словами, это инструментальные средства, предоставленные разработчику, или конечному пользователю, чтобы создавать различные приложения.

Особую важность в современных исследованиях представляет инструмент разработки ГИС, который позволяет пользователю специфицировать семантические ограничения на бинарные топологические отношения без потребности в программировании. Проектирование при этом не зависит от конкретной ГИС, но может быть связано с одной из них. Оно должно помочь пользователям в разработке пространственных приложений; один и тот же инструмент может использоваться, чтобы многократно строить проекты в различных масштабах. Одна из главных особенностей такого проектирования создание репозитория для пространственных ограничений целостности, которые могут быть использованы во множестве приложений. Репозиторий отличается от различных словарей данных, поддерживающих ГИС, которые являются файлом или набором файлов, ориентированных на одно конкретное приложение. Интегрированная пространственная среда разработки программного обеспечения проиллюстрирована на рисунке 2. Ключевой элемент в этой среде – репозиторий метаданных, который является средством контроля всех проектных изменений так же, как и репозиторий инструментальных средств разработки программного обеспечения в непространственных средах разработки.

При проектировании репозитория формулируются следующие цели:

1. Исследовать спецификацию правил и ограничений целостности в существующих пространственных и непространственных средах разработки.
2. Оценить существующую возможность инструментальных средств разработки ГИС представлять определяемые пользователем пространственные ограничения целостности.
3. Определить методы регистрации и применения этих ограничений средствами, доступными для конечных пользователей.
4. Проверить эффективность этих методов.

Рисунок 2. **Интегрированная пространственная среда программирования**

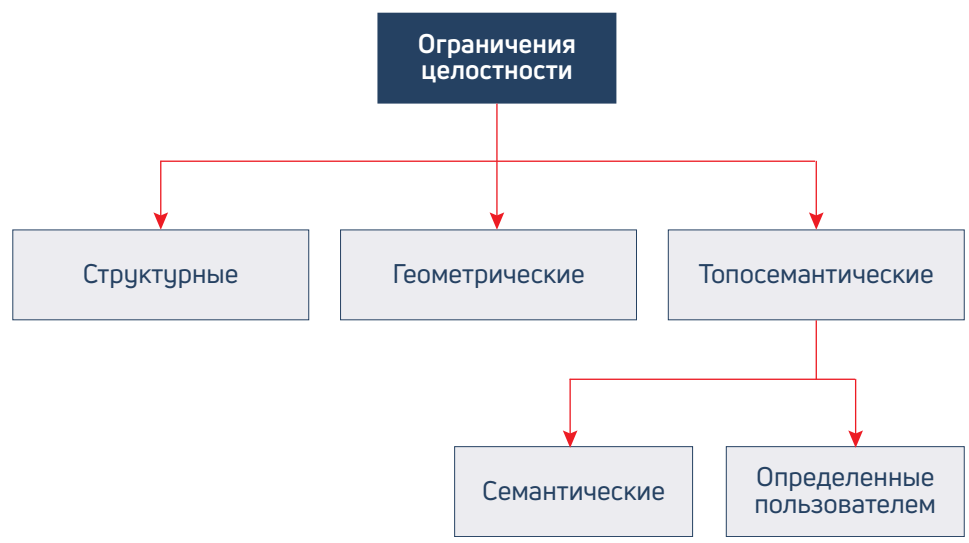


Рисунок 3. **Пространственные ограничения целостности**

Проектирование включает интегрированную среду разработки программного обеспечения с репозиторием, как показано на рисунке 2. Репозиторий хранит и контролирует подмножество классов ограничения целостности. Ограничения фиксируются двумя способами: первый – посредством предложений языка определения данных СУБД, и второй – интеграцией с существующим программным обеспечением ГИС. Репозиторий хранит элементы модели геоданных, или данных о геоданных, средства генерации логических моделей данных из этих метаданных и поддержки проекта базы геоданных. В частности, должно быть средство для включения ограничений целостности в базу данных разрабатываемой системы. Метаданные качества и происхождения также сохранены в репозитории.

Пространственные ограничения целостности

Проблеме качества пространственных данных, связанной с ограничениями целостности, было уделено внимание в работе [5]. Там же давались определения и классификации различных типов ограничений целостности, которые принадлежат пространственным системам. »»

Топологические ограничения там были подразделены соответственно трем типам возможных ошибок: структурным ошибкам, геометрическим ошибкам, и топо-семантическим ошибкам. В [5] топо-семантические ошибки определены как топо-семантическое подмножество топологических. В дальнейшем топо-семантические ограничения были подразделены на семантические ограничения и определяемые пользователем ограничения целостности. Семантические ограничения касаются природы объектов, например, снег рыхлый и лед твердый, а дороги не должны проходить через озера или здания. Ограничения целостности, определенные пользователем, могут быть, например, как атомная электростанция, не должна быть в пределах определенного радиуса жилой зоны. Это тип ограничения часто описывается в геопространственной литературе как бизнес-правила. Топо-семантические правила также включают топологические правила, основанные на значениях признака. Например, «В системах и сетях железнодорожной электросвязи должна отсутствовать возможность удаленного воздействия на порты сетевого оборудования, связанные с его конфигурированием». В [5] предлагается идентифицировать и исправлять главным образом топологические ошибки в пределах условий выполнения, причем, если ошибки в существующих системах обнаруживаются, то они, по возможности, исправляются автоматически.

Интегрированная среда разработки пространственной информационной системы

В этом разделе описывается подход к проектированию репозитория, поддерживающего ограничения целостности, определенные как в бизнес-правилах сервисов управления, так и в спецификациях ГИС. Рис 4 иллюстрирует архитектуру предлагаемого репозитория. В качестве инструментальных средств предполагается использовать любой тип доступных инструментальных средств, которые позволят проиллюстрировать, как будет вести себя репозиторий в интегрированной среде разработки. Репозиторий управляет всем программным обеспечением в среде, и представляет собой интерфейс между пользователем и инструментальными средствами, через которые можно управлять разработкой и определять правила.

