

# Наука и технологии железных дорог

Стратегия развития  
железных дорог

Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте

Геоинформационные технологии  
и системы на транспорте

Цифровые методы  
на железнодорожном  
транспорте

Организация работ  
и безопасность движения  
на транспорте



# 3

стр.

## Стратегия развития железных дорог

«Анализ архитектуры системы дистанционного образования для сотрудников РЖД»

Розенберг И.Н., Дулин С.К., Дулина Н.Г.

# 12

стр.

## Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«Оптимизация движения в транспортной сети»

Лёвин Б.А., Цветков В.Я.

# 20

стр.

## Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

«К концепции внедрения информационного моделирования в железнодорожном транспортном комплексе»

Павловский А.А., Озеров А.В., Куроптава А.П.

# 32

стр.

## Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Применение географических информационных систем в интеллектуальных транспортных системах»

Дышленко С.Г.

# 38

стр.

## Геоинформационные технологии и системы на транспорте

«Космический мониторинг транспорта»

Бронников С.В.

# 45

стр.

## Цифровые методы на железнодорожном транспорте

«Транспортный объект как элемент системы автоматического управления»

Охотников А.Л.

# 53

стр.

## Организация работ и безопасность движения на транспорте

«Обучение управлением транспортных средств с применением тренажеров»

Господинов С.Г.

# 61

стр.

## Организация работ и безопасность движения на транспорте

«Перспективные направления развития железнодорожного туризма»

Коваленко Н.А., Шорохова Л.С.

УДК 37.018.43

# Анализ архитектуры системы дистанционного образования для сотрудников РЖД

## Analysis of the architecture of the system of distance education for RZD employees

**Розенберг И.Н.**, Чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, Научный руководитель, АО «НИИАС»,  
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия

**Rozenberg E.N.**, Corresponding Member of RAS, D.ofSci.(Tech), Professor, Scientific director, JSC «NIIAS»,  
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia

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

**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

**Дулина Н.Г.**, к.т.н., ведущий программист, ВЦ ФИЦ ИУ РАН, E-mail: ngdulina@mail.ru, Москва, Россия  
**Dulina N.G.**, PhD., Lead coder, DC of Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS,  
E-mail: ngdulina@mail.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В работе анализируются структурная схема и принципы создания системы дистанционного образования, положенные в основу системы «Безопасность», разработанной для автоматизированного обучения и контроля знаний сотрудников ж/д станций. Представлены основные функциональные блоки системы и методические требования к подготовке и оформлению обучающих материалов и тестовых заданий. Описана архитектура системы дистанционного образования STELLUS и концептуально-логическая модель учебного курса системы «Безопасность». На основании опыта использования этих систем сделаны выводы по организации системы дистанционного образования.

**Ключевые слова:** транспорт, система дистанционного образования «Безопасность», концептуально-логическая модель учебного курса.

### Abstract

Is analyzed the block diagram and principles of creating a distance education system, which form the basis of the "Safety" system, developed for automated training and knowledge control of railway station employees. The main functional blocks of the system and methodological requirements for the preparation and design of training materials and test tasks are presented. The architecture of the distance education system STELLUS and the conceptual and logical model of the training course of the "Safety" system are described. Based on the experience of using these systems, conclusions are drawn on the organization of the distance education system.

**Keywords:** transport, distance education system "Safety", conceptual and logical model of the training course.



## Введение

Система дистанционного обучения (ДО) представляет собой организованную совокупность средств передачи данных, информационных ресурсов, протоколов взаимодействия, аппаратно-программного и организационно-методического обеспечения, ориентированную на удовлетворение образовательных потребностей пользователей [1]. Технологии ДО успешно интегрируются во все существующие формы получения образования, прежде всего в заочное, что в постепенно приводит к конвергенции различных форм получения образования. ДО в два раза дешевле общепринятой формы обучения. В условиях ограничений очного обучения ДО становится особенно востребованным.

Инструментом реализации дистанционного образования являются компьютерные технологии и компьютерные учебники. Эффективность работы по созданию компьютерных технологий и учебников напрямую зависит от квалификации как разработчиков, так и обслуживающего персонала систем ДО.

Типичными проблемами ДО, требующими решения в настоящее время остаются:

1. Дублирование в большинстве курсов ДО традиционных заочных курсов с элементами самообразования (отсутствуют оперативные контакты как между студентами и преподавателями, так и между самими студентами и т.д.);
2. Противоречие между острой необходимостью в ускорении развития системы дистанционного образования и недостаточным числом специалистов для ее развития особенно:
  - среди преподавательского состава для проведения дистанционных курсов (т.е. тьюторов и координаторов, которые разбираются в технологии и методологии дистанционного образования);
  - среди менеджеров дистанционного обучения;
3. Трудность интегрирования существующей системы дистанционного образования в мировую систему из-за недостатка профессионалов в этой области;
4. Отсутствие учебных организаций (вузов, в первую очередь), которые бы занимались комплексной подготовкой специалистов для системы ДО в таких важных областях как:
  - активные методы обучения (проектные методы, обучение в сотрудничестве и т.д.);
  - психология взаимодействия/общения через Интернет;
  - организация, менеджмент и оценка дистанционных курсов.
  - оторванность научных разработок в области дистанционного образования от исследований, ведущихся в признанных научных центрах.

Необходимость использования именно Интернет-технологий для дистанционного обучения обусловлена:

- ростом образовательных потребностей, которые не могут быть удовлетворены в рамках традиционных технологий обучения;

- важностью интенсификации усилий по улучшению качества преподавания и обеспечению качественного обучения и тренинга через Интернет посредством новейших технологий;
- растущим разрывом между лучшей мировой практикой в образовании, основанной на современных достижениях в области информационных и телекоммуникационных технологий, и темпами развития образовательной системы в России;
- стремлением к преодолению негативных тенденций в развитии современной системы образования в России. Любая организация должна стремиться к созданию самокупающейся и саморазвивающейся системы дистанционного образования путем:
  - последовательного формирования образовательного Интернет-сообщества пользователей и поставщиков обучения и тренинга;
  - содействия интеграции всех ветвей образования (среднее, высшее, послевузовское, дополнительное) в единую образовательную среду (система непрерывного образования);
  - эффективного маркетинга дистанционных образовательных услуг;
  - совместной защиты и взаимовыгодного совместного использования интеллектуальной собственности университета;
  - последовательной и гибкой стратегии развития.

## Характерные черты существующих программно-технических средств ДО

Пандемические ограничения последних лет сделали приоритетным режим дистанционного обучения. Многие специалисты сходятся во мнении, что дистанционное обучение не только не ущемляет возможностей образования, но и способствует осуществлению более организованного и плодотворного процесса обучения. Основными элементами дистанционного обучения являются Интернет-технологии, позволяющие осуществлять все элементы традиционного обучения в интерактивном пространстве для удаленного слушателя и интерактивные мультимедийные носители информационного контента, интегрированные в Интернет. Ниже приводятся краткие описания характерных возможностей российских проектов ДО, которые, по мнению авторов, представляют особенности различных направлений развития систем ДО [2].

Средствами систем ДО в настоящий момент эффективно решаются следующие задачи:

- разработка и модификация учебных курсов;
- индивидуальное обучение с сопровождением тьютора;
- комплексный мониторинг учебного процесса;
- управление учебной деятельностью.

Каждая система ДО позволяет разрабатывать и совершенствовать адаптивные учебные курсы, осуществлять >>>

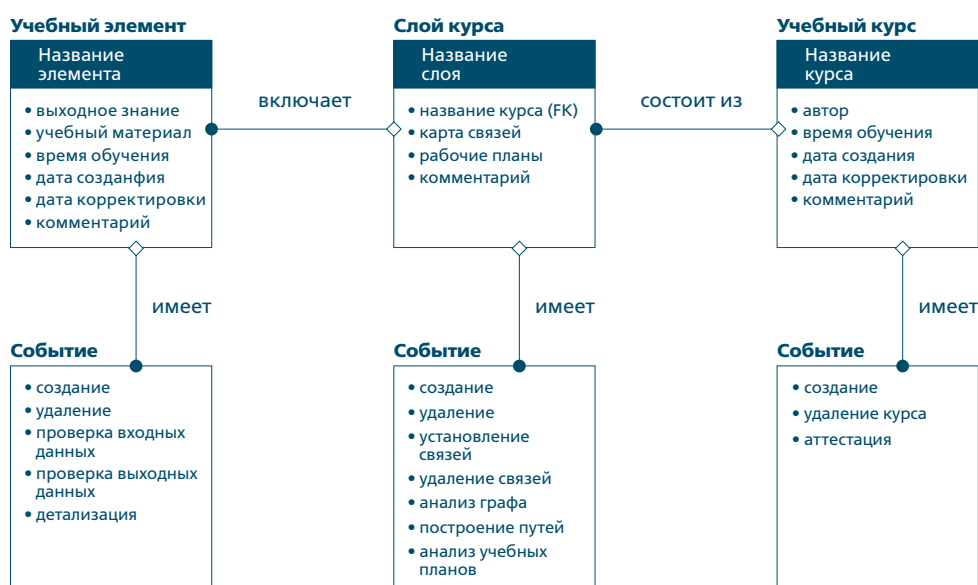


Рисунок 1  
Концептуально-логическая модель учебного курса

индивидуальный контроль обучения и мониторинг учебного процесса, эффективно решать задачи управления образовательной деятельностью.

Для обеспечения качественного индивидуального обучения решаются следующие задачи:

1. *Управление функционированием системы.* Владелец системы разрабатывает политику образовательной деятельности: открывает специальности и специализации, разрабатывает учебные программы, формирует перечень учебных требований к курсам, утверждает учебные планы для каждой программы, взаимодействует с разработчиками курсов, проводит обучение на основе учебных планов.
2. *Формирование курса.* Эксперты-преподаватели помещают свои знания в курс. При этом различаются собственно знания и авторская методика изложения материала.
3. *Обучение.* Обучающийся изучает курс самостоятельно, выбирая для себя оптимальный способ изучения и уровень детализации.
4. *Контроль тьютора.* Преподаватель курса (тьютор) контролирует процесс прохождения курса каждым обучающимся, оказывая помощь.
5. *Мониторинг учебного процесса.* Эксперт-преподаватель курса анализирует процесс обучения по курсу, выявляя возникающие проблемы и докладывая руководству.

Система ДО строится на модели учебного курса, основным объектом в которой является учебный элемент, обладающий базовым набором свойств и базовым набором обрабатываемых событий. Учебные элементы объединяются в слой учебного курса, также обладающий

наборами свойств и обрабатываемых событий. В свою очередь, слои учебного курса составляют учебный курс, который имеет ряд необходимых атрибутов.

Концептуально-логическая модель учебного курса [3] представлена на рис 1.

Архитектура системы ДО, основанная на приведенной концептуально-логической модели включает соответствующие компоненты программной системы ДО, ориентированные на разные категории пользователей: разработчиков курсов, обучающихся, преподавателей, сопровождающих курс, администрацию. При этом будет сформировано единое информационное пространство, в котором будет происходить распределенная обработка данных, требующая соответствующей дисциплины взаимодействия. Для системы ДО с подключением к Интернет используется трехзвенная архитектура "клиент — сервер приложений — сервер баз данных" [4].

## Архитектура системы ДО

Общая схема работы взаимодействующих групп пользователей системы ДО с трехзвенной архитектурой "клиент — сервер" представлена на рис. 2.

Сервер приложений должен обеспечить эффективную реализацию методов концептуально-логической модели системы ДО через Интернет. Эти операции можно свести к формированию соответствующих запросов к базе данных и обработки их результатов.

Система ДО должна давать возможность образовательному учреждению реализовать свою политику в области Интернет-обучения: >>>

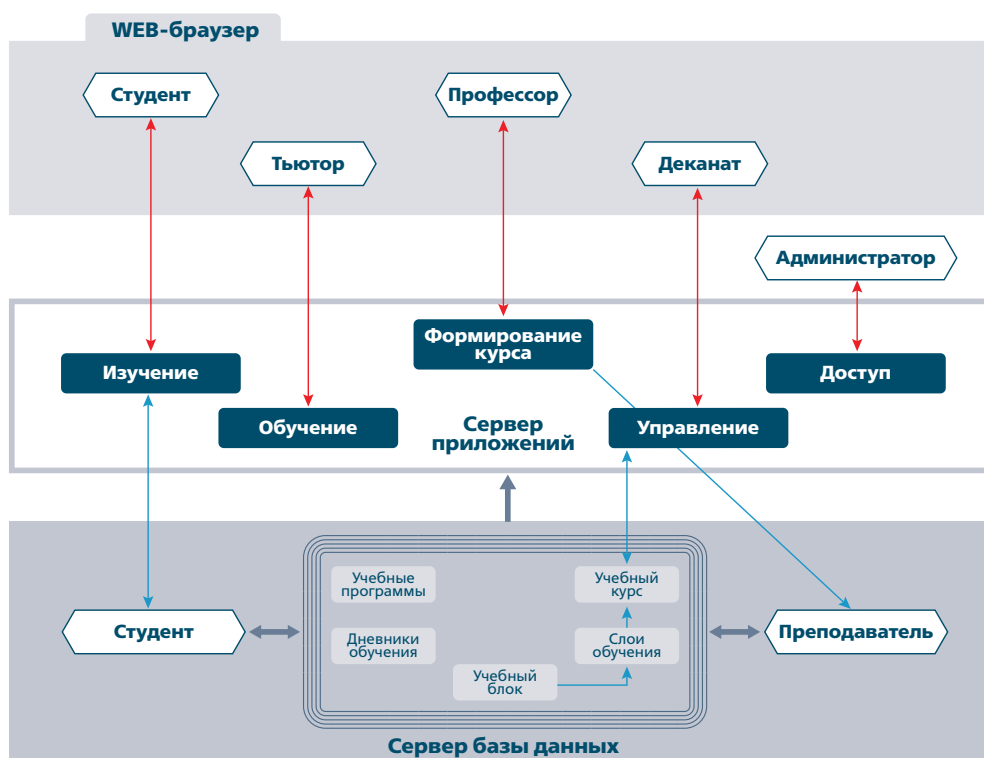


Рисунок 2

Общая схема работы взаимодействующих групп пользователей системы ДО

- готовить учебные программы для специальностей и специализаций;
- определять перечень требований к учебным курсам;
- строить учебные планы для каждой программы;
- вести работу с разработчиками курсов;
- организовать процесс обучения в соответствии с учебными планами.

С другой стороны, обучающимся предоставляется возможность выбрать для себя наиболее подходящий путь изучения и работы в индивидуальном режиме в удобное время, исходя из собственных возможностей. Обучающийся выполняет индивидуальные задания, тесты, участвует в работе семинаров, может получить консультацию преподавателя, работать в групповых проектах.

Существенным элементом обучения является контроль знаний. Каждый учебный блок может сопровождаться входным и выходным контролем знаний. Обучающийся допускается к изучению текущего блока только после успешной сдачи входного контроля. Процедурами контроля знаний могут быть конкретные задания, участие в общей дискуссии (семинар), специально разработанные тесты, в том числе и тесты в реальном времени.

В каждой системе ДО обычно предусмотрена возможность использовать следующие процедуры проверки знаний [5, 6]:

**Задания** — классическая форма контроля за уровнем знаний. Индивидуальные работы закрепляют полученные знания и формируют навыки работы.

Во многих дисциплинах существенным является формирование навыков работы на практике. В качестве заданий или могут использоваться специально подготовленные *практикумы*.

**Семинары** являются активной формой учебных занятий, участники свободны в обсуждении предложенных тем. Преподаватель может оценить усвоение материала по степени активности участника дискуссии.

**Тесты online** — это широко распространенная форма контроля знаний. Хорошо проработанные тесты позволяют объективно оценить степень подготовленности обучающихся. Однако эта форма часто вызывает критику со стороны преподавателей ввиду большой вероятности примитивного угадывания правильного ответа.

**Экзамен или финальный тест.** Поскольку главная функция курса — формирование у обучающегося целевого знания, здесь может размещаться процедура проверки целевого знания, если это предполагается описанием.

**Консультации.** В Интернет-курсе организуются индивидуальные или групповые консультации. >>>

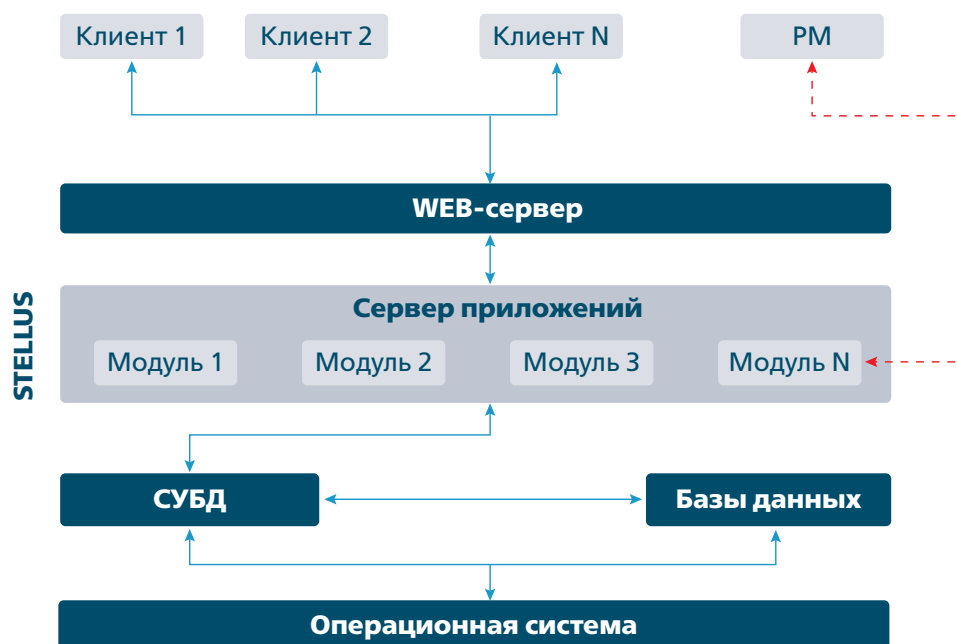


Рисунок 3  
Архитектура комплекса ДО системы STALLUS



Рисунок 4  
Фазы преобразования учебной информации

На рис. 3 приведена архитектура комплекса ДО системы STALLUS, состоящая из операционной системы, системы управления базами данных, базы данных, программных модулей, web-сервера и браузеров на стороне клиента [7].

**Структура представления** учебных материалов должна гибко настраиваться на используемый вид обучения. В системе существуют структуры представления для очной, заочной и дистанционной форм обучения. Причем одни и те же материалы могут использоваться одновременно в нескольких видах обучения.

**Информационные ресурсы** представлены структурами, в которые включены: авторские учебники и тесты, конспекты лекций, дополнительные материалы из раз-

личных источников, библиотека справочных материалов, комментарии преподавателей, списки web-ресурсов по тематике учебного курса, словари терминов, разделы с часто задаваемыми вопросами, а также ответы преподавателя в форме персональных комментариев.

**Тесная интеграция технологии и методик обучения** позволяет применять индивидуальные профили обучения.

Преподаватель может гибко планировать и создавать свои сценарии ведения учебного процесса, включая в него онлайн-консультации, практические и лабораторные работы, коллективные тренинги и деловые игры, а также автоматическую рассылку учебных материалов [6].

»»»

## О реализации дистанционного обучения

Основная цель любой системы ДО — это минимизация отрыва обучающихся от работы.

Помимо этого можно указать, по меньшей мере, еще четыре важных преимущества, обосновывающих вышеуказанную цель [8]:

1. **Вовлечение** в учебный процесс возможно большего количества участников как на коммерческой, так и на бесплатной основе.
2. **Расширение спектра изучаемых дисциплин**, что позволяет эффективно структурировать образовательный процесс, расширять специализацию подготавливаемых кадров, обеспечивать эффективный процесс переподготовки кадров и повышения квалификации специалистов.
3. **Реализация новых форм и методов обучения**, что способствует мотивации обучающихся к активному участию в образовательном процессе за счет вовлечения их в различные практические работы, научные и исследовательские проекты.
4. **Межузовское взаимодействие**, в том числе и на международном уровне.

Принципиальная схема организации учебного процесса в системе ДО, предлагаемая авторами, предполагает использование в качестве учебно-методических материалов, наряду с традиционными, учебники, учебные пособия и другую информацию, записанные в электронном виде.

На рис. 4. в общем виде представлены основные фазы цифровизации учебной информации из рукописного вида в формат, поддерживаемый специальными программными средствами [2]. Каждая стадия преобразования требует значительных проработок и не должна осуществляться только на основе неких разумных соображений. Однако, центральной задачей остается создание собственно информационной модели электронного учебного материала. На начальной стадии проектирования системы ДО самой трудоемкой задачей, требующей значительных усилий хорошо подготовленного коллектива, является задача организации обеспечивающих систему ДО информационных ресурсов.

На основе проведенного анализа существующих программно-технических средств организации систем ДО и опыта различных учебных заведений по их внедрению в собственный учебный процесс авторами предлагается схема системы ДО, описанная ниже.

На функциональном уровне можно выделить три основных блока программно-технического комплекса ДО:

1. Подсистема администрирования.
2. Подсистема on-line доступа пользователей
3. Подсистема off-line доступа пользователей.

Основное назначение подсистемы администрирования — это поддержка функционирования всего программно-технического комплекса, которая выполняется

штатными специалистами на основе спектра полномочий, предусмотренных для каждого из них. Основными задачами, решаемыми специалистами в подсистеме **администрирования**, являются:

1. Ведение списка пользователей системы ДО. Каждый пользователь системы принадлежит определенной категории (администратор, преподаватель, пользователь), на основе которой определяется круг задач, которые он может выполнять в системе.
2. Выполнение служебных функций администрирования системы, куда входит стандартный набор задач, связанных с резервным копированием и восстановлением данных, мониторингом работоспособности отдельных модулей системы, контролем безопасности данных и программ и т.д.
3. Анализ учебного процесса на основе сбора и статистической обработки данных по выполнению пользователями заданий, результатов контрольных тестов, активности в различных учебных процессах и т.д.
4. Подготовка учебных материалов и учебных курсов, тестовых упражнений и контрольных заданий.
5. Планирование учебного процесса.
6. Обеспечение функционирования online-процессов в рамках конкретных учебных курсов, например, проведение виртуальных конференций, обсуждений, сдачи зачетов или экзаменов и т.д.
7. Конвертация подготовленных учебных материалов для их размещения в подсистеме off-line доступа, в первую очередь — электронных учебников.

**Подсистема on-line доступа** пользователей предполагает наличие определенного пользовательского интерфейса, обеспечивающего доступ студентов и преподавателей к учебным материалам и базам данным, и располагающая необходимыми функциональными возможностями для организации учебного процесса. Основными такими возможностями должны быть:

1. Разграничение доступа к учебными материалам со стороны студентов.
2. Проведение различных занятий в режиме реального времени.

**Подсистема off-line доступа** пользователей является вспомогательной и ее существование во многом определяется имеющимся на сегодняшний день уровнем развития средств телекоммуникации и уровнем обеспеченности соответствующими техническими средствами многих потенциальных пользователей. Составными элементами этой подсистемы являются:

1. Электронные учебники. Существующие инструментальные средства позволяют создавать мультимедийные учебники очень высокого уровня, когда в единой информационной среде комбинируется информация различных видов.
2. Мультимедийные справочники и энциклопедии. Это в основном вспомогательные материалы, которые могут готовиться независимо от конкретного учебного курса и которые предназначены для дополнительного изучения студентами в рамках прохождения нужного им учебного курса.





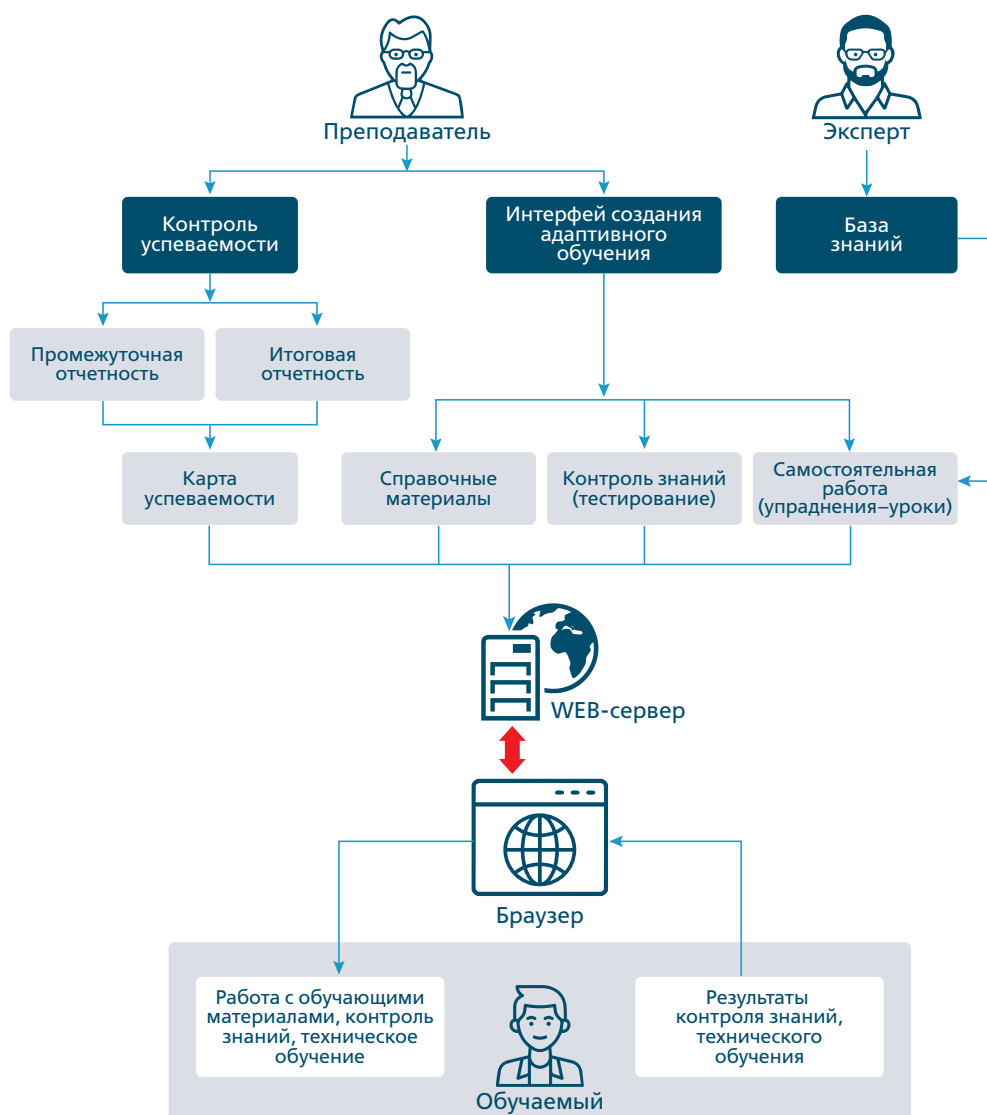


Рисунок 5  
Архитектура адаптивной обучающей системы «Безопасность»

## Структура системы «Безопасность»

С целью повышения эффективности мониторинга инфраструктуры железных дорог, отвечающего модернизации и разработке современных подходов к обеспечению безопасности движения поездов в АО «НИИАС» была создана система обучения «Безопасность» [9] (Рис 5). Эта система предоставляет возможности автоматизированного обучения и контроля знаний сотрудников станции. Характерной особенностью системы «Безопасность» является использование адаптивных алгоритмов обучения с привлечением геоинформационных ресурсов.

Работа с системой «Безопасность» начинается с Web-сайта, что определяет распределенный характер

программной среды и, соответственно, доступ к системе любого конечного пользователя, работающего в сети.

Серверная часть программного комплекса включает в себя COM API ГИС «ObjectLand», картографический Интернет-сервер, подсистему ведения атрибутивной части единой базы геоданных и базу знаний о происшествиях и авариях. В качестве картографического сервера используется «ObjectLand» Web Server — картографический Интернет-сервер, созданный для работы с ГИС «ObjectLand». «ObjectLand» Web Server реализован на платформе .NET Framework в виде Web-сервиса, публикующего методы, реализующие функциональность ГИС.

Пользовательские места организованы в виде тонких клиентов. Доступ к серверу осуществляется >>>



Рисунок 6

**Схема формирования уроков**

с помощью HTML-страниц, активируемых установленным Web-браузером. ГИС-функциональность на пользовательских местах обеспечивается встраиванием в HTML-страницы ActiveX-компонента «ObjectLand» Web Client, который работает с картографическим сервером. ActiveX-компонент сразу же загружается на рабочее место пользователя при первом обращении к серверу.

Функциональность системы «Безопасность» задается следующими этапами:

1. **Создание электронного учебного курса.** Преподаватель создает базу электронных учебных материалов (тексто-графические учебные материалы, материалы контроля знаний) и обеспечивает последующую настройку их адаптивности.
2. **Распространение электронного учебного курса.** После подготовки электронного учебного курса, его необходимо передать обучаемым пользователям. Распространение осуществляется через сеть передачи данных ОАО «РЖД».
3. **Процесс проведения технического обучения.** На этапе проведения обучения обеспечивается возможность навигации по электронным учебным материалам; обратная связь, организуется за счет взаимодействия с моделью обучаемого. На данном этапе выполняется автоматический контроль успеваемости.
4. **Формирование итоговых отчетных материалов** об успеваемости обучаемых. На данном этапе производится заключительная оценка знаний обучаемого, формирование файла, содержащего материалы об успеваемости обучаемого в течении всего курса.

