

# Наука и технологии железных дорог



**Материалы научно-технического  
совета АО «НИИАС»**

**Стратегия развития  
железных дорог**

**Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте**

**Геоинформационные технологии  
и системы на транспорте**

**Цифровые методы  
на железнодорожном  
транспорте**

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

**3** стр.

**Материалы научно-технического совета АО «НИИАС»**

«Об актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС» январь-май 2023 г.»

Бочков А.В.

**17** стр.

**Стратегия развития железных дорог**

«Южнокорейский опыт внедрения железнодорожных систем управления на основе радиосвязи»

Андреев В.Е., Озеров А.В.

**23** стр.

**Стратегия развития железных дорог**

«Мировые тенденции развития систем автоматического управления движением поездов»

Охотников А.Л., Волкова И.А.

**30** стр.

**Интеллектуальные системы и технологии на транспорте**

«Киберпространство транспортной инфраструктуры»

Цветков В.А.

**35** стр.

**Геоинформационные технологии и системы на транспорте**

«Геодезическое обеспечение мониторинга состояния зданий и сооружений»

Ознамец В.В.

**40** стр.

**Геоинформационные технологии и системы на транспорте**

«Сбор информации в геоинформатике транспорта»

Булгаков С.В.

**47** стр.

**Геоинформационные технологии и системы на транспорте**

«Геопорталы для планирования полетов беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве Российской Федерации»

Максимова С.Е.

**53** стр.

**Цифровые методы на железнодорожном транспорте**

«Поддержка принятия решения в управлении транспортом с использованием мультиагентных систем»

Мельников Д.А.

**58** стр.

**Цифровые методы на железнодорожном транспорте**

«Методы линейного программирования при планировании транспортной инфраструктуры Индонезии»

Коваленко Н.И., Коваленко Н.А.

**64** стр.

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

«Повышение инвестиционной привлекательности инфраструктуры за счет развития путей необщего пользования»

Волков Р.В.

УДК: 338.32; 347.763.4

# Об актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС». Январь-май 2023 г.

## On current tasks and directions of scientific and technological development of JSC «NIIAS». January-may 2023.

**Бочков А.В.**, д.т.н., Учёный секретарь, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Москва, Россия  
**Bochkov A.V.**, Doc.ofSci.(Tech), Scientific Secretary, «NIIAS» JSC,  
E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В обзоре обобщены вопросы, рассмотренные на заседаниях профильных секций научно-технического совета АО «НИИАС» в первом полугодии 2023 года. Проанализированы существующие проблемы и предложена постановка задач будущих исследований в ключевых направлениях научно-технологического развития института. Уделено внимание вопросам повышения пропускной и провозной способности железных дорог, развитию методологического обеспечения определения эффективности и этапности выполнения ремонтно-путевых работ на сети ОАО «РЖД», актуальным задачам развития беспилотных технологий и стандартизации цифровых электронных карт, вопросам метрологии и автоматизации процессов закрепления и заграждения подвижного состава, развитию сети мобильного широкополосного доступа, безопасности программного обеспечения, развитию горизонтальных и вертикальных связей института с профильными научными организациями и академическими институтами.

**Ключевые слова:** транспорт, интервальное регулирование, ремонтно-путевые работы, беспилотные технологии, цифровая карта, метрологическое обеспечение, закрепление подвижного состав, широкополосный доступ, безопасность программного обеспечения, риск, функциональная безопасность.

### Abstract

The review summarizes the issues discussed at the meetings of the specialized sections of the Scientific and Technical Council of JSC NIIAS in the first half of 2023. Existing problems are analyzed and the formulation of tasks for future research in key areas of scientific and technological development of the institute is proposed. Attention will be paid to the issues of increasing the throughput and carrying capacity of railways, the development of methodological support for determining the efficiency and phasing of the performance of repair and track works on the network of Russian Railways, the urgent tasks of development of unmanned technologies and standardizing digital electronic maps, metrology and automation of the processes of securing and blocking of mobile composition, development of a mobile broadband access network, software security, development of horizontal and vertical relations of the Institute with specialized scientific organizations and academic institutions.

**Keywords:** transport, interval control, road maintenance, unmanned technologies, digital map, metrological support, rolling stock securing, broadband access, software safety, risk, functional safety. >>>

## 1. Взаимодействие двух систем интервального регулирования «виртуальная сцепка» и АЛСО с ПБУ на сети ОАО «РЖД»

**Авторы: Е. Н. Розенберг, А. П. Козловский, М. А. Дежков, А. А. Сулов.** По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 26.04.2023. Секция 1. Системы обеспечения безопасности движения поездов и интервального регулирования (Розенберг Е.Н., Воронин В.А.).

Организация движения поездов по «виртуальной сцепке» на действующей инфраструктуре на базе технологии и системы интервального регулирования движения поездов [1-3], обеспечивает повышение пропускной способности и включает:

- безопасное повышение скорости движения поездов на «желтый огонь» за счет изменения нормативной документации и алгоритмов бортовых устройств безопасности (КЛУБ, БЛОК), обеспечивающее повышение пропускной способности до 3%;
- внедрение технологии ВСЦ точка-точка, обеспечивающее повышение пропускной способности до 7%;
- внедрение АЛСО с ПБУ на перегонах и станциях всего участка – «бесшовная» технология пропуска поездов, обеспечивающее повышение пропускной способности до 25%.

Основные преимущества использования «виртуальной сцепки» (далее – ВСЦ) заключаются в увеличении участковой скорости движения грузовых поездов, сокращении трудозатрат при соединении поездов по технологии ВСЦ в сравнении с жесткой сцепкой, сокращение межпоездного интервала и др., что в результате приведет к увеличению пропускной способности на действующей инфраструктуре.

Основные проблемы организации движения по ВСЦ заключаются в разрыве ВСЦ на станциях и в ограничении возможности движения ВСЦ поездов по неправильному пути, что вызвано некорректностью нормативной документации линейного уровня, недостаточным уровнем обучения штата, эксплуатирующего ВСЦ (ДСП, локомотивные бригады), а также в неравномерностью покрытия полигона техническими средствами для организации движения поездов по ВСЦ. Организация движения по неправильному пути по ВСЦ на текущий момент проблематична из-за отсутствия в базе данных системы «Автоведения» достаточной информации о действующих системах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

Целевая модель развития участков Восточного полигона заключается во внедрении комплекса СИРД и технологий по сокращению межпоездных интервалов, которые обеспечат наибольший синергетический эффект, направленный на повышение пропускной способности до 30%.

Для снятия инфраструктурных ограничений для действующих систем АБ, включая АЛСО с ПБУ применяются различные технические решения.

Для решения целевых задач ОАО «РЖД» по провозу заданного тоннажа на участке Мариинск-Находка Транссибирской магистрали необходимо до реализации «бес-

шовной» технологии пропуска внедрять «адресные» технические решения, которые позволяют решать задачи сокращения межпоездных интервалов, исключают бросовые работы и в перспективе могут применяться комплексно с внедряемыми СИРД:

- применение АЛСО с ПБУ на «узких» местах Восточного полигона;
- применение дифференцированного участка удаления по маршрутам отправления со станции за счет установки дополнительных групповых выходных светофоров как для типовой АБ (с путевыми светофорами на перегоне), так и для АЛСО с ПБУ;
- использование АЛСО с ПБУ с целью сокращения интервала попутного отправления со станции на релейных ЭЦ за счет установки на выходных светофорах станции информационной таблички «перегон АЛСО»;
- внедрение АЛСО с ПБУ на участках, имеющих нейтральную вставку на пути;
- изменение подходов по проектированию и проследованию нейтральных вставок на участках АЛСО с ПБУ;
- внедрение на период капитального ремонта пути мобильных устройств ЖАТ, обеспечивающих сближение поездов по показаниям АЛС-ЕН;
- организация пропуска поездов в режиме подвижного блок-участка по главным путям станции, оборудованной ЭЦ релейного типа.

Основные факторы риска, лимитирующие пропускную способность в задаче определения эффективности применения технологии ИРДП:

- не соблюдение допустимых скоростей движения при проследовании по перегонам и станциям;
- надёжность технических средств;
- нормативные характеристики путевого хозяйства;
- неготовность систем тягового электроснабжения к сокращению межпоездных интервалов.

Результаты имитационного моделирования пропуска поездов по одному пути перегона показывают эффективность применения автоблокировки АБТЦ-МШ в части повышения пропускной способности порядка 17% при АЛСН и до 35% при АЛС-ЕН.

Предложена методика ранжирования перегонов для внедрения АЛСО с ПБУ (АБТЦ-МШ), предусматривающая два основных критерия: коэффициент заполнения пропускной способности и потребный межпоездный интервал. В качестве дополнительных критериев приоритетности внедрения системы предложено учитывать наличие выполненных ПИР и перегонов, на которых предусматривается капитальный ремонт.

В части технико-экономического обоснования (ТЭО) внедрения ВСЦ и АЛСО с ПБУ на Восточном полигоне определено, что Комплексное ТЭО, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 18.07.2022 № 1255, предусматривает оценку затрат и экономической эффективности от совместного применения обеих технологий ИРДП. Целевыми значениями при разработке Комплексного ТЭО явились поддерживающие мероприятия для обеспечения заданного роста пропускной способности Восточного полигона.

К 2025 году должно быть достигнуто значение 180 млн. тонн провезенного груза, к 2030 году – 210 млн. >>>

тонн груза, горизонт планирования 2036 год – 240 млн. тонн груза.

Проблема состоит в том, что заложенные в Комплексном ТЭО стартовые параметры применения технологии ВСЦ и АБТЦ-МШ в полном объеме в настоящее время не выполняются. Для достижения целевых значений по пропуску заданных объемов перевозок необходимо определить узкие места в пропускной способности Восточного полигона, где следует точно реализовывать мероприятия по оснащению участков АБТЦ-МШ.

Стоит отметить положительный опыт использования комплекса ВСЦ на участке Большой Луг – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги, где подтверждено, что взаимодействие двух систем АЛСО с ПБУ и ВСЦ позволяет обеспечить межпоездной интервал для грузовых поездов до 5 минут.

В целях установки современного ПО на бортовые устройства безопасности требуется аппаратный апгрейд КЛУБа, разработанного до 2008 года.

АО «НИИАС» разработать технические решения, предусматривающие:

- установку дополнительных групповых выходных светофоров;
- реализацию АЛСО с ПБУ на действующих ЭЦ релейного типа;
- разработку на период капитального ремонта мобильных устройств ЖАТ, обеспечивающих сближения поездов по показаниям АЛС-ЕН.

При определении приоритетности внедрения системы АЛСО с ПБУ необходимо учитывать коэффициент заполнения пропускной способности и потребный межпоездной интервал. В качестве дополнительных критериев внедрения системы необходимо наличие выполненных ПИР, а также перегонов, на которых предусматривается проведение капитального ремонта.

## 2. Методологическое обеспечение определения эффективности и этапности выполнения ремонтно-путевых работ на инфраструктуре основных направлений сети ОАО «РЖД»

*Авторы: И.Р. Гургенидзе, А.У. Шаяхметов.* По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 21.04.2023. Секция 2. Технология управления перевозочным процессом (Гургенидзе И.Р., Бородин А.Ф.).

Получены результаты промежуточных этапов работы по определению этапности выполнения ремонтно-путевых работ на инфраструктуре основных направлений сети ОАО «РЖД» и по определению их эффективности, выполняемых НТК цифрового моделирования совместно с ЦДИ.

Выполнена оценка влияния технологических нарушений на перевозочный процесс. Отмечена проблема выделения единственной причины при учете комплексного влияния разных факторов: отсутствие путей обгона, от-

сутствие путей приема на технической станции, наличие ограничений скорости движения поездов и т.п.

Предложены изменения методики оценки пропускной способности [4] в зависимости от влияния отказов технических средств и технологических нарушений. Изменения проходят стадию согласования, но уже отражены в новой редакции методики. Разработан укрупненный алгоритм по определению потерь пропускной способности в зависимости от отказов технических средств и технологических нарушений. Оказалось возможным дифференцировать потери на перегонах и на станциях. При сопоставлении этих данных с информацией о проведении тех или иных видов ремонтов получена оценка чувствительности потока отказов технических средств к выполняемым видам ремонта. На примере Восточного полигона получена макрооценка отказов технических средств и технологических нарушений Могоча-Гуруша, а также дифференцированная оценка для перегонов и станций соответственно. Потери составляют 6% в доле от общих потерь поездо-часов. Аналогичная зависимость прослеживается и по другим исследованным участкам. Отмечен рост затрат в целом на проведение окон с 2018 года, однако явной зависимости задержек от частоты возникновения отказов не обнаружено. Если от капитального ремонта такая зависимость выражена явно, то от прочих видов ремонта зависимость не подтверждена.

Предложено для каждого перегона проводить адресную оценку [5,6]. Разработан алгоритм для определения участков первоочередного внедрения перспективного внедрения ЖАТ который максимально подкреплён методическим обеспечением. В его основу заложен расчет межпоездного интервала и коэффициент выполнения пропускной способности с учетом плановости капитального ремонта. Для определения степени влияния (веса) технических или технологических факторов привлекаются специалисты разных категорий РЖД от руководителей до специалистов линейного уровня. Минимальная группа – 36 человек. Анкета через ЦДИ проходит апробацию в АО «РЖД». После получения и обработки результатов предполагается адаптировать алгоритм для принятия решений о проведении капитального ремонта на том или ином перегоне.

При развитии проекта предполагается использовать наработки, полученные при внедрении методологии [7] управления ресурсами, рисками и анализа надежности (УРРАН). Согласно этой методологии, первичными являются показатели качества перевозочного процесса, а состояние технических средств по параметрам их надежности подразумевается поддерживать ровно таким, насколько это необходимо для обеспечения заданных показателей качества перевозок [8].

## 3. Актуальные комплексные задачи при развитии беспилотных технологий

*Автор: П.А. Попов.* По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 21.04.2023. Секция 2. Технология управления перевозочным процессом (Гургенидзе И.Р., Бородин А.Ф.). >>>

Беспилотные технологии – это комплексный проект, который затрагивает широкий спектр проблем в самых разных областях управления движением: стационарные подсистемы (СЦБ, СКОП, СКПВП, система тягового электроснабжения, базовые станции диф.коррекции), подсистемы передачи данных (оптоволоконные линии связи, широкополосная система связи LTE), бортовые подсистемы (система безопасности, управления, связи, тягового и вспомогательного оборудования) [9,10]. При этом, при решении проблем автоматизации появляются совершенно новые задачи, которые не имеют готовых решений или аналогов в прошлом. Они связаны с необходимостью решения как технических проблем, так чисто научных вопросов создания «цифровых моделей» машиниста: что он видит, как влияют на зрение погодные условия, днем и ночью, что он должен обнаруживать [11].