Рисунок 5 представляет концептуальную модель репозитория, который хранит данные на метауровне. При проектировании неявно предполагается, что геометрия может иметь много графических представлений. Визуализация спецификаций включена, чтобы позволить пользователю определить графические стили для объектов в ГИС, предполагая, что наличие визуальных команд вызова программы улучшило бы ясность относительно того, что собой представляют объекты, и таким образом уменьшило бы ошибку ввода данных. Это – задача, которая непосредственно контролируется репозиторием. Для этого используются метаданные, касающиеся схематического изображения и использующиеся для генерации схемы, сохраняемой на том же самом метауровне.

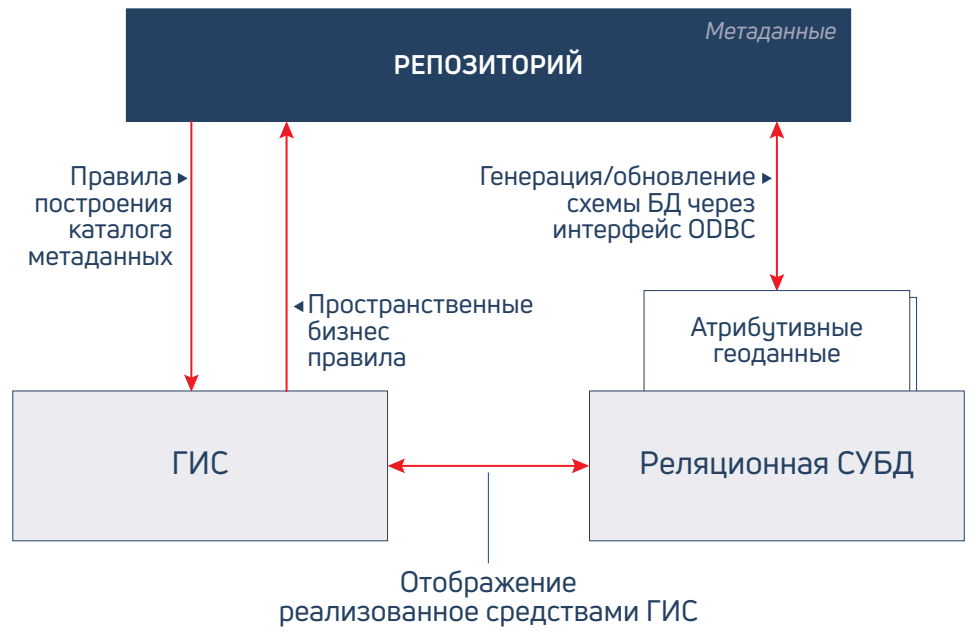


Рисунок 4. **Архитектура системы управления пространственными данными**

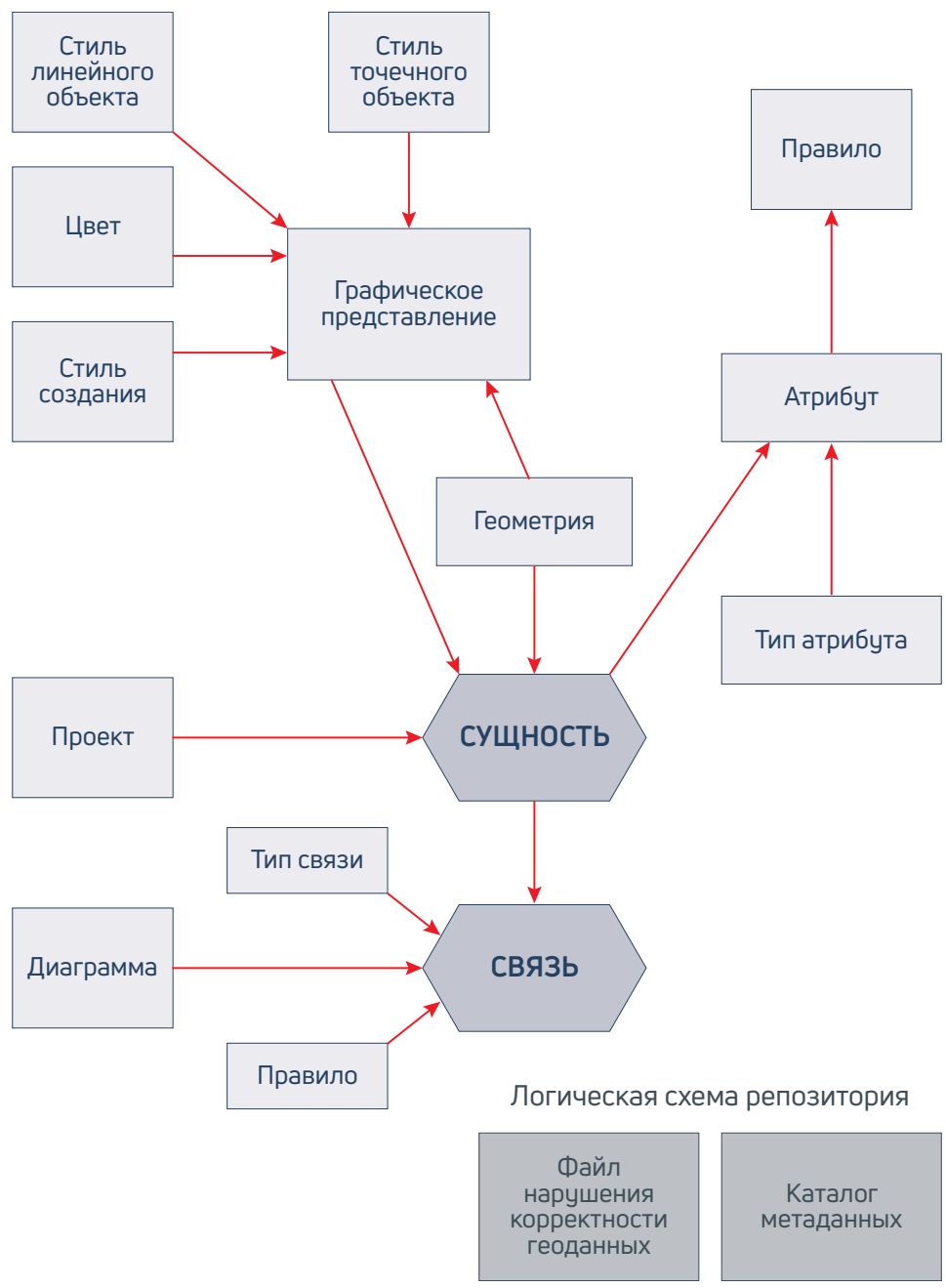


Рисунок 5. **Модель данных репозитория**

Сущность диаграммы является внутренней для репозитория и содержит пространственную диаграмму связей. Логическая схема репозитория содержит таблицы хранения каталога метаданных, возвращаемых репозиторию от ГИС через интерфейс ODBC, и файл »»