Основной структурной единицей электронно-обучающих материалов является «Упражнение-урок» — совокупность графических заданий с вариантами ответа и пояснениями ошибочных действий обучаемого.

В уроках задается определенная ситуация, которая может возникнуть в процессе производственной деятельности работника, и последний должен принять решение, адекватное заданной ситуации в плане соответствия нормативным актам и обеспечения безопасности движения. Моделируются ситуации с отправлением, прохождением поездов на станции, взаимодействием с подчиненными структурами и исполнителями, ведением документации, подача ручных аварийных сигналов. В случае принятия неправильного решения система выдает обучаемому поясняющий кадр, в котором дается полное разъяснение допущенной ошибки, правильные действия со ссылкой на пункты ИДП и аварийные ситуации, произошедшие при ошибке такого типа, тем самым наряду с тестированием осуществляется автоматизированное обучение работника.

Есть две основные цели для вовлечения работников станции в различные виды деятельности в обучающей системе. Первая цель — оценивание понимания обучаемого и его прогресса. Вторая цель — самообучение. Через такие действия, как решение задач и исследование обучаемые могут пройти к пониманию предмета, сделать его своей интеллектуальной собственностью. В Web-практике обучения есть ясное различие между двумя группами действий. Объективные действия (тесты) (да/нет вопросы, вопросы с множественным выбором, вопросы с короткими ответами) созданы для проверки понимания обучаемого и предполагают минимальное творчество. Функциональные действия (или упражнения) вовлекают обучаемых в решение серьезных задач, разработку или исследование. Курс обучения подразделяется на уроки, содержащие до 10-ти кадров-заданий и необходимое количество обучающихся кадров (рис. 6). Тестирование в большей степени направленно на оценку обучаемого, а уроки больше ориентированы на его обучение. >>>

## Заключение

В процессе подготовки данного материала авторами проводился анализ систем и программно-технических комплексов организации дистанционного образования различных систем ДО. Этот анализ позволил сделать ряд выводов, сформулированных ниже:

На сегодняшний день не существует законченной и детально проработанной концепции создания как самих систем ДО, так и программных решений, адекватных стоящим перед этими системами задачам. В большинстве организаций проводятся собственные разработки своих систем, которые, как правило, адаптированы под условия функционирования производственного процесса, сложившиеся в каждой из этих организаций.

Развитие современных технологий позволяет практически однозначно определить в качестве приоритетного направления создания универсальных систем ДО Интернет-технологии.

Несмотря на то, что Интернет-технологии предлагают богатые инструментальные средства для создания систем различного назначения, проектирование и создание системы ДО «с нуля» представляется экономически нецелесообразным и исключительно трудоемким процессом.

Оптимальным решением для организации системы дистанционного образования является выбор наиболее продвинутого в функциональном плане готового решения с возможностями его дальнейшего развития и адаптации к изменяющимся условиям производственного процесса. ■

## Список литературы

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. — М.: Информационно-издательский дом «Филин». - 2003. — 616 с.
2. Дулин С.К., Репьев А.В., Розенберг И.Н. Организация информационных ресурсов адаптивной обучающей системы // Системы и средства информатики. Вып. 16.- М.: Наука, 2006. — С. 321-328.
3. Calvi L., Cristea A. Towards Generic Adaptive Systems: Analysis of a Case Study. //Second International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems, Springer Verlag, LNCS 2347. — 2002. — pp. 77-87.
4. Вайндорф-Сысоева М.Е., Грязнова Т.С., Шитова В.А. Методика дистанционного обучения. — М.: Юрайт, 2019. — 194 с.
5. Пупков А.Н., Царев Р.Ю., Капулин Д.В. Управление хранением и обработкой информации в образовательных средах дистанционного обучения.— Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — 132 с.
6. Положенцева И.В. Диагностика сформированности компетенций у обучающихся в системе дистанционного образования // Мир науки.- 2015. — №4.- С. 9-15.
7. Гаврилов А.В. Разработка электронных учебнометодических материалов в системе дистанционного обучения STELLUS: учебно-методическое пособие. — Омск: Омская академия МВД России. — 2010. — 100 с.
8. Шабанов А. Г. Дистанционное обучение в условиях непрерывного образования. Проблемы и перспективы развития. — М.: Современная гуманитарная академия. — 2009. — 284 с.
9. Дулин С.К., Репьев А.В., Розенберг И.Н. Организация информационных ресурсов адаптивной обучающей системы // Системы и средства информатики. Вып. 16.- М.: Наука, 2006. — С. 321-328.

УДК 519.113.115+681.3

# Оптимизация движения в транспортной сети

## Optimization of traffic in the transport network

**Лёвин Б.А.**, д.т.н., профессор, Президент, Российский университет транспорта, РУТ (МИИТ),

E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Москва, Россия

**Lyovin B.A.**, D.ofSci(Tech), Professor, President, Russian University of Transport, RUT (MIIT),

E-mail: lyevin@rut-miit.ru, Moscow, Russia

**Цветков В.Я.**, д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС»,

E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

**Tsvetkov V.Ya.**, D.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS",

E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia

### Аннотация

Предлагается метод выбора условно оптимального маршрута при интервальном моделировании движения в транспортной сети. Принципиальным является переход от точечной модели движения к интервальной, при этом одному значению функции соответствует интервал значений аргументов. Предлагается заменить термин «оптимальность» на термин «разумная целесообразность», вводится понятие информационная ситуация движения. Показано, что поиск оптимума при дискретной оптимизации основан на пересечении множеств, описывающих четкие критерии. Описаны условия и ограничения данного метода. Показано, что в зависимости от весовых характеристик выбор оптимального маршрута может существенно меняться. Метод позволяет выполнять количественный анализ при большом числе критериев. Это дает основание использовать его в интеллектуальных транспортных системах.

**Ключевые слова:** транспортная сеть, маршрут движения, интервальные функции, анализ альтернатив, теория игр, дискретная оптимизация.

### Abstract

A method is proposed for choosing a conditionally optimal route for interval simulation of traffic in a transport network. The main thing is the transition from a point model of motion to an interval model, with one value of the function corresponding to an interval of values of the arguments. It is proposed to replace the term "optimality" with the term "reasonable expediency", the concept of the information situation of movement is introduced. It is shown that the search for the optimum in discrete optimization is based on the intersection of sets describing clear criteria. The conditions and limitations of this method are described. It is shown that, depending on the weight characteristics, the choice of the optimal route can vary significantly. The method allows performing quantitative analysis with a large number of criteria. This gives reason to use it in intelligent transport systems.

**Keywords:** transport network, traffic route, interval functions, analysis of alternatives, game theory, discrete optimization.



## Введение

Оптимизация перевозок на основе моделирования маршрутов в транспортной сети относится к области дискретной математики. Оптимальная маршрутизация задает эффективность доставки грузов и эффективность эксплуатации транспортных средств. Маршрутизация есть компонента сетевой оптимизации в информационно-вычислительных сетях и компонента логистической оптимизации в транспортных сетях. Структура физической транспортной сети не меняется, но условия передвижения в сети могут меняться. Использование математического и логического аппарата в сети позволяет повышать эффективность доставки грузов. Более 60% расходов организаций уходит на транспортировку [1]. Большинство задач оптимизации доставки связано с линейным программированием, в частности, с решением «транспортной задачи» [2].

Многие задачи доставки связаны с дискретными вычислениями и дискретной оптимизацией. Дискретная оптимизация применяется в САПР, в АСУ, в теории графов, в задачах логистики [3, 4], в задачах робототехники. Дискретные модели применяют для описания сложных и нелинейных связей и отношений. Многие задачи дискретной математики имеют NP- сложность. Часто говорят об информационной неопределенности, но можно выделить аналитическую неопределенность. Аналитическая неопределенность характеризует ситуацию, когда исследователь интуитивно видит закономерность, но точно описать ее не может. Аналитическая неопределенность существует в дискретной математике. Разработка методов решения задач аналитической неопределенности находятся в стадии развития. Поэтому разработка методов дискретной оптимизации для уменьшения аналитической неопределенности представляет актуальность в настоящее время.

## Особенности интервального анализа

В настоящее время, особенно с ростом скоростного движения, управление составами на железнодорожном транспорте требует перехода от точечной модели состава к его пространственной линейной модели, которая представляет собой модель «червя», ползущего по трассе. Линейная модель — одна из трех базовых моделей в геоинформатике. Поэтому она допускает применение геоинформатики и геоинформационного моделирования. С позиций математики линейная модель приводит к интервальной математике и интервальным оценкам [5].

Существует понятие интервальные данные, которое для транспортной сети некорректно. В реальности интервальной является функция, имеющая равное значение на интервале изменяющихся переменных. Для транспорта эта функция для одного и того же объекта может меняться. Например, неподвижный состав может иметь длину 1 км. Этот линейный отрезок он занимает на трассе и другие объекты «въезжать» в него не могут. При скоростном движении его длина возрастает до 2 км за счет появления тормозного участка. другие объекты

«въезжать» в увеличенный участок не могут. Это пример интервальной функции или упрощенно интервальных данных которые меняются в зависимости от условий движения. Интервальные данные обычно связывают с нечеткими множествами, хотя существует интервальные данные, которые являются четкими. Например, целочисленные системы координат, изображение в виде пикселей или тайлов являются четкими интервальными величинами.

Для дискретных методов оптимизации методы аналоговой оптимизации могут не работать. На рис.1 приведено три решения задачи оптимизации. По вертикали отложена функция полезности  $T$ , по горизонтали аргумент  $X$ . Решения  $A(x_1, x_2)$  и  $B(x_2, x_3)$  дискретные и интервальные. Они равны между собой, хотя занимают разные интервалы. Решение  $C(x_2)$  точечное и аналоговое. Видно, что решение  $C$  соответствует экстремуму, а два одинаковых решения  $A$  и  $B$  меньше экстремума, то есть ниже точки аналоговой оптимальности. Они равны между собой и возникает дополнительный вопрос какое из них выбрать? Он решается при дополнительном анализе. Принципиально, что  $A(x_1, x_2)$  и  $B(x_2, x_3)$  соответствуют интервальной функции, а решение  $C(x_2)$  соответствует точечной аналоговой функции и оно действительно оптимальное.

На примере (рис.1) видно, что интервальные функции являются приближенными и менее точными, чем аналоговые. Интервальные функции создают аналитическую неопределенность. Аналитическая неопределенность есть различие между дискретным и аналитическим решениями. Чем меньше интервал, тем ближе он к аппроксимируемой кривой и тем меньше аналитическая неопределенность. Точечная функция точно воспроизводит аналитическую зависимость. Поэтому для задач дискретной оптимизации следует заменить термин «оптимальность» на термин «разумная целесообразность».

Обычные переменные являются точечными, например, точка  $M(x,y)$  характеризует точку на плоскости. Функция  $Y=F(x)$  также характеризует точку на плоскости:  $x$  — значение аргумента,  $Y$  — значение функции. Для точечной функции одному значению аргумента соответствует одно значение функции.

Интервальная функция имеет одно значение функции для интервала (множества) переменных. Интервальные переменные характеризуются интервалом с одинаковым значением функции при изменении аргумента в определенных пределах. На рис.2 приведен пример интервальной функции.

На рис.2 показано, что интервалу переменных  $xk_1, xk_2$  соответствует одно значение функции  $Tk$ . На практике это может означать движение объекта в пределах одного отрезка маршрута или одного маршрута. Значение интервала аргументов для функции  $Tk$  зависит от скорости. Чем выше скорость движения, тем больше интервал  $[xk_1, xk_2]$ .

При движении по транспортной сети можно говорить об информационной ситуации движения, >>>



Рисунок 1  
Три решения задачи оптимизации.

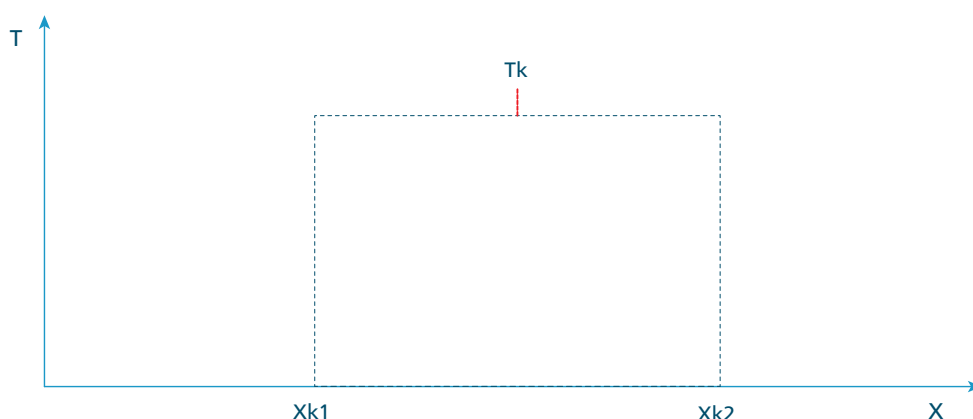


Рисунок 2  
Интервальная функция.

описывающей маршрут движения конкретного транспортного средства. Информационная ситуация движения  $ts$  описывается набором аргументов функции  $x_k$  и дополнительным набором, характеризующим условия движения,  $T_k$ . Она использует интервальные числа или интервальные функции. Информационная ситуация движения описывает условия движения, а не само движение. Интервальные функции характеризуются интервальными значениями аргумента  $x$  [6] для интервальной функции существует аргумент  $x$  и границы интервала  $x_{k1}, x_{k2}$ . Это означает переход от точечных значений (одного значения) аргумента к множеству значений аргумента, соответствующих одному значению функции.

$$x \in [x_{k1}, x_{k2}], \tag{1}$$

$$x_k = [x_{k1}, x_{k2}]; x_k \in X \tag{2}$$

В выражении (1)  $x$  — множество аргументов, принадлежащих интервалу  $[x_{k1}, x_{k2}]$ . Интервалов может быть много. С каждым транспортным средством связан интервал. По сети двигаются интервалы, а не точки. В выражении (2) индекс  $k = 1, \dots, P$ ; — обозначает номер интервала аргумента,  $X$  — область существования значений аргументов для всех интервалов. Количество интервальных функций равно количеству интервалов

$$T_k(x_k) \in TU \tag{3}$$

В выражении (3)  $T_k$  — значения функций для каждого интервала.  $TU$  — область существования значений функций. Для транспортных объектов это область возможных длин подвижного состава с учетом его скорости движения. При дискретной оптимизации оптимальное дискретное решение может не соответствовать оптимальному решению для непрерывной функции. Рис.1 показывает возможность двух дискретных одинаковых значений функции. В этих ситуациях говорят о разумных или предпочтительных решениях [7]. Анализ предпочтительности является сравнительным. Предпочтительные решения применимы только к ограниченной конкретной совокупности. В связи с этим целесообразность и предпочтительность является условной, применительно к рассматриваемой совокупности объектов и их характеристик. Она изменяется при изменении выборки.

Изменяя исходные условия, можно получить множество альтернативных решений или множество альтернатив. Множество альтернатив принятия решений при использовании интервальных функций можно представить как множество информационных ситуаций. Такая информационная ситуация описывается через интервалы аргументов, множество значений функции и множество критериев. Критерии дискретной оптимизации имеют негативные (убытки, расходы) или позитивные >>>

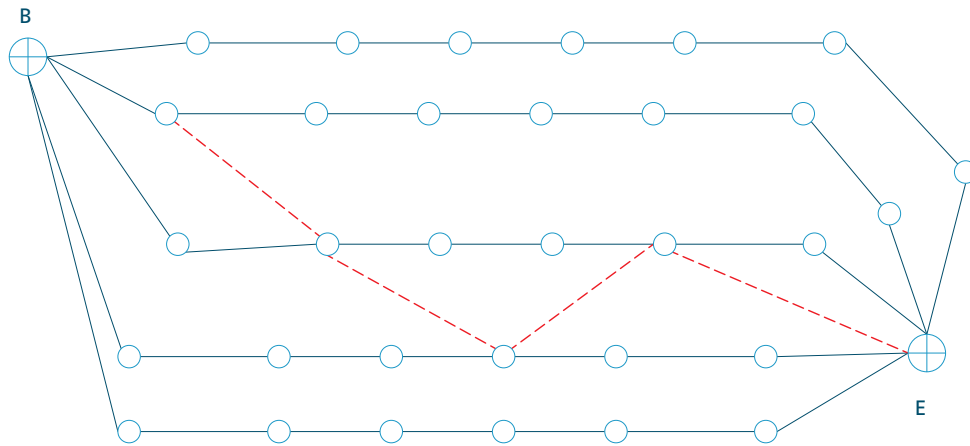


Рисунок 3  
Топологическая схема доставки груза

(прибыль, доходы) значения. Одни ориентированы на максимум, другие ориентированы на минимум (риск). Всего возможно  $K=K_1, K_2, \dots, K_n$  критериев.

Интервальные функции имеют разные размерности, поэтому для возможности их сравнения используют относительные значения функций  $\xi_k$

$$\xi_k = T_k / T_{\max}, \tag{4}$$

Выражение (4) показывает, что размерные интервальные функции приводятся к безразмерным. В одних случаях ищут максимум функции (прибыль) в других минимум (расходы). При оптимизации по минимуму, описываемого вспомогательной переменной  $y_k$  применяют формулу (5)

$$\xi_k(y_m) = T_m + (m-1)/m * T_m + (m-2)/m * T_m + \dots + 1/m * T_m \tag{5}$$

В формуле (5) величина  $T_m$  имеет условную максимальную полезность, в том смысле что минимальную негативную составляющую. При оптимизации по максимуму критерия, описываемого вспомогательной переменной  $y_m$  применяют формулу (6)

$$\xi_k(y_m) = T_m + (m-1)/m * T(m-1) + (m-2)/m * T_m + \dots + 1/m * T_m \tag{6}$$

В выражении (6)  $T_m$  имеет максимальную полезность, как максимальная позитивная составляющая. Оба выражения описывают уменьшение полезности. В (5) и (6) число членов соответствует числу качественных значений критерия.

Для каждого интервала  $k$  может существовать набор значений критериев  $K_n$ . Если имеется  $K_n$  критериев, то лучшей считается альтернатива, удовлетворяющая большему числу критериев. Правило для выбора дискретного оптимума [8] может быть записано как пересечение множеств. Операции пересечения множеств соответствует операция  $\min$ , выполняемая над функциями

$$\xi_k(x) = \min \xi_k(y) \tag{7}$$

В качестве лучшей альтернативы будет выбираться объект, имеющий наименьшее большее значение негативной функции и наименьшее значение позитивной функции.

$$\xi_{kp}(y^*) = \min \xi_k(y_j) \quad j=1 \dots m \tag{8}$$

$$\xi_{kn}(y^*) = \max \xi_k(y_j) \quad j=1 \dots m \tag{9}$$

В выражениях (8), (9)  $m$  — число значений каждого критерия.

### Экспериментальные исследования

Рассмотрим оптимизацию на примере. Цель состоит в определении оптимального маршрута доставки груза. При этом существует множество альтернатив (маршрутов) из точки отправления в точку назначения. В нашем примере заданы три критерия доставки: минимальное расстояние, минимальный риск, минимальное время доставки. Все величины задаются в относительных единицах. Условно схема движения приведена на рис. 3. Приведена топологическая схема шести маршрутов из точки В (начало) в точку Е (конец маршрута). Пунктиром показан маршрут, пересекающийся с другими маршрутами.

Как следует из рис. 3, существует несколько (шесть) возможных маршрутов. Каждый маршрут оценивают по заданным критериям. Характеристики маршрутов представлены в таблице 1, там же даны качественные сравнительные значения интервальных функций, которым соответствуют количественные интервалы аргументов. Для каждого маршрута строка задает интервальную ситуацию. В выражениях (10)–(27), приведенных ниже, эти ситуации детализированы.

Все критерии имеют по 5 значений. Первый показатель «длина маршрута» имеет качественные значения: **ом** — очень малая, **м** — малая, **с** — средняя, **б** — большая, **об** — очень большая. Второй критерий имеет значения: **м** — малый, **н** — низкий, **с** — средний, **в** — высокий, **ов** — очень высокий. Третий критерий «время доставки» описан значениями: **м** — малое, **д** — допустимое, **с** — среднее, **б** — большое, **об** — очень большое. >>>

Таблица 1  
**Параметры маршрутов X**

Маршруты	Расстояние	Риск	Время доставки
X1	малая	высокий	допустимо
X2	большая	низкий	большое
X3	очень малая	высокий	среднее
X4	очень большая	низкий	очень большое
X5	большая	малый	большое
X6	средняя	средний	среднее

Таблица 2  
**Промежуточные функции информационных ситуаций**

Ситуации	Длина маршрута (L)	Риск (R)	Время доставки (Td)	$\xi(y^*)$
x1	малая	высокий	допустимо	
$\xi1(y)$	4/5	2/5	4/5	2/5
x2	большая	низкий	большое	
$\xi2(y)$	2/5	4/5	2/5	2/5
x3	очень малая	высокий	среднее	
$\xi3(y)$	1	2/5	3/5	2/5
x4	очень большая	низкий	Очень большое	
$\xi4(y)$	1/5	4/5	1/5	1/5
x5	большая	малый	большое	
$\xi5(y)$	2/5	1	2/5	2/5
x6	Средняя	Средний	Среднее	
$\xi6(y)$	3/5	3/5	3/5	3/5

Конкретные значения критериев каждого маршрута формируют информационные ситуации движения. Опишем ситуации для каждого маршрута.

Для маршрута 1 имеем.

$$mv11=\{(0/ом), (1/м), (0/с), (0/б), (0/об)\} \quad (10)$$

$$mv12=\{(0/м), (0/н), (0/с), (1/в), (0/ов)\} \quad (11)$$

$$mv13=\{(0/м), (1/д), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (12)$$

Для маршрута 2 имеем.

$$mv21=\{(0/ом), (0/м), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (13)$$

$$mv22=\{(0/м), (1/н), (0/с), (0/в), (0/ов)\} \quad (14)$$

$$mv23=\{(0/м), (0/д), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (15)$$

Для маршрута 3 имеем.

$$mv31=\{(1/ом), (0/м), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (16)$$

$$mv32=\{(0/м), (1/н), (0/с), (1/в), (0/ов)\} \quad (17)$$

$$mv33=\{(0/м), (0/д), (1/с), (0/б), (0/об)\} \quad (18)$$

Для маршрута 4 имеем.

$$mv41=\{(0/ом), (0/м), (0/с), (0/б), (1/об)\} \quad (19)$$

$$mv42=\{(0/м), (1/н), (0/с), (0/в), (0/ов)\} \quad (20)$$

$$mv43=\{(0/м), (0/д), (0/с), (0/б), (1/об)\} \quad (21)$$

Для маршрута 5 имеем.

$$mv51=\{(0/ом), (0/м), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (22)$$

$$mv52=\{(1/м), (0/н), (0/с), (0/в), (0/ов)\} \quad (23)$$

$$mv53=\{(0/м), (0/д), (0/с), (1/б), (0/об)\} \quad (24)$$

Для маршрута 6 имеем.

$$mv61=\{(0/ом), (0/м), (1/с), (0/б), (0/об)\} \quad (25)$$

$$mv62=\{(0/м), (0/н), (1/с), (0/в), (0/ов)\} \quad (26)$$

$$mv63=\{(0/м), (0/д), (1/с), (0/б), (0/об)\} \quad (27)$$

Для всех ситуаций рассчитывают значения вспомогательных функций, по формулам (5) или (6). Результаты показаны в таблице 2.

### Выбор целесообразного маршрута

Согласно критерию минимакса, наилучшим будет маршрут х6, так как значение  $\xi6(x^*) = 3/5$ . Анализ ситуаций дал возможность определить целесообразный путь при таких исходных условиях. Это решение является условным поскольку вес всех критериев считался равным. На практике ставят дополнительные условия. Так, например, минимальное расстояние есть минимальный расход горючего. Для особо ценных грузов важен минимальный риск. Для оперативной доставки важно минимальное время. Это есть основание преобразовать таблицу 2 для этих условий. >>>



Таблица 3  
Матрица платежей

	$K_1 Q_1$	$K_i Q_j$	$K_n Q_n$
$mv_1$	$a_{11} q_1$		$a_{n1} q_n$
		$a_{ij} q_i$	
$mv_m$	$a_{m1} q_1$		$a_{mn} q_n$

Таблица 4.  
Матрица платежей с учетом важности расстояния

вариант	L	R	Td	$\xi_i^*(y)$
1	0,615385	0,061538	0,061538	0,061538
2	0,307692	0,123077	0,030769	0,030769
3	0,769231	0,061538	0,046154	0,046154
4	0,153846	0,123077	0,015385	0,015385
5	0,307692	0,153846	0,030769	0,030769
6	0,461538	0,092308	0,046154	0,046154
			max	0,061538

Таблица 5  
Матрица платежей с учетом минимального риска.

вариант	L	R	Td	$\xi_i^*(y)$
1	0,106667	0,266667	0,16	0,106667
2	0,053333	0,533333	0,08	0,053333
3	0,133333	0,266667	0,12	0,12
4	0,026667	0,533333	0,04	0,026667
5	0,053333	0,666667	0,08	0,053333
6	0,08	0,4	0,12	0,08
			max	0,12

Для модификации или трансформации используют веса критериев согласно дополнительным условиям. В этом случае, если критерии имеют разную важность, каждому из них присписывается вес  $1 > \alpha_k > 0$  (чем важнее критерий, тем больше  $\alpha_k$ ). В таблице 3 приведена матрица платежей [9], которая формируется из таблицы 2 на основе теории игр.

В таблице 3  $mv_1$  информационная ситуация движения,  $K$  — критерий,  $a$  — значение функции,  $q$  — вес критерия. Для определения веса вводят коэффициенты  $Q$  относительной важности критерия. Важность оценивают числом. Ее нормируют и превращают в веса. Затем необходимо учесть влияние весов на значения интервальных функций. Это делают на основе преобразования (28).

$$\xi_i^*(y) = \xi_i(y) q_{kj} \tag{28}$$

Введем эмпирические условия важности критериев. Вводим три дополнительных условия. У1 — экономия горючего или минимальная длина маршрута. У2 — перевозка при минимальном риске. У3 оперативность доставки. Для первого условия вводим коэффициенты важности (10, 2, 1), для второго условия (2, 10, 3), для третьего (1, 2, 10).

Вычисляем матрицу платежей для критерия минимальной длины. Результаты вычислений даны в таблице 4.

Целесообразное решение  $\xi_1(y)$

Вычисляем матрицу платежей для минимального риска. Результаты вычислений даны в таблице 5.

Целесообразное решение  $\xi_3(y)$ .

Вычисляем матрицу платежей для минимального времени. Результаты вычислений даны в таблице 6.

Целесообразное решение  $x_3(y)$



Таблица 6

Матрица платежей с учетом минимального времени

вариант	$L$	$R$	$Td$	$\xi_i^*(y)$
1	0,06153846	0,061538	0,615385	0,061538
2	0,03076923	0,123077	0,307692	0,030769
3	0,07692308	0,061538	0,461538	0,061538
4	0,01538462	0,123077	0,153846	0,015385
5	0,03076923	0,153846	0,307692	0,030769
8	0,04615385	0,092308	0,461538	0,046154
			max	0,061538

## Обсуждение

Для оптимизации с интервальными данными нет универсального определения отношений порядка. Поэтому схема вычислений является эмпирической с учетом оценочных значений критериев. Описанный метод напоминает метод использования нечетких множеств. Но он является четким. То есть функция принадлежности в этих ситуациях всегда равна 1. Понятие «оптимальность» связано не с аналитикой, а с алгоритмической и эвристической проблемой выбора альтернатив. Изначально дискретный подход создает аналитическую неопределенность (рис. 1). Однако введение критериев важности факторов ее уменьшает.

Данный метод является экспертным и зависит от опыта эксперта. Эксперт задает важность критериев через коэффициенты  $Q$ . *Адекватность экспертной оценки влияет на выбор альтернативы. Фактически данный метод имеет теоретический аналог в виде задачи наискратчайшей связывающей сети. При развертывании данного подхода решение интервальных задач базируется на интервальной арифметике [10].*

В данной задаче показано, что оптимальное или предпочтительное решение зависит от выбора важности критериев. «Чистая» игровая матрица платежей дает в качестве целесообразного шестой маршрут. При учете важности расстояния целесообразным становится первый маршрут. При учете важности риска перевозки для особо ценных грузов целесообразным становится третий маршрут. При учете важности срочности перевозки целесообразным становится третий маршрут. Можно разработать заранее набор критериев и рассчитать набор альтернатив для разных вариантов критериев. Это существенно облегчает принятие решений для ЛПР.

## Заключение

В настоящее время интерес к интервальным вычислениям возрос из-за развития гранулярных вычислений [11]. Поэтому данный подход частично решает задачи гранулярного анализа. Предложенная методика интервального анализа помогает решать задачи, которые не решают аналитические методы. Фактически предложенный метод является численным методом. Методика она устраняет аналитическую неопределенность. Решения или альтернативы выбирают на основе теоретико-игрового подхода с использованием критерия минимакс.