В настоящее время большое число проблем связано с системой LTE, со стационарным оборудованием, цифровым описанием инфраструктуры, бортовой системой унификации и стандартизации решений, взаимодействие с диспетчерской службой. Одно из достижений АО «НИИАС» за 2022 год – это понимание и осмысление самой технологии беспилотного управления и технического зрения [12,13]. Необходимо иметь прозрачные алгоритмы работы технических устройств и персонала и понимание того, как это будет работать при внедрении системы автоматического управления.

Крайне важен вопрос стандартизации и унификации оборудования. В настоящее время наблюдается большое разнообразие современных систем управления в части определения местоположения на борту, наличия цифровой связи с инфраструктурой, бортового технического зрения, дистанционного контроля и управления, а также автоматизации работы локомотива. Очень важно повышение точности определения местоположения.

В странах Европы программное обеспечение низкого уровня стандартное и типовое, в то время как при применении отечественных систем возникает проблема совместимости по интерфейсам и программному обеспечению [14]. Обилие существующих проектов ставит задачу унификации технических и программных решений особенно остро. Нужны общие стандарты, которые будут описывать и упрощать взаимодействие всех подсистем.

В настоящее время проблема номер один – решение вопросов цифровой связи. Необходимо также точное описание инфраструктуры и масштабирование получаемых решений. Отсюда следует необходимость стандартизации создания цифровых карт и поддержания построенных карт и цифровых моделей в аутентичном состоянии.

Крайне важен вопрос обеспечения функциональной безопасности, безопасности технического зрения и систем искусственного интеллекта в целом при их применении на железных дорогах. Здесь может оказаться полезным обмен опытом со специалистами по беспилотным технологиям в автомобилестроении и атомной отрасли. Требуется дополнительных исследований вопрос разработки математического аппарата, описывающего безопасные границы применения искусственного интеллекта в беспилотных технологиях [15,16].

#### 4. Направления развития навигационных карт бортовых устройств подвижного железнодорожного состава и стандартизации цифровых электронных карт для устройств безопасности (подходы к методам формирования и эффективного использования)

*Автор: А.А. Павловский.* По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 12.04.2023. Секция 3. Беспилотное управление подвижным составом (Попов П.А., Чернин М.А.) совместно с Секцией 5. Геоинформационные технологии, спутниковая навигация и аэрокосмическое дистанционное зондирование (Павловский А.А., Василейский А.С.)

В настоящее время используется достаточно большое количество систем и программных продуктов в том или ином виде использующих пространственные данные в формате различных электронных карт [17,18]. Зачастую эти продукты имеют разные источники пополнения данных и их актуализации, как следствие все данные имеют разную степень актуальности, разную точность, по-разному между собой скоординированы, а такие источники данных как проектные изыскания в компаниях используются преимущественно на бумажных носителях на этапах строительства. Отсюда вытекают проблемы взаимной координации объектов подвижного состава с объектами инфраструктуры и определенными процессами, которые этими объектами выполняются. Поскольку имеет место динамическая картина, вся модель деятельности, особенно с учетом развития процессов автоматизации, не может быть построена без решения задач навигационного обеспечения и электронных карт.

Предлагается принципиальный переход от работы с электронными картами разного вида к подходу основанному на построении систем пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта как совокупности пространственных данных об объектах и процессах, которые над этими объектами происходят. При этом возможно уйти от масштабных планов, масштабов и перейти, фактически к работе с картой (планом) в масштабе 1:1. При этом важно сформировать набор требований к набору описания этих пространственных данных для обеспечения решения всех функциональных задач, которые требуют наличия таких данных [19,20].

Со стороны государства сформирована политика, регулирующая требования к проектированию и строительству в части базовых требований к пространственным данным любых объектов. Введено понятие инженерно-цифровых моделей местности как совокупности системы инженерных изысканий и требований к результатам этих изысканий [21,22]. Это создает основу для формирования поверх этих моделей системы пространственных данных железнодорожного транспорта. В настоящее время проектные организации, выполняя проект, собирают данные из открытых и специализированных >>>

источников, формируя проектную документацию и цифровой проект. Проблемой является то, что данные, собираемые проектными организациями, имеют определенный срок жизни и через некоторые промежутки времени становятся недействительными. Переход к системе пространственных данных и ведению этих данных на сети железных дорог позволит решить эту проблему и предоставлять причастным актуальные данные о состоянии объектов, инфраструктуры и активов.

Дополнительными источниками данных могут быть данные дистанционного зондирования Земли и съемки, выполняемые беспилотными авиационными системами, а также данными от «подвижных единиц», оснащенных системами технического зрения, которыми занимается АО «НИИАС». Эти данные после оцифровки могут быть также использованы для решения различных функциональных задач (получение моделей станций, обеспечение безопасности движения и т.п.).

Процесс развития навигационных карт бортовых устройств подвижного железнодорожного состава и стандартизации цифровых электронных карт для устройств безопасности должен увязываться с национальной системой пространственных данных. Для этого установлены рабочие контакты с Росреестром и Роскадастром с целью взаимной увязки данных на основе обоюдного интереса к имеющимся в распоряжении причастных данных. На сегодняшний день сформулированы две наиболее интересные задачи, которые будут формироваться на основе системы пространственных данных:

- задача формирования электронных карт безопасности для локомотивов;
- задача навигационного позиционирования подвижных объектов при работе на станциях.

Для этих двух направлений необходимо разработать стандарты, которые будут учитывать имеющиеся особенности.

## 5. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс)

*Автор: А. Е. Хатламаджиян.* По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 23 и 30.04.2023. Секция 4. Системы автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе (вкл. сортировочный комплекс) (Хатламаджиян А. Е., Соколов С. В.)

### 5.1. Метрологическое обеспечение автоматизации технологических процессов в инфраструктурном комплексе

Ведущая роль в области проведения метрологической экспертизы нормативной и технической документации, как головной организации ОАО «РЖД» принадлежит Центру метрологического обеспечения Опытно-конструкторского бюро АО «НИИАС».

В настоящее время существующие средства измерений (далее – СИ), обеспечивающие качество технологических процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта подвижного состава, других технических средств железнодорожного транспорта и объектов инфраструктуры, эксплуатируются с превышением нормативного срока службы, а степень морального износа рабочих СИ близка к критической величине и не соответствует перспективным задачам развития ОАО «РЖД». Особенностью настоящего момента развития измерений на железнодорожном транспорте является не количественное наращивание парка СИ, а расширение измерительных возможностей. В этой связи использование единичных СИ должно уступить место применению информационным измерительным системам (далее – ИИС).

Указанные направления развития измерений требуют и нового подхода к метрологическому обслуживанию внедряемых ИИС, заключающемся в необходимости внедрения бездемонтажных дистанционных методов поверки и калибровки с применением цифровых эталонных моделей. Однако сегодня такой подход не реализуем, поскольку вопросы применения цифровых моделей в качестве эталонов не укладываются в существующую в стране парадигму обеспечения единства измерений и не рассматриваются соответствующим законодательством Российской Федерации. Очевидно, что потребность в применении цифровых эталонных моделей с развитием парка многофункциональных ИИС будет расти.

Риски появления дополнительных погрешностей при применении метрологически значимого программного обеспечения для обработки результатов измерений ИИС, требуют проведения метрологической аттестации программного обеспечения ИИС в соответствии с требованиями [23]. В настоящее время проводится разработка методических указаний, устанавливающих основные положения по метрологическому обеспечению ИИС, разрабатываемых, производимых и эксплуатируемых в интересах ОАО «РЖД».

Примером внедрения средств измерений параметров подвижного состава с применением технологии машинного зрения являются модули фотограмметрические измерений линейных размеров «Техновизор» (далее – Техновизор), применяемые в ОАО «РЖД» в составе Интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях для бесконтактных оптических измерений линейных размеров диагностируемых элементов.

Применение искусственной нейронной сети позволило впервые в отечественной практике решить задачу автоматического определения координат контрольных точек при обработке изображений диагностируемых элементов. Техновизор успешно прошел испытания в целях утверждения типа СИ и приказом Росстандарта от 1 марта 2023 г. № 451 внесен в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений под регистрационным номером 88393-23. Метрологически значимая часть программного обеспечения Техновизора, а также результаты измерений защищены от преднамеренных и непреднамеренных изменений. >>>

Развитие функциональных возможностей Техновизора в части диагностирования подвижного состава позволит обеспечить измерениями значительную часть элементов грузовых вагонов и локомотивов, таких как ходовые части, автосцепное и крышевое оборудование. В рамках разработки модулей ЦЖС планируется реализация систем автоматизированной диагностики технического состояния подвижного состава и коммерческих неисправностей и автоматизированной диагностики технического состояния подвижного состава и коммерческих неисправностей по приему груза к перевозке и допуску на инфраструктуру РЖД с путей необщего пользования.

Большой потенциал эффективности присутствует в реализуемом проекте дистанционной калибровки СИ на полигоне Октябрьской железной дороги. Разработаны несколько организационно-технических вариантов реализации дистанционной калибровки, отличающиеся распределением функций по проведению калибровки между калибровщиком и оператором.

В качестве пилотного проекта дистанционной калибровки был выбран измерительный комплекс КТСМ-02, предназначенный для измерения разности температуры элементов железнодорожного подвижного состава и температуры окружающего воздуха.

После успешной апробации пилотного проекта подтверждена техническая возможность осуществления и эффективность дистанционной калибровки следующих видов СИ:

- в области теплофизических величин – помимо комплексов КТСМ-02 манометров технических, преобразователей давления, термосопротивлений и термопар;
- в области геометрических величин – электронных путевых шаблонов «Нева-1» и электронных путевых шаблонов других типов;
- в области электротехнических и магнитных величин – щитовых электротехнических СИ, мультиметров цифровых.
- в области механических величин – вагонных весов.

Анализ особенностей рабочих СИ, применяемых в ОАО «РЖД» и рассмотренных ограничений, показал, что дистанционной калибровкой потенциально можно охватить до 60 % парка измерительной техники компании.

С целью расширения области применения дистанционной калибровки под руководством Департамента технической политики была разработана «Дорожная карта внедрения методов дистанционной (удаленной) калибровки средств измерений в ОАО «РЖД», которой предусмотрено поэтапное выполнение ряда организационных и технических мероприятий на период до конца 2023 года.

Хорошие результаты показала дистанционная поверка СИ, входящих в состав Безопасных локомотивных объединенных комплексов БЛОК и БЛОК-М, установленных на специальном самоходном подвижном составе (далее – ССПС) [24].

АО «НИИАС» проводит разработку средств метрологического обеспечения СИ, входящих в состав устройств безопасности. В качестве пилотного проекта прорабатывается возможность создания Комплекса поверочно-программно-аппаратного (далее – КППА) для дистанционной поверки СИ из состава устройств безопасности

БЛОК 29 и БЛОК-М, установленных на ССПС. Процесс метрологического обслуживания таких СИ в настоящее время осложнен периодическими регламентными работами и необходимостью доставки СИ на производственный участок региональной дирекции по ремонту тягового подвижного состава.

Применение КППА позволяет изменить существующую технологию процесса поверки СИ за счет организации поверки непосредственно в местах проведения технического обслуживания ССПС.

Применение промежуточной версии КППА позволит заменить 2 поверочных стенда. При этом ведется отработка новой схемы, при которой поверитель подключается к КППА удаленно, а сбор метрологических цепей и выполнение операций поверки в части внешнего осмотра и опробования проводятся обслуживающим персоналом под его контролем, в том числе без демонтажа СИ. Такая схема в будущем позволит обеспечить возможность реализации одновременной поверки нескольких СИ из состава устройств безопасности БЛОК/БЛОК-М, находящихся в разных местах дислокации и автоматизированную передачу результатов в Автоматизированную систему управления метрологическим обеспечением ОАО «РЖД».

По предварительным оценкам эффект от внедрения одного КППА составит около 0,5 млн. руб., при этом экономия средств от применения технологии дистанционной поверки составит 24 млн. руб.

### *5.2. Механизация и автоматизация процессов закрепления и заграждения подвижного состава в парках станции*

АО «НИИАС» выступает в качестве экспертной организации и интегратора разработки отдельных устройств в систему автоматизации всего технологического процесса закрепления с рядом организаций:

- ОКБ «Электроавтоматика» в области разработки, внедрения и регламентирования технического обслуживания домкратовидных устройств закрепления подвижных составов;
- ЗАО Концерн «ТРАНСМАШ» в области разработки и технологии проектирования балочных устройств закрепления типа БЗУ-ДУ-СП2К, ЗУБР, ЗУБР весовой с увеличением удерживающей мощности и защитой от потери электроснабжения, а также устройств для определения физических параметров закрепления;
- ООО «РМЗ» в области разработки балочного устройства закрепления (заграждения) составов УЗС (ведутся работы по включению в опытную эксплуатацию УЗС на станции Бердяуш), позволяющей контролировать большое количество параметров, что позволяет более точно диагностировать устройство и снизить нагрузку на эксплуатационный штат при возникновении отказов. При отключении энергоснабжения УЗС также сохраняет последнее положение за счет конструкции упоров;
- АО НПЦ Промэлектроника в области разработки Комплекса технических средств автоматизированного закрепления подвижного состава на станционных путях КТС АЗС.



Одна из актуальных задач состоит в необходимости унификации системы позиционирования, контроля и управления устройствами закрепления, а также необходимо разрабатывать единые протоколы увязки устройств, что позволит функциональному заказчику производить закупку необходимого для конкретных условий эксплуатации оборудования.

Крайне важны работы, ведущиеся АО «НИИАС» в рамках доказательства безопасности систем закрепления. Важно понимать, что проблема обеспечения функциональной безопасности автоматических устройств закрепления должна приниматься во внимание на всех этапах разработки устройств, систем, технологий, а обеспечение требуемых показателей безопасности должно выполняться в том числе за счет непрерывной диагностики технических средств.