нарушений корректности (целостности и согласованности). Правило (атрибута) иллюстрирует концептуальную модель хранения атрибутивных правил. Атрибут может иметь два или больше присоединенных правил, например, расстояния между шпалами должны быть больше чем 10 см, но меньше 50 см.

Центральная часть изображения модели репозитория содержит основную информацию для представления сущности и ее отношений. Репозиторий обрабатывает проекты через отношение сущность-проект этой части модели. Все записи в базе геоданных отмечены идентификатором проекта посредством значения внешнего ключа в сущности. В рабочем режиме репозиторий должен использоваться для того, чтобы проекты совместно использовали допустимые правила. Но это требует дальнейшего развития модели, так как при этом требуется обработка отношений «многие к многим» между проектом и сущностью.

Топологические ограничения неявно поддерживаются средствами ГИС, с которой связан репозиторий. Правила представлены как предложения языка определения данных в SQL для правил атрибута, и как структурированный текст для правил отношений (связи) [11].

Система репозитория проектируется, чтобы облегчить разработку системы не вполне подготовленными пользователями. При этом главная задача – обеспечить спецификацию реальных объектов пользователями при существующих ограничениях на способ, которым данные об этих объектах могут быть введены. Эти ограничения задаются, чтобы управлять качеством данных. Система репозитория обеспечивает интерфейс пользователям, позволяющий устанавливать статические ограничения целостности на значения атрибута и определяемые пользователем ограничения целостности на пространственные отношения. Они автоматически перетранслируются в предложения языка определения данных или ограничения, выраженные как запросы к ГИС. Таким образом, не приходится нагружать программированием пользователей. Интерфейс репозитория также обеспечивает шлюз к ГИС. Управление в этом случае переходит к ГИС. ГИС способна реагировать на результат, который указывает, что имеет место нарушение правила. Такие нарушения при вводе геоданных приводят к откату входных данных или фиксируются в файле нарушений корректности репозитория. Кроме того, могут быть собраны автоматически и также предоставляться репозиторием метаданные об авторе, дате, пространственных границах, масштабе, проекции и системе координат.

Цель операции по выбору проекта состоит в том, чтобы находить, вводить или изменять основные детали проекта. Эта операция начинается непосредственно после инициализации системы репозитория. Однако она может быть задействована на любой стадии выполнения проекта, когда пользователь пожелает перейти на другой проект. При этом вводятся детали проекта, включая координаты и масштаб.

Описание базы геоданных и триггеров (встроенных процедур) позволяет пользователю, во-первых, описывать реальные объекты, их признаки и их графическое представление и, во-вторых, генерировать таблицы, представляющие эти объекты. Есть два обеспечивающих

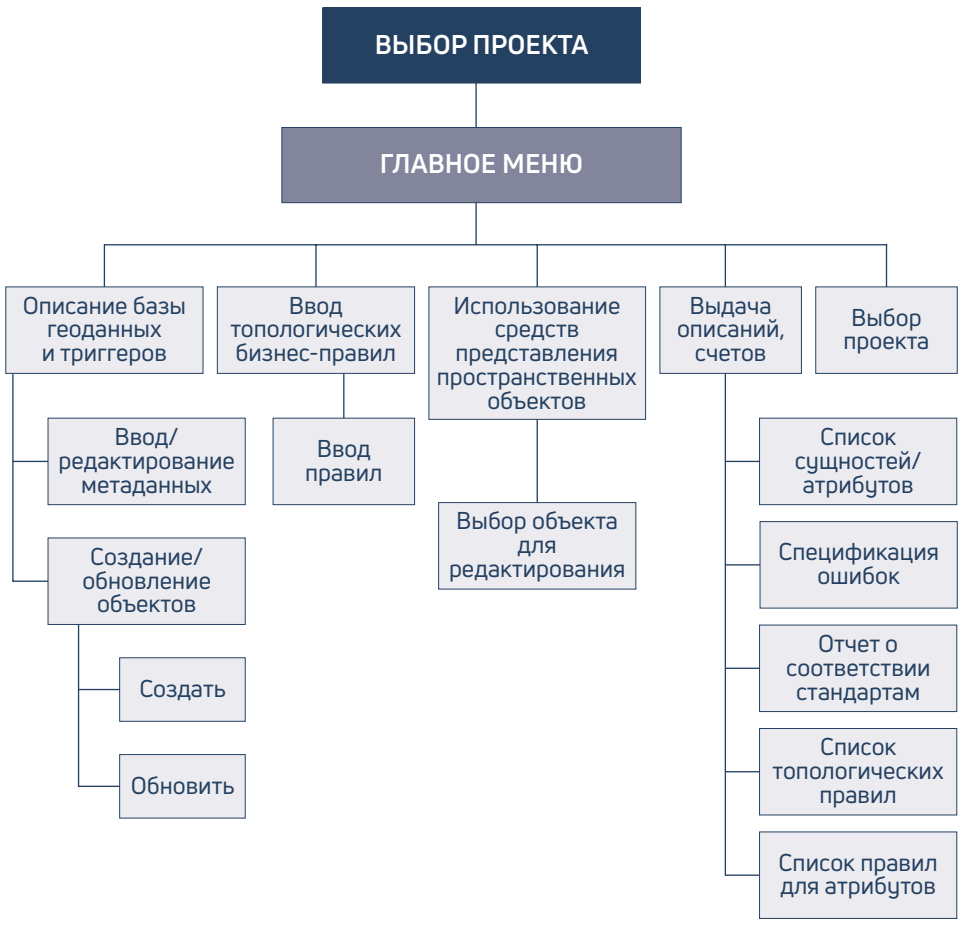


Рисунок 6. **Структура меню системы репозитория**

ее процесса: ввод/редактирование метаданных и создание\обновление объектов. В первом случае, пользователь вводит имя сущности, ее атрибуты и правила, которые применяются к ним, ее геометрию и графический стиль, связанный с ней.