Есть основание ввести новое понятие информационной ситуации движения. Применение интервального анализа для оптимизации маршрутов перевозки грузов при минимаксных критериях обладает рядом особенностей. Этот анализ не требует вероятностных характеристик. Следует отметить, что теоретико-игровой подход позволяет получать четкие оценки для разных альтернатив. Предложенный метод позволяет получать двусторонние оценки с учетом минимума и максимума функции полезности. Недостатком метода является зависимость от экспертных оценок важности критериев. Это влияет на результат выбора альтернатив. В тоже время, накопленный опыт может повысить оптимальность или целесообразность решения выбора. ■

## Список литературы

1. Булгаков С.В. Интегрированная логистика // Наука и технологии железных дорог. — 2018. — 3(7). — С.57-63.
2. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Комбинаторное решение транспортной задачи // Наука и технологии железных дорог. 2018.Т.2. 4(8). С.3-10.
3. Juan A. A. et al. Simheuristics applications: dealing with uncertainty in logistics, transportation, and other supply chain areas //2018 winter simulation conference (WSC). — IEEE, 2018. — С. 3048-3059.
4. Li G. Development of cold chain logistics transportation system based on 5G network and Internet of things system //Microprocessors and Microsystems. — 2021. — Т. 80. — С. 103565.
5. Dai B. et al. Coindice: Off-policy confidence interval estimation //Advances in neural information processing systems. — 2020. — Т. 33. — С. 9398-9411.
6. Skelboe S. Computation of rational interval functions //BIT Numerical Mathematics. — 1974. — Т. 14. — №. 1. — С. 87-95.
7. Tsvetkov V. Ya. Not Transitive Method Preferences. // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. 1(3), — pp.34-42. DOI: 10.13187/jincfar.2015.3.34.
8. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. — Рига: Зинатне, 1990. — 184с.
9. Maschler M., Zamir S., Solan E. Game theory. — Cambridge University Press, 2020.
10. Boukezzoula R. et al. Gradual interval arithmetic and fuzzy interval arithmetic //Granular Computing. — 2021. — Т. 6. — №. 2. — С. 451-471.
11. Yao Y. Three-way decision and granular computing //International Journal of Approximate Reasoning. — 2018. — Т. 103. — С. 107-123.

УДК 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

# К концепции внедрения информационного моделирования в железнодорожном транспортном комплексе

## To the concept of introducing information modeling in the railway transport complex

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

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

**Озеров А.В.**, Начальник Международного управления АО «НИИАС»,

E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия

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

**Куроптева А.П.**, Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,

E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Москва, Россия Москва, Россия

**Kuropteva A.P.**, Chief Specialist of International Department, JSC «NIIAS»,

E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье дано общее представление о технологии информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM), достоинствах и недостатках технологии BIM. Представлен обзор современной нормативной базы и инициатив в области информационного моделирования. Особое внимание уделено описанию стандартов и национальных стратегий (дорожных карт) перехода на информационное моделирование железнодорожной инфраструктуры с применением технологии BIM, а также проектов Международного союза железных дорог (МСЖД) в области цифрового моделирования.

**Ключевые слова:** Информационное моделирование, BIM-технологии, цифровизация, цифровой двойник, железнодорожный транспорт, жизненный цикл, ГИС, РЖД, МСЖД.

### Abstract

The article gives a general idea about the technology of information modeling (Building Information Modeling, BIM), the advantages and disadvantages of BIM technology. An overview of the current regulatory framework and initiatives in the field of information modeling is presented. Particular attention is paid to the description of standards and national strategies (roadmaps) for the transition to information modeling of the railway infrastructure using BIM technology, as well as projects of the International Union of Railways (UIC) in the field of digital modeling.

**Keywords:** Information modeling, BIM technologies, digitalization, digital twin, railway transport, life cycle, GIS, Russian Railways, UIC.

## Введение

Цифровизация железнодорожной отрасли является сложным и многогранным процессом, который оказывает влияние на различные аспекты бизнес-процессов и определяет направления научно-технологического развития. Системы цифрового моделирования для инфраструктуры железнодорожного транспорта представляют собой одну из ключевых технологий для создания железнодорожной системы нового типа. В силу масштабной цифровизации неотъемлемым атрибутом каждой транспортной компании становится наличие цифрового двойника, который можно создать с помощью технологии информационного моделирования (Building Information Modeling, BIM).

Интерес к технологии информационного моделирования стремительно растет, поскольку BIM-моделирование обеспечивает заказчиков качественной проектной документацией, оптимизирует стоимость и сроки реализации проектов, а также повышает эффективность координации работы участников внутри проекта. Технология представляет собой интерактивную 3D-модель, которая объединяет архитектурную, конструкторскую, технологическую, сметную части проекта.

Целью данной статьи является описание отечественного и зарубежного опыта применения технологии BIM на железнодорожном транспорте, в том числе описание концепции и проектов МСЖД в области цифрового моделирования.

## Общее представление о технологии BIM

Зарождение нового подхода к проектированию объектов можно считать вторую половину XX века, когда начали появляться системы автоматического проектирования объектов (САПР). В конце XX века проектирование перешло в трехмерные модели, что говорит о распространении концепции информационного моделирования зданий и начале истории BIM.

Информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) — это цифровое представление физических и функциональных свойств объекта [1]. Основой технологии BIM служат процессы или способы совместной работы с информацией об объекте строительства. Процессы регулируют работу с BIM-моделью, которая включает в себя интеллектуальные объекты и параметрические взаимосвязи. Для каждого этапа работы над проектом прописан уровень детализации BIM-модели. BIM-модель охватывает все этапы жизненного цикла объекта: планирование, составление технического задания, проектирование и анализ, выдача рабочей документации, производство, строительство, эксплуатация и ремонт, демонтаж.

Основной областью применения технологии BIM является строительная отрасль, также данная технология применяется производственными компаниями для автоматизации процессов управления производственным

объектом. Среди основных преимуществ применения технологии можно выделить следующие:

- единое информационное пространство сбора, накопления и комплексной обработки всей архитектурной, конструкторской, инженерной, технологической, экономической и иной информации об объекте как в процессе проектирования, так и в процессе строительства и последующей эксплуатации, которое позволяет оперативно принимать обоснованные управленческие решения;
- параметрическая увязка элементов информационной модели, позволяющая осуществлять автоматическую последовательную корректировку проекта при изменении одного из элементов;
- все участники строительного процесса (заказчик, проектировщик, подрядные организации, поставщики и др.) вовлечены в процесс создания объекта, обеспечивается быстрый обмен информацией о проекте между его участниками;
- сокращение сроков формирования документации по проекту;
- повышение точности календарного планирования;
- сокращение расходов по проекту и др.

На данный момент существует большое количество программных комплексов от различных компаний, предлагающих свои индивидуальные решения по технологии информационного моделирования. Основными поставщиками программных продуктов на российском рынке являются компании Bentley и Autodesk. Также на российском рынке существуют программные комплексы отечественных производителей. Ниже представлено сравнение программных продуктов зарубежного и российского производств (табл. 1).

Сравнение показало, что нет единого программного комплекса для решения всех видов задач, а различные программы отдельного производителя не могут покрыть все стадии жизненного цикла объекта.

## Основные препятствия и ограничения внедрения BIM-технологий

Преимущества технологии информационного моделирования зданий и сооружений приводят к ее повсеместному внедрению в мировую практику. Высокий уровень применения технологии BIM в США, ряде стран Европы и Азии объясняется тем, что их продвижением занимаются не только отдельные заинтересованные компании, научные центры, но и поддержкой государства. В данном случае государство выступает как в роли регулятора, так и в роли заказчика.

В настоящее время в большинстве стран, включая Россию, внедрение технологии BIM все еще находится на начальном этапе. Среди основных причин, которые препятствуют внедрению технологии BIM можно выделить следующие:

- Отсутствие полноценных стандартов на создание моделей данных, кроме моделей зданий, поэто- ➤➤➤

Таблица 1  
Сравнение возможностей ПО зарубежные и российские производства

Критерий	Российские технологии	AUTODESK	BENTLEY
Среда общих данных (CDE)	CREDO (при проектировании), IndorRoad (при эксплуатации)	Revit	ProjectWise
Совместный просмотр и рецензирование	CREDO (при проектировании)	A360, DesignReview	ProjectWise
Организация жизненного цикла	IndorCAD+IndorRoad	—	ProjectWise + AssetWise
Управление проектами	—	Revit	ProjectWise
Параметризованные модели данных	IndorCAD, CREDO, Robur	Civil 3D	OpenRoads, InRoads, MXRoad, Power Civil, GEOPAK, RM Bridge
Открытые форматы обмена данными	+	+	+
Библиотека объектов и материалов	IndorCAD, IndorPavement, IndorCulvert, CREDO	Revit	RM Bridge
4D — План реализации проекта	IndorCAD/Road, IndorRoad	NavisWorks	ProjectWise с Construct-Sim
5D — Ведомости и сметы	IndorCAD/Road, CREDO Автомобильные дороги, Robur — Автомобильные дороги	Civil 3D	OpenRoads, InRoads, MXRoad, Power Civil, GEOPAK, RM Bridge
6D — Оценка проектных решений	IndorCAD/Road, CREDO Автомобильные дороги, Robur — Автомобильные дороги	Civil 3D, Revit	OpenRoads, InRoads, MXRoad, Power Civil, GEOPAK, RM Bridge
7D — Эксплуатация	IndorRoad	—	AssetWise

му применяются различные проприетарные форматы и программное обеспечение.

- Отсутствие требований к уровням детализации разрабатываемых моделей данных на разных стадиях проектирования и эксплуатации.
- Структура жизненного цикла в каждой отрасли существенно отличается от структуры жизненного цикла зданий.
- Высокая стоимость первоначальных вложений, связанных с закупкой оборудования и программного обеспечения.
- Дефицит квалифицированных кадров, подготовленных для работы с BIM-технологиями, отсутствие технической оснащенности участников проекта.
- Внедрение BIM-технологий требует значительных изменений в бизнес-процессах организации, организации параллельной коллективной работы в специально организованной информационной среде, что часто требует значительной организационной реструктуризации.

## Зарубежный опыт внедрения BIM-технологий на железнодорожном транспорте

Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) опублико-

вала серию стандартов ISO 19650 «Организация и перевод в электронный вид информации о зданиях и объектах гражданского строительства, включая информационное моделирование зданий (BIM) — Управление информацией с использованием информационного моделирования зданий» [2], которая позволяет упростить внедрение BIM-решений в рамках различных проектов. Данная серия стандартов была разработана на основе британского национального стандарта BS 1192 и общедоступной спецификации PAS 192–2:2013, где определены следующие уровни BIM:

Уровень 0 — двухмерное черчение с использованием CAD (система автоматизированного проектирования) без регламентов и стандартов.

Уровень 1 — двухмерное черчение с частичным использованием 3D-моделирования. Черчение осуществляется в соответствии с регламентом и стандартами.

Уровень 2 — трехмерное проектирование в среде общих данных с помощью современных CAD. Модель содержит также 4D описание (календарные графики реализации проектов) и 5D описание (стоимостные показатели).

Уровень 3 — единая интегрированная система с полным жизненным циклом проекта [3].

В Великобритании в 2009 году был запущен самый крупный в Европе инфраструктурный проект Crossrail (модернизация 28 станций, строительство новых >>>

9 станций, модернизация мостов и туннелей), который полностью реализует концепцию BIM. В проекте Crossrail технология BIM представляет собой процесс создания и управления цифровой информацией на протяжении всего жизненного цикла железнодорожных активов с применением технологии пространственного информационного моделирования (геоинформационные системы (ГИС) и трехмерного компьютерного проектирования (САПР), связанной с базами данных. Все проектные работы ведутся в соответствии с согласованным набором правил и процедур, определенных в британском стандарте BS 1192, устанавливающем методологию управления производством, распределением и качеством строительной информации, в том числе созданными в САПР данными, с использованием технологических приемов совместной работы и специальной системой наименований.

Великобритания одной из первых стран Европы выступила с инициативой регулирования BIM на государственном уровне и разработала набор регламентирующих документов. Данный набор включает в себя следующие стандарты [4]:

- BS 8536-1:2015 «Указания для проектирования и строительства. Часть 1. Свод правил для эксплуатации зданий и сооружений (инфраструктуры зданий)». В данном стандарте указаны рекомендации для принятия проектных решений на ранних стадиях проектирования и строительства; данный стандарт ориентирован в основном на здания.
- BS 8536-2:2016 «Указания для проектирования и строительства. Часть 2. Свод правил для эксплуатации зданий и сооружений (линейная и географическая инфраструктура)». Данный стандарт разработан с целью обеспечения возможности перехода строительной отрасли на технологию BIM; в стандарте представлены рекомендации по учету эксплуатационных требований в проектных решениях в течение всего жизненного цикла объектов в области транспорта, телекоммуникаций и др.
- BS 1192:2007+A2:2016 (представляет собой шаблон для формирования общей политики именования и подходов к совместной работе при проектировании объектов строительства), BS 1192-4:2014 (описывает использование стандарта COBie).
- PAS 1192-2:2013 «Спецификация для управления информацией на стадии капитального строительства с использованием информационного моделирования». В данном стандарте вводится понятие Project Information Model (PIM, проектная информационная модель) как совокупность различных графических и неграфических данных и документов, возникающих в процессе всего жизненного цикла объекта.
- PAS 1192-3:2013 «Спецификация для управления информацией на этапе эксплуатации объекта с использованием информационного моделирования». Данный стандарт фокусируется на этапе эксплуатации.
  - PAS 1192-4:2014 «Совместный выпуск информации. Часть 4. Выполнение требований заказчика по обмену информацией с использованием COBie. Свод правил».

Описано использование стандарта COBie (Construction Operations Building Information Exchange, Обмен информацией о зданиях при строительстве).

- PAS 1192-5:2015 «Спецификация обеспечения безопасности данных в информационном моделировании, в цифровой среде строительства и интеллектуального управления активами». В документе изложены возможные уязвимости от кибератак при использовании BIM.

В США вопросам стандартизации BIM уделено особое внимание, что обусловлено наличием большого количества научно-образовательных учреждений, ведущих мировых производителей программного обеспечения и др. Среди основных стандартов в области BIM можно выделить следующие [5]:

- Национальный BIM-стандарт США. Версия 3. Данный стандарт охватывает практически весь современный спектр BIM-технологий и включает в себя три основных раздела: обзор используемых стандартов, стандарты по обмену данными и практические руководства.
- E203-2013 «BIM и цифровое представление данных», G201-2013 «Регламент управления цифровыми данными», G202-2013 «Регламент управления информационными моделями». Руководство E203-2013 предоставляет типовой шаблон контрактных документов, реализующих BIM-методологию.
- Определение уровней проработки 2016. Данное руководство предлагает инструмент в виде электронной таблицы, позволяющий описывать требования к уровням проработки. В данном документе содержатся рекомендации, касающиеся автомобильных и железных дорог.
- Руководство для подрядчиков по BIM, 2010. В данном руководстве описано 2D-черчение, 3D-проектирование, а также информационное моделирование.
- Руководство по САПР и BIM. План исполнения проекта BIM, 2012.
- Руководство BIM, 2013, а также ряд других документов. Для решения проблемы дорожного движения в Лос-Анджелесе было реализовано 12 железнодорожных проектов с использованием технологии BIM (в т.ч. 6 проектов, касающихся метро).

В декабре 2015 года Министерство транспорта и цифровой инфраструктуры Германии разработало стратегический план («Дорожная карта BIM») поэтапного внедрения методов BIM в проекты строительства. Данный документ включает в себя следующие цели:

- визуализация вариантов планирования;
- сокращение ошибок при проектировании;
- точность оценки увеличения затрат при изменении проекта;
- повышение надежности строительных процессов за счет моделирования последовательности проведения строительных работ;
- оптимизация стоимости жизненного цикла.

Кроме того, в Германии разработана стратегия внедрения технологии BIM на железных дорогах >>>



Рисунок 1.

**Организационная схема внедрения технологии BIM в «Дойче Бан»**

«Дойче Бан» (DB). Основной целью внедрения BIM на железных дорогах Германии является повышение качества процессов проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожных активов. В DB планируется поэтапное внедрение технологии BIM:

**1 этап** — Технологическая конвергенция. В организации закладывается фундамент для внедрения BIM (создаются основы управления проектами, формируются BIM-стандарты, внедряются процедуры взаимодействия с упором на обмен данными и их совместимость, использование виртуальных комнат данных).

**2 этап** — Цифровая экспертиза. Целью данного этапа является создание баз данных с географической привязкой с учетом топологии сети с разнообразными данными из различных источников (датчики, документы, чертежи, графики и телематические данные). В рамках данного этапа большое внимание уделяется совместному использованию информации. Данные управляются с помощью CDE (Общая среда данных), которая обеспечивает возможность обмена данными между участниками процесса и их совместного использования в безопасном режиме.

**3 этап** — Цифровая трансформация. На данном этапе создается полноценный «цифровой двойник» всей железнодорожной сети на основе многочисленных данных с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ). «Цифровой двойник» создает основу для нового типа проектирования, внедрения, эксплуатации и дальнейшего развития физической инфраструктуры. Благодаря «цифровому двойнику» можно вносить изменения в модель в режиме онлайн, сокращая время и стоимость проектирования. Организационная схема внедрения технологии BIM в «Дойче Бан» представлена на рис. 1.

Федеральное министерство транспорта и цифровой инфраструктуры обеспечивает финансирование 13 пилотных проектов DB, в которых используется технология BIM. Один из таких проектов — реконструкция моста через пролив Фемарн [6].

С помощью технологии BIM реализуется крупный железнодорожный проект Rail Baltica, который соединит страны Прибалтийского региона (Латвия, Литва, Эстония) с Западной Европой. Проект предусматривает создание железной дороги стандартной европейской колеи 1435 мм с системой ERTMS уровень 2, общая протяженность которой составит 870 км. Проект предусматривает использование облачной среды данных (CDE), которая станет главным источником достоверной и согласованной информации для всех участников процесса информационного моделирования в рамках проекта, а также внедрение ГИС.

В рамках проекта был разработан пакет руководства BIM [7]:

- Детальная стратегия применения технологии BIM. Стратегия является основным документом проекта и определяет цели, процессы, стандарты и протоколы управления и обмена цифровой информацией на протяжении всего жизненного цикла проекта.
- Руководство по применению технологии BIM (создан на основе ISO/DIS 19650-1.2, ISO/DIS 19650-2.2, PAS 1192-2:2013, PAS 1192-3:2014, PAS 1192-4:2014, PAS 1192-5:2015). Стандарт описывает последовательность действий реализации проекта с помощью технологии BIM.
- Стандарты САПР. Стандарты предоставляют руководящие принципы, которым должны соответствовать все чертежи.





Таблица 2

## Корейские проекты с использованием технологии BIM

Наименование проекта	Период	Фаза	Использование BIM
Строительство высокоскоростной железной дороги Хонам	2009–2013	Строительство	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4D моделирование;</li> <li>• Проверка безопасности;</li> <li>• Моделирование крановых работ;</li> <li>• Обмен информацией между проектировщиками.</li> </ul>
Строительство высокоскоростной железной дороги между Сусо и Пхэнтхэком	2011–2015	Строительство	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4D моделирование;</li> <li>• Моделирование крановых работ;</li> <li>• Проверка безопасности;</li> <li>• Обмен информацией между проектировщиками.</li> </ul>
Строительство двухпутной линии на станции метро Джинджоп	2015	Проектирование	Моделирование станций, туннелей, входов, зданий, мостов, вентиляционных установок, электрических узлов
Строительство двухпутной линии метро между станциями Додам и Ёнчхон	2017	Строительство	Использование BIM во время строительства железнодорожных путей и зданий
Строительство двухпутной линии метро между станциями Хонсон и Сонгсан	2017	Строительство	Строительство моста

В настоящее время Китай уделяет достаточно большое внимание технологии BIM. Впервые в истории BIM был включен в план 12-й пятилетки (2011–2015 гг.). В 2015 году был выпущен BIM-стандарт для железных дорог Китая, который включает в себя 3 части:

- *Часть 1:* BIM-стандарт по классификации железнодорожной информации (разработан на основе ISO 12006-2).
- *Часть 2:* BIM-стандарт с описанием железнодорожных данных (разработан на основе ISO 16739 для обеспечения обмена информацией на разных платформах между различными участниками процесса проектирования; устанавливает базовую железнодорожную модель данных) [8].
- *Часть 3:* BIM-стандарт с описанием процессов обмена данными (разработан на основе ISO 29481) [9].

В рамках подготовки к зимним Олимпийским играм в Пекине 2022 с использованием технологии BIM была построена высокоскоростная железная дорога Пекин-Чжанцзякоу, благодаря которой удалось сократить время в пути между двумя городами с 3-х часов до 50 мин. Длина линии составляет около 170 км и включает в себя 71 наземный участок, 64 моста, 10 туннелей и 10 станций, включая самую глубокую в мире и крупнейшую в Китае подземную станцию в Бадалине. Компания China Railway Engineering Consulting Group Co., Ltd. (CEC) применила стратегию 3D BIM с использованием приложений MicroStation, OpenRoads и OpenBuildings Designer для совместного проектирования, проверки моделей, обнаружения пересечений и моделирования строительства. Использование открытой среды данных (CDE) компании Bentley позволило оптимизировать обмен информацией между специалистами, обеспечив доступ к данным в ре-

жиме реального времени. Кроме того, использование технологии BIM позволило сократить время проектирования на 3 месяца и сэкономить 3 млн. юаней [10].

Не менее амбициозна стратегия развития BIM, принятая в Южной Корее, где министерство земли, инфраструктуры и транспорта совместно с Корейским железнодорожным научно-исследовательским институтом (KRRRI), Университетом Йонсей и Управлением железной дорожной сети Кореи (KRNA) разработали Дорожную карту внедрения BIM на железных дорогах до 2030 года (Rail BIM 2030).

Дорожная карта предусматривает 5 этапов:

*1 этап* — BIM 1.0 (переход от 2D к 3D моделированию), 2018 — 2020 гг. В рамках данного этапа осуществляется взаимодействие между всеми участниками проекта, применяются технологии дополненной и виртуальной реальности для рассмотрения технического проекта, составляется план проекта и технико-экономическое обоснование, используются геоинформационные системы (ГИС). BIM используется частично с целью минимизации ошибок при проектировании.

*2 этап* — BIM 2.0 (частичное использование BIM) 2020 — 2022 гг. На данном этапе осуществляется анализ затрат на строительство посредством построения 3D модели проекта, происходит пересмотр участников проекта, визуализация влияния проекта на окружающую среду. BIM используется частично, в основном реализация проекта происходит с использованием традиционного 2D моделирования.

*3 этап* — BIM 3.0 (полноценное внедрение технологии BIM) 2022 — 2024 гг. Данный этап предусматривает полноценное внедрение технологии BIM в процессы проектирования и взаимодействия между участниками проекта, >>>

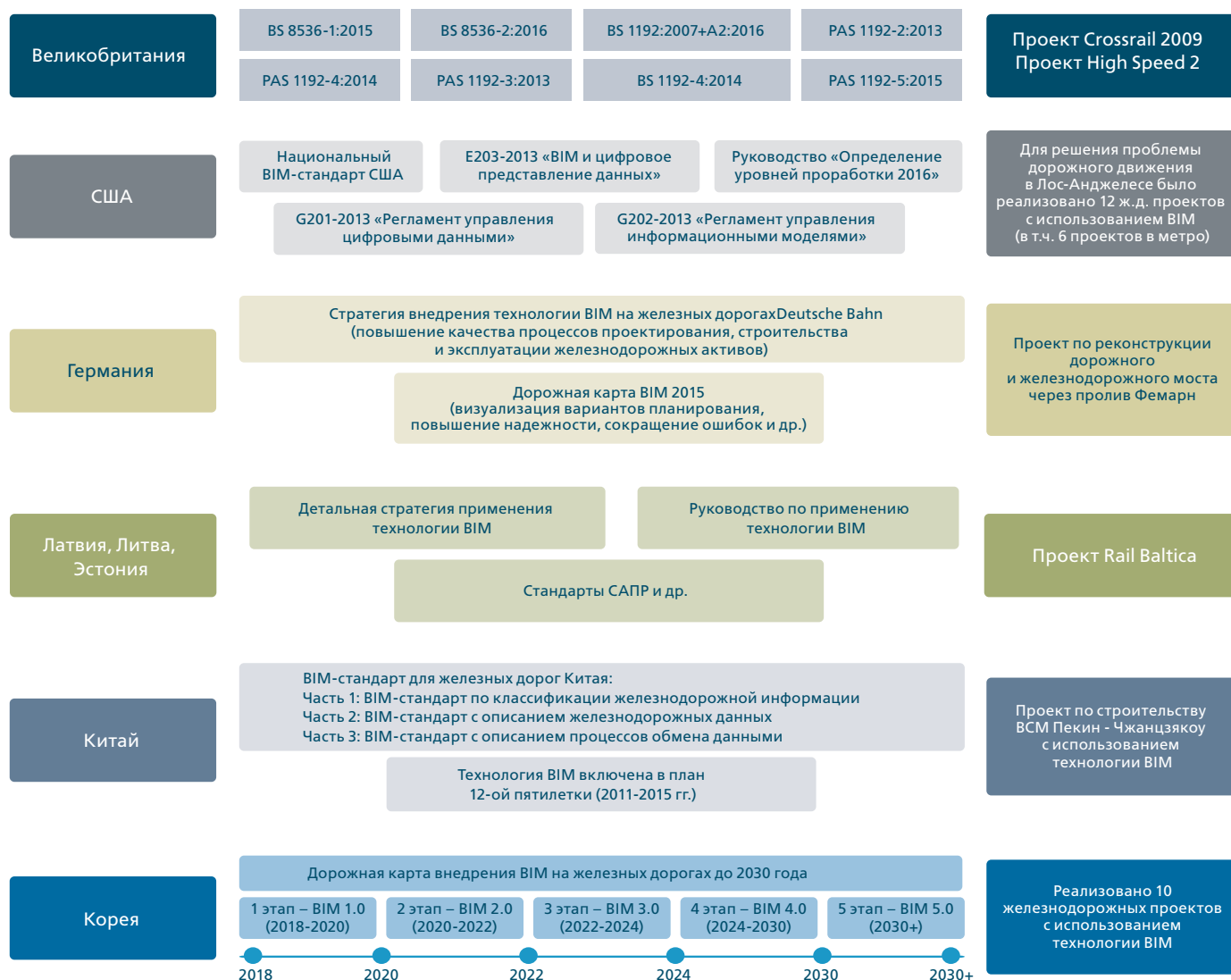


Рисунок 2

Международные стандарты и транспортные проекты в области BIM

использование облачных инструментов BIM, обеспечение интероперабельности между различным ПО BIM.

**4 этап — BIM 4.0 (экономичная технология) 2024–2030 гг.** Данный этап предполагает применение технологии BIM в моделировании процессов эксплуатации и технического обслуживания железнодорожных активов с использованием мобильных датчиков, виртуальной и дополненной реальности. На данном этапе также планируется объединить технологию BIM с технологиями бережливого строительства (трехмерная печать, модульное строительство, автоматизация процессов строительства).

**5 этап — BIM 5.0 (интеллектуальная технология BIM) 2030+.** На данном этапе планируется создать единое пространство BIM, где будут взаимодействовать все виды транспорта. Сбор данных будет осуществляться посредством применения различных мобильных устройств и датчиков с использованием технологии IoT (Интернет вещей), обработка данных — посредством аналитики

больших данных (Big data analytics) и искусственного интеллекта, управление информацией будет происходить в режиме реального времени [11].

По состоянию на 2018 год в Корее было реализовано около 10 железнодорожных проектов с использованием технологии BIM (табл. 2).

Таким образом, на основании проделанного обзора опыта внедрения технологии BIM можно сделать вывод о том, что именно государственная поддержка внедрения BIM, затрагивающая в том числе вопросы актуализации нормативной базы, необходима для более активного и массового перехода на информационное моделирование взамен традиционных технологий.

Рассмотренные выше международные стандарты и проекты обобщены на сводной схеме, учитывающей все ключевые страны, которые активно внедряют технологию BIM в железнодорожном транспортном комплексе (рис. 2).



## РОССИЯ

Приказ Минстроя РФ №926/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства»

Поручение Правительства РФ №2468п-П9 «План мероприятий по внедрению оценки экономической эффективности обоснования инвестиций и технологий информационного моделирования на всех этапах «жизненного цикла»

Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях ЖЦ

Дорожная карта научно-технического сопровождения внедрения технологии информационного моделирования ОАО «РЖД»

Концепция по разработке и внедрению BIM-Системы управления жизненным циклом объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» (АСУ BIM)

**Построено 20 пешеходных мостов через железнодорожные пути  
Проектирование, строительство и реконструкция 12 объектов на железных дорогах**

Рисунок 3

Российские стандарты и транспортные проекты в области BIM

## Российская стратегия в области внедрения технологии BIM на государственном и отраслевом уровне

На сегодняшний день идея применения технологии BIM в строительной отрасли поддерживается на государственном уровне. В 2014 году было принято решение по поэтапному внедрению технологии BIM, которое включает в себя создание нормативно-правовой базы:

- Приказ Минстроя РФ №926/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства», 2014.
- Поручение Правительства РФ №2468п-П9 «План мероприятий по внедрению оценки экономической эффективности обоснования инвестиций и технологий информационного моделирования на всех этапах «жизненного цикла» объекта капитального строительства», 2017.
- Введение Правил формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла — СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование, 2018.
- Федеральный Закон №151-ФЗ, согласно которому в 2019 году термин «информационная модель объекта капитального строительства» был закреплен в градостроительном комплексе [12].