Учитывая формирование в настоящее время нескольких типов механизированных устройств закрепления [25,26], взаимодействующих с подвижным составом на разных принципах активизировать работы по формированию технических требований с указанием требуемых характеристик устройств закрепления и порядка работы с ними; разработке технологии проверки статических и динамических параметров устройств; разработке правил проектирования систем закрепления, в том числе с учетом запаса по мощности и удерживаемому усилию для обеспечения безопасности, а также разработке унифицированных систем позиционирования подвижного состава, контроля и управления устройствами закрепления и поиска технических решений для снижения стоимости эксплуатации устройств автоматизированного закрепления, в том числе, за счет комбинированного использования новых систем и внедренных устройств [27].

## 6. Сеть мобильного широкополосного доступа на МЦК. Пути решения текущих проблем. Перспективы дальнейшего развития

*Автор: А.В. Шурдак. По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 15.03.2023. Секция 6. Системы телекоммуникаций и передачи данных (Вериго А.М., Шурдак А.В.)*

В настоящее время на МЦК в рамках федерального проекта «Информационная инфраструктура» национальной программы «Цифровая экономика» развернута сеть мобильного широкополосного беспроводного доступа (МШБД) LTE диапазона 1785-1805 МГц, которая предполагается к передаче на баланс ОАО «РЖД».

Несмотря на то, что в целом сеть находится в удовлетворительном состоянии и обеспечивает покрытие 95% непосредственно МЦК с обеспечением скорости передачи данных 2 Мбит/с «вниз» и 1 Мбит/с «вверх», существуют проблемы с покрытием соединительных путей к депо «Андроновка» и «Подмосковная» и путевого развития непосредственно в депо. Для обеспечения беспилотного движения на МЦК полученная пропускная спо-

собность является недостаточной. На сегодняшний день требования к передаче со стороны бортовых устройств (вверх) определены на уровне 4 Мбит/с. Кроме того, необходимо обеспечение покрытия депо «Подмосковная» и «Андроновка», где производится отстой и техническое обслуживание поездов ЭС2Г.

Нетривиальной является задача обеспечения суммарной пропускной способности в депо с учетом скопления большого числа поездов и необходимости обеспечения их вывода из депо в беспилотном режиме, которая должна решаться дооснащением сети дополнительными базовыми станциями пониженной мощности и переходом из режима использования диапазона 1785-1805 МГц с разделением по 5 МГц на базовую станцию (БС) в режим использования всей доступной полосы 10 МГц на одной БС, что обеспечит повышение пропускной способности отдельного сектора, но неизбежно приведет к дополнительной внутрисистемной интерференции.

АО «НИИАС» по заказу ОАО «РЖД» выполнены работы по проектированию дооснащения сети МШБД на МЦК 40 базовыми станциями, которые должны снять ограничения пропускной способности. Основные проектные решения прошли экспертизу ЦУЭП, но необходимо обновление коммерческих предложений и прайс-листов.

Существующая сеть построена на оборудовании вендора Huawei (географически разнесенные 2 комплекта ядра сети и 22 двойных комплекта БС), оборудование которого в настоящее время к заказу в РФ недоступно. Для продолжения дооснащения сети необходимо проведение комплекса работ по обеспечению совместимости существующего оборудования с БС других вендоров, в первую очередь, отечественных. Есть Hytera (Китай) и ряд отечественных вендоров, но окончательного решения нет. На станции Бекасово-Сортировочное идут испытания в инициативном порядке, но необходимо вывести эти работы на договорные отношения, учитывая низкий интерес вендоров в силу специфичности требований ОАО «РЖД» к оборудованию и его характеристикам.

В связи с озвученными выше обстоятельствами требуется решения научная проблема использования имеющегося частотного ресурса [28-30]. На сегодня, в связи с тем, что существует требование необходимости обеспечения полного резервирования сети, была применена схема, когда на каждом сайте установлено по 2 базовые станции, использующие диапазон 10 МГц с разделением по 5 МГц. Используется перекрестное покрытие, которое обеспечивает покрытие половины спектра в каждой точке. Развитие системы беспилотного управления до уровня GOA4 привело к повышению требований этой системы к каналу передачи данных до 8 Мбит/с. Расчетные и подтвержденные испытаниями характеристики радиоканала обеспечивают только 1 Мбит/с «вверх», 2 Мбит/с «вниз». На практике в ходе испытаний режима 10 МГц и одной абонентской станции в зоне покрытия БС (практически идеальные условия) удалось получить скорость 9 Мбит/с.

Проект был выполнен, но остановлен по причине ухода вендора Huawei. Как следствие, во-первых, необходимо снять проблему моновендорности сети. Существуют два ядра сети, рассчитанных на сотни базовых станций, но на сегодняшний день гарантирована их работа >>>

только с оборудованием Huawei, то есть необходимо отработать техническое решение, обеспечивающее возможность подключения к этим двум ядрам базовых станций других производителей.

Во-вторых, необходимо (не останавливая работ по первому направлению, ввиду отставания на 3 года) продолжать работы по строительной части проекта, т.е. нужно вести эту работу в ОАО «РЖД» и поэтапно, не дожидаясь появления оборудования, строить антенно-мачтовые сооружения и готовить узлы связи.

Ещё одна проблема – отсутствие на поездах радиостанции LTE. В настоящее время существует возимая радиостанция передачи данных, разработанная ООО КБ «Пульсар-Телеком» (г. Пенза), которая поддерживает диапазон 1785-1805 МГц в инициативном порядке. Однако она представлена в состоянии «как есть», т.к. никаких специальных требований к ней со стороны ОАО «РЖД» не предъявлялось. Необходимо активизировать эту работу с включением ее в план НТР ОАО «РЖД», чтобы получить тот продукт, который необходим. Без этого внедрение инноваций в области цифровизации железнодорожного транспорта невозможно.

В настоящее время ведутся проработки в диапазоне 350-370 МГц, но нужно оборудование и соответствующее согласование. ЦСС совместно с АО «НИИАС» принято концептуальное решение о применении диапазона 1785-1805 МГц на станциях и уникальных объектах типа МЦК и МЦД, но в целом для перегонов технология не лучшая в связи с малыми зонами покрытия. Необходимо развивать диапазон 350-370 МГц для больших перегонов с зонами покрытия 7-8 км со скоростями 1-2 Мбит/с.

Таким образом, в целях научного обоснования корректировки проектной документации в части раздела РТ, обеспечения возможности продолжения работ по развертыванию сети LTE 1785-1805, внедрения технологии беспилотного управления поездами на МЦК и обеспечения функциональной безопасности железнодорожного транспорта в современных условиях необходима постановка и выполнение научно-исследовательской работы по теме: «Разработка технических решений по обеспечению интероперабельности радиоэлектронных средств различных производителей в системе мобильного широкополосного беспроводного доступа на МЦК и оптимизации использования радиочастотного ресурса».

## 7. О задачах внедрения мер обеспечения безопасности программного обеспечения

*Автор: А.Г.Сабанов.* По материалам заседания НТС АО «НИИАС» от 09.03.2023. Секция 8. Информационная и кибербезопасность (Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф.)

В марте состоялось заседание секции №8 НТС АО «НИИАС» по вопросу «Варианты применения систем безопасности в проекте станции «Лужская»». Заслушаны доклады А.А. Галдина о разработке системы защиты информации для комплекса систем, реализующих техно-

логию «Автомашинист» для маневровых локомотивов и П.А. Попова о подходах к защите информации автоматизированной системы «Автомашинист».

Одним из важнейших выводов из состоявшегося обсуждения является понимание необходимости учета проблем безопасности и риск-ориентированного подхода, начиная с ранних стадий проектирования [31-34].

В научно-практическом плане в настоящее время первоочередная задача связана с внедрением мер обеспечения безопасности программного обеспечения (БПО). Действующие стандарты и нормативные документы ФСТЭК России, а также проекты стандартов в преломлении к внедрению ГОСТ Р 56939 [35] к разработке программного обеспечения поднимают ряд нерешенных научных и организационных проблем.

Одной из научных проблем является выработка критериев внедрения БПО на различных этапах внедрения. В нормативной базе имеются только показатели внедрения, а критерии необходимо вырабатывать применительно к каждой организации в зависимости от требований не только от федеральной, но и локальной нормативной базы, уровня внедрения системы качества ИСО 9000 и сложившихся бизнес-процессов производства программных продуктов для автоматизированных и информационных систем. На рабочей группе по внедрению БПО в рамках ОАО «РЖД» решено, что в организационном плане внедрение ГОСТ Р 56939 будет осуществляться в три этапа, причем первые два – по два года длительностью, параллельно с развитием услуг системы добровольной сертификации. На первом этапе будут приняты временные требования, на втором – усиленные, а на заключительном этапе – полный набор требований ГОСТ Р 56939.

Второй научной проблемой является обеспечение кибербезопасности МПСУ и возможности парирования недекларированных возможностей импортных процессоров, используемых в системах ЖАТ.

## 8. Развитие форм самообразования и научно-методического взаимодействия АО «НИИАС» с РАН и сторонними организациями

*Автор: А.В.Бочков.* По материалам заседаний НТС АО «НИИАС». Секция 7. Управление активами, надёжностью и рисками (Шубинский И.Б., Бочков А.В.)

В рамках развития образовательных проектов АО «НИИАС» в тестовом режиме проведена первая лекция проф., д.т.н. Шубинского И.Б. по теме: «Элементы теории вероятности и случайных процессов». Лекция включала рассмотрение следующих вопросов: случайные события; условные вероятности; полная вероятность; случайные величины; распределения и потоки; случайные процессы. Помимо основного теоретического материала были рассмотрены примеры решения основных практических инженерных и научных задач, использующих вероятностные методы. >>>

**Цель курса** – изучение вероятностных законов и закономерностей; формирование представления о содержательных инженерных и научных задачах, использующих вероятностные методы, а также навыков математического (вероятностного) моделирования; освоение методов расчета в задачах, связанных с вероятностными методами. Целевая аудитория: научные сотрудники института, аспиранты и соискатели степени кандидата наук. В лекции приняли участие сотрудники НИИАС и Ростовского филиала. В процессе обсуждения подняты вопросы развития такой формы повышения квалификации сотрудников института с привлечением ведущих специалистов института и сторонних профильных ВУЗов.

Проведено первое заседание научно-методологического семинара ИМАШ РАН – НИИАС с приглашением специалистов НИИАС, МИИТ, ИМАШ. Этот семинар возрождает традиционные в прошлом семинары МИИТ-НИИАС и расширяет его формат на вопросы управления активами АО «РЖД» и проблемы риск-анализа. Со стороны ИМАШ РАН в заседании принял участие акад. Н.А. Махутов. Семинар организован в рамках действующих соглашений о взаимодействии ОАО «РЖД» и РАН и призван способствовать свободному обмену мнениями и сближению позиций между представителями разных научных школ и направлений по широкому кругу вопросов, связанных с надежностью, безопасностью, функциональной безопасностью и надежностью, анализом рисков и управлением физическими активами железнодорожной отрасли.

Первое заседание было посвящено обсуждению вопросов единой терминологии в области анализа и оценки рисков.

Риск понимается разными исследователями то как событие, то как процесс. Такое различие в восприятии отчасти диктуется базовой теоретической подготовкой исследователя.

Например, воспринимать риск как событие предпочитают специалисты в области математической статистики и теории вероятностей, поскольку при таком подходе возможно применить богатый инструментарий, наработанный в данной области знаний для описания этого события в некотором пространстве состояний и получения количественной меры для последующего сравнения разных оценок. При этом подходе риск рассматривается с точки зрения вероятности возникновения самого события, и ожидаемого ущерба от этого события для рискующего субъекта. По сути, ожидаемый ущерб (то есть то, чем готов рискнуть субъект) уменьшается на долю, пропорциональную вероятности рискованного события. Самый наглядный пример такого подхода – страхование от часто повторяющихся несчастных случаев (например, дорожно-транспортных происшествий, распространенных заболеваний, отказов технических устройств и механизмов и т. п.). В этом случае исследователь имеет представительную статистику, которую он может обработать (проанализировать) и получить необходимые для оценки распределения и аналитические зависимости. Сюда же можно отнести попытки связать риск с неопределенностью. При этом снова вводятся понятие неопределенности, правила её моделирования и способы определения вероятности,

связанной с риском. Таким образом определяют вероятностное пространство, в котором работают с риском. При этом, утверждается, что оба понятия, неопределенность и вероятность, являются базовыми, а значит, никаких определений им дать невозможно. В основе любых подобных аксиоматических установок лежит теория множеств. В нем используется базовая концепция множества. Определения множества (как и любого другого базового понятия в любой теории) не существует. Множество может быть неофициально описано как набор объектов, обладающих некоторыми общими признаками (то есть понятие «множество» здесь выражается через понятие «набор»).

Специалисты же с базовой инженерной подготовкой, тяготеющие к прикладным математическим знаниям, рассматривают риск как процесс (в пределе – волновой процесс), который имеет точки максимума и минимума воздействия, при котором, соответственно, возможны явления резонанса (взаимного усиления или ослабления) разных факторов риска. При этом подходе риск рассматривается как мера недостижения поставленной рискующим субъектом цели, то есть оценкой качества организации целенаправленного процесса некоторой деятельности. Для реализации рискованного события необходимо наступление некоторого момента времени, так называемого «кайроса». В качестве примера можно привести задачу снятия оказавшегося в момент отлива на отмели большого судна. Мероприятия по его отводу на «большую воду» крайне затратны, если их начать проводить в момент отлива, но практически ничего не стоят, если знать про цикличность приливов и отливов и просто дожидаться подходящего момента. Похожие события случаются нечасто и для адекватного реагирования на них необходим уже не анализ (поскольку часто анализировать почти нечего), а синтез риска. То есть, необходимо проанализировать всю известную о месте ожидаемого возникновения рискованного события, а также об объекте, который может подвергнуться риску, информацию, а затем выполнить синтез риска и оценить возможность достижения цели (которая будет заключаться в максимальном избегании риска).

То есть, риск в зависимости от совокупности факторов и особенностей самого объекта риска (и рискующего субъекта), проявляется двояко. И анализ, и оценку, необходимо выполнять с учетом этого дуализма, не подменяя один аппарат оценки другим. Слепой перенос вероятностного анализа на область синтеза риска приводит к катастрофическим последствиям (хотя, на близком горизонте планирования, он может давать приемлемые для рискующего субъекта оценки).

Главной проблемой технического регулирования рисков является отсутствие у научного сообщества единого понимания самого термина «риск». Дело в том, что если риск – это событие, то оно должно характеризоваться вероятностью возникновения в определенном месте в определенный момент времени и ожидаемыми последствиями (ущербом). Такой подход справедлив в теории надежности и системах массового обслуживания, страхования, где события отказа происходят достаточно часто при прогнозном фоне, близком к однородному. >>>

Современные прогностические модели, построенные на параметрах случайности влияния учитываемых предпосылок «среднестатистического» типа, без учета вероятности значительных отклонений приводят не к снижению, а к накоплению рискованных ситуаций и неэффективному управлению рисками.