Функция ввода топологического бизнес-правила дает возможность пользователю определить пользовательские правила, ограничивающие отношения, в которых сущности могут принять участие. Первоначально создается правило, основанное на сущностях, вовлеченных в связь, и являющихся непосредственно связью. Они отбираются пользователем. Если заданы конфигурации сущностей, а связь – под вопросом, то существует только одна возможная диаграмма.

Если заданы метаданные, которые сохраняются согласно существующим таблицам, то данные о правилах собираются на основе существующих в базе геоданных ограничениях целостности объектов. Сообщение об ошибке формируется во время производимого пользователем выбора. Условия, на которых базируются ограничения целостности, сохранены в двух областях в репозитории. В первой, условия сохраняются в соответствии с определенными атрибутами и, во второй, в соответствии с пространственными отношениями.

Когда пользователю требуются средства представления пространственных объектов, репозиторий инициирует запуск ГИС со всеми таблицами для выбранного открытого проекта. Репозиторий управляет всеми топологическими ограничениями и атрибутивными условиями. Ограничения проверяются ГИС при добавлении каждого пространственного объекта. Кроме того, при каждой транзакции проверяются все атрибутивные условия и топологические ограничения, и в случае ошибок формируется соответствующее сообщение. »»

Существующие стандарты метаданных в пространственных информационных системах прежде всего отражены в каталоге метаданных. Существенная выгода использования подхода на основе репозитория в том, что репозиторий является активным и при разработке системы, и при ее эксплуатации.

ГИС обеспечивает сообщения (отчеты) о сущностях/атрибутах и дает список всех сущностей в проекте, их атрибутов и ограничений на эти атрибуты. Файл нарушений корректности геоданных дает список всех ошибок, которые произошли с пользовательскими правилами, идентификатор рассматриваемого объекта и его координаты.

Сообщения, обеспечиваемые репозиторием, включают также сообщение о топологическом правиле и сообщение о правиле атрибута. Топологическое сообщение о правиле включает все топологические правила проекта и условия выполнения этих правил. Сообщение о правиле атрибута включает атрибуты проектных сущностей, правила, связанные с ними и текстовое правило, которое поставляется с сообщением об ошибке.

Следует отметить, что в описанном подходе к проектированию репозитория для управления пространственными бизнес-правилами метаданные являются больше чем средством каталогизации наборов данных для разработки интегрированной среды программного обеспечения ГИС. Они могут также эффективно использоваться при проектировании базы геоданных. Через контролируемый ввод геоданных репозиторий имеет возможность улучшить качество данных ГИС. Репозиторий активен при эксплуатации системы, проверяя ввод данных. Все нарушения ограничений регистрируются с выдачей сообщений о качестве геоданных. Репозиторий может обеспечить метаданные описания идентичности и происхождения наборов данных, введенных в систему.

Эти два средства сообщения улучшают осведомленность о качества рассматриваемого набора данных и поэтому предотвращают некорректное использование. Наконец, можно получить полный отчет о содержании репозитория, который помогает в администрировании базы данных. Качество геоданных в существующих ГИС часто невысокое. Существующие ГИС обеспечивают, в лучшем случае, только поддержку корректности ввода геоданных. Кроме того, инструментальные средства, используемые для разработки таких систем, не ориентированы на участие в разработке системы конечных пользователей. Основная направленность представленной работы – определить главные особенности среды развития ГИС, допускающей конечных пользователей к участию в создании интегрированной среды, которая позволила бы пользователям задавать их собственные ограничения и получать качественные отчеты, соответствующие стандартам на метаданные. ■

Список литературы

1. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic information systems and science. Second Edition. New York: Wiley, 2005.
2. Дулин С.К., Розенберг И.Н., Уманский В.И. О проблеме интеграции информационных ресурсов // Системы и средства информатики. Т. 29 № 3. 2019. С. 127-138.
3. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. – М.: Златоус, 2000, 224 с.
4. Al-Bakri M., Fairbairn D. Assessing similarity matching for possible integration of feature classifications of geospa*tial data from official and informal sources // Int. J. Geogr. Inf. Sci., 2012. Vol. 26. Iss. 8. P. 1437–1456.
5. Дулина Н.Г., Уманский В.И. Структуризация проблемы улучшения пространственной согласованности баз геоданных – М.: ВЦ РАН, 2009. 40 с.
6. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Кожунова О.С. Синтез геоданных в пространственных инфраструктурах на основе связанных данных // Информатика и ее применения, Т. 13. № 1. 2019. С. 82-90.
7. Дулин С.К., Розенберг И.Н., Уманский В.И. О проблеме интеграции информационных ресурсов // Системы и средства информатики. Т. 29 № 3. 2019. С. 127-138.
8. Baird M.P., Frome R.J. Large-scale repository design // Cell preservation technology, Vol.3, N 4, 2005. Pp. 256-266.
9. Ravi S., Madhusuthanan M.V. Institutional Repositories in library and information science: a global view // International Journal of Library and Information Studies Vol.8(1) Jan-Mar, 2018. Pp. 354-359.
10. Servigne S., Ubeda T., Puricelli A., Laurini R. A methodology for spatial consistency improvement of geographic databases // Geoinformatica, Vol. 4(l), 2000. Pp.7-34.
11. Orriens B., Yang J., Papazoglou M. P. A framework for business rule driven service composition // 4th Int. Workshop, TES 2003, B. Benatallah and M.-C. Shan, Eds.: Springer, 2003. Pp. 14-27.