В железнодорожной отрасли первые проекты с применением технологии информационного моделирования появились в 2013 году. Например, с использованием BIM технологии были построены 20 пешеходных мостов через железнодорожные пути, также с применением BIM-проектирования в пилотном режиме ведутся проектирование, строительство и реконструкция 12 объектов на Октябрьской, Московской, Горьковской, Северо-Кавказской, Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской, Свердловской, Северной и Дальневосточных дорогах.

В 2019 году в ОАО «РЖД» была разработана «Дорожная карта научно-технического сопровождения внедрения технологии информационного моделирования в ОАО «РЖД», которая включает в себя 5 этапов внедрения технологии BIM:

- 1-ый этап (2019 г.) — формирование основных направлений работы.
- 2-ой этап (2020-2022 гг.) — детализация основных направлений работы и создание научной основы для работы по внедрению BIM.
- 3-ий этап (2023 г.) — формирование методологических и технологических основ внедрения технологии информационного моделирования.
- 4-ый этап (2024-2025 гг.) — внедрение среды общих данных, цифровой мониторинг показателей развития инфраструктуры. >>>

Таблица 3  
Уровни детализации модели

Уровень RTM	Описание	Область применения
Микро	Крупный масштаб. Подробная информация на уровне пути.	Управление и обеспечение безопасности движения (ETCS, ЭЦ), техническое обслуживание, управление активами (жизненным циклом).
Мезо	Промежуточный масштаб. Функциональная информация на уровне пути.	Визуализация и анализ пропускной способности участков железнодорожных линий.
Макро	Мелкий масштаб. Минимальная информация на уровне пути.	Сеть железнодорожных линий и станций. График движения поездов.

- 5-ый этап (2026-2030 гг.) — переход к управлению активами на основе больших данных, интеллектуальное развитие технологии BIM с возможностью предиктивной аналитики [13].

Также создана Концепция по разработке и внедрению BIM-системы управления жизненным циклом объектов инфраструктуры ОАО «РЖД» (АСУ BIM). Согласно Концепции, система BIM обеспечит единое информационное пространство для всех участников процесса в области проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства, оптимизацию бизнес-процессов участников строительства, а также интеграцию с существующими производственными автоматизированными системами. Ожидается, что к 2030 году в ОАО «РЖД» будет внедрена АСУ BIM, в которой управление объектами железнодорожной инфраструктуры будет вестись на основе информационных моделей (BIM-моделей). (рис. 3)

## Европейские проекты в области цифрового моделирования

В Евросоюзе при участии операторов железнодорожной инфраструктуры, владельцев подвижного состава, промышленных компаний и научно-исследовательских центров в рамках различных проектов и инициатив (RailTopoModel, RSM, OntoRail, Linx4Rail и др.) ведутся работы по созданию единого стандарта в области описания цифровых моделей объектов с разработкой единой онтологии, что позволило бы обеспечить хранение данных и обмен данными как в пределах одного бизнес-процесса, так и между несколькими бизнес-процессами, а также между странами.

В 2016 г. Международным союзом железных дорог (МСЖД) был выпущен стандарт (международное железнодорожное решение) IRS 30100, регламентирующий применение топологической железнодорожной модели RailTopoModel (RTM) для всех хозяйств с использованием универсального языка описания железнодорожных данных RailML. RTM планируется применять как единый цифровой формат описания железнодорожных объектов и характеристик, привязанных к объектам, при проек-

тировании, строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании с различными уровнями детализации (микро — детальное описание объектов, мезо — промежуточный уровень, макро — минимальный уровень детализации (табл. 3)). Модель в зависимости от поставленных задач дает возможность внесения и использования данных на любом уровне детализации, обеспечивая при этом согласованность на других уровнях.

Разработчики модели RailTopoModel (RTM) и стандарта IRS 30100 видят в них основу для создания универсальных подходов к управлению любыми железнодорожными проектами на этапах жизненного цикла с учетом экономического обоснования.

В МСЖД также разрабатывается новая железнодорожная модель — RSM (RailSystemModel), которая может использоваться для решения общих задач как, например, описание железнодорожных активов, создание схем и карт, а также моделирование движения поезда. Модель является удобочитаемой, легкой в обслуживании и масштабируемой. RSM представляет собой набор диаграмм классов, сгруппированных в пакеты, описанные с помощью унифицированного языка моделирования Unified Modelling Language (UML). В модели используется небольшая часть элементов языка UML, чтобы упростить трансформацию модели (извлечение онтологии, создание кода).

Очевидно, что модель RTM и RSM могут использоваться в увязке с моделью BIM при формировании интегрированного подхода к проектированию, техническому обслуживанию и эксплуатации сложных железнодорожных объектов и систем.

Проект МСЖД OntoRail представляет собой энциклопедию, в архитектуре которой используются онтологии, которые облегчают создание модели объединенных богатых семантической информацией связей между независимыми моделями в железнодорожной области (рис. 4).

Проект OntoRail позволяет:

1. Импортировать модели для консолидации железнодорожных знаний (EULYNX, RSM, IFC Rail и др.).
2. Извлекать онтологии из исходных моделей и хранить их в виде графовой базы данных



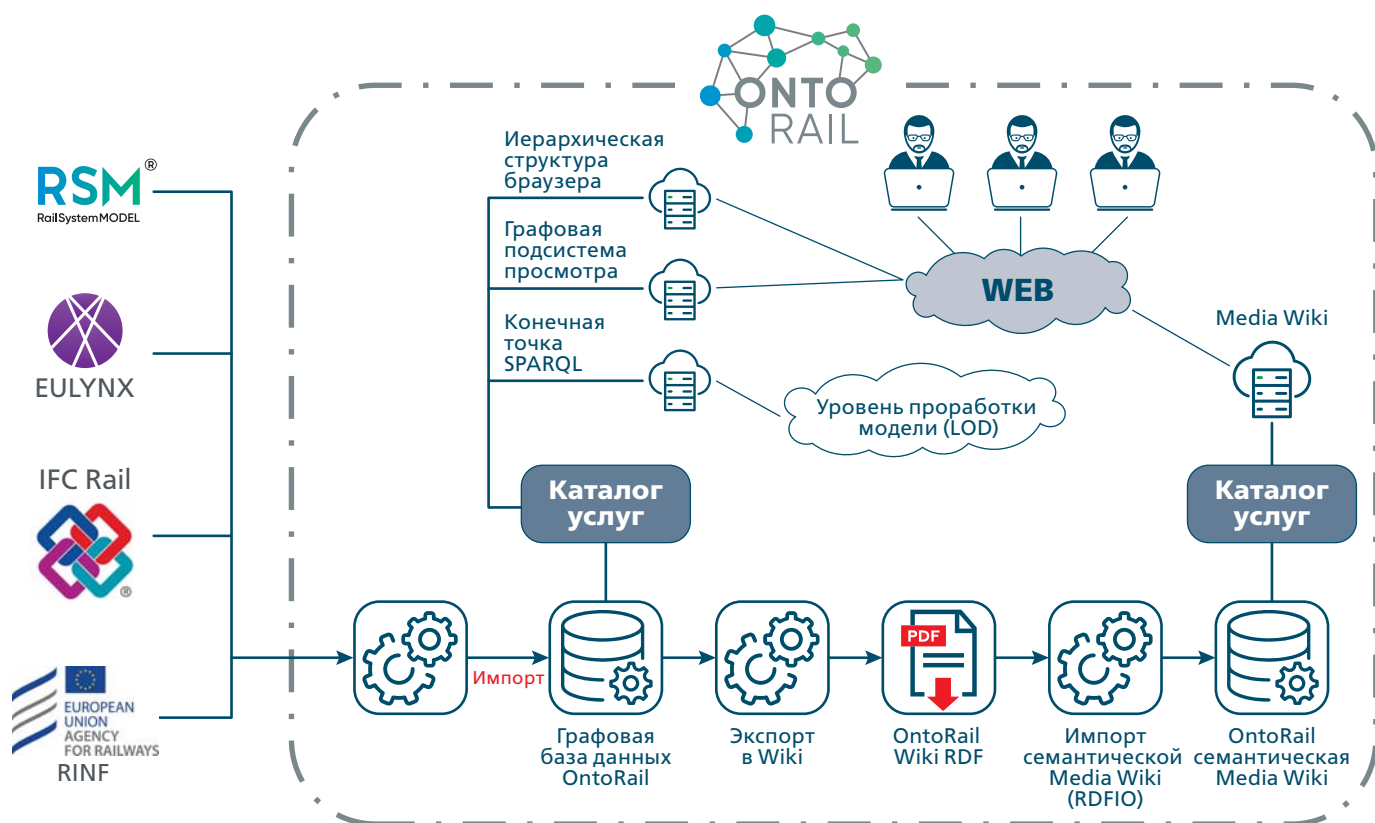


Рисунок 4

**Общая схема проекта OntoRail**

- Устанавливать взаимосвязи между элементами для объединения моделей, что позволяет просматривать исходные модели, переходя по гиперссылкам.
- Использовать функцию поиска для быстрого поиска и ознакомления с содержимым модели.
- Просматривать и управлять предлагаемыми взаимосвязями [15].

В 2014 г. в Европе была запущена программа Shift2Rail, которая рассматривается как основной механизм инновационного развития железных дорог Европейского Союза и является государственно-частным партнерством. Это масштабная комплексная программа инновационного развития железнодорожного транспорта, объединяющая производителей железнодорожной техники, железнодорожных операторов и владельцев инфраструктуры. Основная цель заключается в разработке, интеграции, демонстрации и валидации инновационных цифровых технологий для железной дороги в целях повышения ее привлекательности для потребителей.

Одним из проектов программы Shift2Rail является проект Linx4Rail [16], который стартовал в 2019 году и направлен на разработку общей глобальной архитектуры железнодорожной системы с созданием единого железнодорожного словаря и сквозной онтологии. В проекте предполагается обобщить весь накопленный опыт в этой области, в том

числе опыт многочисленных инициатив по разработке и применению формальных языков и методов для задач железнодорожного транспортного комплекса.

Общая структура проекта Linx4Rail представлена на рис. 5, где показаны подпроекты (WP — Work Package), осуществляемые в координации с другими инновационными блоками инициативы Shift2Rail (рис. 5).

## Заключение

Проведенное исследование показало, что в последние годы технология информационного моделирования применяется все шире в различных отраслях капитального строительства. Изначально технология была разработана для зданий для стадий проектирования и строительства, в дальнейшем технология BIM стала затрагивать все стадии жизненного цикла объекта. Тем не менее, существует ряд серьезных вопросов, которые препятствуют полноценному применению технологии информационного моделирования (отсутствие полноценных стандартов, высокая стоимость первоначальных вложений, отсутствие требований к уровням детализации, отсутствие единого ПО, которое могло бы покрыть все стадии жизненного цикла объекта и др.).



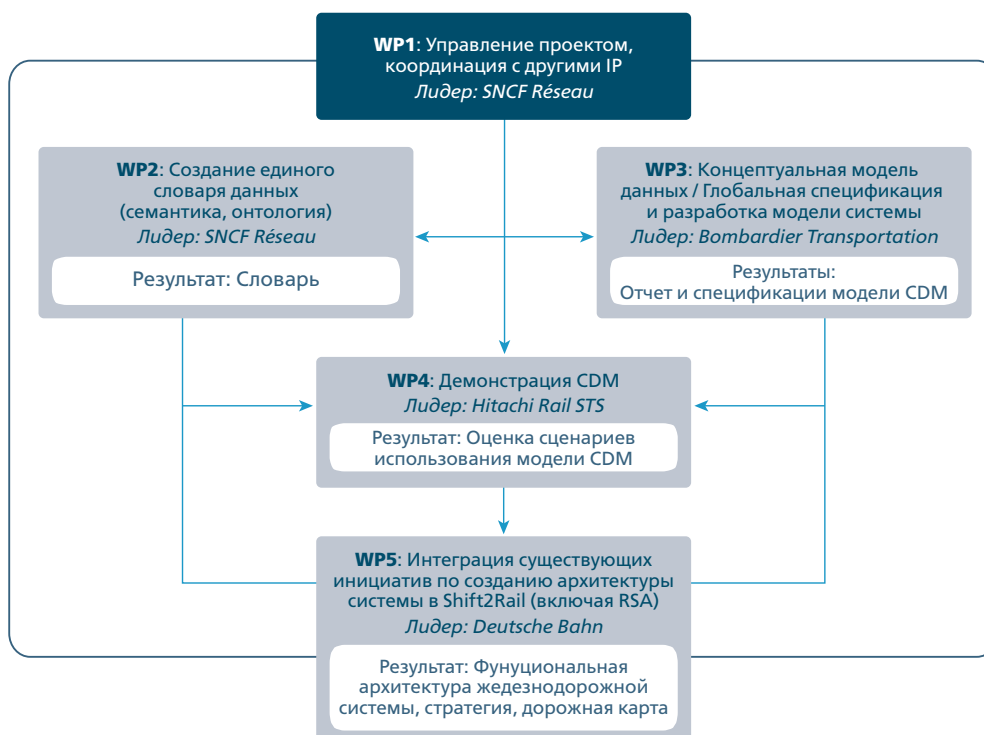


Рисунок 5

**Общая структура проекта Linx4Rail**

Процесс информационного моделирования активно внедряется в процессы проектирования и поддержки жизненного цикла объектов капитального строительства в развитых странах. Этот процесс регулируется государством, и в ряде стран разработаны и действуют стандарты в области BIM. Кроме того, сегодня в ведущих странах мира (Великобритания, Германия, Китай, Южная Корея и др.) разрабатываются и реализуются национальные стандарты и стратегии (дорожные карты) перехода на информационное моделирование железнодорожной инфраструктуры с применением технологии BIM.

Применение технологий информационного моделирования в России за последние годы существенно возрастает. Однако на текущий момент российская практика развития технологий BIM существенно отличается от ведущих зарубежных практик. Одним из ключевых факторов для российских компаний, тормозящих внедрение технологии информационного моделирования, являются существенные затраты на начальном этапе внедрения технологии и отсутствие четкого прогнозного экономического эффекта от внедрения технологии BIM. Положительным аспектом в развитии применения технологии информационного моделирования в России является признание необходимости перехода к BIM на уровне государства. Внедрение технологии BIM в железнодорожный сектор находится на начальном этапе: разработана «Дорожная карта научно-технического сопровождения внедрения технологии информационного моделирования в ОАО «РЖД», а также в процессе разработки находится Концепция по разработке и внедрению

BIM-системы управления жизненным циклом объектов инфраструктуры ОАО «РЖД».

Вместе с тем, как показывает анализ инициатив национальных железнодорожных администраций и инфраструктурных компаний, в настоящее время технология BIM не адаптирована под задачи проектирования, строительства и сопровождения объектов капитального строительства железнодорожного транспорта на всех этапах жизненного цикла, не создана единая онтология и не разработаны принципы создания информационной модели с учетом специфики железнодорожной инфраструктуры.

В настоящий момент Европейским Союзом с привлечением ведущих железнодорожных компаний и организаций в рамках различных проектов и инициатив (RailTopoModel, RailSystemModel, OntoRail, Linx4Rail) ведутся работы по созданию единого железнодорожного стандарта с унифицированным описанием инфраструктуры (единая онтология, один язык), с единой универсальной схемой классификации железнодорожных объектов, что обеспечит формирование единой среды данных и значительно облегчит взаимодействие различных подсистем и подразделений компании.

Следует отметить, что с учетом дальнейшей цифровизации железных дорог и перехода к новому — цифровому — формату управления активами, можно предполагать, что значение такого инструментария будет только возрастать, поскольку основным достоинством технологии BIM является динамичность моделей, что позволяет оперативно вносить изменения в проект по мере его уточнения и разработки. ■

## Список литературы

1. BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы Всероссийской научно-практической конференции 29-30 марта 2018 года; СПбГАСУ. — СПб., 2018. — С. 173.
2. International Organization for Standardization. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.iso.org/standard/68078.html>.
3. PAS 1192-2:2013 Specification for information management for capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.iso.org/standard/68078.html>.
4. UK BIM Framework. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.ukbimframework.org/standards/>.
5. G. Lea, A. Ganah, J. Goulding, N. Ainsworth. Identification and analysis of UK and US BIM standards to aid collaboration // WIT Transactions on The Built Environment. Vol 149, 2015. — p. 511.
6. BIM Strategy — Implementation of Building Information Modeling (BIM) in the Infrastructure Division of Deutsche Bahn AG, 2019. — 44 p.
7. RB Rail's BIM documentation. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.railbaltica.org/rb-rail-as-bim-documentation/>.
8. Railway BIM Data Standard — 2015. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf>.
9. China Railway BIM and Standards. [Электронный ресурс] / URL: [https://syncandshare.lrz.de/download/MktrQIVFTm1CTHBLS3INcW5MQVdz/IFC%20Rail%2BRoad/2015-12-19/3a\\_lfcRail\\_CRBIM\\_Slides\\_2015-10-13.pdf?inline](https://syncandshare.lrz.de/download/MktrQIVFTm1CTHBLS3INcW5MQVdz/IFC%20Rail%2BRoad/2015-12-19/3a_lfcRail_CRBIM_Slides_2015-10-13.pdf?inline).
10. BIM Project for the Beijing-Zhangjiakou High-speed Railway. [Электронный ресурс] / URL: [https://www.bentley.com/en/project-profiles/2018/china-railway-engineering\\_beijing-zhangjiakou-railway](https://www.bentley.com/en/project-profiles/2018/china-railway-engineering_beijing-zhangjiakou-railway).
11. Rail BIM 2030 RoadMap [Электронный ресурс] / URL: [http://big.yonsei.ac.kr/railbim/reports/RailBIM2030Roadmap\\_Full\\_Eng\\_Final.pdf](http://big.yonsei.ac.kr/railbim/reports/RailBIM2030Roadmap_Full_Eng_Final.pdf).
12. PropTech в России: Обзор практики применения BIM-технологий и инновационных решений в области проектирования, 2020. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.pwc.ru/ru/assets/prop-tech-2020.pdf>.
13. Бек, Т. BIM обогнут научно // Гудок. — 2020. — № 27 (26876). [Электронный ресурс] / URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1493878>.
14. UIC International Railway Standard IRS 30100, RailTopoModel — Railway Infrastructure Topological Model. — International Union of Railways (UIC), Paris, 2016. — 80 p.
15. Digital Modelling Initiatives for the Operational Railway. [Электронный ресурс] / URL: [https://uic.org/events/IMG/pdf/210630-uic\\_webinar\\_digital\\_modelling-v2.0.pdf](https://uic.org/events/IMG/pdf/210630-uic_webinar_digital_modelling-v2.0.pdf).
16. Linx4Rail. [Электронный ресурс] / URL: [https://projects.shift2rail.org/s2r\\_ipx\\_n.aspx?p=LINX4RAIL](https://projects.shift2rail.org/s2r_ipx_n.aspx?p=LINX4RAIL).

УДК 528; 004.8

# Применение географических информационных систем в интеллектуальных транспортных системах

## Application of geographical information systems in intelligent transport systems

**Дышленко С.Г.**, к.т.н., зав. сектором, Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, E-mail: dishlenko@yandex.ru, Москва, Россия

**Dyshlenko S.G.**, Ph.D., Head of Sector, Institute for System Research of RAS, E-mail: dishlenko@yandex.ru, Moscow Russia

### Аннотация



Исследуется взаимодействие и взаимоотношение географических информационных систем и интеллектуальных транспортных систем. Описано построение управленческих моделей в географической информационной системе. Вводятся понятия стационарная и динамическая управленческая модель (ситуация). Отмечено существенное сходство и контекстное различие между географическими информационными системами и геоинформационными системами. Обоснована необходимость представления информации управленческой модели в виде подмножеств или слоев. Дана формализация послойного представления информации в географической информационной системе. Вводится понятие композиция модели.

**Ключевые слова:** транспорт, географические информационные системы, интеллектуальные транспортные системы, управленческие пространственные модели, стационарная и динамическая управленческая ситуация.

### Abstract

The interaction and relationship of geographic information systems and intelligent transport systems is investigated. The construction of management models in a geographic information system is described. The concepts of stationary and dynamic management model (situation) are introduced. The essential similarity and contextual difference between geographic information systems and geoinformation systems are noted. The necessity of presenting information of the management model in the form of subsets or layers is substantiated. The formalization of the layered presentation of information in the geographic information system is given. The concept of model composition is introduced.

**Keywords:** transport, geographic information systems, intelligent transport systems, management spatial models, stationary and dynamic management situation.





## Введение

Понятия «географические информационные системы» [1, 2] и «геоинформационные системы» [3, 4] считаются синонимами [5]. Но контекстно между ними существует небольшое различие. Для его выделения будем использовать аббревиатуры GIS для географической информационной системы и ГИС для геоинформационной системы. В географических информационных системах характерен пространственный аспект исследования и это сближает их с навигационными системами. В географических информационных системах имеет место ситуационный аспект анализа. Для геоинформационных систем ГИС характерен аспект обработки информации, связь с информатикой, моделирование и формирование моделей. ГИС ближе к САПР, чем к навигационным системам. В геоинформационных системах чаще представлен модельный аспект анализа. В ГИС и GIS применяют автоматизированную обработку информации, основанную на алгоритмах. В интеллектуальных транспортных системах (ИТС) [6-8] применяют интеллектуальную обработку, основанную на алгоритмах и правилах. В силу этого ИТС являются самоорганизующимися системами.

Общим для ГИС и GIS является проектирование структур и баз данных [9, 10]. GIS является системой поддержки принятия решений [11-13]. ИТС является системой принятия решений. В отличие от многих интеллектуальных систем [14] ИТС работают с пространственной информацией. Следовательно, в них или для них необходимо применять методы геоинформатики, что детерминирует применение GIS для ИТС. GIS и ГИС построены на алгоритмах. ИТС применяют алгоритмы и правила. GIS и ГИС применяют также для задач транспортных кибер-физических систем (ТКФС) [15, 16]. ИТС выполняет общие задачи управления потоками, а ТКФС выполняет задачи управления конкретными подвижными объектами, но это управление является сетевым. ИТС опирается на стационарные глобальные пространственные модели, которые служат основой управления транспортными потоками или системой объектов. ТКФС используют и формируют динамические информационные ситуации, которые служат основой управления конкретным объектом.

Стационарные пространственные модели для принятия решений формирует географическая информационная система.

## Формирование данных для ГИС и ИТС

Основой построения моделей для ИТС и географических информационных систем являются модели данных. Формирование данных для ГИС и ИТС включает два этапа: входной и выходной. Входной этап связан с преобразованием информации об объекте, явлении или ситуации в пространственную модель или геоинформационную модель. Этот этап основан на ономастическом подходе [17]. В результате формируют дескриптивную пространственную информационную модель [18, 19]. Эта дескриптивная модель формируется в GIS. Для ее создания применяют интегрированную информационную основу [20, 21] или интегральную модель. Интегральная модель служит основой формирования управленческой пространственной модели. Управленческая пространственная модель имеет два ситуационных вида: стационарная (дескриптивная) и динамическую (процессуальная или прескриптивная) [22, 23]. На рис. 1 приведена стационарная управленческая ситуация.

Стационарная управленческая ситуация включает неподвижные объекты транспортной инфраструктуры, которые используют при управлении подвижными объектами. Эту модель формирует геоинформационная система. Эта модель служит основой для поддержки принятия решений и основой для управления подвижными транспортными объектами. Стационарная управленческая ситуация одновременно является стационарной управленческой моделью. Термин «ситуация» подчеркивает, что управление осуществляется не изолированным от реальности объектом, а объектом, который находится в конкретной ситуации. И хотя такая ситуация называется стационарной, эта стационарность является условной. Она стационарна на период управления. С течением

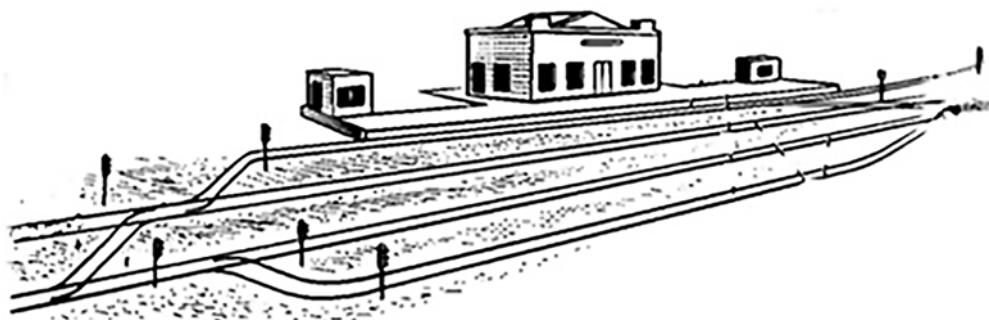


Рисунок 1

Пример стационарной управленческой ситуации



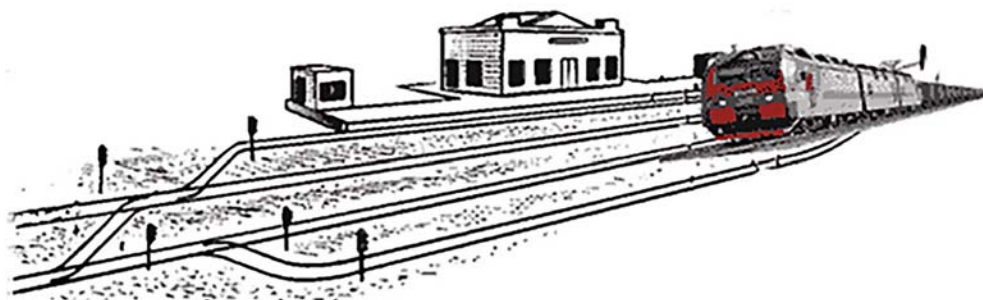


Рисунок 2  
Пример динамической управленческой ситуации

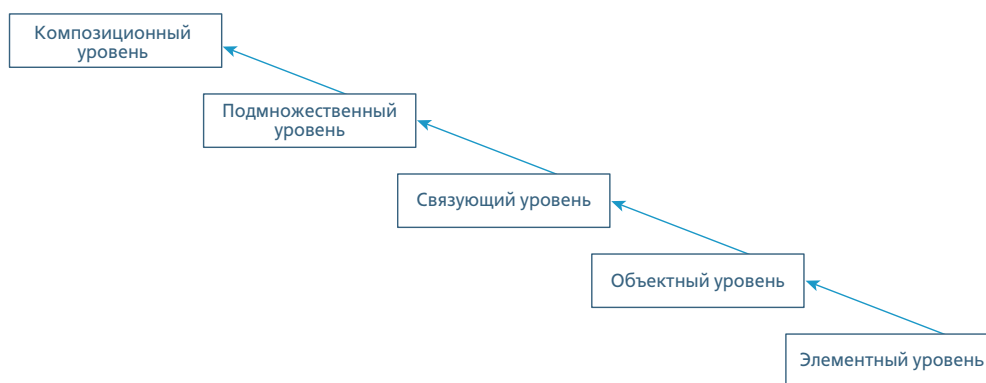


Рисунок 3  
Уровни управленческой пространственной модели.

времени параметры ситуации и модели могут изменяться. Поэтому более точно, на длительный срок, ее можно определить как квазистационарную ситуацию.

На рис. 2 приведена динамическая управленческая ситуация.

Динамическая управленческая ситуация одновременно является динамической управленческой моделью. Динамическую информационную ситуацию формирует ИТС. Эта модель включает стационарную ситуацию плюс подвижный объект или объекты, которые перемещаются относительно стационарной ситуации. Для построения управленческих моделей первоначально осуществляют сбор информации, который основан на геомониторинге [24-26]. Геомониторинг также служит основой контроля состояния и изменения стационарной информационной ситуации.

Обе управленческие модели-ситуации формируют для снижения информационной нагрузки на ИТС создаются как совокупность подмножеств, называемых уровнями или слоями (стратами). Эти подмножества создаются в GIS и переносятся в ИТС. Уровни или слои создают конструктивно (как информационную конструкцию) или по тематическому принципу. Конструктивно слои строятся по семасиологическому принципу [27]

(рис.3) как совокупность связанных страт общей стратифицированной системы.

Наличие уровней отражает общую тенденцию геоинформатики в стратификации моделей и систем. Интерпретация рис.3 следующая.

Нижний уровень (элементный) содержит элементы моделей — простые информационные единицы [28-31]. Он не зависит от объектов, а выполняет функции алфавита, из которого строятся более сложные информационные единицы и модели. Этот уровень содержит также классификаторы и дескрипторы. Элементный уровень является основой для геоинформационного моделирования [32-34] и построения стационарной управленческой ситуации.

Более высокий уровень является объектным, поскольку он хранит информацию и моделях стационарных и нестационарных объектов. Описание объекта или его модель включает метрические данные, семантические данные, визуальные модели и метаданные.