В реальной же жизни не наблюдаются вероятностные распределения. Наблюдаются события. Поэтому, как правило, отсутствует информация о статистических параметрах — до тех пор, пока событие не произошло. Если взять ряд наблюдений, одним и тем же результатам может соответствовать множество статистических распределений, но каждое будет по-разному экстраполироваться вне того набора фактов, из которого оно выведено. Эта проблема реконструкции встает тем острее, чем большее количество теорий и распределений удастся «подверстать» под тот или иной набор данных, — особенно когда имеются нелинейные эффекты или неэкономное распределение. Гауссово распределение является экономным (так как определяется всего двумя параметрами). Однако добавление уровней возможных скачков, со своей вероятностью для каждого, открывает бесконечную перспективу для комбинирования параметров. Катастрофические события в статистику, как правило, не попадают, стало быть, основанные на подобных данных распределения заставляют наблюдателя переоценивать стабильность и недооценивать потенциальный риск и волатильность.

Не существует надежного способа просчитать низкую вероятность. Невозможно на основании известных данных оценить, насколько далеко от Гауссианы мы находимся. Например, мера, которая определяет «толщину хвостов», то есть роль редких событий, называется коэффициентом эксцесса. Часто бывает так, что после сорока лет ежедневных наблюдений, позволивших накопить десять тысяч единиц информации, одно-единственное наблюдение дает 90% эксцесса. Ошибка выборочного обследования слишком велика, чтобы делать хоть какие-то статистические умозаключения касательно того, насколько негауссовым является какой-то процесс. Иными словами: если пропущено одно-единственное число прогноз несостоятелен. Изменяемость коэффициента эксцесса говорит о том, что целый класс статистических величин следует полностью перечеркнуть. Соответственно все ссылки на «стандартное отклонение», «дисперсию», «минимальное квадратичное отклонение» и прочее не работают при прогнозировании редких событий. Малейшее отклонение в «хвостовой экспоненте», вызванное ошибкой в наблюдениях, влечет за собой минимум в десять раз большее отклонение в оценке вероятности. Практический вывод: в определенной области стараться не подвергать себя воздействию малых вероятностей, поскольку их попросту невозможно рассчитать.

Опасное заблуждение, что внедрение риск-ориентированного подхода само по себе способствует росту безопасности. Это не так! Цель его внедрения — достижение максимального состояния безопасности и защищенности персонала (уровня промышленной безопасности) при минимально возможном (с учетом опасности

не угадать) объеме контрольной деятельности и, соответственно, минимально возможных затратах на обеспечение требуемых уровней безопасности. То есть, например, риск в системе контроля оценивается не для аварий, а относительно ошибки выбора объектов контроля (опасности). Раньше проверяли 100%, а теперь, например, 20%, но «самых опасных». А риск возможных при этом катаклизмов и инцидентов мы принимаем, поскольку «верим», что не ошиблись. В конечном счете внедрение риск-ориентированного подхода влияет на затраты (их надо меньше), на нагрузку на эксплуатанта (его реже беспокоят), но не на безопасность. Риск-ориентированный подход — это послабление, а значит большая ответственность при выборе того, что действительно нужно контролировать. Опасность может стать даже выше, т.к. несовершенны существующие методики оценки риска и выбора объектов контроля! При этом, при сокращении объемов контроля существенно возрастает потребность в аналитике и мониторинге. Сам контроль становится больше аналитической работой, а не натурной. Эта задача в пределе аналогична задаче обеспечения надёжности технического устройства при малом числе испытаний. Это не одно и то же, что повышение безопасности этого устройства или предотвращённый ущерб от его отказа или аварии.

Рассуждения о двоякой природе риска приводят к восьми базовым концепциям, охватывающим современное представление о риске как об оценке события и оценке процесса.

ПЕРВАЯ ГРУППА — концепции, в которых риск характеризует событие:

- **риск, как относительная величина** (риск определяется как отношение вероятности исхода в группе, подвергшейся некоторому воздействию, к вероятности исхода в группе, не подвергавшейся данному воздействию) [36,37];
- **риск, как следствие наступления некоторого случайного события** из возможного семейства всех событий или совокупность возможного ущерба в некоторой стохастической ситуации и его вероятности (эта концепция охватывает так называемый частотный, статистический подход, наиболее часто применяемый к системам массового обслуживания, в страховании, теории надёжности и т.п.) [38,39];
- **риск, как критерий выбора решения** в «играх с природой» при неопределённости ответной реакции на выбранное решение (сюда относятся т.н. максиминная полезность Вальда (гарантированный результат, минимальный выигрыш) или минимаксное сожаление Сэвиджа (максимальный проигрыш), критерий Гурвица (коэффициент оптимизма)) [40];
- **риск, как байесовская оценка** (здесь вероятность рассматривается как степень доверия событию, которая может измениться, когда будет собрана новая информация, риск в данном случае — матожидание от дисперсии апостериорного распределения) [41].

ВТОРАЯ ГРУППА — концепции, описывающие риск, как волновой процесс: >>>

- **риск, как трудность достижения цели** (риск определяется через функционал, описывающий эволюцию системы на множестве заданных траекторий, являясь мерой оценки качества системы по отношению к требуемому для достижения цели качеству) [42,43];
- **риск, как мера оценки качества процесса** (риск – мера оценки степени несовпадения реального и эталонного процесса) [44,45];
- **риск, как анти-потенциал развития** (риски выступают как замедлители скорости воспроизводства всей системы) [46];
- **риск, как мера неупорядоченности** (риск оценивается как минимум суммарной несогласованности экспертных оценок (исходя из равноправия всех участников экспертизы) вариантов развития системы, измеренной в инверсиях переходов, необходимых для восстановления лексикографического порядка сравниваемых вариантов) [47].

Риск всегда является следствием нашего незнания, порождающего неопределённости разного рода в процессе принятия того или иного решения. Наука разработала рациональную модель принятия решений в условиях неопределенности, которая описывает разумное поведение индивида или группы, благодаря чему часто достигается успешное достижение поставленной цели. Важнейшее требование, которому также должно удовлетворять любое рациональное решение, заключается в том, чтобы все альтернативы выбора решения должны быть упорядочены соответствующим отношением предпочтения, которое обладает свойствами определенности, сравнимости и транзитивности. Хотя методы современной науки обеспечивают возможность все более точных предсказаний, а тем самым и преодоления рисков, тем не менее неопределенность остаётся неизбежным спутником человеческой деятельности. В этих условиях проблема оценки и прогнозирования риска приобретает особую актуальность. Поэтому к её решению должны быть привлечены не только традиционные вероятностно-статистические методы, но и новые способы исследования, возникшие в рамках синергетики, нелинейной динамики и теории неравновесных систем, а также экспертные методы.

Важно учитывать, что риск зависит от целевой функции объекта и именно синтез рисков в рамках представленных выше концепций призван эффективно решать такие задачи.

## 9. По материалам конференции «Функциональная безопасность сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта»

(Москва, 17 марта 2023 г., в рамках выставки «Экспотехностраж»)

Функциональная безопасность является частью общей безопасности системы или части оборудования,

нацелена на аспекты безопасности, связанные с функционированием устройства или системы, и гарантирует, что устройство или система работают правильно в ответ на команды, которые они получают.

Концепцию функциональной безопасности можно представить как надёжность работы систем, устройств и средств, обеспечивающих снижение рисков в производственных процессах для безопасности людей и предприятий в целом. Если система автоматизированного контроля, отвечающая за функциональную безопасность, диагностирует критическое или аварийное состояние технологического процесса, то она формирует управляющее воздействие в соответствии с заложенным алгоритмом для предотвращения угрозы. В зависимости от уровня риска определяются меры для его снижения. Меры снижения риска разделяют на соответствующие уровни: уровень эффективности защиты (PL) или уровень полноты безопасности (SIL).

Требования к устройствам управления систем безопасности подробно описаны в специальных стандартах ГОСТ ISO 13849-1 и ГОСТ Р МЭК 61508/61511/62061, а также в большом числе отраслевых стандартов и руководств. Серия стандартов ГОСТ Р МЭК 61508 (IEC 61508) является базовой для Российских стандартов, определяющих порядок разработки устройств, к которым предъявляются требования функциональной безопасности. Как известно, при разработке устройств, связанных с функциональной безопасностью, существуют отраслевые стандарты, регламентирующие порядок разработки (для железных дорог таковыми являются ГОСТ Р 52980-2015 «Требования к ПО», ГОСТ Р 34012-2016 «Общие требования к аппаратуре ЖД» и т.д.).

17 марта 2023 года на выставке «Экспотехностраж» в рамках Выставки передовых технологий обеспечения безопасности личности, общества и государства «ЭКСПОТЕХНОСТРАЖ. День передовых технологий» состоялась научная конференция «Функциональная безопасность сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта». Спикеры обсудили безопасность сложных технических систем, которые оборудованы системами MV для автоматизации управления.

Замена функций человека на производстве — это следующий шаг технического прогресса. В традиционных отраслях промышленности исключение человеческого фактора повысит эффективность. А на опасных и вредных производствах замена сделает работу человека безопаснее. Главная проблема — это проверить и доказать, что системам с искусственным интеллектом можно доверять, что их логика понятна и предсказуема.

На научной конференции «Функциональная безопасность сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта» от МНОЦ «Безопасность и надёжность критических цифровых технологий» Университета ИТМО и АО «НИИАС» спикеры обсудили

- международный опыт решения задач функциональной безопасности сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта;
- безопасность беспилотных транспортных средств, комплексный подход на основе функциональной и информационной безопасности;



- риски применения систем машинного зрения и искусственного интеллекта на объектах повышенной опасности;
- требования к датчикам и сенсорам с учетом условий эксплуатации и норм безопасности;
- схемы резервирования и алгоритмы комплексирования данных для повышения уровня отказоустойчивости, надежности и безопасности;
- оценка степени влияния программных методов и нейронных сетей на функциональную безопасность сложных технических систем;
- мониторинг и диагностика состояния беспилотных транспортных средств в соответствии с уровнями полноты безопасности программно-управляемых систем;
- стандартизация требований к функциям безопасности сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта;
- доказательства (обоснования), аудит и оценка функциональной безопасности сложных технических систем на основе машинного зрения и искусственного интеллекта;
- функциональная безопасность и «Индустрия 4.0». Цифровые двойники и симуляторы.

*На конференцию были представлены доклады:*

1. Шубинский И.Б., Генеральный директор ЗАО «ИБ-Транс». Тема: Общие подходы к обоснованию безопасности интеллектуальных систем.
2. Попов П.А., Заместитель генерального директора – Директор Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС». Тема: Функциональная безопасность сложных технических систем на железнодорожном транспорте.
3. Кировский О.М., ведущий инженер, ООО «СЕЙФЕТИ КОНСАЛТ». Тема: Опыт валидации функций высокоавтоматизированного транспортного средства.
4. Строева Е.Н., ассистент; Тонких А.А., магистр, кафедры «Информационная безопасность», ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова. Тема: Методы формальной верификации нейронных сетей и перспективы их применения в системах автономного управления поездами.
5. Илюшин А.М., ведущий инженер Центра интеллектуальных систем, ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». Тема: Требования функциональной безопасности при оценке соответствия автоматизированных систем вождения в автотранспортной отрасли.

Модератор конференции – П.А. Попов, заместитель генерального директора АО «НИИАС» анонсировал проведение до сентября 2023 года эксперимента, запланированного в рамках работы над системой машинного зрения, которая сможет автоматически фиксировать препятствия на железнодорожных путях. В ходе эксперимента будет сравниваться внимательность машинистов поездов и «внимательность» автоматической системы технического зрения.

Как отметил Павел Попов, в ОАО «РЖД» уже есть группа из 10 машинистов, заинтересованных в тестах. Испытания будут проводиться на полигоне Щербино. Как рассказал эксперт, уже сегодня в неформальных наблюдениях результаты машины и человека сопоставимы с точки зрения дальности восприятия препятствий. Для реализации этой системы используется ИИ, который, по мнению Павла Попова, стал «ключом к пониманию данных сенсоров». А наиболее актуальной проблемой разработки является бесконечное количество сценариев положения дел на путях, которые нужно вложить в систему, чтобы она правильно отреагировала. На текущем этапе в рамках тестов исследователи фиксировали ситуацию, когда система видела не существующее в реальности препятствие, но, чуть притормозив и подъехав поближе, распознавала ошибку. ■