УДК: 656.072

Туристические перевозки как основа развития сферы мультимодальных пассажирских перевозок

Tourist transportation as the basis for the development of the sphere of multimodal passenger transportation

Коваленко Н.А., к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (РУТ),
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Москва, Россия
Kovalenko N.A., Ph.D.(Tech.)., Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT),
E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia

Шорохова Л.С., аспирант, ассистент, Российский университет транспорта (РУТ),
E-mail: lyubov.shorokhova@list.ru, Москва, Россия
Shorokhova L.S., Postgraduate student, assistant, Russian University of Transport (MIIT),
E-mail: lyubov.shorokhova@list.ru, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос влияния мультимодальной транспортной системы на организацию туристических перевозок в условиях увеличения спроса на данный вид туризма со стороны населения и заинтересованности государства. Мультимодальные туристические маршруты позволяют сочетать различные виды транспорта, такие как железнодорожный, автомобильный, водный и воздушный, в одном маршруте, при этом происходит снижение загрузки транспортной сети по сравнению с унимодальными маршрутами. Это позволяет выбирать туристическому оператору наиболее удобный и экономически выгодный способ передвижения для группы туристов, а также сокращает время и стоимость путешествия. При формировании туристического мультимодального маршрута необходимо оценить потенциал желаемых локаций на предмет туристических ресурсов, а также определить их привлекательность для клиентов, учесть стоимость и затраты времени в пути пассажира на данном виде транспорта, оптимальную длительность следования транспортного средства и время пересадки пассажиров между звеньями перевозки, чтобы создать наиболее эффективный и удобный маршрут для туристов.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, туристический маршрут, железнодорожный туризм, маршрутная сеть, пассажирские перевозки.

Abstract

The article considers the issue of the influence of a multimodal transport system on the organization of tourist transportation in the context of an increase in demand for this type of tourism from the population and the interest of the state. Multimodal tourist routes allow you to combine different modes of transport, such as rail, road, water and air, in one route, while reducing the load on the transport network compared to unimodal routes. This allows the tour operator to choose the most convenient and cost-effective mode of transportation for a group of tourists, and also reduces travel time and cost. When forming a tourist multimodal route, it is necessary to assess the potential of the desired locations for tourism resources, as well as determine their attractiveness for customers, take into account the cost of travel time for a passenger on this type of transport, the optimal duration of the vehicle and the transfer time for passengers between transportation links in order to create the most efficient and convenient route for tourists.

Keywords: multimodal transportation, tourist route, rail tourism, route network, passenger traffic.

»»

Введение

Сокращение поставок из-за рубежа привело к росту цен на авиаперевозки, в связи с этим увеличивается привлекательность железнодорожного транспорта для туристов. Также использование железнодорожного транспорта вместо авиаперевозок позволяет снизить выбросы парниковых газов.

Сфера пассажирских железнодорожных перевозок в настоящее время находится на этапе преобразования: происходит списание большого количества подвижного состава с истекшим сроком эксплуатации, при этом продолжается становление такого вида пассажирских перевозок, как туристические, возрождению которых способствовало введение эпидемиологических и политических ограничений. Этот вид перевозок позволяет повышать эффективность использования подвижного состава, имеющегося в рабочем парке, путем включения туристических вагонов в составы регулярных пассажирских поездов (как факультативных вагонов) для передачи на станции зарождения туристического пассажиропотока или пассажирских вагонов в составы туристических поездов.

Однако расширение маршрутной сети туристических поездов не всегда возможно с точки зрения готовности к этому процессу инфраструктуры железнодорожного транспорта. [1] Поэтому одним из перспективных решений освоения растущего туристического пассажиропотока (рисунок 1) является коллаборация различных видов транспорта в единой цепочке перевозки организованной туристической группы (ОТГ) на заданном маршруте следования. Это в свою очередь позволяет расширять не только маршрутную сеть, но и количество локаций, которые могут быть включены в туристический пакет в рамках тура, а также спрогнозировать перспективный размер пассажиропотока для дальнейшей реализации транспортного обслуживания. [2, 3]

ОТГ могут посетить различные города, достопримечательности и природные объекты, перемещаясь между ними на разных видах транспорта. Это позволяет избежать долгих и утомительных путешествий на дальние расстояния в одном транспортном средстве, но сосредоточиться на осмотре интересующих туристических мест. Сравнение количества перевезенных пассажиров по видам транспорта за первое полугодие 2021–2023 года представлено на рисунке 2.

Комбинирование различных видов транспорта также способствует уменьшению трафика на дорогах и отдельных участках транспортной инфраструктуры.

В целом, применение принципов мультимодальности в организации туристических перевозок является важным управленческим решением для расширения маршрутной сети, улучшения комфорта для туристов и снижения экологического воздействия.

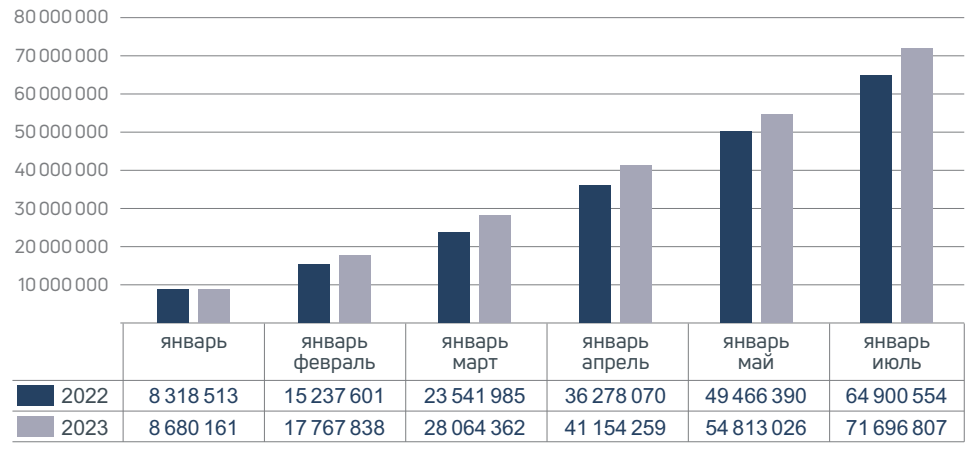


Рисунок 1. **Объемы туристского потока за первое полугодие 2022 и 2023 годов, пассажиров**