Следующий уровень называют связующим. Он хранит информацию о пространственных связях и пространственных отношениях. Информация этого уровня позволяет связывать объекты между собой в единую модель реальности, то есть в локальную ситуацию. >>>

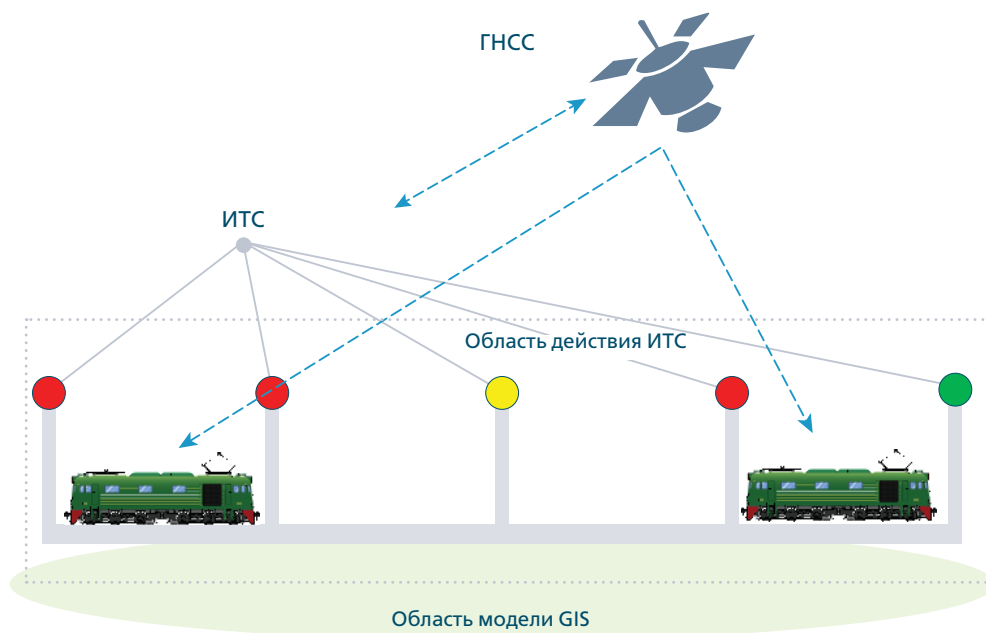


Рисунок 4  
Отношение областей ИТС и географической информационной системы.

Следующий уровень называют подмножественный. Он хранит информацию о слоях, в которые переносят те или иные объекты. В нем большей частью хранят метаданные.

Самый высокий уровень называют композиционным. Он хранит послынную информацию в виде композиции управленческой модели или композиции локальных ситуаций.

Необходимость стратификации обусловлена проблемой больших данных [35]. Например, объем отдельной базы пространственных данных может составлять несколько терабайт (Тб). Стратификация модели существенно уменьшает объемы обрабатываемой информации.

Стратифицированная структура может иметь теоретико-множественное описание слоев (представления данных,) которое формируется по слоям L.

$$\begin{aligned}
 U1 \cup U2 \cup \dots \cup Un &= Le, & (1) \\
 O1 \cup O2 \cup \dots \cup On &= Lo, & (2) \\
 C1 \cup C2 \cup \dots \cup Cn &= Lc, & (3) \\
 SS1 \cup SS2 \cup \dots \cup SSn &= Lss, & (4) \\
 Le \cup Lo \cup Lc \cup Lss &= K. & (5)
 \end{aligned}$$

В выражениях (1–4)  $n_i$  — количество объектов в соответствующем слое  $L_i$ . Выражение (1) показывает, что элементный слой  $Le$  объединяет информационные единицы  $U1, U2, \dots, Un$ . Выражение (2) показывает, что объектный слой  $Lo$  объединяет объекты  $O1, O2, \dots, On$ . Это могут быть объекты разных типов, например, точечные, линейные и ареальные. Выражение (3) показывает, что связующий слой  $Lc$  объединяет связи между объектами  $C1, C2, \dots, Cn$ . Выражение (4) показывает, что подмножественный слой  $Lss$  объединяет подмножества  $SS1, SS2, \dots, SSn$ .

Выражение (5) показывает, что совокупность слоев образует пространственную композицию  $K$ . Слои в композиции  $K$  не являются коммутативными.

$$L1 \wedge L2 \neq L2 \wedge L1 \quad (6)$$

Выражение (6) показывает, что наложение слоя  $L1$  на слой  $L2$  не эквивалентно наложению  $L2$  слоя на слой  $L1$ . Описание объектов векторных карт дополняется семиотическими характеристиками информационных единиц, семантическими характеристиками объектов и семантическими характеристиками слоев. Такое послынное деление семантики также упрощает работу с ней. Оно также снижает нагрузку на пользователя ГИС. Следует отметить различие. Информационные единицы строят с использованием семиотики. Модели пространственных объектов и слои строят с использованием семантики.

Выражение (2) описывает объектное моделирование. Дополнением его является ситуационное моделирование [36, 37].

$$Sit1 \cup Sit2 \cup Sit3 = Lsit \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что слой  $Lsit$  объединяет пространственные ситуации  $Sit1, Sit2, Sit3$ . Ситуационное моделирование требует проведения периодической систематизации информационных ситуаций [38]. Эти задачи решают с применением геомониторинга. Динамическое управление также требует систематики информационных ситуаций.

Совокупность локальных моделей одного масштаба определяет район управления. Отдельные фрагменты управленческой модели могут быть сохранены, в мета-модели [39, 40], для дальнейшего использования в прикладных задачах в качестве основы построения других моделей. >>>

В процессе построения стационарной и динамической модели различные данные обрабатывают совместно или отдельно. Данные стационарных моделей обрабатывает географическая информационная система. Данные динамических моделей и ситуаций обрабатывает интеллектуальная транспортная система. ГИС и ИТС хранят цифровые карты и цифровые модели, которые представляют собой информационный ресурс управления [41]. Цифровые карты имеют визуальную форму представления в виде электронных карт. При управлении транспортом во многих случаях, особенно в ситуационных центрах пространственные модели имеют вид электронных карт.

Подготовительная обработка моделей объектов выполняется с помощью специального программного обеспечения. При управлении транспортом обрабатывают информацию не об отдельных объектах, а информацию о ситуации, в которой эти объекты находятся. При построении пространственной модели обеспечивается выполнение следующих типовых видов обработки:

- трансформирование ситуации на плоскости (повороты и учет деформации);
- преобразование ситуации в различные картографические проекции;
- сводка и согласование слоев;
- корректировка метрики ситуаций для обеспечения метрической согласованности;
- топологическое согласование объектов в ситуации;
- топологическое согласование ситуаций в общей управленческой модели.

Управленческая модель обеспечивает отображение района управления транспортом, состоящего из нескольких пространственных моделей. Это упрощает управление задач на больших территориях. Отдельные пространственные модели или слои могут быть в любой момент обновлены, отредактированы без необходимости дополнительных действий над остальными листами района работ.

На рис. 4 приведена схема применения ИТС для управления транспортом и отношение областей ИТС и географической информационной системы. Область формирования пространственной модели с помощью географической информационной системы выделена эллипсом. Область действия ИТС или динамической модели показана прямоугольником. Из рисунка 4 следует еще раз что стационарная модель или сфера географической информационной системы служит поддержкой динамической модели, применяемой для управления.

Географическая информационная система создает пространственную наземную ситуацию или стационарную модель поддержки управленческих решений. Эта ситуация входит в большую область действия ИТС. Этим подчеркивается качественное различие. ГИС создает область поддержки, а ИТС обеспечивает действие, то есть управление с помощью этой области. В сферу ИТС входят также взаимодействие с глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС) для контроля и управления подвижными объектами в стационарной области. Для создания основы управленческой пространственной модели и области применения ИТС применяют системный подход. Для обеспечения содержательности моделей в ИТС применяют семиотический подход [42].

## Заключение

Как показывает опыт, в практику управления транспортом целесообразно введение понятий и соответствующих моделей: информационная ситуация, управленческая ситуация, стационарная управленческая ситуация, динамическая информационная ситуация. Введение этих моделей разграничивает действие интеллектуальных транспортных систем и географических информационных систем. Введение этих моделей упрощает формирование пространственных моделей и управление. Послойное представление управленческих пространственных моделей снижает информационную нагрузку на ИТС и человека. При использовании ситуационных центров управленческие модели и управленческие ситуации целесообразно представлять в виде электронных карт.

ИТС используют для управления, которое следует определить как пространственное управление [43]. Геоинформационные технологии применяют для поддержки принятия решения [11], что органически их вписывает в контур управления ИТС. При принятии решений использует такие методы как анализ иерархий или теория предпочтений. Включение теории нечетких множеств в технологии ИТС также расширяет возможности пространственного управления с помощью географических информационных систем и ИТС. ■

## Список литературы

1. Chang K. T. Geographic information system //International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology: People, the Earth, Environment and Technology. — 2016. — С. 1-9.
2. Abid S. K. et al. A review on the application of remote sensing and geographic information system in flood crisis management //Conference on Broad Exposure to Science and Technology. — 2022.
3. Zaalishvili V. B. et al. Development of a unified model of geoinformation system for city planning and integration //GEOMATE Journal. — 2018. — Т. 15. — №. 51. — С. 160-166..



4. Koshlan A. et al. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2019. — Т. 5. — №. 9. — С. 35-45.
5. Jackson M. J., Mason D. C. The development of integrated geo-information systems //International Journal of Remote Sensing. — 1986. — Т. 7. — №. 6. — С. 723-740.
6. Perallos A. et al. (ed.). Intelligent transport systems: technologies and applications. — John Wiley & Sons, 2015.
7. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы — Saarbrücken, 2012. — 297 с.
8. Makhmutova A., Anikin I. V., Dagaeva M. Object tracking method for videomonitoring in intelligent transport systems //2020 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2020. — С.535-540.
9. Цветков В.Я. Проектирование структур данных и базы данных — М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997. -90 с.
10. Yao Z. et al. 3DCityDB-a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML //Open Geospatial Data, Software and Standards. — 2018. — Т. 3. — №. 1. — С. 1-26.
11. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2001. — №4. — С.128-138.
12. Wang M. et al. An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS //Automation in Construction. — 2019. — Т. 107. — С. 102931.
13. Habibie M. I. et al. Land suitability analysis for maize production in Indonesia using satellite remote sensing and GIS-based multicriteria decision support system //GeoJournal. — 2021. — Т. 86. — №. 2. — С. 777-807.
14. Grosan C., Abraham A. Intelligent systems. — Berlin : Springer, 2011. — Т. 17. — С. 261-268.
15. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. — 2017. — №3(27). — С.55-60.
16. Syed B. et al. A smart transport application of cyber-physical systems: Road surface monitoring with mobile devices //2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST). — IEEE, 2012. — С.8-12.
17. Павлов А.И. Ономасиологическое информационное моделирование // Славянский форум. -2019. — 3(25). — С.45-55.
18. Ожерельева Т.А. Дескриптивные модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — №5-4. — С.675-675.
19. Козлов А.В. Логические дескриптивные и прескриптивные модели // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. — 2018. — № 6 (10). -С.3-8.
20. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
21. Матчин В.Т. Организация моделей для обработки в интегрированных информационных системах // Вестник МИРЭА. — 2014 — № 4 (5) — С.204-215.
22. Андреева О.А. Прескриптивные логические модели как основа научного обоснования методики геоинформационного моделирования с МЛС // Славянский форум. -2019. — 4(26). — С.7-16.
23. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. — 3(21). — С.28-32.
24. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.177-184.
25. Knol I. A., Bugakova T. Y., Bugakov P. Y. Hardware and software complex for geomonitoring of the upper shell of buildings or engineering structures //Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2021. — Т. 2032. — №. 1. — С. 012063.
26. Schmidt R. Future Distributed Geomonitoring Analysis Methods, Algorithms & Technologies : дис. — University of Leoben, 2021.
27. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Ономасиологическое и семасиологическое моделирование в геоинформатике транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №2 (22). — С.10-16.
28. Ожерельева Т.А. Логические информационные единицы // Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.240-249.
29. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // Славянский форум, 2016. -4(14). — С.137-143.
30. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 8 -4. — С.36-40.
31. Раев В.К. Информационные единицы в информационном поле // Славянский форум. 2022, 1(35). С.104-114.
32. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование с использованием МЛС // Славянский форум. -2019. — 3(25). — С.7-18.
33. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 1999. — №4. — С.147 -157.
34. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.15-23.
35. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. — Т.15, №6(73). — С.20-30.
36. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.210-228.
37. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
38. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
39. Зайцева О. В. Пространственное метамоделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С.57-68.
40. Ожерельева Т.А. Метамоделирование в информационном поле — Saarbrücken, 2020. —109 С.
41. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2005. — №3. — С.85-91.
42. Thwaites T., Davis L., Mules W. Introducing cultural and media studies: a semiotic approach. — Bloomsbury Publishing, 2018.
43. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. — 2(8) — С.268-274.

УДК 523.21

# Космический мониторинг транспорта

## Space monitoring of transport

**Бронников С.В.**, к.т.н., РКК "Энергия", E-mail: sbronnik@mail.ru, Королёв, Россия  
**Bronnikov S.V.**, Ph.D., PJSC Corporation Energia, E-mail: sbronnik@mail.ru, Korolev, Russia

### Аннотация



В статье исследуются технологии космического мониторинга транспорта и инфраструктуры. Раскрывается содержание космического мониторинга. Технологической основой космического мониторинга транспорта является геомониторинг. Описаны ключевые характеристики космического мониторинга. Показано, что содержательно космический мониторинг транспорта является ситуационным. Показана связь космического мониторинга с более общей технологией мониторингом транспорта. Описаны технические особенности космического мониторинга. Описаны особенности работы операторов центра управления полетами при мониторинге транспорта. Показано значение когнитивных факторов при космическом мониторинге. Описано содержание пространственного моделирования при космическом мониторинге объектов транспортной инфраструктуры. Показано значение геоинформатики в технологиях космического мониторинга.

**Ключевые слова:** транспорт, космический мониторинг, управление транспортом, информационная пространственная ситуация.

### Abstract

The article explores technologies for space monitoring of transport and infrastructure. The content of space monitoring is revealed. The technological basis of space monitoring of transport is geomonitoring. The key characteristics of space monitoring are described. It is shown that the content of space monitoring of transport is situational. The connection of space monitoring with a more general technology of transport monitoring is shown. The technical features of space monitoring are described. The features of the work of operators of the flight control center when monitoring transport are described. The importance of cognitive factors in space monitoring is shown. The content of spatial modeling in space monitoring of transport infrastructure objects is described. The importance of geoinformatics in space monitoring technologies is shown.

**Keywords:** transport, space monitoring, transport management, information spatial situation.



## Введение

Космический мониторинг (КМ) [1, 2] является комплексной технологией или интегрированным научным комплексом, который дистанционно позволяет наблюдать и оценивать состояние объектов наблюдения или среды, в которой они находятся. Применительно к наблюдению земной поверхности, он позволяет отслеживать транспортные объекты на суше или на водной поверхности. КМ позволяет выявлять динамику среды на суше или на океане. КМ контролирует и исследует взаимодействие и отношение геотехнических [3-5] и техногенных систем [6]. Развитие космического мониторинга определяет научно-технический уровень страны. КМ использует последние научные достижения. КМ применяет новейшие технические разработки. В этом мониторинге применяют самые совершенные вычисления и методы анализа. КМ характеризуется уровнем развития эргатических систем и интеллектуальных систем.

Непрерывное развитие КМ характеризуется диверсификацией и дифференциацией [7] по направлениям его применения. В тоже время с технологических позиций существует устойчивая тенденция интеграции технологий КМ на основе идей геоинформатики и методов геомониторинга. Как следствие этой интеграции появилось новое научное направление «космическая геоинформатика» [8-10]. Геомониторинг [11, 12] более широкая технология по сравнению с геоинформационным мониторингом. Он включает космические наблюдения и другие виды наземного мониторинга: оптический, геодезический и другие. Но идеологически технологии геомониторинга служат прототипом технологий космического мониторинга. По направленности разделяют КМ [13] на мониторинг космического пространства (внешний) и на мониторинг Земли из космоса (внутренний). КМ транспорта [14] относится к внутреннему мониторингу.

## Организация космического мониторинга объектов транспортной инфраструктуры

Для многих видов мониторинга. Включая космический мониторинг, важными являются организационные факторы.

Следует различать космический мониторинг транспорта (КМТ) и космический мониторинг объектов транспортной инфраструктуры. В космическом мониторинге объектов транспортной инфраструктуры (КМОТ) существует разграничение факторов мониторинга по уровням важности. Важными или ключевыми факторами первого уровня являются: система мониторинга, область мониторинга, информационные ситуации мониторинга, объект (процесс) наблюдения, Вторичными показателями КМ являются: методы и технологии мониторинга, модели, применяемые при мониторинге. На рисунке 1 приведены ключевые показатели космического мониторинга транспорта.

Область мониторинга — это часть пространства в которой находится система мониторинга и объект наблюдения. В работах [2, 15] область мониторинга называют полем мониторинга. По нашему мнению, это не всегда корректно, поскольку эта область неоднородна, что показано на рис.1. Полем мониторинга можно называть однородную область. Таких однородных областей две и их следует назвать информационными ситуациями. Система мониторинга и объект наблюдения характеризуются неким окружением. Это окружение и есть ситуация.

Космический мониторинг транспорта (КМТ) является частью более общей технологии — мониторинг транспорта (МТ). На рис.2 показано место КМТ в системе МТ. Общий мониторинг транспорта включает две ветки наземную и космическую.

Наземный мониторинг транспортной инфраструктуры иногда называют геомониторингом и геотехническим мониторингом [5, 16].

В последнее время в КМОТ большое значение приобретает интерферометрия постоянного рассеяния (Persistent Scatterer Interferometry — PSI) [17]. Спутниковая интерферометрия PSI представляет собой радарный метод дистанционного зондирования, который позволяет отслеживать и измерять смещения с высокой точностью объектов на земной поверхности посредством периодического мониторинга. Данные собираются без какого-либо вмешательства в условия эксплуатации транспортной инфраструктуры, в отличие от обычных методов неразрушающей съемки (например, GPS, акселерометр, тахеометры).



Рисунок 1

Ключевые факторы космического мониторинга



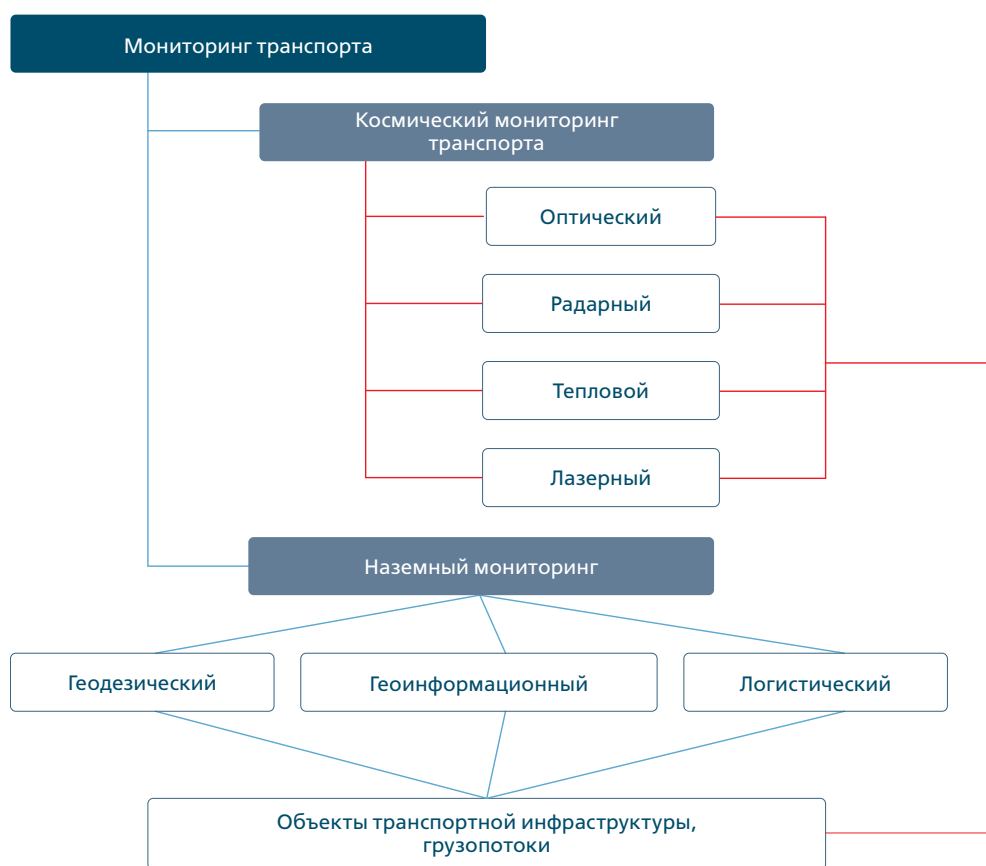


Рисунок 2  
Общая схема мониторинга транспорта.

В настоящее время использование наборов радиолокационных данных среднего наземного разрешения позволяет проводить вычислительно доступные анализы, обнаруживая смещения с сантиметровой точностью измерения. Кроме того, использование изображений, полученных радарными датчиками X-диапазона высокого разрешения нового поколения (работающими на частоте 9,6 ГГц), позволяют увеличить разрешение на местности и достичь разрешения смещения до миллиметра. Исследование [17] показало возможность применения метода PSI для разработки мониторинга состояния объектов инфраструктуры, таких как мосты, с использованием спутниковых наблюдений. В этом исследовании были использованы продукты SAR Sentinel-1A C-диапазона, предоставленные Европейским космическим агентством (ESA), и продукты COSMO-SkyMed X-диапазона, предоставленные Итальянским космическим агентством (ASI).

Был разработан оригинальный метод анализа PSI для мониторинга и обнаружения структурных смещений мостов. По результатам этого расследования установлено наличие различных зон проверяемого моста, которые оказались полезными для оценки структурной целостности моста. Это исследование доказало возможность ин-

теграции технологии PSI с другими (георадарной съемки и лазерного сканирования), для улучшения и оптимизации текущего процесса мониторинга и технического обслуживания транспорта.

Важным фактором КМТ является организация мониторинга. Эта проблема поясняется на рис.3. Особенностью КМТ является дистанционное наблюдение из космоса, которое управляется с земной поверхности. В обычном наземном мониторинге звено наблюдений и управления одно. В космическом мониторинге их два. На рис.3 они показаны двойными стрелками. Одно звено образует система «космический аппарат (КА) — объект транспорта (ОТ)» (рис.3). Другое звено образует система наземные службы, включающие центр управления полетами (ЦУП) и космический аппарат.

Рисунок 3 показывает, что КМТ осуществляется опосредованно, а не напрямую. Это предъявляет специальные требования к операторам, управляющим полетом КА и операторам, выполняющим мониторинг. Для реализации космического мониторинга нужна специальная подготовка операторов, включая использование специальных тренажеров. По существу, космический мониторинг является аналогом беспилотного управления. >>>



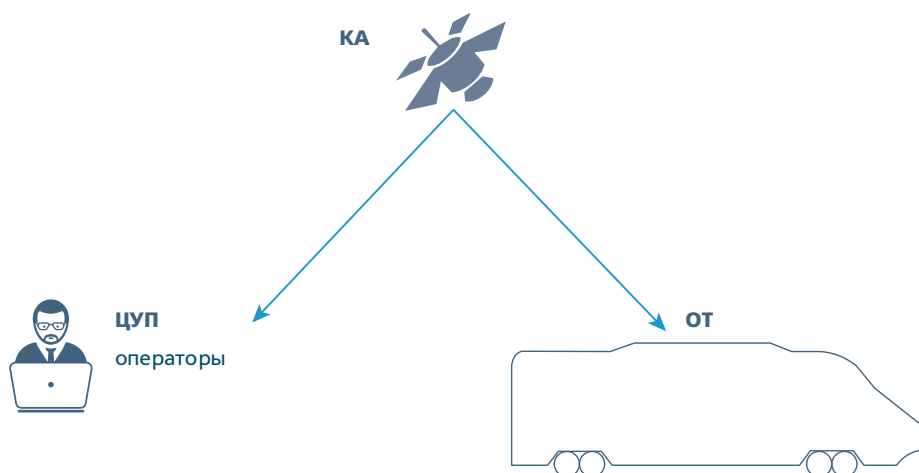


Рисунок 3  
 Организация космического мониторинга транспорта

### Особенности работы операторов, выполняющих космический мониторинг объектов транспортной инфраструктуры

Развитие космической техники вызвало появление нового научного направления — управление космическими полетами, задачами которого являются проведение КМ и управление полетом. Применение КМТ диктуют необходимость непрерывного контроля соответствия [18] решений по мониторингу и плану полета. Реализация этой цели осуществляется коллективом операторов и автоматизированной системой управления космическим аппаратом (АСУ КА)

Одной из тенденций развития космической техники является усложнение бортовых систем, широкое внедрение вычислительных устройств в состав бортового контура управления, увеличение общего объема информации, которая может быть передана из центра управления полетом на борт, с борта в центр управления. В этой связи растет сложность мониторинга и управления бортовыми системами. В качестве примера можно отметить, что на корабле «Союз» было около тысячи контрольных датчиков и несколько сотен управляющих команд. В настоящее время на современном космическом аппарате данные показатели возросли на порядок. Сложность управляемого объекта, а также высокий уровень ответственности, наличие в ряде случаев недоуверенной и неполной информации о состоянии космического аппарата, необходимость принятия решений при дефиците времени — приводит к усложнению деятельности операторов, требует их высокой квалификации.

Исследование работы операторов, в частности, анализ ошибок показал [18], что 70% ошибок было вызвано недостаточной подготовленностью. Это делает актуаль-

ным развитие системы подготовки операторов. Схема на рис.3 говорит о том, что реальная ситуация на земной поверхности трансформируется в когнитивную ситуацию в когнитивном пространстве оператора. Эта ситуация поддерживается многочисленными индикаторами или информационными единицами о ситуации.

Информационные единицы большей частью являются визуальными и индикативными: горит индикатор — не горит; зеленый цвет — норма; красный цвет — нештатная ситуация, желтый цвет — повышенное внимание и так далее. Паралингвистические единицы [19] в информационных технологиях дополняют обычный информационный язык. Например, индикатор мигает или цвет индикатора меняется, меняется интенсивность цвета, мигание сопровождается прерывистым звуковым сигналом. Паралингвистические единицы воздействуют на когнитивный канал оператора. Информационные воздействуют на информационный канал.

Следует отметить важный фактор управления мониторингом: наличие в реальности двух каналов оператора: информационного и когнитивного. Эти каналы используют для обучения операторов и при их работе. Обучение по информационному каналу является простым и одинаковым для всех операторов. Оно состоит в восприятии индикативных сигналов по простой схеме «да-нет». Обучение по когнитивному каналу является сложным и разным для операторов, поскольку у операторов, как и у всех людей, существуют разные способности мышления и восприятия.

Второй важный фактор мониторинга это способность операторов формировать целостный образ цели на основе обобщения информации от информационных и паралингвистических единиц. Восприятие информационных единиц должно формировать образ. Анализ психологических причин ошибок операторов группы анализа на активных участках полета показал [18], что большая



их часть вызвана тем, что операторы не смогли своевременно классифицировать возникшую нештатную ситуацию, несмотря на своевременное обнаружение отклонений значений параметров за допустимый диапазон. Наиболее типичной ошибкой операторов на участках полета, характеризующихся низкой эффективностью потока входной информации, является пропуск значимых отклонений параметра от номинала. Опыт практической работы и результаты экспериментального исследования показали, что операторы пропускают значимые отклонения параметров во время тренировок реже, чем во время реальной работы. Это связано со снижением активности оператора во время реальной работы, на уровень которой и, следовательно, на надежность работы оператора, оказывает влияние субъективная априорная оценка вероятности возникновения нештатной ситуации. Проверка экспериментальных данных с помощью критерия контингенции  $\chi^2$  подтвердила правильность этого положения с вероятностью 0,99 [18].

Формирование образа объекта мониторинга связано с ассоциативным мышлением и является индивидуальной характеристикой субъекта. Задача обучения состоит в минимизации когнитивных различий для отладки синхронных действий операторов. Задача обучения состоит в выработке умения у оператора формирования образа объекта мониторинга на основе восприятия информационных единиц. Еще один фактор обучения связан с групповой деятельностью. Следует отметить, что в центре управления полетами оператор работает не один, а группа операторов, решающих общую задачу. Это обусловлено снижением информационной нагрузки на отдельно взятого оператора и повышением надежности за счет частичного дублирования воспринимаемой информации. Отсюда вытекает третий важный фактор мониторинга: умение синхронной и комплементарной работы группы операторов.

## Пространственное моделирование при космическом мониторинге объектов транспортной инфраструктуры

Моделирование явлений на земной поверхности на основе космических исследований [20] является широко распространенной технологией. Пространственное моделирование (ПМ) при космическом мониторинге объектов транспортной инфраструктуры выполняется на разных этапах. Оно выполняется при обработке результатов мониторинга. ПМ проводят при анализе транспортного объекта мониторинга. ПМ необходимо при анализе ситуации, в которой находится объект мониторинга (наземный фактор). ПМ необходимо при анализе ситуации полета КА (космический фактор). ПМ выполняется при анализе состояния объектов инфраструктуры. Оно выполняется при анализе пространственного перемещения объектов транспорта. Такое многообразие делает актуальным исследование этого моделирования.

Для космического мониторинга и управления КА необходимо создание среды поддержки подобно среде поддержки для интеллектуальных систем [21]. Для управ-

ления полетом КМТ необходимо применять информационные модели и информационные ресурсы [22, 23].

При пространственном управлении и пространственном моделировании применяют геоинформационное моделирование [24, 25]. Геоинформационное моделирование служит основой поддержки принятия решений [26]. При пространственном моделировании результатов мониторинга и ситуации мониторинга необходимо применять методологию информационных единиц [27-29].