## Список литературы

1. Логистика интервального регулирования движения поездов / П. В. Куренков, А. А. Шатохин, Е. Н. Розенберг, С. А. Филипченко // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности). – 2020. – № 1(13). – С. 130-139. – EDN KNUNZA.
2. Автономное движение – отечественный и зарубежный опыт / А. И. Долгий, Е. Н. Розенберг, А. В. Озеров [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 12. – С. 14-16. – DOI 10.34649/AT.2022.12.12.002. – EDN FALVXQ.
3. Шубинский, И. Б. К оценке безопасности системы автоведения поездов / И. Б. Шубинский, Х. Шебе, Е. Н. Розенберг // Надежность – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 31-37. – DOI 10.21683/1729-2646-2021-21-4-31-37. – EDN BSJTJL.
4. Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования. Утв. приказом Минтранса России от 18.07.2018 № 266.
5. Патент № 2788769 С1 Российская Федерация, МПК В61L 27/04. Система для формирования стратегии планирования пропуска поездов через железнодорожный полигон с учетом планирования "окон": № 2022130028 : заявл. 18.11.2022: опубл. 24.01.2023 / И. Р. Гургенидзе, Ю. Д. Железняк, Р. Т. Идиатулин [и др.]; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте". – EDN ZAVUBX.
6. Патент № 2780240 С1 Российская Федерация, МПК В61L 17/00. Система поддержки принятия решений для оперативно-диспетчерского и эксплуатационного персонала на железнодорожном транспорте: № 2022107606: заявл. 23.03.2022: опубл. 21.09.2022 / А. И. Васекин, А. В. Вуколов, И. Р. Гургенидзе [и др.]; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте". – EDN AWFXLW.
7. Розенберг, И. Н. Создание АСУ УРРАН / И. Н. Розенберг, А. М. Замышляев, С. В. Калинин // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 41-44.
8. Замышляев, А. М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте / А. М. Замышляев. – Ульяновск: Областная типография «Печатный двор» – 2013. – 143 с.
9. Попов, П. А. Разработка системы управления электропоездами в автоматическом режиме / П. А. Попов // Труды АО "НИИАС" : Сборник статей. Том 1. Выпуск 11. – Москва: Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 86-89. – EDN DCEZNE.
10. Попов, П. А. Переход к беспилотным поездам текущие вызовы и пути решения / П. А. Попов, С. В. Кудряшов // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 18-20. – DOI 10.34649/AT.2021.11.11.005. – EDN MNDPKK.
11. Патент № 2766936 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/04. Устройство контроля за управлением локомотивом и бдительностью машиниста : № 2021130361 : заявл. 19.10.2021 : опубл. 16.03.2022 / А. И. Долгий, М. Г. Лыиков, А. В. Озеров [и др.]; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – EDN WNXPHK.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685972 Российская Федерация. Бортовая система технического зрения. Подсистема диагностики и связи : № 2022686341 : заявл. 30.12.2022 : опубл. 30.12.2022 / А. Е. Хатламаджиян, П. А. Попов, Е. С. Чеботарев, А. А. Катаенко ; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – EDN KFPDIT.
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685970 Российская Федерация. Бортовая система технического зрения. Подсистема позиционирования и электронных карт : № 2022686339 : заявл. 30.12.2022 : опубл. 30.12.2022 / А. Е. Хатламаджиян, П. А. Попов, Е. С. Чеботарев, А. А. Катаенко ; заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». – EDN AVUCCS.
14. Розенберг, Е. Н. Европейская практика инновационного развития в области автоматизации управления движением поездов / Е. Н. Розенберг, А. В. Озеров // Интеллектуальные транспортные системы: материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2022. – С. 278-284. – EDN TNELBJ.
15. Петренко, К. К. Искусственный интеллект как решение прогностических проблем на железнодорожном транспорте на примере компании ОАО "РЖД". Национальная ассоциация ученых, №. 1 (27-28), 2017. – С. 41-43.
16. Сабиров, Н. З. Перспективы применения искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте / Н. З. Сабиров, Ш. К. Валиев, Р. Ш. Валиев // Инновационный транспорт. – 2022. – № 2(44). – С. 20-23. – DOI 10.20291/2311-164X-2022-2-20-23. – EDN GIWXMФ.
17. Возможности использования спутниковых технологий для мониторинга железнодорожной инфраструктуры / И. Н. Розенберг, Е. А. Лупян, М. М. Железнов, А. С. Василейский // Ренессанс железных дорог: фундаментальные научные исследования и прорывные инновации / Объединенный ученый совет ОАО "РЖД". – Ногинск : Аналитика Родис, 2015. – С. 97-112. – EDN WGCWJD.
18. Духин, С. В. Возможности применения спутникового дистанционного зондирования в системе геотехнического мониторинга железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона / С. В. Духин, А. С. Василейский // Труды АО "НИИАС" : Сборник статей. Том 2. Выпуск 11. – Москва : Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 137-155. – EDN HMNQPA.
19. Павловский, А. А. Требования к характеристикам пространственно-временной информации, используемой для автоматизации бизнес-процессов ОАО «РЖД» / А. А. Павловский, С. В. Духин, Н. А. Духина // Труды АО "НИИАС" : Сборник статей. Том 2. Выпуск 11. – Москва : Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 156-165. – EDN QOHNYW.
20. Павловский, А. А. Геоинформационные и спутниковые технологии железнодорожного транспорта. Единая база геоданных / А. А. Павловский, С. В. Духин, Н. А. Духина // Железнодорожный транспорт – 2021. – № 12. – С. 43-48. – EDN WGDFNX.
21. ГОСТ Р 52440-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Модели местности цифровые. Общие требования.
22. СП 333.1325800.2020. Свод правил. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.
23. ГОСТ Р 8.654-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. >>>

24. Комплексные системы диагностирования грузового подвижного состава / А. Е. Хатламаджиян, В. В. Шаповалов, В. В. Кудюкин, А. С. Зенько // Труды АО "НИИАС" : Сборник статей. Том 1. Выпуск 11. – Москва : Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 108-117. – EDN SIASZE.
25. Оленцевич, В. А. Современные устройства механизированного закрепления подвижного состава / В. А. Оленцевич // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022. – № 9. – С. 191-192. – EDN QHONTR.
26. Петров, А. С. Современные устройства и технологии обеспечения безопасности движения на сортировочной станции при закреплении подвижного состава / А. С. Петров, А. Д. Обухов // Актуальные проблемы развития транспорта : материалы III Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 29 января 2016 года / Федеральное агентство железнодорожного транспорта; Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, Нижегородский филиал. – Нижний Новгород: ООО "Стимул-СТ", 2016. – С. 21-25. – EDN VWSYQN.
27. Патент № 2788208 С1 Российская Федерация, МПК В61L 25/00, В61К 7/02. Система для позиционирования железнодорожного подвижного состава при закреплении механизированными устройствами : № 2022124235: заявл. 13.09.2022 : опубл. 17.01.2023 / А. И. Долгий, К. И. Корниенко, И. А. Ольгейзер [и др.]; заявитель Акционерное общество "Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте". – EDN POUIUO.
28. Гузеватая, А. А. О проблемах обеспечения широкополосного доступа / А. А. Гузеватая, И. Я. Львович // Проблемы развития современного общества: Сборник научных статей 8-й Всероссийской национальной научно-практической конференции. В 4-х томах, Курск, 19–20 января 2023 года / Под редакцией В.М. Кузьминой. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 236–238. – EDN RLIWUI.
29. Андриевская, И. С. Исследование систем обеспечения широкополосного доступа к сети интернет в поездах дальнего следования / И. С. Андриевская, А. В. Бондаренко, П. С. Демидов // Научно-практические исследования. – 2019. – № 7-4(22). – С. 13-15. – EDN EBJVIE.
30. Дорошин, Н. Р. Преимущества и недостатки системы широкополосного доступа McWiLL / Н. Р. Дорошин // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, Г. МОСКВА, РОССИЯ, 13–17 ноября 2017 года / Московский технологический университет (МИРЭА). Том Часть 1. – г. Москва, Россия: Московский технологический университет (МИРЭА), 2017. – С. 175-178. – EDN YNRJVV.
31. Сабанов, А. Г. Методика идентификации рисков процессов аутентификации / А. Г. Сабанов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 4(30). – С. 136-141. – EDN RWDYUN.
32. Сабанов, А. Г. Метод анализа технологических рисков первичной идентификации субъектов доступа / А. Г. Сабанов, И. Б. Шубинский // Защита информации. Инсайд. – 2020. – № 3(93). – С. 57-61. – EDN XСMTMT.
33. Гапанович, В. А., Шубинский, И. Б., Замышляев, А. М. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на железнодорожном транспорте // Надежность. – 2011. – № 4. – С. 56-68. EDN: OQNQGJ.
34. Сабанов, А. Г. Концепция предварительного анализа рисков первичной идентификации субъектов доступа // Защита информации. Инсайд. – 2020. – № 2. – С. 2-7.
35. ГОСТ Р 56939-2016. Защита информации. Разработка безопасного программного обеспечения. Общие требования.
36. Dimitrov, V. The Axioms in My Understanding from Many Years of Experience. *Axioms* 2021, 10, 176. <https://doi.org/10.3390/axioms10030176>.
37. Sistrom CL, Garvan CW (январь 2004 г.). «Пропорции, шансы и риск». *Радиология*. 230(1): 12–9. doi:10.1148/радиол.2301031028. PMID 14695382.
38. Королёв, В. Ю., Бенинг, В. Е., Шоргин, С. Я. Математические основы теории риска: Учебн. пособ. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. – 544 с. – ISBN 978-5-9221-0782-2.
39. Рыков, В. В., Иткин, В. Ю. Надёжность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 192 с. – (Высшее образование).
40. Жуковский, В. И., Жуковская, Л. В. Риск в многокритериальных и конфликтных системах при неопределённости / под ред. В.С. Молостова. Изд. 2-е. М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 272 с.
41. Nozer D. Singpurwalla, *Reliability and Risk A Bayesian Perspective*, Wiley and Sons (2007), ISBN: 978-0-470-06034-6, November 2007. – 400 Pages.
42. Руссман, И. Б., Бермант, М. А. О проблеме оценки качества. Журнал "Экономика и математические методы", №4, 1978, С. 691-699.
43. Руссман, И. Б., Гайдай, А. А. Непрерывный контроль процесса достижения цели. "Управление большими системами". Сборник трудов института проблем управления РАН, Выпуск 7, Москва, 2004, С. 106-113.
44. Bochkov, A.V. Hazard and Risk Assessment and Mitigation for Objects of Critical Infrastructure, pp. 57-135. In: Ram M., Davim J. (eds) *Diagnostic Techniques in Industrial Engineering. Management and Industrial Engineering*. Springer, Cham, DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-319-65497-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65497-3_3), Publisher Name: Springer, Cham. – 2017. ISBN 978-3-319-65496-6. – 247 p.
45. Бочков Александр Владимирович. Методология обеспечения безопасности функционирования и устойчивости Единой системы газоснабжения в чрезвычайных ситуациях: диссертация ... доктора Технические наук: 05.26.02 / Бочков Александр Владимирович; [Место защиты: ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ»], 2019.
46. Zhigirev, N.; Bochkov, A.; Kuzmina, N.; Ridley, A. Introducing a Novel Method for Smart Expansive Systems' Operation Risk Synthesis. *Mathematics* 2022, 10, 427. <https://doi.org/10.3390/math10030427>.
47. A. Bochkov, N. Zhigirev, A. Kuzminova. Inversion Method of Consistency Measure Estimation Expert Opinions // *Reliability: Theory & Applications*, vol. 17, no. 3 (69), 2022, pp. 242-252. doi:10.24412/1932-2321-2022-369-242-252.

УДК: 001.895, 629.4.05, 621.396.931, 656.3

# Южнокорейский опыт внедрения железнодорожных систем управления на основе радиосвязи

## South korean experience in implementing radio-based train control systems

**Андреев В.Е.**, Начальник Департамента технической политики ОАО «РЖД»,

E-mail: AndreevVE@center.rzd.ru, Москва, Россия

**Andreev V.E.**, Head of Technical Policy Department, JSC RZD,

E-mail: AndreevVE@center.rzd.ru, Moscow, Russia

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

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

**Ozerov A.V.**, Head of International Department, JSC NIIAS,

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



### Аннотация

В последнее десятилетие железные дороги Республики Кореи усовершенствовались с точки зрения модернизации систем управления и обеспечения безопасности движения поездов. В Корею создан национальный аналог европейской системы ETCS/ERTMS уровень 2, и осуществляется поэтапный переход от традиционных систем светофорной сигнализации к автоматической локомотивной сигнализации и системе управления с использованием радиосвязи. Проведен комплекс исследований по возможности применения широкополосной системы радиосвязи LTE для ответственных приложений железнодорожных систем управления. Реализована национальная стандартизация системы радиосвязи на основе LTE для железнодорожного применения (LTE-R) по результатам тестовых испытаний, запускаются в коммерческую эксплуатацию участки, оборудованные корейской системой управления KTCS-2, в которой для передачи ответственных данных используется система LTE-R. Реализуется долгосрочный план внедрения системы KTCS-2 на сети железных дорог Кореи на период до 2029 года с целью замены систем предыдущих поколений. Тестируется применение системы радиосвязи на основе 5G.

**Ключевые слова:** транспорт, железные дороги Республики Корея, FRMCS, МСЖД, BCM, TETRA, LTE, LTE-R, ETCS, RBC, KTCS, 5G.

### Abstract

Over the past decade, the railways of the Republic of Korea have greatly evolved in terms of development of signalling systems. The South Korean engineers developed a national analogue of the European Train Control System ETCS/ERTMS Level 2 and carry out a phased transition from legacy traffic light signalling systems to automatic cab signalling and radio-based train control system. A set of studies on the possibility of implementing a broadband LTE radio communication system for critical applications of train control systems has been carried out in South Korea. The LTE-based radio communication system for railway applications (LTE-R) has been standardized at the national level based on results of tests, and sections equipped with the Korean KTCS-2, which uses the LTE-R system for critical data transmission, are being put into commercial operation. A long-term plan for the implementation of KTCS-2 on South Korean railways for the period up to 2029 is being realized to replace legacy signalling systems. The application of a 5G-based radio communication system is being tested.

**Keywords:** transport, railways of the Republic of Korea, FRMCS, МСЖД, BCM, TETRA, LTE, LTE-R, ETCS, RBC, KTCS, 5G. >>>

## Введение

В статье [1] журнала «Наука и технологии железных дорог» рассмотрены предпосылки и общие вопросы разработки нового стандарта железнодорожной радиосвязи FRMCS, а также приведен обзор некоторых проектов в области тестирования радиосвязи нового поколения LTE/5G в системах управления движением поездов (СУДП) на пилотных участках разных стран, в первую очередь европейских стран. В настоящей статье предлагается более подробный обзор южнокорейского опыта, который имеет свои специфические черты.

Республика Корея входит в клуб стран высокоскоростного железнодорожного движения. По данным МСЖД, с 2004 года в Корее введено в эксплуатацию 5 участков высокоскоростных магистралей (ВСМ) общей протяженностью 873 км. Максимальная скорость движения составляет 250 и 305 км/ч в зависимости от участков. На участках ВСМ используются локомотивная сигнализация и система автоблокировки на основе рельсовых цепей длиной 1,5 км, являющаяся адаптацией французской системы TVM-430 [2]. На Рис. 1 показана схема сигнализации на ВСМ Кореи, традиционная для системы TVM.

Для поездной радиосвязи на всей сети железных дорог традиционно используются аналоговые системы радиосвязи, работающие в УКВ-диапазоне на частоте 150 МГц, в том числе на участке ВСМ Сеул-Тондэгу. На других участках высокоскоростных железных дорог развернуты цифровые транкинговые системы TRS-ASTRO и TETRA с интегрированной передачей голоса и данных на частоте 800 МГц.

Как видно из Таблицы 1, система TETRA применяется более широко, чем система ASTRO, при этом следует отметить, что на ВСМ Кёнбу, объединяющей участки Сеул-Тондэгу и Тондэгу-Пусан, локомотивная бригада вынуждена пользоваться тремя разными мобильными радиостанциями. С 2017 года на участках ВСМ также строится инфраструктура системы радиосвязи LTE-R.