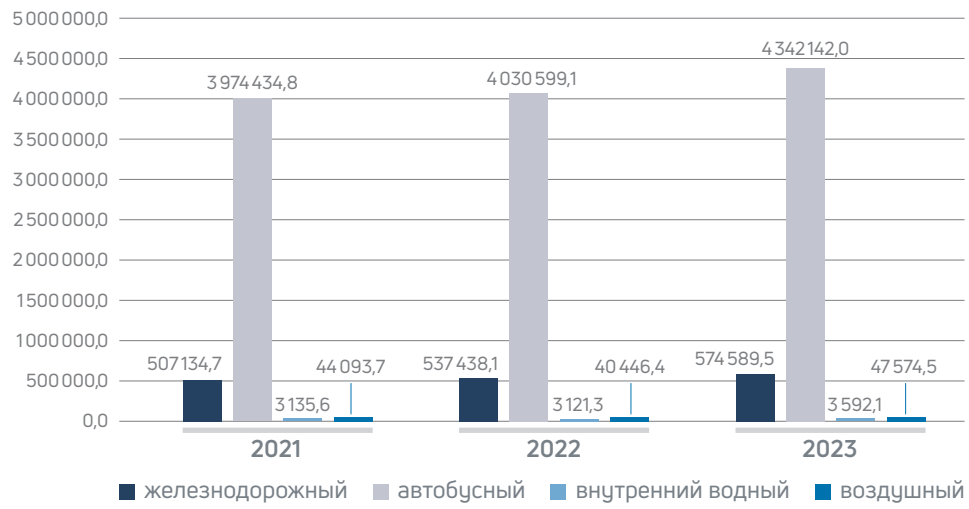


Рисунок 2. **Количество перевезенных пассажиров по видам транспорта за первое полугодие 2021–2023 года**

Основные принципы организации мультимодальных туристических перевозок

Мультимодальные пассажирские перевозки представляют из себя транспортировку пассажиров с использованием разных видов транспорта при наличии единого проездного документа (билета), который включает в себя все необходимые звенья маршрута на всем пути следования. [4] Возможность применения данного направления транспортного обслуживания способствует увеличению мобильности населения, так как позволяет пассажиру выбирать наиболее удобный и эффективный вид транспорта для каждого отдельного этапа своего путешествия, что существенно увеличивает гибкость и удобство передвижения, а это в свою очередь снижает нагрузку на один вид транспорта и уменьшает загруженность транспортной инфраструктуры, что решает проблемы транспортного давления и трафика.

Использование единого билета и совместной системы оплаты также упрощает процесс бронирования и расчета перевозки, а также снижает риск потери билета или дублирования платежей.

В настоящее время мультимодальные перевозки доступны в разных городах мира, где городская, пригородная и междугородная перевозка совмещена на основе интеграции различных вариантов транспорта. Например, в Париже существует программа «Мультимодальный Пасс», которая предоставляет единую систему оплаты за проезд на общественном транспорте, лифтах, велосипедах и т.д. в каждом конкретном регионе.

Также существуют мультимодальные туры, где пассажиры совмещают перевозку на поезде, автобусе, корабле, вертолете и даже на самолетах, которые могут »»

доставлять пассажиров в различные точки мира. Такие мультимодальные туры предоставляют уникальные возможности для путешественников, которые могут выбрать интересующие их направления и виды транспорта для более полного и интересного опыта.

Мультимодальные туристические пассажирские перевозки – это инновационный подход к организации перевозок, который может существенно улучшить эффективность, удобство и экологическую устойчивость транспортной системы. Однако для реализации этого подхода требуется сотрудничество между туристическими операторами и различными перевозчиками, интеграция и стыковка расписания различных видов транспорта, а также развитие системы информационного обеспечения для пассажиров.

Современное состояние мультимодальных туристических перевозок

В России мультимодальные пассажирские перевозки могут быть представлены в следующих вариантах (рисунок 3).

Сфера мультимодальных перевозок в России пока развита слаба. Только в 1 маршруте задействованы все виды транспорта (туристический маршрут «Байкальская сказка»). В связи с санкциями на детали для летательных аппаратов продажа билетов на данный тур временно приостановлена.

Решение вопроса о массовом внедрении мультимодальных маршрутов в условиях ограничений (политических, эпидемиологических, экономических и других) требует стратегического планирования, направленного на достижение оптимального баланса затрат, качества, компетенций, гибкости и клиентоориентированности. [5] Также необходимо учитывать при расчете рентабельности данного направления развития туризма риски [6] и вероятности задержек транспортных средств.

Мультимодальные туристические маршруты позволяют АО «ФПК» и ООО «РЖД Тур» участвовать в процессе реализации туров не только с точки зрения перевозчика и туристического оператора, но и организации, предоставляющей возможности использования своих транспортных мощностей другим участникам перевозки. Мультимодальные туристические маршруты, организованные данными компаниями, основываются на использовании различных видов транспорта, таких как поезда, автобусы, паромы и другие.

Компании предоставляют возможность путешественникам проехать маршрутную часть пути на поезде, путешествуя по железным дорогам, а затем пересесть на другие виды транспорта, чтобы добраться до конечного места назначения. Такой подход позволяет достичь ряда преимуществ как для туристических операторов, так и для самих путешественников. Во-первых, мультимодальные маршруты позволяют более гибко планировать путешествия и комбинировать различные виды транспорта, чтобы достичь оптимального сочетания цены и удобства перемещения. Во-вторых, этот подход позволяет реализовать сотрудничество между различными участниками туристической индустрии, что способствует развитию связей между компаниями и повышению их конкурентоспособности. [7] Также это позволяет предлагать клиентам широкий выбор маршрутов и вариантов для путешествий с полной поддержкой и сопровождением во время поездки.