При космическом мониторинге используют модели информационных ситуаций [30-32] в которых находится КА и объект мониторинга. Поэтому обязательным элементом космического мониторинга объектов транспортной инфраструктуры является ситуационное моделирование [33, 34]. Основой космического мониторинга объектов транспортной инфраструктуры и пространственного моделирования является системный подход [35]. Обязательным элементом обработки результатов КМ является использование пространственных знаний [36, 37] и накопление опыта в виде новых пространственных знаний и геознаний [38-40].

## Заключение

Космические технологии являются важным средством наблюдения и управления транспортной инфраструктурой. Они являются одним из средств построения картины мира [41, 42]. Особенностью космического мониторинга транспорта (КМТ) является использование идеологии и технологий наземного мониторинга и методов наземных наблюдений. Космический мониторинг транспорта является глобальным и позволяет отслеживать перемещение по всей поверхности земного шара.

Связь космического мониторинга транспорта с «земными» науками: геодезией, геоинформатикой, радиолокацией решает две задачи. С одной стороны КМТ опирается на апробированные методы. С другой стороны результаты КМТ легко сопоставляются с наземными наблюдениями. КМТ является частью более глобального мониторинга: мониторинга транспорта, который включает наземную и космическую ветки.

Важной особенностью КМТ является то, что он является дистанционным и управляется с земной поверхности из ЦУП. Это накладывает дополнительные требования к подготовке операторов ЦУП. В технологическом аспекте КМТ решает прикладные задачи. В ходе прикладного применения КМТ устраняют противоречия теории управления транспортом и уточняют детали управления.

Опыт применения КМТ развивает технологии управления транспортом и дает новый инструментарий управления. В научном аспекте перед космическим мониторингом транспорта стоят познавательные и научные задачи. Поэтому применение КМТ позволяет накапливать опыт и получать новое знание. В ходе применения КМТ уточняют положения теории протекания земных процессов и получают новые факты для ее развития. В этом контексте он служит основой развития новых методов управления транспортными системами. ■

## Список литературы

1. Zhichkina L. N. et al. Satellite monitoring systems in forestry // *Journal of Physics: Conference Series*. — IOP Publishing, 2020. — Т. 1515. — №. 3. — С. 032043.
2. Цветков В.Я. Космический мониторинг. — М.: МАКС Пресс, 2015. — 68 с.
3. Raymond A. J. et al. Review of impact categories and environmental indicators for life cycle assessment of geotechnical systems // *Journal of Industrial Ecology*. — 2020. — Т. 24. — №. 3. — С. 485-499.
4. Gudehus G., Touplikiotis A. On the stability of geotechnical systems and its fractal progressive loss // *Acta Geotechnica*. — 2018. — Т. 13. — №. 2. — С. 317-328.
5. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // *Успехи современного естествознания*. -2009. — №4. — С.52.
6. Белов П., Чернов К. Техногенные системы и экологический риск. — Litres, 2022. -378 с.
7. Бондур В.Г., Цветков В.Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта. // *Перспективы науки и образования*. — 2015. — №5(17). — С.130-135.
8. Савиных В.П. Развитие космической геоинформатики // *Славянский форум*, 2016. -2(12). — С.223-230.
9. V. G. Bondur, V. Ya. Tsvetkov. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*, 2015, 4 (10), pp. 118-126.
10. Савиных В.П. Состояние космической геоинформатики. Монографическая статья // *Славянский форум*. 2021, 2(32). С.7-17.
11. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг // *Славянский форум*, 2015. — 2(8). — С.177-184/
12. Knoll I. A., Sharapov A. A., Solovieva T. A. Methods of geomonitoring of technogenic objects to determine fast-flowing deformation processes using robotics // *Journal of Physics: Conference Series*. — IOP Publishing, 2020. — Т. 1661. — №. 1. — С. 012115.
13. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // *Перспективы науки и образования*. — 2015. — №3(15). — С.48-55.
14. Gagliardi V. et al. Health monitoring approach for transport infrastructure and bridges by satellite remote sensing Persistent Scatterer Interferometry (PSI) // *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XI*. — International Society for Optics and Photonics, 2020. — Т. 11534. — С. 115340К.
15. Бондур В.Г., Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. Учебное пособие- Москва., 2015. — 72 с.
16. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // *Наука и технологии железных дорог*. 2021. Т. 5. №1 (17). — С.42-49.
17. Gagliardi V. et al. Health monitoring approach for transport infrastructure and bridges by satellite remote sensing Persistent Scatterer Interferometry (PSI) // *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XI*. — International Society for Optics and Photonics, 2020. — Т. 11534. — С. 115340К
18. Бронников С. В. Тренажерная система для непрерывного контроля и управления уровнем подготовленности операторов. Автореферат дис. специальность 19.00.03 — Москва, НПО «Энергия», 1987 — 18с.
19. Цветков В.Я. Паралингвистические информационные единицы в образовании // *Перспективы науки и образования*. — 2013. — 4(4). — С.30-38.
20. Савиных В.П. Моделирование явлений на земной поверхности на основе космических исследований. — М.: МАКС Пресс, 2016. — 100с.
21. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // *Транспорт Российской Федерации*. — 2011. -№6. — С.6-8.
22. Ожерельева Т.А. Информационные ресурсы — Москва: МАКС Пресс, 2022. — 56 с.
23. Tsvetkov V. Ya. Information Models and Information Resources // *European Journal of Technology and Design*, 2016, 2 (12), p. 79-86.
24. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // *Славянский форум*. -2019. — 2(24). — С.7-12.
25. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото- съемка*. — 1999. — №4. — С.147 -157.
26. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка*. — 2001. — №4. — С.128-138.
27. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // *Славянский форум*, 2016. -4(14). — С.137-143.
28. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2014. — № 8 -4. — С. 36-40.
29. Раев В.К. Информационные единицы в информационном поле // *Славянский форум*. 2022, 1(35). С. 104-114.
30. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // *Перспективы науки и образования*. — 2016. — №5 (23). — С.64-68.
31. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // *Славянский форум*, 2016. -4(14). — С.198-203.
32. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // *Славянский форум*, 2016. -4(14). — С.176-181.
33. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // *Информационные технологии*. — 2014. — №6. — С.64-69.

34. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.210-228.
35. Цветков В.Я. Теория систем. — М.: МАКС Пресс, 2018. — 88 с.
36. Lin J., Cao L., Li N. How the completeness of spatial knowledge influences the evacuation behavior of passengers in metro stations: A VR-based experimental study //Automation in Construction. — 2020. — Т. 113. — С. 103136.
37. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний: Монография. — М.: МАКС Пресс, 2015. — 68 с.
38. Ожерельева Т.А. Геознания. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2016. — №5—4. — С.669-669.
39. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. — 2016, 3(13), pp. 122-132.
40. Савиных В.П. Геознание. — М.: МАКС Пресс, 2016. — 132 с.
41. Цветков В.Я. Информационное описание картины мира // Перспективы науки и образования. — 2014. — №5(11). — С.9-13.
42. Савиных В.П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования-2015. — №1. — С.56-62.

УДК 629, 656

# Транспортный объект как элемент системы автоматического управления

## Transport object as an element of the automatic control system

**Охотников А.Л.**, Заместитель начальника Департамента — начальник Отдела, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия  
**Okhotnikov A.L.**, Deputy Head of Department — Head of the Section, JSC «NIAS»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

### Аннотация



В статье рассмотрены подходы к использованию понятия «транспортный объект» и «ситуационное управление». Также дано определение «информационной ситуации», которая влияет на управление транспортным объектом и его параметры. Предлагается провести описание управления автономными объектами через модель системы «транспортный объект — информационная ситуация». Рассмотрены различия между инфраструктурным и подвижным транспортным объектом, транспортным средством и транспортным объектом, между ситуационным управлением и общим управлением. Приведена схема управленческой ситуации вокруг транспортного объекта, с точки зрения наблюдаемости и влияния на подвижный объект.

**Ключевые слова:** транспортные средства, ситуационное управление, информационная ситуация, транспортная инфраструктура, система технического зрения.

### Abstract

The article considers approaches to the use of the concepts of "transport object" and "situational management". The definition of an "information situation" that affects the management of a transport object and its parameters is also given. It is proposed to describe the management of autonomous objects through the model of the system "transport object — information situation". The differences between infrastructural and mobile transport objects, a vehicle and a transport object, between situational management and general management are considered. The scheme of the management situation around the transport object is given, from the point of view of observability and influence on the mobile object.

**Keywords:** vehicles, situational management, information situation, transport infrastructure, vision system.



## Введение

Транспортные средства (ТС) присутствуют в нашей жизни повсеместно. Часто мы относим к ним автомобили, мотоциклы, велосипеды и другие движущиеся средства, которыми можно управлять. Для решения задач управления ученые обычно исследуют ТС, которые находятся в движении, т.к. статичный объект для процесса управления не представляет собой интереса. Разнообразие ситуаций, которые создают ТС, особенно при их взаимодействии, также требуют отдельного изучения. Стоит ли вводить новые понятия для таких объектов исследования, и какая научная и лингвистическая основа лежит в этих понятиях? Попробуем разобраться с этими важными элементами в части управления ими в сложных интеллектуальных транспортных системах (ИТС) [1].

## Исследование

Сложность применяемых технических транспортных средств и многообразие управленческих ситуаций, которые создают эти ТС постоянно растет. Причина применения таких сложных технических средств и систем вызвана увеличением скорости ТС и объема обрабатываемой информации. При управлении ТС в различных ситуациях, особенно при взаимодействии ТС с другими движущимися объектами и неблагоприятных условиях (осадки, плохая видимость) предполагается увеличение времени анализа этих ситуаций и принятия решения в традиционных технологиях. Эволюционный переход ТС на автоматическое управление приводит к необходимости привлечения технических помощников, которые могут заменить когнитивные способности человека. В современных условиях определенным классом сложных технических систем (СТС) [2], предназначенных для определения параметров ТС в системах автоматического управления (САУ) [3], получил название «систем технического зрения» (СТЗ).

Для решения задачи исследования необходимо определить понятийный аппарат, а также основные научные категории для их дальнейшего однозначного использования. Наиболее важными понятиями, без рассмотрения которых достичь цели исследования не представляется возможным, являются:

- транспортный объект — ТО;
- ситуационное управление транспортным объектом — СУТО;
- система технического зрения — СТЗ.

Рассмотрим существующие подходы, а также мнения отечественных и зарубежных специалистов для формирования понятийного аппарата и введения в научный оборот требуемых понятий и определений. Прежде всего, необходимо определить сферу применения терминов. Поэтому рассмотрим один из важных элементов для ИТС, такой как транспорт, который одновременно может рассматриваться как среда функционирования определенных объектов.

**Транспорт** (от лат. *trans* — «через» и *portare* — «нести») — означает:

1. отрасль материального производства, которая осуществляет перевозки грузов и пассажиров [4] (см. Транспортировка);
2. совокупность различных типов транспортных средств, путей сообщения, технических устройств и сооружений, находящихся на путях сообщения и обеспечивающих процесс перемещения грузов и людей из одного места в другое [5];
3. комплекс технических систем и средств, предназначенных для перемещения грузов, людей и информации в различные места назначения [6].

Понятие слова «транспорт» подразумевает несколько аспектов [7]:

**Инфраструктура;**  
**Транспортные средства;**  
**Управление.**

Наиболее важным для целей исследования является понятие «транспортное средство» — и как частность этого понятия — «транспортный объект». Так, в модельном законе «О безопасности на транспорте» указано, что «... Транспортный объект — имущественный комплекс, используемый для выполнения различных операций при осуществлении транспортной деятельности» [8].

Также встречаются следующие определения [9]:

- транспортный объект — компонент архитектуры, который передает информацию между ее входами и выходами в пределах уровня сети [10] (МСЭ Т G.805 (определение), МСЭ Т Y.1720).
- действующий транспортный объект — (МСЭ Т G.808.1). Тематики электросвязь, основные понятия *EN working transport entity* ... Справочник технического переводчика.
- резервный транспортный объект — (МСЭ Т G.808.1). Тематики электросвязь, основные понятия *EN protection transport entity* ... Справочник технического переводчика.

Как правило, транспортными объектами признаются объекты транспортной инфраструктуры или средства транспорта. **Транспортная инфраструктура** — это система коммуникаций и объектов городского и междугороднего грузового и пассажирского транспорта, включающая улично-дорожную сеть, линии и сооружения внеуличного транспорта, объекты обслуживания пассажиров и обработки грузов, объекты временного и постоянного хранения и технического обслуживания транспортных средств. К объектам транспортной инфраструктуры относятся технические сооружения, пути сообщения, грузовые станции и пассажирские вокзалы, логистические центры, склады, агентства по продаже билетов и организации перевозок, коммуникации, инженерные сети и т.п.

**Базовыми объектами транспортной инфраструктуры** являются пути сообщения, пассажирские и грузовые вокзалы и станции.

**Инфраструктура** включает в себя дороги специального или общего назначения, транспортные сети, пути сообщения (железнодорожные и водные >>>

пути, воздушные коридоры, тоннели, мосты, трубопроводы, каналы и т. д.), терминальные комплексы и транспортные узлы, на которых происходит обработка грузов или пересадка пассажиров различных видов транспорта (например, железнодорожные станции и вокзалы, аэропорты, морские порты, остановки общественного транспорта).

**Объекты транспортной инфраструктуры** включают в себя различные виды пути (железнодорожные, трамвайные, водные), контактные линии электропередачи, автодороги, метрополитены, аэропорты и аэродромы, эстакады, мосты, тоннели, автобусные и железнодорожные станции, вокзалы, объекты систем связи, навигации и управления движением транспортных средств, а также такие объекты, которые обеспечивают работу транспортного комплекса — сооружения, здания, устройства и оборудование. Так как объектов транспортной инфраструктуры очень много, полную характеристику ей дать довольно сложно.

Обычно к **транспортным средствам** относят все виды транспорта, которые перевозят людей и грузы — это железнодорожный подвижной состав, воздушные, морские и речные суда, колесный и рельсовый городской наземный и подземный пассажирский транспорт. Соответственно, к транспортным средствам относятся — велосипеды, мотоциклы, автомобили, поезда, вагоны, автобусы, трамваи, троллейбусы, морские и воздушные суда.

В целом, транспортные средства — это технические устройства, предназначенные для перевозки физических лиц, различных грузов, животных, установленных на указанных транспортных средствах устройств и оборудования, в значениях, определенных транспортными кодексами и уставами, и включающие в себя:

- а) транспортные средства автомобильного транспорта, используемые для регулярной перевозки пассажиров и их багажа, либо для перевозки опасных грузов, на осуществление которой требуется специальное разрешение;
- б) морские суда;
- в) воздушные суда авиации общего назначения;
- г) воздушные суда коммерческой гражданской авиации.

## Управление объектами транспорта

Под **управлением транспортными средствами** понимают контроль и возможность влияния над параметрами внешней ситуации, например, стрелками на железнодорожных путях, сигналами семафора, управлением полетами и т. д., а также соблюдение правил по обеспечению безопасности движения (полетов, навигации) [7, 10].

В широком смысле, изготовление и обслуживание транспортных сетей — это задача дорожных инженеров и городского планирования, разработка транспортных средств — технических специалистов, инженеров и специализированных научных институтов, а управление обычно сосредоточено в рамках конкретной транспортной отрасли, где проводят также исследования по управлению транспортом, включая создание беспилотных систем [11].

Исследуем и дадим определение транспортного объекта.

**Транспортный объект** часто употребляют как объект транспортной инфраструктуры или коммуникации, т.е. включая объекты недвижимого комплекса (мосты, трубопроводы, ж.д. узлы, искусственные сооружения (Статья Леонтьева А.В. «Особенности воздействия ВТО противника на транспортные объекты» [12] и «К вопросу об оценке сложности управления транспортными объектами» [13]).

В английском языке транспортный объект обозначается как **Transportation facility** — и тоже включает в себя как объекты транспортной инфраструктуры, так и непосредственно транспортные средства.

Транспортный объект/средство (*facility*) означает любое транспортное средство, помещение или место, используемое для или в связи с общественным пассажирским или грузовым транспортом, воздушным, железнодорожным, автомобильным или другим видом транспорта. Он включает в себя самолеты, плавсредства, железнодорожные вагоны, автобусы, а также воздушные, лодочные, железнодорожные и автобусные терминалы и станции и все принадлежности к ним.

Транспортный объект (*facility*) означает железную или автомобильную дорогу, весь общественный транспорт, аэропорт общего пользования, маршрут для общественного транспорта, а также работу по улучшению транспортных объектов в соответствии с разделом 85.095 (1) (b), (Wis. Stat. Статистика). «Транспортный объект» не включает в себя строительные площадки для строительства общественных зданий и зданий, являющихся местами работы, которые регулируются Департаментом в соответствии с разделом 281.33, Wis. Stat. (Устав штата Висконсин).

Дополнительные определения транспортного объекта/средства. «Транспортный объект/средство (*facility*) означает любое существующее или новое шоссе, дорогу, мост, туннель, платную дорогу, эстакаду, паром, средство общественного транспорта, средство парковки транспортных средств, железнодорожное средство, интермодальное средство или аналогичное средство, открытое для общественности и используемое для перевозки людей или товаров, вместе с любыми зданиями, сооружениями, стоянками, принадлежностями или другим имуществом, необходимым для эксплуатации такого средства. Коммерческое или розничное использование, или предприятие, не имеющие существенного значения для перевозки людей или товаров, не является транспортным средством.»

В свою очередь для целей исследования нам необходимо рассматривать ТО, как подвижный объект или движущийся объект, как объект управления.

В научной среде ТО опосредованно называют транспортное средство как объект управления, но такое определение встречается достаточно редко. Например, в патенте № RU 100634 ОАО «РЖД» «Система управления транспортными объектами на полигоне железной дороги» [14] и в статье «Каналы передачи данных единого информационного пространства взаимодействия автоматизированных систем управления транспортными объектами» [15].



Таблица 1  
Различия между инфраструктурным и подвижным ТО

Признак ТО	Инфраструктурный ТО	Подвижный ТО
Количественная единица	Объект недвижимости	Транспортное средство
Классификация	По видам недвижимости (искусственные сооружения)	По видам транспортных средств: рельсовый, безрельсовый, водный, воздушный, космический, трубопроводный, специальный, канатный, подъемно-транспортный.
Подвижность	стационарный	мобильный
Объект размещения, перемещения	грузовые, пассажирские, грузопассажирские	грузовые, пассажирские, грузопассажирские
Сфера применения	Общего пользования, внутрипроизводственные, личного — нет	Общего пользования, внутрипроизводственные, личного пользования
Управляемость	опосредованное	непосредственное
Связь с субъектом управления	нет	есть
Состав	строительный материал (кирпич, ж/з бетон, дерево)	в основном — виды металла
Границы	есть	есть
Участок	да	нет
Привязка к координатам	да (постоянная)	да (изменяемая)
Количественный	от одного до нескольких, объединяемых в комплекс	от одного до нескольких, объединяемых в систему
Взаимное расположение	на территории в разные конфигурации	с учетом движения относительно друг друга
Влияние друг на друга	опосредованное	непосредственное
Влияние на окружающую среду, человека	да	да
Угроза воздействия на объект	да	да
Обслуживание	да	да
Информационная среда (обстановка)	не важно	важно
Среда обитания	в основном — земля	вода, земля, воздух, космос

Имеем, что транспортный объект в основном используется для идентификации недвижимых объектов и в меньшей степени для подвижных объектов. Необходимо определить признаки и дать определения для подвижных и инфраструктурных ТО. Основные различия между данными категориями транспортных объектов представлены в таблице 1.

Исходя из проведенного анализа можно определить, что, не смотря на множество общих признаков есть существенные отличия, которые в основном укладываются в управляемость и подвижность объектов. Поэтому можно ввести следующие понятия: инфраструктурный транспортный объект и подвижный транспортный объект.

**Инфраструктурный транспортный объект** — объект недвижимого комплекса (мосты, трубопроводы, ж.д. узлы, аэропорты, и др. искусственные сооружения) необходимый для функционирования транспортной системы.

Так как все движущиеся ТО нуждаются в управлении, то по умолчанию слово «управляемый» можно опустить.

Таким образом, в существующей литературе термин ТО является либо объектом транспортной инфраструктуры или любое ТС. По нашему мнению, для целей исследования под ТО необходимо понимать ТС как объект управления.

**Транспортный объект** — это единичное или в составе системы транспортное средство, которое находится под постоянным управлением субъекта управления (в случае автоматизированного управления) или в автоматическом режиме через информационную систему и перемещается в своей среде (вода, земля, воздух, космос) из точки А в точку В.

Управление ТО осуществляется посредством информационной системы управления на управляемые параметры объекта. Под информационной системой управления мы понимаем специальные технические >>>



Таблица 2  
Различия между ТО и ТС

Признак сравнения	Транспортное средство (ТС)	Транспортный объект (ТО)
Состояние в пространстве	движение и покой	движение
Состояние управления	периодическое (может быть без управления)	непрерывное
Наличие информационной системы (средства обмена данными)	не важно	необходимо
Связь с субъектом управления	не всегда	всегда
Определение местоположения	не обязательно	всегда

средства связи и передачи данных, управленческой информации, а также аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий обработку данных и параметров информационной ситуации (внутренних и внешних), поступающих от объекта управления — транспортного объекта.

Основные различия между ТС и ТО — в таблице 2 [16].

Основываясь на данных в таблице, определенно отличительными признаками ТС от ТО можно назвать состояние в пространстве, которое подразумевает постоянное движение и управление для ТО, наличие канала связи для возможности управления посредством информационной системы через средства обмена данными. Таким образом, в качестве условия для ТС, которое можно назвать транспортным объектом, является необходимость его движения и нахождение под постоянным управлением через информационную систему.

Так как процесс движения ТО находится в пространстве, которое влияет на ТО, и это влияние постоянно, то можно говорить об изменяемой информационной ситуации, которую следует описать через параметры.

**Ситуация** (от лат. *situatio* — положение) — сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку, положение [17]. Ситуацией также называют стечение определенных условий, которые требуют управляющих действий, что предполагает принятие того или иного управленческого решения. Под **ситуациями** в аспекте решаемой задачи мы рассматриваем совокупность событий и обстоятельств, источником которых является внутренняя и внешняя среда, влияющих на характеристики движения объекта управления, которые можно описать параметрически и необходимо учитывать при управлении этим объектом. Ситуацию, описанную параметрически называют **информационной ситуацией**.

К таким параметрам можно отнести: скорость поезда, его масса, координаты ТО и объектов вдоль дороги (включая препятствия), крутизна уклона пути (подъема, спуска), кривизна пути, сцепление колесо-рельс (меняется в зависимости от погодных условий), другие внешние факторы и погодные условия (ветер, снег, дождь, давление).

Таким образом, возникает специализированный набор совместных действий, который в целом можно описать как ситуационное управление ТО.

**Ситуационное управление (СУ)** в основном предполагает экономическое толкование оперативного управления, осуществляемого в дополнение к стратегическому и перспективному. По мнению Райзберга Б.А., Лозовского Л.Ш., Стародубцевой Е.Б., «СУ заключается в принятии управленческих решений по мере возникновения проблем в соответствии со складывающейся экономической ситуацией» [18].

Также о ситуационном управлении говорят в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, где под СУ понимают влияние органов управления, когда решения принимаются субъектом управления на основе анализа различных вариантов управляющих воздействий, которые выбираются с учетом состояния объекта управления (ОУ) в текущем времени и возможных вариантов воздействий и прогноза последствий от принимаемых управленческих решений [19]. В этом случае появляется возможность учета всех особенностей конкретной ситуации что предполагает системный подход.

Управление в транспортной сфере осложнено тем, что объектами транспорта являются не только подвижные объекты — транспортные средства, но и грузопотоки — комплекс транспортных объектов, которые объединяют информационные ситуации, что значительно сложнее, чем управление одним объектом. Для решения этих задач ситуационное управление на транспорте невозможно без применения [20]:

- математического и имитационного моделирования;
- ситуационного анализа и синтеза;
- спутниковых технологий и цифровых карт;
- геоинформатики и точного пространственного позиционирования;
- комплексных интеллектуальных систем управления транспортом;
- систем технического зрения;
- искусственного интеллекта, включая нейронные сети;
- моделей информационных ситуаций.

Для технических средств в «Справочнике технического переводчика» дается следующее описание ситуационного управления: «**СУ** — метод решения сложных >>>



Рисунок 1  
Ситуация для транспортного объекта

задач исследования операций, относящихся к классу задач упорядочения. Он основывается на подробном описании необозримого множества ситуаций, которые синтезируются в процессе функционирования реального ОУ, по определенным правилам заменяют укрупненными «макроописаниями» обобщенных ситуаций, каждая из которых с достаточной вероятностью определяет одно из возможных решений задачи. Такая замена позволяет существенно сократить перебор вариантов решений на компьютере и таким образом ускорить поиск оптимума» [21].

Возникает задача формирования ситуации для ТО как ограниченной системы для его управления. При формировании описания ситуации все условия для ТО можно поделить на две категории:

1) наблюдаемость для ТО — возможность обнаружения препятствий при движении ТО средствами ТО. Часто такими средствами выступают сенсоры системы технического зрения (СТЗ), которые используют различные физические принципы. Наблюдаемость характеризуется дальностью и видимостью;

2) влияние на ТО — оказывают ли внешние или внутренние факторы влияние на ТО при его движении.

Для разных типов ТО выделяют свои критерии наблюдаемости и определяют различные степени их влияния на ТО. Если осадки можно определить сенсором СТЗ, но при управлении локомотивом этот фактор не будет оказывать влияния, то можно говорить, что этим параметром информационной ситуации можно пренебречь. При управлении самолетом такие факторы как гроза и град следует учитывать в целях принятия управляющего воздействия по применению маневра для обхода грозового фронта. В случае подводной лодки важные факторы,

влияющие на управление, определяются через наличие льда, подводных течений и других судов.

Ситуацию для ТО можно представить в виде двумерной матрицы. Управленческую ситуацию вокруг ТО создают обстоятельства, которые должны быть наблюдаемы и оказывать влияние на ТО. Остальные обстоятельства не влияют на движение ТО и не рассматриваются. Именно совокупность этих обстоятельств и создает информационную ситуацию, которую необходимо принимать и изучать для управления ТО. Матрица ситуаций для ТО отражена на рисунке 1.

На рисунке 1. ситуация для успешного управления ТО формируется при сложении в информационной ситуации одновременно двух составляющих — когда все объекты, которые могут повлиять на движение ТО, наблюдаемы и ситуация четко определена, при этом управление над ТО не пропадает. Это описывается стандартный вариант управления движением ОУ при хорошей видимости и при наличии устойчивого канала связи. Обратная сторона такой ситуации возникает при отсутствии канала связи и соответственно управления, либо при наличии зоны повышенной опасности в траектории движения ТО, когда объект-препятствие может появиться неожиданно в условиях плохой видимости или резком повороте. В таком случае внешняя информационная ситуация не может быть определена (наблюдаема), что отрицательно сказывается на безопасности движения ТО. Это худшая ситуация при управлении ТО.

Таким образом, информационная ситуация (*IS — information situation*) представляет собой совокупность событий (*Event<sub>i</sub>*), удовлетворяющих следующим условиям:

$$IS \in \{Event_i\}$$



Таблица 3  
Различия между ситуационным и общим управлением

Признак сравнения	Ситуационное управление	Общее управление
Адаптация к внешней среде	обязательно	не важно
Применение электронных вычислительных систем / комплексов	да	нет
Выбор вариантов решений от ситуации	всегда	не всегда
Наблюдение / оценка ситуации	всегда	не важна
Дальность наблюдаемости до препятствия	Оценивается с учетом тормозного пути	не оценивается
Прогностическая модель	необходима	не важно

- событие не оказывает влияния на ТО и не наблюдается средствами ТО, тогда оно не оценивается и не рассматривается в целях управления ТО (например, при легком ветре, при наличии объектов вне зоны видимости СТЗ);
- событие не оказывает влияния на ТО, но наблюдается средствами ТО. В этом случае оно оценивается, но не рассматривается в целях управления ТО (объекты вдоль дороги вне зоны движения, температура и давление воздуха);
- событие может повлиять на ТО, но не наблюдается средствами ТО. В этом случае важно спрогнозировать модель управления или использовать дополнительные технические системы для расширения наблюдаемости ТО (наличие препятствия за поворотом, животное перебегающее дорогу вне видимости СТЗ);
- событие влияет на движение ТО и наблюдается средствами ТО. Ураган на пути ОУ, наличие препятствия на пути, определяемое СТЗ или водителем, резкий уклон пути и т.д.).

Для задач ситуационного управления ТО наиболее важными факторами являются два верхних уровня матрицы — когда ТО средствами СТЗ оценивает информационную ситуацию, и эта ситуация влияет на ТО, и когда ситуация не оценивается, в силу ее не наблюдаемости, то она также может повлиять на управление ТО. Вторым вариантом применим, когда СТЗ не видит объект из-за большого расстояния и не может оценить обстановку. При сближении с объектом эта ситуация может повлиять на выбор управляющего воздействия. В данном случае можно говорить о нечеткой ситуации для прогноза и в этом случае требуются другие подходы, не затронутые в данной статье.