Отдельно, для информирования машинистов об инцидентах и опасных ситуациях на путях, также используется система технологической радиосвязи TRPD (Train Radio Protection Device) в диапазоне частот 400 МГц. На Рис. 2 показаны диапазоны частот и системы технологической радиосвязи, применяемые на железных дорогах Кореи в диапазоне до 1 ГГц [3]. Дополнительно также исследуются возможности систем радиосвязи свыше 1 ГГц, но это не является предметом настоящей статьи.

С появлением в странах ЕС стандарта ETCS/ERTMS в начале 2000-х годов, железные дороги Кореи также взяли курс на внедрение систем управления на основе радиосвязи, совместимых с европейской системой ETCS. Была осуществлена локализация производства компонентов системы ETCS – в первую очередь, модуля приема телеграмм бализ (BTM) и бортового устройства безопасности EVC (European Vital Computer, который в Корее был переименован в KVC – Korean Vital Computer), а в дальнейшем и центра радиоблокировки RBC.

В 2010 году в Корее был утвержден национальный план стандартизации систем управления и обеспечения

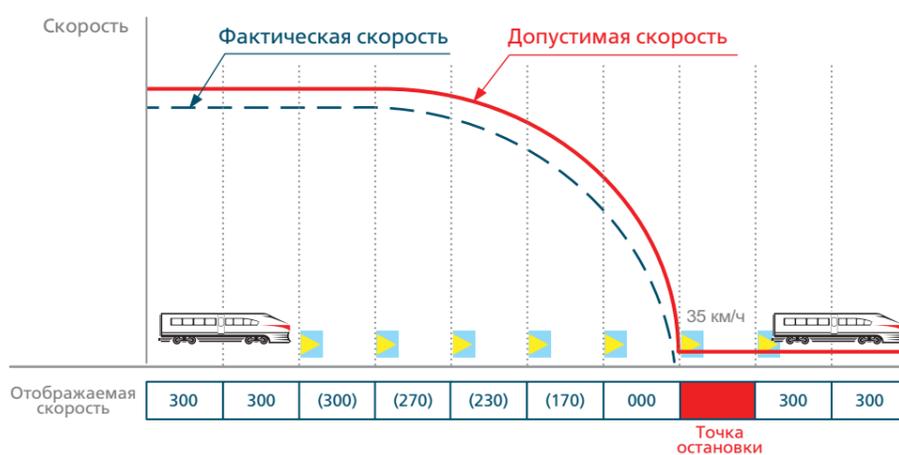


Рисунок 1. Схема локомотивной сигнализации на ВСМ

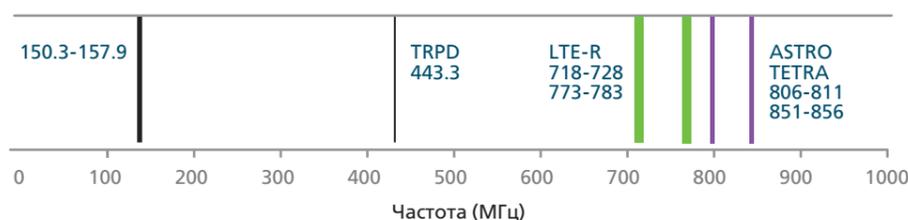


Рисунок 2. Диапазоны частот технологической радиосвязи железных дорог Кореи

Таблица 1. Оснащенность участков ВСМ системами технологической радиосвязи

Участок ВСМ	Год	Протяженность, км	Макс. скорость, км/ч	150 МГц	ASTRO	TETRA	LTE-R
Сеул-Тондэгу	2004	268	305	✓			
Тондэгу-Пусан	2010	131	305		✓		
Осон-Кванджу	2015	184	305			✓	
Сосо-Пёнхэк	2016	61	305			✓	
Сеул-Каннын	2017	230	250			✓	✓

безопасности движения поездов. План включал разработку оборудования системы управления и системы радиосвязи для выделенных частот. На первом этапе (2011-2014 гг.) под нужды железнодорожных дорог были выделены частоты в диапазоне 700 МГц, а в качестве технологии беспроводной связи был выбран и протестирован в лабораторных условиях стандарт LTE.

На втором этапе (2015-2018 гг.) была развернута и протестирована сеть LTE на отдельных участках железных дорог, включая ВСМ, а в рамках подготовки к Зимним Олимпийским играм 2018 года в г. Пхёнчхане на развернутой инфраструктуре LTE был запущен участок ВСМ Вонджу-Каннын (Wonju-Gangneung) со скоростью движения поездов 250 км/ч. Данный участок стал первым в мире участком ВСМ с системой управления на основе технологии LTE. На участке были реализованы технологические беспроводные услуги: передача данных со скоростью до 75 Мбит/с, видеосвязь, голосовые сообщения между диспетчером и машинистом, а также возможность групповых вызовов. >>>

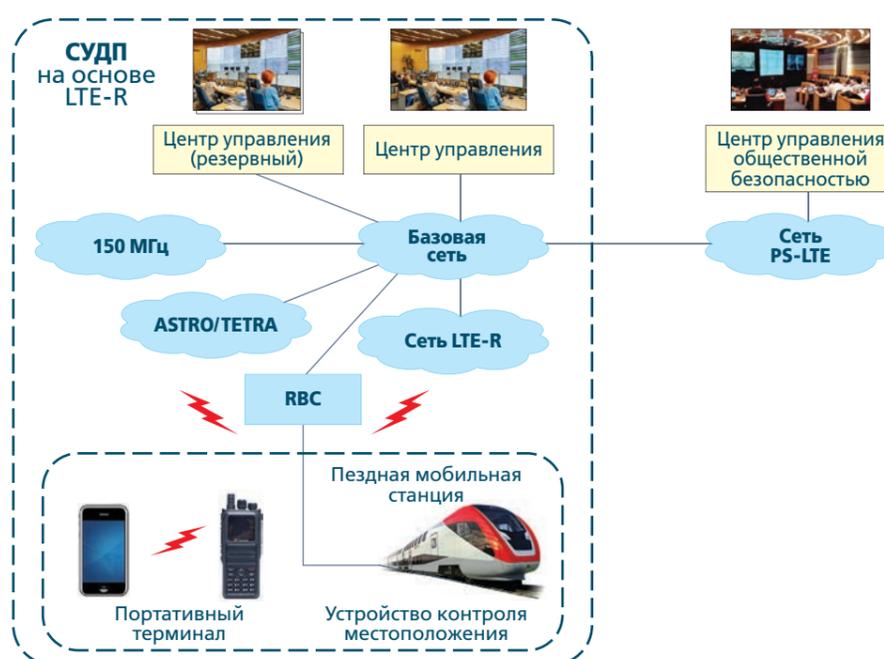


Рисунок 3. Схема взаимодействия в рамках СУДП на основе LTE-R

Одновременно с тестированием велась стандартизация системы радиосвязи LTE для железнодорожного применения (LTE-R) в составе национальной системы KRTCS-2 (иногда встречается название KRTCS-2, подчеркивающее, что управление в системе осуществляется на основе использования радиосвязи).

Ассоциацией телекоммуникационных технологий Кореи (ТТА) был принят и введен в действие ряд отраслевых стандартов в области применения технологии LTE-R:

- «Пользовательские требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System User Requirements (ТТАК.КО-06.0370, 2014);
- «Функциональные требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System Functional Requirements (ТТАК.КО-06.0369, 2014);
- «Требования к системе железнодорожной радиосвязи на базе LTE (Обычная и высокоскоростная железная дорога)» – LTE based Railway Communication System Requirements (Conventional and High Speed Railway) (ТТАК.КО-06.0437, 2016);
- «Архитектура системы железнодорожной радиосвязи на базе LTE» – LTE based Railway Communication System Architecture (ТТАК.КО-06.0438, 2016).

Также были разработаны и утверждены требования к проведению испытаний LTE-R и методам обеспечения интероперабельности с существующими системами технологической радиосвязи (150 МГц, TRS-ASTRO/TETRA) (LTE based Railway Communication System Performance Test Specification (ТТАК.КО-06.0458, 2017), Specification of Interoperability Methods between LTE Based Railway Communication systems and existing communication systems (VHF, TRS-ASTRO/TETRA) (ТТАК.КО-06.0457, 2017). К сожалению, большая часть этих стандартов представлена на сайте ТТА только на корейском языке.

Согласно стандарту ТТАК.КО-06.0437 [4], доступному на английском языке, система радиосвязи LTE-R предоставляет услуги передачи голоса, данных и видео, исполь-

зуя информацию об абоненте и информацию о качестве обслуживания. Услуга передачи ответственных данных имеет наивысший приоритет и предоставляется в целях обеспечения безопасности движения поезда путем непрерывного обмена данными между центром управления и поездной радиостанцией. Сообщения, передаваемые поездной радиостанцией, содержат данные о координате и текущей скорости поезда, длина сообщений обычно не превышает 64 байт.

Доставка сообщений с разрешением на проследование от центра радиоблокировки RBC до поездной радиостанции должна происходить с задержкой не более 300 мс при движении поезда со скоростью до 350 км/ч. Время установления сеанса связи должно быть менее 1 секунды, а вероятность успешного установления сеанса связи должна быть более 99% при движении поезда со скоростью до 350 км/ч.

Система LTE-R интегрирована с сетями технологической радиосвязи 150 МГц и TRS-ASTRO/TETRA, а также с сетью мобильной связи PS-LTE для обеспечения общественной безопасности (Public Security). Например, в случае экстренной ситуации машинист может нажать тревожную кнопку, инициировав групповой сеанс связи с поездным диспетчером и лицом, отвечающим за общественную безопасность, что будет зафиксировано в центре радиоблокировки и в центре управления общественной безопасностью PS-LTE. Данная функция также имеет наивысший приоритет обслуживания.

Общая схема взаимодействия в рамках системы управления движением поездов (СУДП) на основе LTE-R представлена на Рис. 3.

В 2015 году администрацией железнодорожной сети Korea National Railway (в прошлом KRNA) был создан испытательный полигон протяженностью 34,3 км для определения возможности использования стандарта LTE-R. Полигон состоит из двух участков высокоскоростной линии Хонам. Первый участок, длиной 28 км, расположен между станциями Иксан и Чонып (с испытательным центром на станции Чонып) и включает три тоннеля >>>

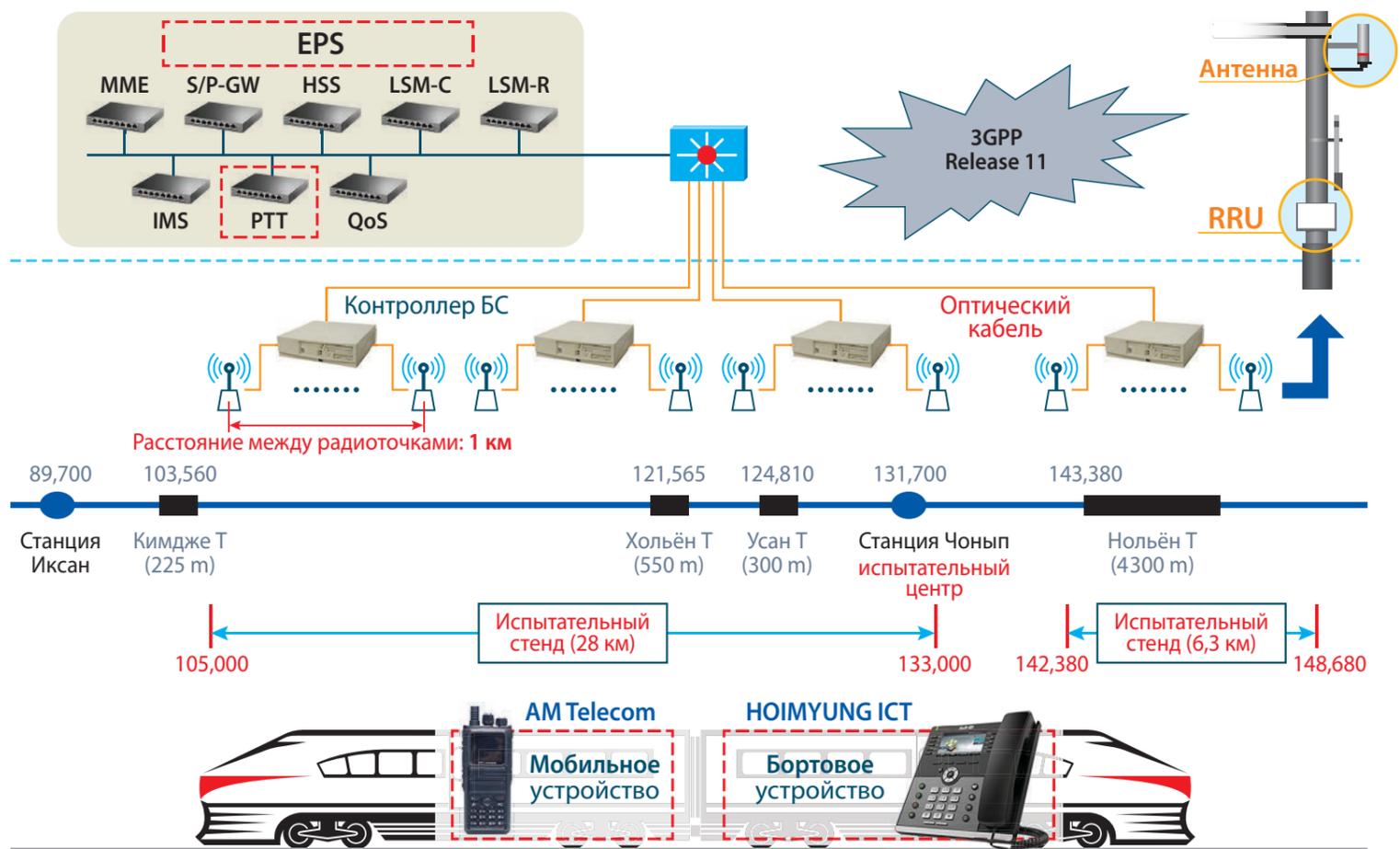


Рисунок 4. Конфигурация испытательного полигона

протяженностью от 225 до 550 м. Второй участок, длиной 6,3 км, включает тоннель Нольён протяженностью 4,3 км.

На полигоне обращаются высокоскоростные поезда КТХ (Korea Train eXpress) с максимальной скоростью движения 250 км/ч. На Рис. 4 показана общая структура испытательного полигона [5].

Испытания проводились с целью проверки устойчивой работы системы радиосвязи на максимальных скоростях движения с учетом хэндовера, а также функциональной совместимости оборудования разных производителей.