Рисунок 3. **Мультимодальные маршруты, курсирующие на территориальном пространстве Российской Федерации**

В настоящее время туристический оператор ООО «РЖД Тур» внедрил процесс продажи билетов на поезда сторонним более мелким операторам, при этом сам арендует поезд с локомотивной бригадой и выполняет все работы, связанные с прокладкой «нитки» данного поезда в графике движения поездов.

Особенности формирования мультимодальных туристических маршрутов

Любой туристический маршрут включает в соответствии с требованиями Государственного стандарта РФ о «Туристско-экскурсионном обслуживании и проектировании туристских услуг» различные этапы формирования от анализа туристических ресурсов до утверждения паспорта маршрута и дальнейшей его реализации.

При формировании туристического маршрута необходимо оценить потенциал туристических ресурсов, а также определить их привлекательность для клиентов. Необходимо провести анализ спроса на туристические услуги, определить потенциальную целевую аудиторию и длительность посещения каждого туристического объекта, наличие дополнительных услуг (размещение, питание, экскурсии и т.д.) и заранее подготовить информацию об этом для туристов.

При планировании мультимодального туристического маршрута в процессе моделирования трассы маршрута необходимо учесть параметры, оказывающие влияние на включение других видов транспорта (рисунок 4).

Также необходимо рассчитать и сравнить затраты времени на каждом участке маршрута при использовании различных видов транспорта для возможности выбора наиболее оптимального.

Расчет времени пересадки позволит избежать слишком коротких интервалов, чтобы туристы не опоздали на следующий транспорт, а также избежать слишком долгих пересадок, чтобы не тратить лишнее время на ожидание. »»

ГОСТ Р 51004-96 «Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества» определяет номенклатуру показателей качества пассажирских перевозок, включая мультимодальные перевозки, которые включают в себя несколько видов транспорта. При этом включение того или иного вида транспорта в маршрут следования (L) должно отвечать следующим параметрам:

$$L = \left\{ Y_{тр}; Y_{св}; t_L^i; P_з^i \right\}, \quad (1)$$

где $Y_{тр}$ – уровень развития транспортной сети. Определяется количеством и состоянием транспортных объектов, инфраструктуры и оборудования, которые используются для обеспечения пассажирских перевозок;

$Y_{св}$ – уровень транспортных связей между станциями/населенными пунктами;

t_L^i – длительность следования i-вида транспорта на участке маршрута;

$P_з^i$ – затраты i-вида транспорта для осуществления следования в пункт назначения или смены вида транспорта. Включает в себя затраты на топливо, техническое обслуживание и другие расходы в мультимодальной перевозке.

В [8] описывается модель определения интегрального показателя доступности транспортной сети для регионов. По мнению авторов, самым высоким показателем обладает город Москва, а самым низким – Магаданская область. В свою очередь, взяв за основу имеющие данные, в мультимодальной системе стоит рассматривать уровень транспортных связей между станциями/населенными пунктами как объектами пересадки пассажиров.

Вероятность включения i-транспортного средства в процесс осуществления мультимодальной перевозки туристов можно оценить с точки зрения величины удельная себестоимость проследования 1 км пути данным видом транспорта по формуле:

$$C_{уд.с}^{i-j} = L_{i-j} \Big/ \sum P_{тр}, \quad (2)$$

где L_{i-j} – расстояние, пройденное i-транспортным средством в рамках мультимодального маршрута, км;

$\sum P_{тр}$ – совокупные расходы владельца i-транспортного средства при осуществлении следования на заданном маршруте, руб.

$$\sum P_{тр} = P_{кос} + P_{пост}, \quad (3)$$

где $P_{кос}$ – суммарные косвенные затраты перевозчика i-транспортного средства при движении на маршруте в мультимодальном туре, руб.

$P_{пост}$ – суммарные постоянные затраты перевозчика i-транспортного средства при движении на маршруте в мультимодальном туре, руб.

При этом данный показатель имеет решающее значение в конечной стоимости билета туристического маршрута и разнится для различных видов транспорта.

Величина суммарных косвенных затрат перевозчика i-транспортного средства:

$$P_{кос} = C_{д-ч} \cdot t_{уст} \cdot \mu_{тр}, \quad (4)$$

Рисунок 4. **Параметры, влияющие на задействование вида транспорта в мультимодальной туристической системе**

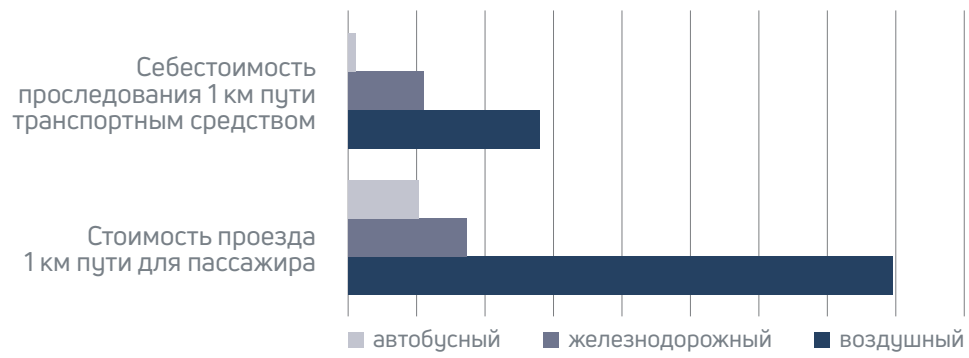


Рисунок 5. **Сравнительная характеристика показателей различных видов транспорта**

где $C_{д-ч}$ – средневзвешенная стоимость 1 часа движения i-транспортного средства на рассматриваемом участке, руб/ч.

$t_{уст}$ – установленная продолжительность следования i-транспортного средства с учетом нормативного рабочего времени водителя, ч.