Обстоятельства или ситуации можно разделить по масштабу влияния, по источнику происхождения, по расстоянию (дистанции), по времени принятия решений и т.д. В дальнейшем мы рассмотрим порог влияния ситуации на определение значимости (достоверности) объекта (препятствия) для управления ТО. Наблюдение за ситуацией необходимо рассматривать через определение как внутренних параметров ТО (диагностика состояния ТО), так и внешних параметров (определение внешних

воздействий, например — препятствий). Основные различия между СУ и общим управлением представлены в таблице 3.

Система факторов (обстоятельств) или ситуаций образует систему, которая и задает информационную ситуацию управления. Благодаря наличию системы связанных факторов (наблюдаемость и влияние), управленческое воздействие на объект оптимально распределяется в информационной ситуации [20].

Так как в основе управления заложена модель информационной ситуации, то его можно назвать ситуационным. Информационная ситуация подразумевает анализ позиции ОУ в совокупности с другими объектами и факторами, которые влияют на ОУ. Поэтому задачей такого управления является влияние на параметры ТО с целью перехода ТО из текущей позиции в позицию близкую к целевой.

## Выводы

Таким образом через проведенное исследование рассмотрены подходы к использованию понятия «транспортный объект» и «ситуационное управление». Также дано определение «информационной ситуации», которая влияет на управление транспортным объектом и его параметры. Предлагается провести описание управления автономными объектами через модель системы «транспортный объект — информационная ситуация» с постоянным влиянием информационной ситуации на движение ТО. Управление такими объектами возможно через ситуационное управление. Выявлено, что факторы, которые влияют на управленческую ситуацию вокруг ТО, должны оказывать влияние на ТО и быть наблюдаемы для ТО. Тогда совокупность именно этих факторов и создает информационную ситуацию, которая важна для управления ТО, а в частности, беспилотным поездом или авиационной системой. ■



## Список литературы

1. Левин, Б. А. Развитие интеллектуальных транспортных систем / Б. А. Левин, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. — 2020. — Т. 4. — № 1(13). — С. 15-25. — EDN GKACEN.
2. Назмутдинов, И. С. Анализ моделей функционирования сложных технических систем с учетом применения различных управляемых систем / И. С. Назмутдинов, П. А. Федюнин, Д. В. Ведищев // Информатика: проблемы, методология, технологии: Сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции: в 7 томах, Воронеж, 08–09 февраля 2018 года / Под редакцией Н. А. Тюкачева. — Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2018. — С. 149-153. — EDN XYWYOD.
3. Попов А.К. Элементы теории автоматического управления. учебное пособие / А. К. Попов; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики (технический ун-т)». Москва, —2010. — 208 с. — ISBN 978-5-7339-0717-8
4. Введенский Б. А. Малая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1960. — Т. 9. — С. 451-452.
5. Система норм о транспортных преступлениях в уголовном праве России. URL: \ <http://dlib.rsl.ru/rsl01008000000/rsl01008542000/rsl01008542822/rsl01008542822.pdf>
6. Трофименко, Ю. В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов. — Москва: Издательский дом «Логос Пресс», 2013. — 464 с. — ISBN 978-5-98704-709-5. — EDN RXRREL.
7. Кабанов, А. С. Подход к построению моделей транспортной безопасности / А. С. Кабанов, В. Н. Азаров // Качество. Инновации. Образование. — 2016. — № 4(131). — С. 72-81. — EDN WGNBZR.
8. «Модельный закон о безопасности на транспорте» (Принят в г. Санкт-Петербурге 31.10.2007 Постановлением 29-9 на 29-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ) [URL: / [https://official.academic.ru/27050/Транспортный\\_комплекс](https://official.academic.ru/27050/Транспортный_комплекс)].
9. Сайт интернет-портала Глоссарий ИКС Медиа. Тематики электросвязь основные понятия <http://www.iksmedia.ru/glossary/index.html?glossid=2400324> (Дата обращения 20.03.2021).
10. Бажина, М. А. Понятие «транспортное средство» в транспортном праве / М. А. Бажина // Транспортное право. — 2017. — № 1. — С. 10-13. — EDN XROKJ.
11. Большая энциклопедия: В шестидесяти двух томах / [гл. ред. С. А. Кондратов] Москва: Терра, 2006.
12. Леонтьев, А. В. Особенности воздействия ВТО противника на транспортные объекты / А. В. Леонтьев // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России: межвузовский сборник научных трудов. — Санкт-Петербург: Свое издательство, 2017. — С. 99-109. — EDN YSOLGO.
13. Ольшанский, А. М. К вопросу об оценке сложности управления транспортными объектами / А. М. Ольшанский, М. Г. Лысиков, Е. Н. Розенберг // Наука и образование транспорту. — 2013. — № 1. — С. 78-80. — EDN SJGISZ.
14. Патент на полезную модель № 100634 U1 Российская Федерация, МПК G01S 5/14, B61L 23/34. Система управления транспортными объектами на полигоне железной дороги: № 2010113548/09: заявл. 07.04.2010: опубли. 20.12.2010 / В. А. Бондарец, С. В. Духин, М. М. Железнов [и др.]; заявитель ОАО «РЖД». — EDN CJWHPF.
15. Вайганд, Н. Ю. Каналы передачи данных единого информационного пространства взаимодействия автоматизированных систем управления транспортными объектами / Н. Ю. Вайганд, С. С. Соколов // Сборник научных трудов SWorld. — 2013. — Т. 1. — № 2. — С. 3-7. — EDN QZKTZT.
16. Охотников, А. Л. Ситуационное семиотическое управление / А. Л. Охотников, А. А. Павловский // Наука и технологии железных дорог. — 2020. — Т. 4. — № 3(15). — С. 53-62. — EDN VBJOFJ.
17. Большой энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Большая Российская энциклопедия; Санкт-Петербург: Норинт, 1997, 1999, 2001, 2004. — 1456 с.: ил. — ISBN 5-85270-160-2 — ISBN 5-7711-0004-8.
18. Райзберг, Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. — 4. изд., перераб. и доп. — Москва: ИНФРА-М, 2003. — (Библиотека словарей «ИНФРА-М»). — ISBN 5-16-001584-1. — EDN QQBNML.
19. Болотова, Л. С. Архитектура оболочек программных систем с порождающими механизмами / Л. С. Болотова, А. П. Новиков, А. А. Никишина // Прикладная информатика. — 2014. — № 3(51). — С. 129-136. — EDN SGGTWX.
20. Охотников, А. Л. Информационное ситуационное управление на транспорте / А. Л. Охотников. — Saarbruken: Palmarium Academic Publishing, 2018. — 143 с. — ISBN 978-613-9-82104-4. — EDN YWOFVW.
21. Справочник технического переводчика. — Интент. 2009-2013.
22. Цветков, В. Я. Информационная управленческая ситуация на транспорте / В. Я. Цветков, А. Л. Охотников // Государственный советник. — 2018. — № 2(22). — С. 27-33. — EDN XRZMPJ.

УДК 378.14:004; 625.8

# Обучение управлением транспортных средств с применением тренажеров

## Training to drive vehicles using simulators

**Господинов С.Г.**, д-р. инженер, профессор, проректор, Университет архитектуры, строительства и геодезии, E-mail: sgospodinov@mail.bg, София, Болгария  
**Gospodinov S.G.**, dr. engineer, professor, vice-rector, University of Architecture, Construction and Geodesy, E-mail: sgospodinov@mail.bg, Sofia, Bulgaria

### Аннотация



Рассматривается обучение студентов и переподготовка специалистов транспорта с использованием тренажеров. Показано различие при групповом и индивидуальном тренажерном обучении. Отмечены психологические особенности тренажерного обучения. Вводятся понятия: информационный канал обучения, когнитивный канал обучения. В компьютерных тренажерных играх обучаемый получает в первую очередь опыт в виде неявного знания и эмпирические методы поведения в изученных ситуациях. Статья определяет подсистемы, необходимые при обучении с помощью тренажеров. Описана программное обеспечение тренажерного обучения.

**Ключевые слова:** транспорт, тренажерное обучение, групповое обучение, информационная ситуация, информационный канал, когнитивный канал.

### Abstract

The study considers the training of students and the retraining of transport specialists using simulators. The difference is shown in group and individual simulator training. The psychological features of simulator training are noted. Concepts are introduced: information channel of learning, cognitive channel of learning. In computer simulation games, the student first of all receives experience in the form of implicit knowledge and empirical methods of behavior in the studied situations. The article defines the subsystems required for training with the help of simulators. The software for simulator training is described.

**Keywords:** transport, simulation training, group training, information situation, information channel, cognitive channel.



## Введение

Современное обучение специалистов в сфере транспорта является динамическим и адаптивным. Существует существенное различие между обучением студентов [1] и обучением специалистов [2]. Основное различие состоит в методах мышления, представления задачи обучения и мотивации. В силу этого тренажерное обучение для специалистов более эффективно чем лекционное или дистанционное. Тренажерное обучение специалистов на транспорте (ТОСТ) является объективной необходимостью. ТОСТ более адаптивно к нововведениям и инновациям, оно безопасней обучения на реальных транспортных средствах (ТС). Преимущество ТОСТ в возможности изменении масштаба времени и возможности много кратного повторения сложных процессов управления обучения. Преимущество ТОСТ в возможности быстрой адаптации к техническим нововведениям. Обучение с применением ТОСТ является игровым и компьютерным. Как альтернативу применяют компьютерные деловые игры (КДИ) без тренажеров. КДИ используют для обучения студентов [3].

ТОСТ частично применяют для студентов, но значительно чаще для повышения квалификации специали-

стов. В первую очередь это сфера транспорта. К ним относят водителей автомобильного транспорта, водителей поездов, пилотов гражданской авиации и военной авиации [4], курсантов танковых училищ [5] и т.д. систему обучения ТОСТ применяют для переподготовки диспетчеров [6], управляющих железнодорожным транспортом, включая ситуационные центры [7]. ТОСТ применяют для обучения диспетчеров цифровой железной дороги и автономных поездов [8], диспетчеров, управляющих космическими аппаратами [9], диспетчеров, управляющих беспилотным наземным транспортом [10]. Кроме того, ТОСТ практикуют при обучении управлению блоками АЭС. Основой тренажерного обучения является виртуальное моделирование [11].

## Ключевые параметры ТОСТ

Ключевые параметры тренажерного обучения приведены в таблице 1.

В таблице 1 приведены не все, а только наиболее важные параметры. Необходимо отметить, что ТОСТ не-

Таблица 1  
Параметры и значения тренажерного обучения

Параметр	Значение
Вид обучения	Индивидуальное/групповое
Базовая стационарная модель	Информационная ситуация
Базовая динамическая модель	Динамическая информационная ситуация
Визуальная реальность	Виртуальная/дополненная/смешанная
Компоненты моделей	Информационные единицы
Каналы обучения	Информационный/ когнитивный
Основа функционирования тренажера	Программное обеспечение
Построение обучения	Метод сценариев
Ресурсы обучения	Информационные ресурсы и информационные модели
Система обучения	Эргатическая
Основной тип моделей	Трехмерные
Опорные науки	Геоинформатика/дидактика/управление
Характер обучения	Игровое компьютерное
Уровни обучения	Два/ три
Основной тип учащихся	Специалисты
Вид транспорта	Железнодорожный/ автомобильный/ авиационный/ космический
Системы поддержки	ИТС, КФС, АСУ
Роль преподавателя	Наблюдатель/ участник
Виды взаимодействия	Информационное /когнитивное
Результат обучения	Информация/ явные знания/ неявные знания
Разработчики сценария обучения	Руководитель/ специалист/ педагог/ программист
Место работы обучаемого	Транспортное средство/ ситуационный центр
Приемы обучаемых	Стереотипы/ прецеденты/ творческие решения



разрывно связано с управлением ТС. В дальнейшем эти понятия будут чередоваться.

Вид обучения с применением ТОСТ разделяется на индивидуальное и групповое. Индивидуальное обучение применяют для подготовки водителей ТС. Групповое обучение применяют для подготовки диспетчеров, например, ситуационных центров или центров управления полетами. Групповое обучение и следующее за ним групповое управление снижают индивидуальные ошибки, обусловленные человеческим фактором.

Базовая стационарная модель обучения на тренажере есть информационная пространственная ситуация [12]. Управление ТС является ситуационным, соответственно обучение тоже ситуационное. Информационная ситуация на транспорте используется в двух режимах. Управление ТС в ситуации для оптимизации его маршрута. Это жесткое управление. Управление всей ситуацией для оптимизации транспортных потоков. Это мягкое управление [13].

Поскольку ТС перемещаются, а ситуации меняются, то стационарной модели недостаточно. В реальном управлении применяют также динамические модели. Динамической моделью в ТОСТ является динамическая информационная ситуация.

При обучении на тренажерах большая нагрузка выпадает на визуальный канал восприятия. При использовании ТОСТ визуализацию выполняют в следующих моделях реальности: виртуальная реальность [14], дополненная реальность [15], смешанная реальность [16].

Модели, которые применяют в ТОСТ должны быть сопоставимы и легко модифицируемыми. Они должны иметь достаточно простые компоненты. Такими компонентами моделей являются разные группы информационных единиц [17]. Информационные единицы могут быть структурными, семантическими, паралингвистическими, логическими [18]. Информационные единицы могут быть простыми (слова) и составными (предложения, фразы).

Учащийся является субъектом, который воспринимает учебную информацию через каналы обучения. Основными каналами учащегося являются информационный и когнитивный. Информационный канал основан на восприятии информации. Когнитивный канал включает переосмысливание информации. Он включает такие процедуры восприятия как рецепция [19], перцепция [20] и апперцепция [21].

Основой функционирования обучения на тренажере является программное обеспечение. Это обеспечение является специальным, разрабатываемым под специальный вид транспорта и тип управления. Методическое построение обучения в ТОСТ использует метод сценариев [22]. В разработке сценариев обучения принимает участие коллектив, включающий руководителя, специалиста, педагога и программиста.

Руководитель ставит стратегические задачи обучения, включая учет стратегий развития транспорта. Специалист детализирует эти задачи на технологический уровень, доступный для реализации. Педагог трансформирует технологии в учебный материал, удобный для обучения и пишет сценарии совместно со специалистом. Програм-

мист выполняет компьютерную реализацию сценария и создает интерфейс понятный и удобный для учащегося.

Важную роль в обучении и работе тренажера играют ресурсы обучения. Эти ресурсы чаще всего организуются в специальные структуры и хранятся в базе данных [23]. Основными ресурсами БД тренажера являются информационные ресурсы и информационные модели. Дополнительными ресурсами учащихся являются их интеллект и когнитивные познавательные способности. Первый вид ресурса стационарен. Второй вид ресурса индивидуален, но за время обучения в ТОСТ когнитивные и интеллектуальные ресурсы увеличиваются. Хотя они отличаются для разных индивидуальностей, в процессе обучения и после обучения, когнитивные и интеллектуальные ресурсы должны быть соразмерны. На этом строятся сценарии и методика обучения.

Если рассматривать тренажеры как систему, то они представляют собой человеко-машинную систему [24, 25], эргатическую систему [26]. Это влечет применение эргономики и учета эргономических факторов при написании сценариев для тренажеров. Для тренажеров как эргатических систем важным является создание удобного интерфейса.

В ТОСТ используется основной тип моделей для визуализации как трехмерные модели. Трехмерные модели строят на основе цифровых моделей и использовании технологий рендеринга [27].

Представляет интерес основные опорные науки, которые используют для ТОСТ. К этим наукам следует отнести: геоинформатику, дидактику, управление и искусственный интеллект. Если рассматривать характер обучения на тренажере, то оно не является лекционным, а является игровым компьютерным. Обучение в ТОСТ не является одноуровневым. Уровни обучения определяются качественными характеристиками решаемых задач и методов их решения. Обычно таких уровней не менее двух [28, 29]. Первый уровень обычно нормативный, второй творческий. Основным типом учащихся в ТОСТ это специалисты и студенты транспортных учебных заведений.

Основные виды транспорта, для которых обучают с использованием ТОСТ: железнодорожный, автомобильный, авиационный, космический. Для железнодорожного, автомобильного, авиационного транспорта готовят водителей, машинистов, пилотов и диспетчеров. Для космического транспорта готовят диспетчеров центра управления полетами.

Для ТОСТ существуют системы поддержки, которые могут быть использованы как ресурс обучения или информация о которых содержится в учебной программе. Это автоматизированные системы управления (АСУ) [30], интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [31], кибер-физические системы (КФС) [32, 33] для управления транспортом.

Роль преподавателя в ТОСТ двойная. В одних случаях, при индивидуальном обучении, он является наблюдателем. В других, групповое обучение, он может быть членом группы.

Учащийся взаимодействует с тренажером. Это взаимодействие может быть информационным (вос-





Рисунок 1  
Уровневая схема обучения ТОСТ.

приятие), когнитивным (трансформация информации, информационный морфизм [34]).

Результатом обучения является осведомляющая информация, явные знания в виде умений и навыков, неявные знания в виде опыта и повышения качества работы. Подготовка учащегося для работы на тренажере имеет два направления: транспортное средство и диспетчерский (ситуационный) центр. Приемы обучаемых разделяются по числу уровней обучения. Это стереотипы, прецеденты, творческие решения

### Схемы обучения

На рис.1 дана уровневая схема обучения. Она включает три уровня. Уровни идут по нарастанию сложности от первого к третьему. Во всех случаях основой служит сценарий обучения. На каждом уровне действующим лицом является учащийся.

На первом уровне в тренажерном обучении существует канал вербального общения «учащийся- учащийся», «преподаватель — учащийся». В этой технологии преподаватель является дополнительным ресурсом [35].

В тренажерном обучении (simulator training) [36] интерфейс игры представляет собой макет интерфейса ТС. Для водителя это рулевое и pedalное управление, для пилота это штурвал самолета, многочисленные сигнальные кнопки и сенсоры. На втором уровне индивидуального обучения преподаватель не участвует в обучении, а контролирует процесс обучения.

В тренажерном групповом обучении одновременно задействована группа учащихся. Иногда преподаватель член группы. Он предоставляет свои ресурсы. В индивидуальном обучении со второго уровня участвует один учащийся игры, который использует только свои ресурсы. На этом уровне учащиеся имеют возможность исполь-

зовать только собственные интеллектуальные ресурсы и практический опыт. В ТОСТ ситуация раскрывается через выполнение задание.

На всех трех уровнях обучения (Рис.1) имеет место информационно когнитивное взаимодействие, но оно качественно различается для каждого уровня. Это качественное отличие от лекционного обучения, при котором происходит информационная накачка и работает только информационный канал на восприятия.

По завершению сценариев обучения происходит переход к другому, более сложному сценарию с использованием опыта, полученного в ходе обучения.

В ходе обучения ТОСТ возможны различные отклонения от плановых ситуаций, заложенных в основу первоначально разработанного сценария. Это моделируется системой тренажера. Тренажерное обучение может быть индивидуальным и групповым. В отличие от индивидуального обучения водителей транспортных средств [37], обучение операторов центров управления является групповым.

При групповом обучении стоит дополнительная задача научиться эффективно взаимодействовать, дополнять друг друга. В терминах управления можно сказать, что обучение водителя с помощью тренажера является субсидиарным [38], а обучение операторов транспортного средства с помощью тренажера, а также обучение в группе деловой игры является комплементарным [39].

Еще одна особенность ТОСТ состоит в умении использовать системы поддержки. Это автоматизированные системы управления (АСУ) или интеллектуальные среды поддержки. Существует система предварительной подготовки (СПП) для работы с ТОСТ. СПП включает такие подсистемы:

- Подсистема оценки когнитивного уровня учащегося работать с тренажером [40];





- Подсистема оценки у учащихся минимального запаса знаний для работы с тренажером;
- Подсистема развития оперативного мышления для управления подвижным объектом
- Подсистема выработки принятия решения на основе принципа разумной достаточности.

## Функциональность тренажерного обучения

Тренажерное обучение обладает сервисом. Иногда его называют геосервис, имея в виду большое значение геоинформатики. Технологический комплекс обучения (ТКО) на тренажере должен выполнять набор функций  $F$ . На основе анализа связей ТКО с возможными ситуациями развития, можно сгруппировать основные функции  $F$  в виде последовательности  $F_1, F_2, \dots, F_n$ .

Тренажер использует информационную базу, которая хранится в базе данных  $B$ . Эта база содержит два множества: множество параметров, описывающих состояние объекта в типовых режимах функционирования, среды в которой он работает, модели нештатных ситуаций, модели обучаемости операторов, информационные модели объекта ( $B_1$ ); множество служебных параметров, описывающих состояние ТКО ( $B_2$ ).

Подмножество  $B_1$  содержит значения параметров, необходимых для выполнения основных функций тренажера, это подмножество является формализованным отображением объекта, и условий его функционирования, процесса обучения операторов.

Подмножество  $B_2$  содержит значения параметров, необходимых для организации работы средств тренажера. Это подмножество является формализованным отображением алгоритмов (программ) SPS, общесистемного математического обеспечения, информационной базы и технических средств тренажера. В состав  $B_2$  входят параметры, характеризующие структуру средств тренажера, их пространственное размещение, а также их текущее состояние.  $B_2$  используется для организации согласованного использования средств тренажера.

Множество  $B_1$  состоит из подмножеств:

$$B_1 = \langle B_{1_1}, B_{1_2}, B_{1_3}, B_{1_4}, B_{1_5}, B_{1_6}, B_{1_7}, B_{1_8} \rangle, \quad (1)$$

В выражении (1):  $B_{1_1}$  — параметры, определяющие состояние объекта управления и условия его функционирования;  $B_{1_2}$  — параметры, характеризующие возможные непредвиденные ситуации;  $B_{1_3}$  — параметры, определяющие визуальный вид информационных моделей обучения;  $B_{1_4}$  — временные параметры процесса обучения;  $B_{1_5}$  — параметры поведения модели объекта для штатных режимов;  $B_{1_6}$  — параметры пространственной ситуации, в которой находится объект;  $B_{1_7}$  — параметры информационных ресурсов и информационных моделей, которыми располагает обучаемый.  $B_{1_8}$  — параметры интеллектуальных и когнитивных требований у обучаемым для работы с тренажерами. Тренажерная система обучения является открытой адаптивной системой, основанной на применении программного обеспечения и когнитивных навыков обучаемых.

## Значение геоинформатики в ТОСТ

Обучения в ТОСТ использует пространственную информацию, пространственные модели, пространственное управление. Это приводит к необходимости применения методов геоинформатики для организации моделей обучения и организации технологий обучения.

Основой обучения и визуализации ситуаций являются трехмерные пространственные модели. Одной из основных задач геоинформатики является построение разнообразных трехмерных пространственных моделей. Для создания таких моделей необходимо использовать информационные единицы, ономазиологическое моделирование и интегрированные модели данных [41, 42].

Обучение на тренажерах является ситуационным. Для учета динамики объекта управления применяют динамические ситуационные модели [43] и динамическую геоинформатику [44]. Метод информационных ситуаций применим в геоинформатике и реализуется в виде ситуационного моделирования [45]. Ситуационное моделирование требует систематики информационных ситуаций.

Применение геоинформатики связано с пространственным управлением [46] и поддерживает это управление. Для подготовки моделей местности и моделей управления применяют геоинформационное моделирование [47] и метамоделирование [48].

## Ситуационное моделирование в ТОСТ

Особенность ТОСТ в том, что она не использует модели объектов, а использует модели информационных ситуаций, в которых находятся объекты. Особенность ТОСТ в том, что она работает с подвижными объектами, для которых характерно постоянное изменение ситуаций. В ТОСТ ситуация имеет визуальную форму представления. Именно с ней взаимодействует учащийся. Для визуальных моделей существует понятие сцена, которое соответствует понятию информационная ситуация.

Существуют разные модели визуальных ситуаций. Основная модель ситуации — это динамическая модель, в которой происходит движение объекта. Вторая модель ситуации — это метамодель, связывающая разные ситуации. Третья динамическая модель ситуации — это модель, меняющая сцену (ситуационный вид) в зависимости от действий обучаемого. В ситуацию входят простые информационные модели. Информационную ситуацию, как информационную модель, образуют информационные единицы. Информационные единицы связывают между собой разные ситуации и позволяют выполнять сравнительный анализ ситуаций. В тренажерном обучении могут присутствовать паралингвистические единицы [49], которые передают дополнительную информацию по акустическому каналу связи.

Дополнительно к визуальным моделям существуют параметрические модели ситуаций, которые анализируют действия оператора создают виртуальную реальность. Существуют параметрические модели ситуаций, которые ограничивают действия обучаемого или выдают подсказки. Тренажерное обучение это в первую >>>

очередь обучение, а не реальные действия, поэтому оно включает подсказки и ограничения.

Значение ситуаций при тренажерном обучении приводит к необходимости рассмотрения модели информационной ситуации. Для обучаемого возникает необходимость систематики информационных ситуаций. Основные ситуации для обучаемого с помощью тренажера, следующие: ситуация «что было», ситуация «что есть», ситуация «что может быть», ситуация «что должно быть».

Еще одна особенность тренажерного обучения в том, что оно опирается на пространственное моделирование и пространственное управление. Это приводит к необходимости изучения геоинформационного управления, которое осуществляется с применением геоинформационных моделей и геоинформационных технологий. Данные особенности обучения должны быть учтены при подготовке технологического обеспечения тренажерного обучения и формировании среды поддержки обучения.

## Психологические особенности тренажерного обучения

При тренажерном обучении у обучаемого существует два канала восприятия: информационный и когнитивный. Информационный канал передает формализованную в терминах информационного поля информацию. Он передает одинаковую информацию для всех обучаемых. Первоначально они могут воспринимать ее по-разному, но с течением времени вся эта информация будет усвоена. По информационному каналу происходит фиксация информации. При использовании информационного канала применяют оценку качества в виде отношения информационного соответствия.

Обучение по когнитивному каналу является сложным и разным для обучаемых, поскольку использует индивидуальные особенности восприятия. Когнитивный канал включает переосмысливание информации. Он включает такие процедуры восприятия как рецепция, перцепция и апперцепция. В этом канале проявляется способность учащихся формировать целостный образ или гештальт. Усвоение информации по когнитивному каналу при тренажерном обучении является контекстно зависимым [50]. Эта особенность накладывает требования на подготовку сценарием обучения. При использовании когнитивного канала применяют оценку качества в виде отношения соразмерности

Психологический фактор ТОСТ связан с групповой деятельностью. В центре управления или обучения будущий диспетчер работает группе. В группе появляется дополнительный вид информационного взаимодействия групповое информационное взаимодействие. Оно выдвигает еще один критерий качества обучения и работы комплементарность [51] действий в группе. В частности, применение динамических ситуационных моделей повышает надежность за счет появления «накопленной надежности» внутри группы. Важный фактор для тренажерного обучения — умение оперативного принятия решений. Оно имеет психологическую окраску и вырабатывается только на специальных

тренажерах по специальным показателям. Учет перечисленных основных факторов служит основой подготовки и тренажерного обучения, а также основой формирования специалистов по управлению транспортом.

## Заключение

Тренажерное обучение на транспорте (ТОТ) является объективной необходимостью. Интеллектуализация ТС и рост сложности ТС обучение с использованием ТОСТ становится необходимым фактором профессиональной деятельности. Фактически обучение с помощью тренажеров основано на накоплении опыта, включении подсознания и когнитивного пространства. Информационные ситуации и их визуальная форма представления играют главную роль в ТОСТ. Лекционное обучение использует простой информационный канал связи. ТОСТ информационный и дополнительно когнитивный каналы восприятия. При этом когнитивный канал играет главную роль. Исследования показали [52], что тренажерное обучение быстрее вырабатывает профессиональные навыки, чем обучение с реальными приборами и техническими средствами. Однако это характерно для специалистов, имеющих опыт работы и мотивацию обучения. ■

## Список литературы

1. Ожерельева Т.А. Особенности тестирования студентов в области наук о Земле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2013. — № 5 — С.109-110.
2. Ожерельева Т.А. Особенности тестирования специалистов в области наук о Земле // Международный журнал экспериментального образования. — 2013. — № 7 — С.135-136.
3. Стоева Д.Р. Деловые игры как образовательные технологии // Славянский форум. 2022, 1(35). С.128-140.
4. Емельянов А. В. И др. К вопросу тренажерного обучения работе со съемным авиационным вооружением // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2020. — №. 11. — С.510-515.
5. Михаил И. И. и др. Актуальность применения тренажерных средств в процессе обучения на кафедре физической подготовки военного вуза // Аллея науки. — 2018. — Т. 1. — №. 8. — С. 633-638.
6. Шарафутдинов А. А., Хафизов И. Ф., Рамазанова Л. А. Разработка тренингов для тренажерного комплекса по обучению диспетчерского состава пожарной охраны // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2015. — №. 5. — С.136-141.
7. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах // Наука и технологии железных дорог. — 2019. Т.3.— 2(10). — С.3 -16.
8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Тенденции развития автономного поезда // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.— 2(14). — С.3-12.
9. Бронников С. В. Тренажерная система для непрерывного контроля и управления уровнем подготовленности операторов. Автореферат дис. специальность 19.00.03 — Москва, НПО «Энергия», 1987 — 18с.
10. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.— 3(15). — С.44-52.
11. Краснянский М. Н. и др. Автоматизированная информационная система обучения персонала промышленных предприятий на основе виртуальных тренажерных комплексов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2013. — №. 11. — С. 86-94.
12. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). — С.198-203.
13. Ожерельева Т.А. Жесткое и «мягкое» управление // Славянский форум. -2018. — 1(19). — С.56-62.
14. I. P. Deshko, K.G. Kryazhenkov, E. E. Cheharin. Virtual Technologies // Modeling of Artificial Intelligence. 2016, 1 (9), P.33-43.
15. Mystakidis S., Christopoulos A., Pellas N. A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education // Education and Information Technologies. — 2021. — С.1-45.
16. Zhu C. et al. Liquid crystal soft actuators and robots toward mixed reality // Advanced Functional Materials. — 2021. — Т. 31. — №. 39. — С. 2009835.
17. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 8 -4. — С. 36-40.
18. Ожерельева Т.А. Логические информационные единицы // Славянский форум, 2015. — 2(8). — С.240-249.
19. Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. — 2016. — 1 (13). — С.121-129.
20. Номоконова О.Ю. Перцепция информации в медицинской диагностике. // Славянский форум. -2020. — 2(28). — С.75-83.
21. Номоконова О. Ю. Апперцепция информации при медицинской диагностике // Славянский форум. -2020. — 3(29). — С.220-230.
22. Lemenkova P. Scripting methods in topographic data processing on the example of Ethiopia // SINET: Ethiopian Journal of Science. — 2021. — Т. 44. — №. 1. — С. 91-107.
23. Цветков В.Я. Проектирование структур данных и базы данных — М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997. -90 с.
24. Матчин В.Т. Информационная модель в человеко-машинной системе // Перспективы науки и образования- 2014. — №6 (12). — С.14-18.
25. 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.
26. Мордвинов В.А. Информационные потребности эргатических систем // Славянский форум. — 2017. -4(18). — С.42-49.
27. Tewari A. et al. Advances in neural rendering // Computer Graphics Forum. — 2022. — Т. 41. — №. 2. — С. 703-735.
28. Розенберг И.Н. Построение автоматизированной системы дистанционного обучения для специалистов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №2. — С.4-8.
29. Розенберг И.Н. Дополнительное профессиональное обучение специалистов железнодорожного транспорта // Современное дополнительное профессиональное педагогическое образование. — 2016. — №2. — С.84. -94.
30. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Автоматизированные информационные системы управления. — М.: Московский государственный университет путей сообщения, 2010. -80 с.
31. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы — Saarbrücken, 2012. — 297 с.
32. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. — 2017. — №3(27). — С.55-60.



33. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. — 2018. Т. 16. № 2 (75). — С.138-145.
34. Дышленко С.Г. Информационный морфизм пространственных преобразований // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. — 2018. — № 6 (10). — С.21-26.
35. Цыбулько В. В. Об особенностях деятельности педагогов при использовании тренажерных средств в обучении // Организация образовательного процесса в учреждениях высшего образования: правовые и методические аспекты. — 2018. — С.303-306.
36. Farmer E. et al. Handbook of simulator-based training. — Routledge, 2017.
37. Haeger M. et al. Can driving-simulator training enhance visual attention, cognition, and physical functioning in older adults? //Journal of aging research. — 2018. — Т. 2018.
38. Козлов А. В. Анализ субсидиарных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2019. № 69. С.160-167.
39. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. — 2014. — Т. 24. № 4. — С.103-116.
40. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей// Перспективы науки и образования. — 2013. -№3 (3). — С.38-46.
41. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. — 2014. — 2 (6). — С.51 -55.
42. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2000. — №4. — С.150-154.
43. Мелехин В. Б., Хачумов М. В. Нечеткая модель ситуационного управления параметрами полета автономного беспилотного летательного аппарата в условиях неопределенности //Мехатроника, автоматизация, управление. — 2021. — Т. 22. — №. 12. — С. 650-659.
44. Раев В.К. Динамическая геоинформатика // Славянский форум. 2022, 2(36). С. 195-205
45. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. — 2014. — №6. — С.64-69.
46. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. — 2(8) — С.268-274.
47. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. — 2(24). — С.7-12.
48. Зайцева О. В. Пространственное метамоделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С.57-68.
49. Цветков В.Я. Паралингвистические информационные единицы в образовании// Перспективы науки и образования. — 2013. — 4(4). — С.30-38.
50. Dahlstrom . et al. Fidelity and validity of simulator training //Simulation in Aviation Training. — Routledge, 2017. — С.135-144.
51. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. -2018. — 4 (22). — С.85-90.
52. Roenker D. L. et al. Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance //Human factors. — 2003. — Т. 45. — №. 2. — С. 218-233.

УДК 656.022

# Перспективные направления развития железнодорожного туризма

## Promising areas of railway tourism development

**Коваленко Н. А.**, к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (ПУТ),  
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, Российский университет транспорта (ПУТ),  
E-mail: lyubov.shorokhova@list.ru, Москва, Россия

**Shorokhova L.S.**, Postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: lyubov.shorokhova@list.ru, Москва, Россия

### Аннотация

Рассмотрена динамика изменения вклада туризма в ВВП страны, объемов въездного и выездного пассажиропотока и приведены перспективные направления развития железнодорожного туризма, предлагаемые компанией ООО «РЖД Тур» на территориальном пространстве Российской Федерации. В эпоху хаотичной изменчивости эколого-эпидемиологической обстановки и усиления карантинных мер развитие национального туризма имеет решающую роль в решении социальных задач и формировании экономического потенциала страны. Важно не только организовывать туристические железнодорожные маршруты, но и предлагать железнодорожному туристу качественный уровень сервиса за приемлемые деньги.

**Ключевые слова:** туристические железнодорожные перевозки, популярные маршруты, поезд — отель, перспективные направления, пассажиропоток.

### Abstract

The dynamics of changes in the contribution of tourism to the country's GDP, the volume of inbound and outbound passenger traffic are considered and the tourist promising directions for the development of railway tourism offered by the company "RZD Tour" in the territorial space of the Russian Federation are given. In the era of chaotic variability of the ecological and epidemiological situation and the strengthening of quarantine measures, the development of national tourism has a crucial role in solving social problems and shaping the economic potential of the country. It is important not only to organize tourist railway routes, but also to offer the railway tourist a high-quality level of service for reasonable money.

**Keywords:** tourist rail transportation, popular routes, train-hotel, promising directions, passenger traffic.



## Введение

Поступательное развитие экономической сферы имеет тесную взаимосвязь с туризмом, что способствует увеличению подвижности населения.

Туристическая отрасль предусматривает социально-значимую составляющую в развитии Российской Федерации, а именно:

- формирование устойчивого позитивного образа нашей страны, что отражается в возможности привлечения новых туристических направлений и инвестиций;
- рост объема налоговых поступлений в бюджет страны;
- повышение значимости образовательного направления и культурного наследия для населения;
- расширение сектора предоставления рабочих мест.

При осуществлении консолидированных действий государственного и частного сектора происходит формирование стратегий развития сектора туризма для возможности постоянного совершенствования уровня сервиса, что предусматривает получение прибыли, так как ту-

ризм — направление с высоким доходом, оказывающим влияние на валовый внутренний продукт (рисунок 1).

Развитие туризма в настоящее время является одним из направлений целевых стратегий государства в виду высокой прибыльности данного вида деятельности. Так ежегодно происходит увеличение валовой добавленной стоимости туристической индустрии (рисунок 2).

В настоящее время активно развиваются туристические железнодорожные перевозки как новое перспективное направление развития внутреннего туризма в Российской Федерации.

Железнодорожный туризм — направление туристической деятельности, в рамках которого железнодорожный транспорт и его инфраструктура используются при создании единого туристического продукта, объединяющего в себе составляющие турпродукта и туристической инфраструктуры, в рамках которой осуществляется туристическое обслуживание.

В настоящее время развитие железнодорожного туризма является одной из важнейших стратегических за-

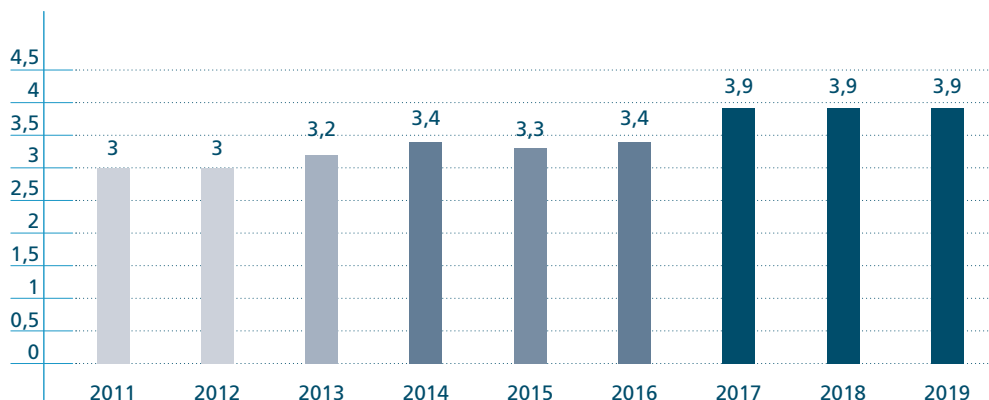


Рисунок 1  
Динамика изменения вклада туризма в ВВП России, %

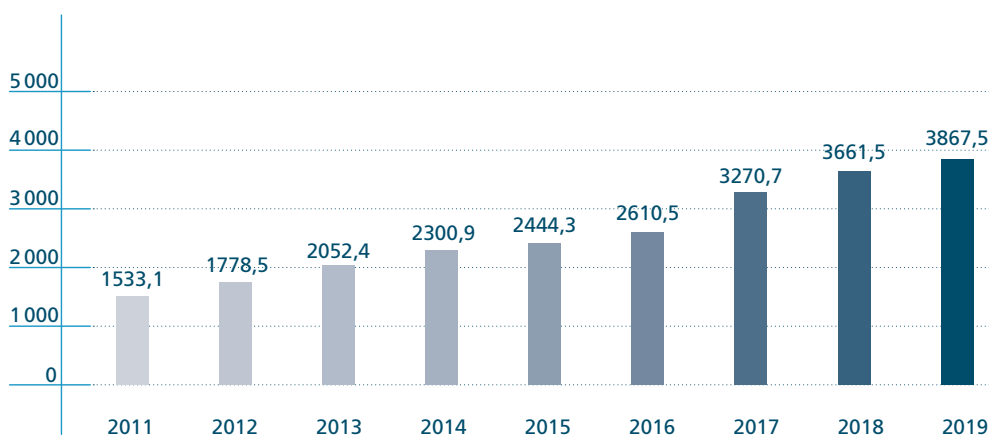


Рисунок 2  
Динамика изменения валовой добавленной стоимости туристической индустрии, млрд руб.





Рисунок 3  
Трансоюзное железнодорожное путешествие

дач в условиях снижения объемов въездного и выездного туризма. В связи с сокращением указанных видов туристических поездок произошла переориентация вектора, направленного на привлечение клиентов к покупке внутрироссийских туров, что обусловило расширение географической сетки туристических маршрутов.

Рынок железнодорожного туризма в России требует перемен и дальнейшего развития, так как разработка и внедрение новых маршрутов следования туристических поездов направлено не только на удовлетворение социальных потребностей населения в отдыхе и путешествиях, но и способствует повышению уровня конкурентоспособности и клиентоориентированности железнодорожного транспорта на рынке транспортных услуг. Следует учесть, что железнодорожный подвижной состав является достаточно комфортабельным средством передвижения, что позволяет рассматривать варианты использования в туристических турах поездов-отелей. Формирование туристических продуктов с использованием поездов-отелей предусматривает движение железнодорожного транспорта в ночной период, прибытие поезда на станцию туристического обслуживания утром и отправлением его вечером или ночью. Это весьма удобно, так как не отнимает время у туристов от дневного экскурсионного обслуживания.

Развитие железнодорожного туризма на современном этапе формирования новых туристических маршрутов и устойчивой нормативно-правовой базы, регламентирующей данный вид деятельности с точки зрения долгосрочной перспективы.

### Исторические аспекты, проблемы и перспективы развития железнодорожного туризма

Развитие железнодорожного туризма началось и активно совершенствовалось в период до распада СССР. Так на советском пространстве того времени самым популярным

считался туристический маршрут «Трансоюзное железнодорожное путешествие» (рисунок 3), объединяющий в себе межгосударственную перевозку с возможностью осуществления туристического обслуживания в каждом из городов.

Кроме представленного выше маршрута, высокий спрос был также на путешествия в рамках курсирования железнодорожного транспорта по древним русским, крупнейшим украинским, кавказским и прибалтийским городам.

Высоким устойчивым спросом пользовался маршрут по Кругобайкальской железной дороге, были востребованы и международные маршруты. Формирование и организация движения туристических поездов осуществлялись при безусловном обеспечении безопасности железнодорожных пассажирских перевозок [3] при поддержке эксплуатационной надежности и долговечности используемого подвижного состава [4].

Распад СССР послужил причиной снижения значимости железнодорожного туризма, как вида деятельности. Однако, после создания компании ООО «РЖД Тур» (2005 год), которая входила в состав ОАО «РЖД» происходит возрождение железнодорожного туризма как во внутригосударственном и в международном общении. Вектор деятельности претерпел изменения (рисунок 4).

2011 год стал для компании ООО «РЖД Тур» толчком к развитию железнодорожного туризма. [2] С 2019 года происходит переориентация вектора осуществления перевозок туристов на более бюджетные поездки, что увеличило число туров на два-три дня, при этом происходит укрепление значимости понятия «поезд-отель». Днем туристам Экскурсионное обслуживание туристов, путешествующих в поездах-отелях, производится в дневное время и может быть организовано как во время стоянок поезда, так и в пути следования. Расширение туристического продукта ОАО «РЖД Тур» состоялось в 2021 года. Так появились «Туристические поезда» >>>

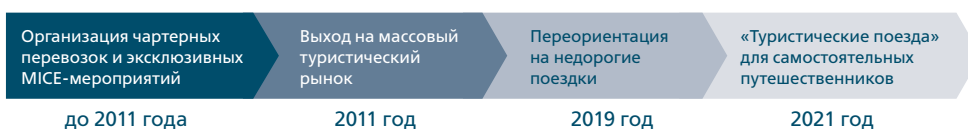


Рисунок 4  
Виды деятельности ООО «РЖД Тур» с 2011 до 2021 год

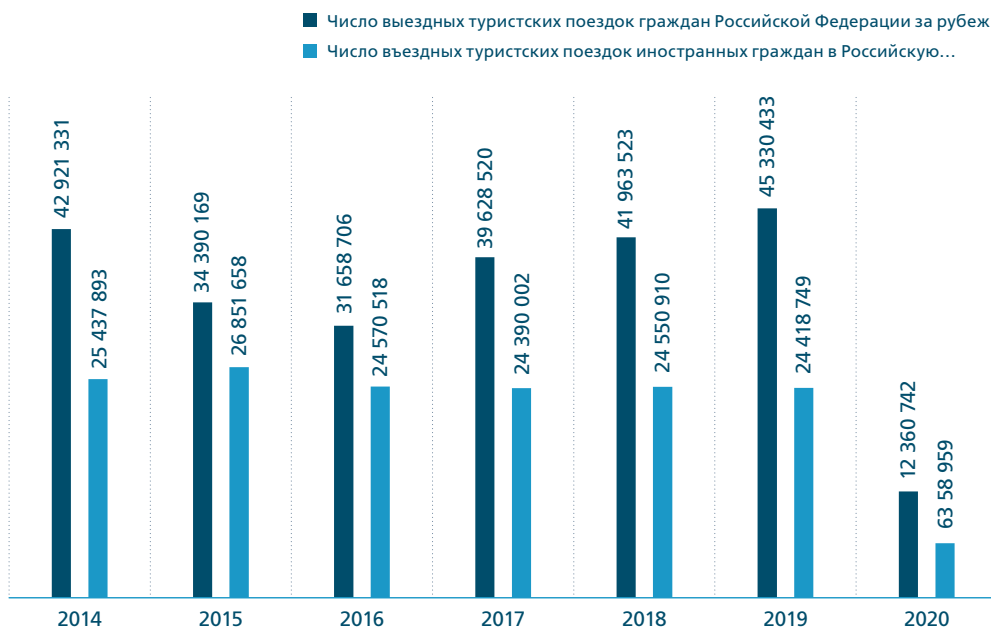


Рисунок 5  
Данные о количестве выездных туристских поездок граждан Российской Федерации за рубеж и въездных туристских поездок иностранных граждан в Российскую Федерацию, человек

для самостоятельных путешественников, на которые необязательно покупать экскурсионную программу, но поезд так же становится транспортом и отелем на время тура.

Формирование и открытие туристических направлений компании связано с ростом значимости национального туризма. При росте объема туристического потока в мировом эквиваленте в России наблюдается разница между количеством въезжающих и выезжающих туристов (рисунок 5). Особенно очевидным «толчком» в переориентации вектора туристического железнодорожного туризма с межгосударственного на внутрироссийский служит усиление мер и правил для минимизации рисков распространения Covid-19 между населением стран.

При падении уровня выездных и въездных туристических поездок происходит и снижение объема экспорта по категории «поездки» (рисунок 6).

Постепенное увеличение объема инвестиций и доходов от туристических железнодорожных маршрутов

связано с расширением маршрутной сетки. Наиболее востребованные места отдыха туристов представлены на рисунке 7.

На основе роста спроса железнодорожного туриста происходит формирование предложений туристических железнодорожных продуктов со стороны ООО «РЖД Тур».

Железнодорожный турист — турист, осуществляющий передвижение по инфраструктуре ОАО «РЖД» при помощи железнодорожного транспорта с целью получения высокого качества транспортного и экскурсионного обслуживания при осуществлении туристической перевозки.

В 2021 году на «территориальном пространстве 1520» курсировали порядка 20 маршрутов с продолжительностью тура от одного дня до 15 дней.

В 2022 году число туристических железнодорожных направлений продолжает расти, дальнейшее развитие получают туристические маршруты с использованием поездов Премиум-класса [1] и категории «Императорская Россия».

Основными станциями зарождения туристического железнодорожного пассажиропотока являются Москва



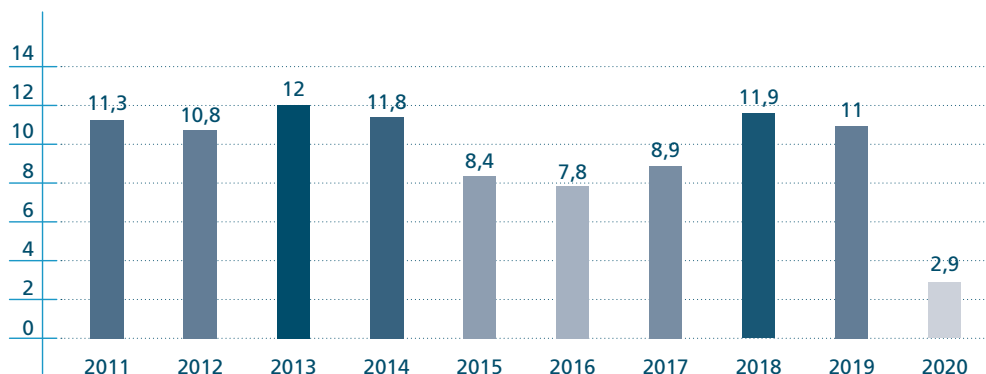


Рисунок 6  
Динамика объема экспорта услуг по статье «поездки» Российской Федерации, млрд долл. США



Рисунок 7  
Востребованные туристические места

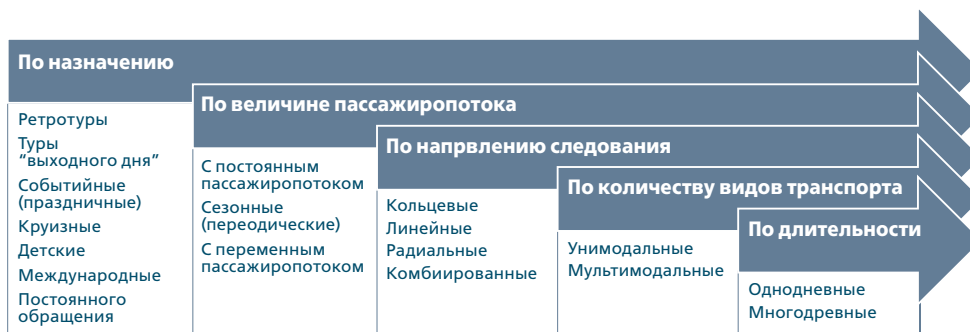


Рисунок 8  
Классификация железнодорожных туристических маршрутов

и Санкт-Петербург, перспективными для организации железнодорожных туров также являются Казань, Нижний Новгород, Великий Новгород, Псков, Вологда, Рускеала, Выборг, Петрозаводск, Сортавала, Ярославль, Петрозаводск, Тверь, Тюмень, Набережные Челны, Иркутск, Екатеринбург и др.

Компания ООО «РЖД Тур» в рамках своей деятельности предусматривает открытие порядка 90 маршрутом туров в 2022 году. Развитие сети туристических железнодорожных туров связано с ростом социальной значимости туристических поездок, увеличении качества сервиса, вариативность туристических продуктов (покупка только транспортного обслуживания, экскурсионного и транспортного обслуживания, полный тур).

Все туристические маршруты, предлагаемые туристам, можно условно разделить на группы по различным критериям (рисунок 8).

Особенностью линейного маршрута является то, что начало и окончание происходят в разных географических пунктах пребывания (тур «Байкальская сказка»), а в кольцевом – станция отправления и назначения располагается в одном географическом пункте пребывания (тур «Золотое кольцо России»).

Особенностью радиального маршрута является то, что точкой начала и окончания происходит в одном географическом пункте пребывания, располагаясь в котором турист совершает путешествия в другие пункты маршрута, возвращаясь при этом в пункт начала >>>

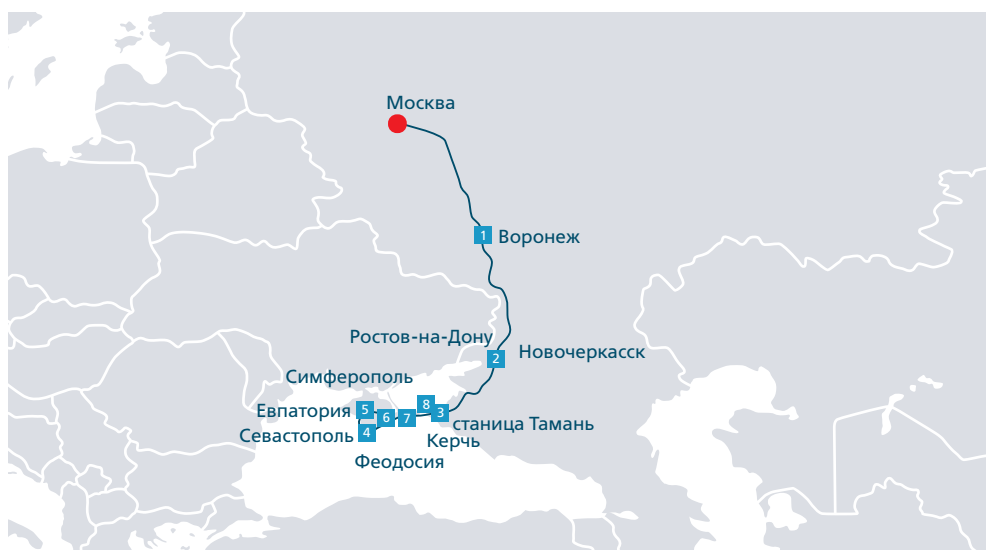


Рисунок 9  
Туристический маршрут «Крымский вояж»

путешествия (тур «Москва- Рускеала- Выборг- Москва»). При этом ключевую роль имеет улучшение качества обслуживания пассажиров. [5]

Комбинированный маршрут объединяет в себе предыдущие варианты направления следования туристических поездов в различных комбинациях.

Классификация маршрутов по различным критериям позволяет систематизировать особенности каждого из маршрутов с выявлением особенностей и дальнейших перспектив развития.

Многие туристические железнодорожные направления характеризуются постоянно растущим спросом. Например, если ранее на направлении Москва— Рускеала курсировало 2 состава, то в настоящее время рассматривается вопрос о запуске в 2022 году уже 6 составов. «Поезд Деда Мороза», курсирующий с декабря 2021 года по январь 2022 года и объехавший 36 городов за чуть более 40 дней, пользовался большим спросом, как итог— в 2022 году планируется удлинить его маршрут для того, чтобы спрос всех желающих на поездки в данном поезде был удовлетворен.

## Развивающиеся железнодорожные туристические направления

Открытие туров с использованием железнодорожного транспорта на территории Российской Федерации связано с перспективой и целесообразностью развития регионов. Особым спросом пользуются направления на юг (в частности, в Севастополь), в сторону озера Байкал и республику Бурятия, в Мурманск.

Организация железнодорожных пассажирских перевозок на направлении Москва — Севастополь осуществляется компанией АО ТК «Гранд Сервис Экспресс»,

в настоящее время в обращении находится пассажирский поезд №92, а в марте 2022 года состоялся запуск туристического маршрута, предусматривающего экскурсионное обслуживание, который называется «Крымский вояж» (рисунок 9). Данный туристический маршрут проходит через такие города, как Москва, Воронеж, Ростов-на-Дону, Тамань, Севастополь, Евпатория, Симферополь, Феодосия, а далее с возвращением через Керчь, Ростов-на-Дону, Новочеркасск, Воронеж в Москву.

Развитие данного туристического вызвано тем, что в настоящее время по данному направлению Москва— Севастополь курсирует один поезд в день, при высоком спросе населения на путешествие на полуостров Крым.

Востребованность Иркутской области со стороны туристов вызвана наличием озера Байкал. В связи с этим высоким спросом пользуется тур «Байкальская сказка». Развитие сети туристических маршрутов имеет социальную значимость для развития региона. В настоящее время в республике Бурятия имеется туристический маршрут «Моя Россия: легенда Байкала» (рисунок 10), который включен в национальную программу детского культурно-познавательного туризма.

Сеть железнодорожным маршрутов расширяется с каждым годом все сильнее. Активнее начинается развитие в сторону севера страны (рисунок 11).

Станцией зарождения туристического пассажиропотока данного маршрута будет Москва, погашения — Мурманск. Он также пройдет через следующие населенные пункты— Великий Новгород, Петрозаводск, Полякнода, Ковда, Кандалакша, Полярные Зори, Африканда, Апатиты, Хибиньы, Невелиновыи пески, Имандра, Оленегорск, Полуозеро, Лопарская, Кола. Перспектива развития такого маршрута предусматривает не только повышение социальной значимости и развития региона, но и возможность увидеть полярное сияние.



Рисунок 10  
Туристический маршрут «Моя Россия: легенда Байкала»



Рисунок 11  
Туристический маршрут Мурманской области

## Заключение

Значимость формирования новых туристических перспективных направлений железнодорожного туризма играет важную роль в развитии страны. На сегодняшний день компания ООО «РЖД Тур» и АО ТК «Гранд Сервис Экспресс» стремятся предложить клиентам высокий уровень сервиса, тем самым увеличить приток железнодорожных туристов на данный вид транспорта и удовлетворить растущий спрос.

Акцент на уровень сервиса, доступности и цены играет важную роль у клиентов при выборе тура. Предложения зарубежных партнеров были более привлекательны для туристов до пандемии, но в связи с усилением мер по предотвращению инфекции, компаниям пришлось перенаправить внимание на развитие национального

туризма и поиска новых способов привлечения пассажиропотока.

Важным вопросом является применение подвижного состава и новых вариантов его использования. Так в составе поездов, курсирующих по круизным маршрутам, включаются вагон-зал, вагон-бар, вагон-ресторан и многие другие. Но ресурс подвижного состава, приходящийся на долю железнодорожного транспорта на самом деле шире, чем у любого другого. Имеются вагоны— театры, вагоны— переговорные и другие.

Развитие сети внутрироссийских туристических маршрутов в последние годы претерпевает рост в связи с ограничениями в части зарубежных поездок, что так же способствуют увеличению спроса на данный вид туризма. ■

## Список литературы

1. Коваленко, Н. А. Логистика пассажирских перевозок в поездах класса универсал (на примере направления Казань - Москва - Анапа) / Н. А. Коваленко, П. В. Куренков // Логистика сегодня. — 2012. — № 1. — С. 22-34.
2. Глазков, В. Н. Железнодорожные туристические перевозки на современном этапе / В. Н. Глазков // Железнодорожный транспорт. — 2007. — № 5. — С. 53-55.
3. Трещев, В. Д. Построение автоматизированной системы мониторинга и оперативного регулирования при нарушении безопасности движения пассажирских поездов / В. Д. Трещев, Р. А. Ефимов // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 125-летию РУТ(МИИТ), Москва, 29 сентября 2021 года. — Москва: Российский университет транспорта, 2021. — С. 271-278.
4. Тимкова, А. Ю. О влиянии дефектов колес / А. Ю. Тимкова // Железнодорожный транспорт. — 2019. — № 4. — С. 64-65.
5. Вакуленко, С.П. Расписание движения поездов с учетом удобства пересадки для пассажиров / С. П. Вакуленко, Л. Р. Айсина, В. Н. Шмаль, А. М. Насыбуллин // Экономика железных дорог. — 2022. — № 4. — С. 67-74.

# Контакты

## Редакция

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

Главный редактор —  
Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора —  
Цветков Виктор Яковлевич

Редактор —  
Колосов Дмитрий Эдуардович

## АО «НИИАС»

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

+7 (495) 967 77 06

info@vniias.ru