С 2016 по 2018 года системе управления на основе LTE-R также тестировалась на участке ВСМ Вонджу-Каннин. Протяженность участка связи LTE-R составляет 120 км, включает 7 станций, 234 единицы оборудования радиодоступа, 545 устройств мобильной связи (смартфоны и цифровые рации с селектором).

Основными подрядчиками по указанным пилотным проектам выступили компании стали компании Samsung, Nokia, AM Telecom, ELUON, COVADA, IPAGEON, HOIMYUNG ICT.

Основным поставщиком оборудования LTE-R для сети железных дорог Кореи является компания Samsung. По данным компании, правительство Кореи планирует увеличить протяженность сети LTE-R к 2025 году примерно до 5 600 км при общей протяженности сети железных дорог около 9 400 км [6].

Общая структура перспективной системы технологической радиосвязи на железных дорогах Кореи представлена на Рис. 5.

По данным Министерства земли, инфраструктуры и транспорта, в апреле 2022 года на участке ВСМ Ик-

сан-Йосу протяженностью 180 км впервые введена в коммерческую эксплуатацию система КТКС-2 на базе LTE-R, предусматривающая возможность движения поездов на скоростях до 350 км/ч. По заявлению Министерства, все компоненты технологии КТКС-2 полностью локализованы.

К 2029 году планируется поэтапная замена всех систем сигнализации на сети железных дорог Кореи национальной системой управления КТКС-2 на основе LTE-R.

До 2027 года предусмотрен поэтапный перевод технологической радиосвязи на стандарт LTE-R, как на линиях ВСМ, так и на обычных линиях. Согласно планам Министерства, частоту 800 МГц со временем планируется отдать под другие нужды. При этом на уже оборудованных участках радиосвязь LTE-R рассматривается как основная для систем управления, а системы радиосвязи 150 МГц и ASTRO/TETRA на текущий момент – как резервные каналы радиосвязи.

В Республике Корея также проводятся испытания системы автоматизированного управления движением поездов на базе стандарта 5G. Например, в 2020 году на опытном полигоне Корейского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта KRRRI в Осоне при участии национального оператора сотовой связи SK Telecom реализовано пилотное тестирование с использованием двух экспериментальных вагонов. Испытания стали частью девятилетней (рассчитанной до 2024 г.) государственной программы в области исследований и разработки беспилотных поездов. Новая технология предполагает непрерывный обмен между поездами информацией о маршрутах движения, планируемых остановках, скорости, а также о возникающих нестандартных ситуациях и реагировании на них. >>>

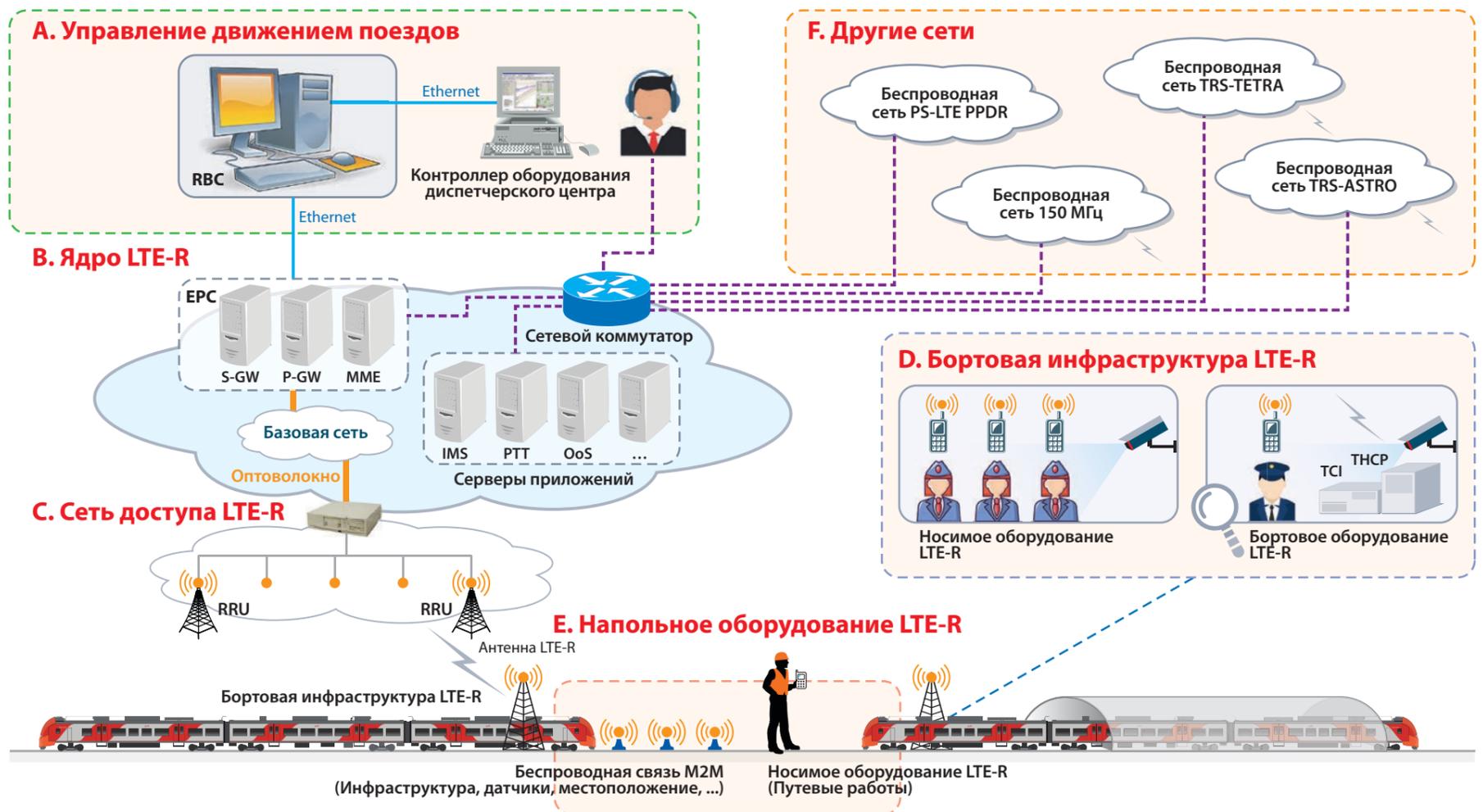


Рисунок 5. Структура перспективной системы технологической радиосвязи

В заключение следует отметить, что поступательное развитие железнодорожных технологий в Республике Корея в обозначенных областях имеет свои определенные предпосылки. Среди них следует, вероятно, отметить следующие факторы.

В Корее функционируют национальные отраслевые научно-исследовательские и опытно-конструкторские институты, финансируемые из государственного бюджета, которые занимаются разработкой и тестированием новых железнодорожных систем управления и систем радиосвязи. Это такие организации, как Корейский железнодорожный научно-исследовательский институт (KRRRI), занимающийся проведением научно-исследовательских работ, стандартизацией и сертификацией железнодорожных систем, а также Институт исследований в области электроники и телекоммуникаций (ETRI), деятельность которого включает научно-исследовательские работы в области информационно-коммуникационных технологий (ETRI осуществляет широкое сотрудничество с университетами Кореи и имеет 10 лабораторий на их базе).

Имеются также собственные производители электроники и устройств радиосвязи (LS ELECTRIC, Samsung, HOIMYUNG ICT, IPAGEON, AM Telecom и т.д.), а также производитель подвижного состава Hyundai Rotem, который обладает мощным центром перспективных разработок в области СЦБ и занимается локализацией и разработкой компонентов железнодорожных систем управления типа KTCS-2.

Приняты долгосрочные национальные программы развития железнодорожных систем управления и систем

радиосвязи (осуществляемые Министерством земли, инфраструктуры и транспорта Кореи) с государственным финансированием.

Выделяются значительные государственные средства на разработку, тестирование и стандартизацию перспективных технологий (типа LTE-R, 5G).

Ассоциация телекоммуникационных технологий Республики Корея (ТТА) осуществляет активную работу по тестированию, сертификации и стандартизации решений железнодорожного применения в области телекоммуникаций.

Государственный оператор инфраструктуры Korea National Railway активно внедряет инновационные решения и финансирует их тестирование на своих тестовых полигонах.

Важнейшим драйвером перехода на систему управления на основе радиосвязи является развитие высокоскоростного движения в Республике Корея.

Рассмотренный опыт имеет свою национальную специфику, но может представлять определенный интерес для Российских железных дорог в рамках изучения возможных подходов к дальнейшему развитию систем интервального регулирования. Особо стоит отметить, что перспективная корейская KTCS-2 строится как гибридная система управления, в которой используются как интегрированная цифровая мобильная связь с резервированием конвенциональными средствами технологической радиосвязи, так и рельсовые цепи. Как известно, данный принцип положен в основу отечественного подхода и реализован в российской системе управления движением поездов РСУДП. ■

## Список литературы

1. Озеров, А. В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24.
2. Táuler, Á. High-Speed Rail 2022 Atlas / Á. Táuler, S. Martín, M. Benito. – 4th Edition. – France: International Union of Railways (UIC), 2022.
3. Current and future usage of railway radiocommunication systems between train and trackside. Report ITU-R M.2442-0 (11/2018). [Электронный ресурс] / URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2442-2019-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2442-2019-PDF-E.pdf) (дата обращения: 24.04.2023).
4. The World's First LTE-R for 250 km/h High-Speed Railway in Republic of Korea // Korea Rail Network Authority. – South Korea, 2018. [Электронный ресурс] / URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/oth/0a/0E/ROA0E0000C40001PDFE.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/0E/ROA0E0000C40001PDFE.pdf) (дата обращения: 24.04.2023).
5. ТТАК.КО-06.0437. LTE based Railway Communication System Requirements (Conventional and High Speed Railway). [Электронный ресурс] / URL: [http://www.tta.or.kr/eng/new/standardization/eng\\_ttastddesc.jsp?stdno=ТТАК.КО-06.0437](http://www.tta.or.kr/eng/new/standardization/eng_ttastddesc.jsp?stdno=ТТАК.КО-06.0437) (дата обращения: 27.04.2023).
6. Korea's First LTE-Railway Network Starts Official Service Base on Joint Efforts of Samsung and SK Telecom, 2017. [Электронный ресурс] / URL: <https://news.samsung.com/global/koreas-first-lte-railway-network-starts-official-service-base-on-joint-efforts-of-samsung-and-sk-telecom> (дата обращения: 02.05.2023).

УДК: 629.06, 656.2

# Мировые тенденции развития систем автоматического управления движением поездов

## Global trends in the development of automatic train control systems

**Охотников А.Л.**, Заместитель начальника Департамента, начальник Отдела, АО «НИИАС»,

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

**Okhotnikov A.L.**, Deputy Head of Department, Head of the Section, JSC «NIIAS»,

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

**Волкова И.А.**, Специалист II категории, АО «НИИАС»,

E-mail: i.volkova@vniias.ru, Москва, Россия

**Volkova I.A.**, Specialist of the 2nd category, JSC «NIIAS»,

E-mail: i.volkova@vniias.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье представлен российский и зарубежный опыт развития и функционирования систем автоматического управления движением поездов (САУ ДП). Приведены основные параметры проектов по созданию беспилотных транспортных систем, такие как Thameslink, Crossrail, Digital S-Bahn, AutoHaul, VAL, ATOMIC, Mail Rail и др. Проведен анализ тенденций развития беспилотных технологий, их технических средств и программных компонентов на примере мировых производителей. Достигнутые результаты представленных проектов закладывают основу будущего развития беспилотных транспортных систем с учетом применения современных технологий в области искусственного интеллекта для повышения безопасности и эффективности перевозочного процесса.

**Ключевые слова:** автономный транспорт, система автоматического управления движением поездов, дистанционное управление, беспилотные транспортные системы, техническое зрение, обнаружение препятствий.



### Abstract

The article presents Russian and foreign experience in the development and operation of automatic train control systems (ATCS). The main parameters of projects for the creation of unmanned transport systems, such as Thameslink, Crossrail, Digital S-Bahn, AutoHaul, VAL, ATOMIC, Mail Rail, etc. are given. The analysis of trends in the development of unmanned technologies, their technical means and software components on the example of world manufacturers is carried out. The achieved results of the presented projects lay the foundation for the future development of unmanned transport systems, taking into account the use of modern technologies in the field of artificial intelligence to improve the safety and efficiency of the transportation process.

**Keywords:** autonomous transport, automatic train control system, remote control, unmanned transport systems, technical vision, obstacle detection.



## Введение

Беспилотные (полностью автоматические) технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта и технического зрения, все больше находят применение в различных областях, особенно в транспортных системах. По данным аналитиков рынок автономных поездов в 2021 году оценивался в 7,89 млрд долларов США, и ожидается, что к 2027 году он достигнет 11,09 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста в 5,85% в течение прогнозируемого периода (2022–2027 годы) [1]. Системы автоматического управления движением поездов (САУ ДП), как одно из направлений развития полной автоматизации, являются перспективными, позволят в будущем повысить гибкость и безопасность при одновременном снижении операционных затрат.

Системы автоматического управления движением поездов уже давно используются практически на всех материках, в таких странах, как Япония, Китай, Австралия, Америка и многих европейских государствах. Однако во многих странах такие системы находятся только на этапе внедрения (рис. 1). Автоматизация транспорта активно изучается в международных исследовательских инициативах и глобальных проектах, связанных с развитием железнодорожной области.

В Европе набирает обороты проект, финансируемый совместным предприятием Europe's Rail (EU-Rail), куда вошли большинство разработчиков технических средств железнодорожного транспорта и операторов инфраструктуры. В рамках проекта EU-Rail реализуется деятельность по разработке, апробации и адаптации инновационных технологий и решений в области автономного железнодорожного транспорта. Данные мероприятия проводятся в целях повышения привлекательности и конкурентоспособности европейского железнодорожного транспорта.

Такие проекты, как FP2-R2DATO, включающие в себя разработку и внедрение высокотехнологичных решений в области искусственного интеллекта и систем автоматического управления, способствуют развитию перспективных разработок и их внедрению в реальную эксплуатацию. Ожидается, что к 2025 году будут достигнуты ощутимые результаты FP2-R2DATO по ключевым темам: автоматическое управление поездом (ATO), гибридные европейские системы управления движением поездов (ETCS) 3-го уровня, подвижные блок-участки 3-го уровня, цифровые технологии (подключение 5G и стандартизированная встроенная ИКТ-платформа), а также созданы рекомендации и методы для быстрого и экономичного развертывания и миграции цифровых и автоматических (вплоть до автономных) возможностей управления поездами (DATO) по всей Европе.