$\mu_{тр}$ – доля i-транспортного средства в мультимодальной перевозке.

Размер суммарных постоянных затрат перевозчика i-транспортного средства:

$$P_{пост} = P_{р-ч} \cdot \mu_{тр}, \quad (5)$$

где $P_{р-ч}$ – затраты на следование i-транспортного средства на рассматриваемом участке с учетом издержек на амортизацию, ремонт и т.п, руб.

$\mu_{тр}$ – доля i-транспортного средства в мультимодальной перевозке.

Сравнительная характеристика величины удельной себестоимости проследования 1 км пути транспортным средством и стоимости проезда 1 км пути для пассажира показана на рисунке 5.

Следующим показателем, оказывающим влияние на мультимодальную перевозку туристов в рамках туристического продукта, является оптимальная дальность следования одного вида транспорта при дальнейшей смене на другой:

$$L_{опт} = \left| \frac{V_i \cdot V_j \cdot (t_i - t_j)}{V_i - V_j} \right|, \quad (6)$$

где V_i, V_j — маршрутная скорость 2 видов транспорта, рассматриваемых при смене в транспортном узле;

t_i, t_j — время на поездку каждым видом транспорта.

Для туриста комфортным должно быть время пересадки с одного вида транспорта, поэтому предельное расстояние λ:

$$\lambda = \left| \frac{V_{max}^{пасс} \cdot V_{min}^{пасс} \cdot \left(t_i^{пр} - t_{ij}^{ож} \right)}{V_{max}^{пасс} - V_{min}^{пасс}} \right|, \quad (7)$$

где $V_{max}^{пасс}$ — минимальная скорость движения пассажира;

$V_{min}^{пасс}$ – максимальная скорость движения пассажира;

$t_i^{пр}$ – время перехода пассажира от *i*-того транспортного средства до пункта остановки *j*-того транспортного средства;

$t_{ij}^{ож}$ — время ожидания *j*-того транспортного средства.

С учетом этих параметров можно оптимизировать мультимодальный туристический маршрут и выбрать наиболее эффективные варианты транспортировки пассажиров. В результате чего можно достичь увеличения удобства и экономичности следования пассажиров в рамках мультимодальной туристической перевозки, что непосредственно имеет влияние на качество и развитие услуг транспортной индустрии в целом.

Заключение

Развитие мультимодальных пассажирских перевозок имеет важное значение в удовлетворении спроса населения на перемещение. Однако при рассмотрении внедрения этого направления в функционал туристических перевозок стоит отметить железнодорожный туризм, который в настоящее время находится на пике популярности. Недостаточная развитость маршрутной сети и транспортной инфраструктуры является подспорьем для развития мультимодальной системы с использованием в качестве основного звена – железнодорожный транспорт.

Создание мультимодальных транспортных маршрутов способствует повышению мобильности населения и роли устойчивых видов транспорта и оптимизирует процесс перемещения человека в любых регионах.

В процессе планирования туристического маршрута стоит уделить особое внимание следующим элементам: удельной себестоимости проследования 1 км пути данным видом транспорта, оптимальной длительности следования одного транспортного средства до смены на другой и времени пересадки пассажиров между звеньями перевозки. Эти параметры оказывают непосредственного влияние на привлекательность маршрута со стороны туриста.

Также при планировании и реализации мультимодального маршрута нужно учесть:

1. Величину пассажиропотока на рассматриваемом направлении. За основу можно взять пассажиропоток железнодорожного транспорта, так как именно звенья данного вида транспорта при осуществлении маршрута будут заменяться на другие виды транспорта.
2. Географическое расположение возможных локаций.
3. Уровень развития транспортной сети и связей между локациями и пунктами пересадки пассажиров внутри них.

Создание эффективной транспортной системы мультимодальной перевозки невозможно представить без этих параметров, так как от их значений зависит конечный выбор маршрута следования ОГТ.

Мультимодальные туристические маршруты являются перспективным направлением развития туристической индустрии в России. Они обеспечивают более гибкое планирование и более удобные способы проезд для путешественников, а также предоставляют новые возможности для сотрудничества и развития бизнеса для туристических операторов и перевозчиков, таких как АО «ФПК» и ООО «РЖД Тур», а также будут способствовать созданию специальных инфраструктурных объектов, таких как транспортные пересадочные узлы и терминалы. ■

Список литературы

1. Коваленко, Н.И. Соблюдение технологии работ для повышения уровня технического состояния железнодорожной инфраструктуры / Н.И.Коваленко, Н.А.Коваленко // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – Т. 6, № 2(22). – С. 58-63. – EDN EYFSXB.
2. Коваленко, А.Н. Мультимодальные пассажирские перевозки в мегаполисе / А.Н.Коваленко // Мир транспорта. – 2013. – Т.11. – № 3(47). – С. 140-144.
3. Тимкова, А.Ю. Имитационное моделирование динамического изменения пассажиропотока в метрополитене / А.Ю.Тимкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 1(97). – С. 76-80.
4. Вакуленко, С.П. Особенности мультимодальных пассажирских перевозок / С.П.Вакуленко, Н.Ю.Евреенова // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 8. – С. 1124-1129. – EDN CRHNJP.
5. Цветков, В.Я. Ситуационное управление / В.Я.Цветков // Современные технологии управления. – 2023. – № 2(102). – EDN LYCZRY.
6. Цветков, В.Я. Управление рисками в информационных и интеллектуальных системах / В.Я.Цветков, Д.А.Мельников // Информатизация образования и науки. – 2023. – № 2(58). – С. 104-111. – EDN NZLNKY.
7. Волкова, Е.М. Мультимодальные пассажирские перевозки как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта / Е.М.Волкова // Транспорт Российской Федерации. – 2022. – № 1-2(98-99). – С. 27-30. – EDN RGLGUA.
8. Лавриненко, П.А. Транспортная доступность как индикатор развития региона / П.А.Лавриненко, А.А.Ромашина, П.С.Степанов, П.А.Чистяков // Проблемы прогнозирования. – 2019. – № 6. – С. 136–146.

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