Рассмотрим ряд ярких проектов, посвященных внедрению автоматического управления на рельсовом транспорте.

### Проект *Mail Rail*

В 1927 году в Великобритании был реализован проект двухпутной железнодорожной линии протяженностью 10,5 км, получившей название Mail Rail [2]. Она была проложена в тоннеле и осуществляла работу по перевозке

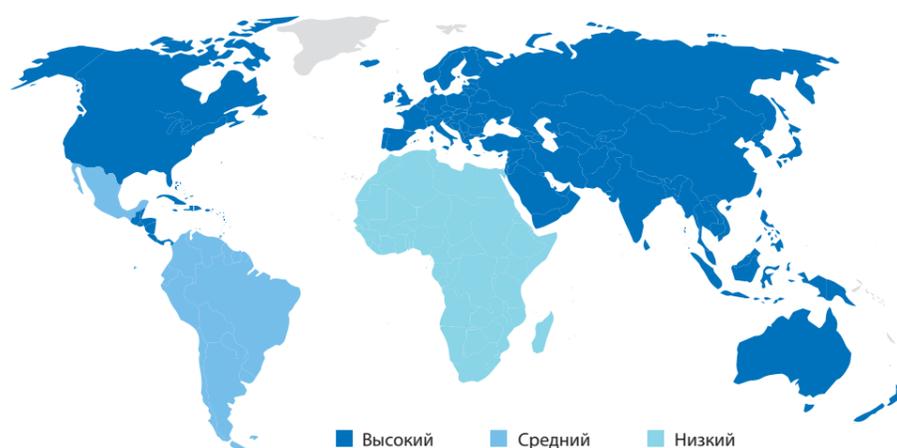


Рисунок 1. Рынок развития автономных поездов – темпы роста в 2022-2027 гг. Источник: Mordor Intelligence



Рисунок 2. Автоматическая линия Mail Rail (Лондон)

почты между почтовыми отделениями в автоматическом режиме (рис. 2). На линии расположено восемь станций, все под почтовыми отделениями.

До 1993 года регулирование железной дороги осуществлялось диспетчерами, находившимися на каждой станции. Они могли управлять действиями поезда, перенаправляя подвижной состав с одного пути на другой с помощью стрелочного перевода или совершали его полную остановку в местах выгрузки груза. Каждый перевод был оснащен электронными и механическими блокировками, а поезда электродвигателями постоянного тока, что позволяло управлять ими посредством последовательного изменения величины напряжения в контактном рельсе. После 1993 года и до 2003 года управление железнодорожной линией перешло в полностью автоматический режим с управлением от компьютера, находившегося в едином диспетчерском центре. В нынешней классификации уровней автоматизации такая конфигурация относится к уровню GoA4. Оператор осуществлял лишь контроль и, в случае возникновения инцидентов, корректировку движения поезда. Позднее линию заменили альтернативными способами доставки.

### Проект *ATOMIC*

В целях предотвращения отклонений в движении графика, возникающих при малейших ошибках эксплуатации на высокоскоростных магистралях, в 1960-х гг. в Японии на базе микро-ЭВМ была разработана система ав- >>>

товедения АТОМІС уровня автоматизации GoA2, которая обеспечивала контроль и корректировку скорости поезда. В памяти АТОМІС содержалась необходимая информация (время отправления, прибытия, следования, а также места постоянного ограничения скорости). При помощи специальных алгоритмов ЭВМ определяла необходимую для соблюдения графика движения скорость и фиксировала разницу между расчетными и фактическими показателями. Далее машина устанавливала необходимое расположение контроллера, в соответствии с чем определялся режим, по которому осуществлялось движение поезда. Представленная система обеспечила стабильный график движения, выдерживая необходимую скорость и заданное время хода с точностью  $\pm 2$  км/ч и  $\pm 15$  с соответственно, что несомненно обеспечивало потребности того времени.

## Проект VAL

Автоматической системой VAL (Véhicule Automatique Léger) в 1983 году была оборудована одна из линий городского метрополитена Лилля (Франция). Протяженность линии составила 13,5 км [3]. Это была пилотная разработка компании Matra Transport International, далее вошла в концерн Siemens. Система VAL предусматривает полное отсутствие персонала на борту и обеспечивает движение поездов таким образом, что в часы наивысшей загрузки интервал следования составляет 1 минуту. Конструкция электропоездов предусматривает платформу на колесах с пневматическими шинами, а электропитание осуществляется через контактный рельс.

Вдобавок, система снабжена устройством плавного регулирования скорости и торможения. Оно состоит из двух шлейфов (двухпроводных линий передачи), один из которых предназначен для определения и фиксации скорости, а другой для торможения. В случае исчезновения сигнала в любом из них на поезде немедленно включается режим экстренного торможения. В случае остановки подвижного состава в результате неисправности, следующему за ним поезду ставится задача подъехать к неисправному поезду на низкой скорости и вытолкнуть его с главного пути. С 2006 года Siemens совместно с компанией Lohr, создает систему VAL нового поколения (NeoVAL). В проекте предусмотрены более вместительные поезда AirVAL в виде модульных конструкций и современная инфраструктура, которая предусматривает направляющую систему с одним центральным рельсом, от Translohr. Концепция VAL является предпочтительной там, где объем перевозок относительно небольшой и вагоны малых размеров могут справиться с невысоким потоком пассажиров.

## Проект AutoHaul от Rio Tinto

Проект AutoHaul был запущен австралийской железнодорожной компанией Rio Tinto в 2012 году с целью создать первую автоматизированную железнодорожную сеть дальнего следования для тяжелых грузов [4]. В июле 2018 года



Рисунок 3. Тяжеловесный поезд для перевозки железной руды Rio Tinto. Источник: сайт <https://www.hitachi.com/>

автопоезд AutoHaul совершил свой первый рейс под удаленным контролем группы диспетчеров из операционного центра в Перте, находящемся на расстоянии более 1,5 км. Поезд доставил 28 000 т железной руды от шахты до порта в Западной Австралии, преодолев 300 км. Rio Tinto управляет автономным парком, состоящим из 221 большегрузных локомотивов. Для каждого локомотива, подключенного к автономной железнодорожной сети, отслеживаются состояние подвижного состава, сигналы тревоги и видео (события обнаружения столкновений, события, связанные с препятствиями на железнодорожном переезде). Состав поезда включает трехсекционный тепловоз и 240 вагонов по 106 т каждый. Длина поезда составляет 2,5 км (рис. 3). Максимизация эффективности перевозки является первоочередной задачей управления движением поездов, поэтому поезда могут отправляться после завершения загрузки без подготовки и смены локомотивной бригады.

AutoHaul основан на АТО и ETCS уровня 2. Система включает четыре основных сегмента:

- инфраструктура связи и передачи данных;
- удаленный операционный центр;
- системы управления и определения препятствий на поезде;
- устройства безопасности и сигнализации.

Благодаря отсутствию необходимости подготовки и замены локомотивных бригад гибкость графика движения возросла, а скорость беспилотных поездов увеличилась на 6% по сравнению с пилотируемыми.

## Проект SNCF «Автономный поезд»

Национальный железнодорожный оператор во Франции SNCF в 2018 году запустил два проекта по созданию беспилотного поезда для разработки прототипа автономного регионального пассажирского поезда (совместно с Bombardier, Bosch, SpirOps, Thales) и для грузовых перевозок (совместно с Alstom, Altran, Hitachi, Apsys) [5]. Было объявлено о старте масштабного внедрения автоматизированных прототипов поездов в 2025 году. Дистанционное управление поездом обеспечивается работой датчиков и камер, передающих информацию на экраны и контроллеры. В ходе испытаний были опробованы две технологии передачи: спутниковое соединение и соединение LTE, эквивалентное стандарту 4G. >>>

Испытания грузового поезда Prima BB 27000 проводились в октябре 2020 года. Локомотив прошел путь в полуавтоматическом режиме на уровне GoA2.

Испытания прототипа пассажирского поезда Regio 2N проводились в два этапа: в марте и мае 2021 года. Первая серия испытаний была нацелена на исследование системы распознавания путевых сигналов и системы геолокации на базе спутниковых технологий. Датчики были включены для наблюдения за работой поезда, но не контролировали движение. Управление осуществлялось машинистом. На втором этапе поезд был оборудован тепловизионными камерами, лидаром и радаром, а также была настроена полуавтономная система ведения, управляющая ускорением и торможением. Максимальная скорость, достигнутая прототипом, составила 25 км/ч. Вывод автономного поезда на линию планируется уже в 2023 году.

## Проект *Thameslink*

В коллаборации британского оператора Govia Thameslink Railway и компаний Network Rail и Siemens была разработана система автоведения, построенная на принципе работы поверх ETCS уровня 2, выполнявшей автоматическую защиту поезда с наивысшим уровнем безопасности SIL4 [6]. Запуск первого пассажирского поезда, оснащенного такой системой, состоялся в 2018 году. Состав был пропущен по центральной железнодорожной полосе Thameslink в 225 км в автоматическом режиме на уровне GoA2. При таком уровне автоматизации машинист контролирует открытие и закрытие дверей, начало движения поезда, а также общую ситуацию на железнодорожных станциях и остановочных пунктах. Поезда Thameslink не предусматривают систему управления поездом по радиоканалу (CBTC). САУ ДП работает на базе электронной карты маршрута. Информация с электронной карты синхронизируется с цифровой моделью пути, которая хранится и обновляется централизованно на сервере системы АТО. Машинисту необходимо осуществить только контроль остановки на платформе и закрытия дверей.

## Проект *Digital S-Bahn*

В октябре 2018 года Deutsche Bahn и Siemens представили первые четыре поезда с полностью автоматическим движением на региональных и магистральных железнодорожных линиях Гамбурга на участке, оснащенный системой ETCS уровня 2 протяженностью 23 км [7]. Все четыре поезда находятся в регулярном пассажирском сообщении с сентября 2022 года. В дальнейшем планируется оборудование вагонов системой «АТО поверх ETCS». Машинисты присутствуют в кабине, чтобы следить за движением поезда и брать на себя управление в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Во время маневров движение контролируется из центра управления с ролью «удаленного машиниста поезда». Графический пользовательский интерфейс информирует машиниста-оператора поезда о текущем состоянии

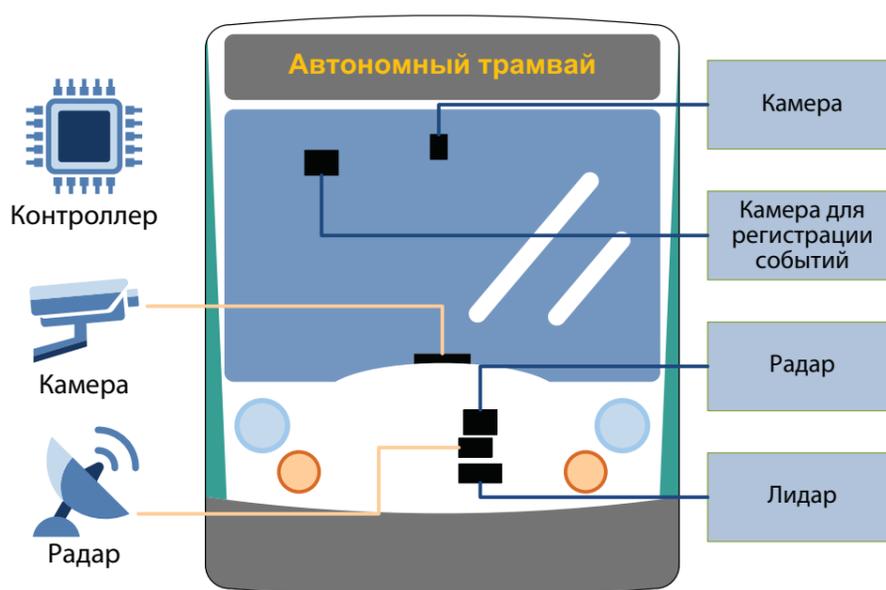


Рисунок 4. Оборудование автономного трамвая от Siemens

беспилотного транспортного средства (например, о его местоположении или скорости). В проекте предусмотрено автоматическое открывание и закрывание дверей поезда на платформах станций.

## Проект *автономного трамвая* в Потсдаме

В 2018 году немецкая компания Siemens стартовала проект автономного трамвая с возможностью автоматического обнаружения препятствий в условиях эксплуатации, способного разогнаться до 50 км/ч. Различные датчики трамвая – лидары, радары, камеры – помогают собирать информацию о внешней среде, которую, используя сложные алгоритмы, анализирует искусственный интеллект (ИИ) с целью оценки и прогноза дорожной ситуации и последующей реакции на обнаруженные препятствия (рис. 4). Скорость трамвая автоматически снижается при подъезде к остановке и возрастает после совершения остановки. Проект предусматривает наличие водителя в кабине на случай непредвиденных обстоятельств.

## Проект *Crossrail*

В Великобритании также частично реализован проект Crossrail новой автоматизированной железнодорожной линии Elizabeth, протяженность которой составляет 118 км [8]. Планируется, что железная дорога свяжет городские районы, а также восточные и западные пригороды Лондона. Центральная часть линии проложена через подземный тоннель под центром города. Поезда Crossrail, в отличие от проекта Thameslink, оснащены не только системой АТР, функции которой может выполнять система ETCS, но и системой CBTC. Поезда дальнего следования имеют предусмотренные системой CBTC функции АТО только внутри города (рис. 5). Открытие первого участка линии состоялось в мае 2022 года. >>>

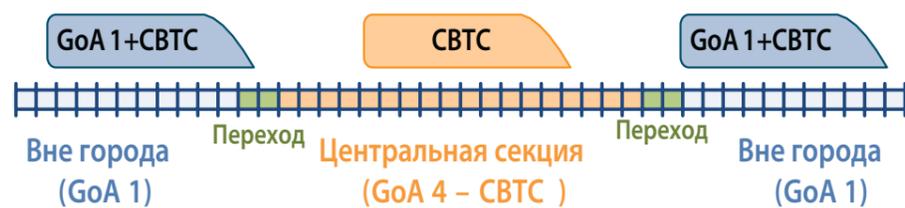


Рисунок 5. Двойная система управления поездом в проекте Crossrail

## Развитие систем автоведения в Китае

В рамках подготовки к Олимпийским играм в 2022 году в Китае в эксплуатацию была введена высокоскоростная железная дорога Пекин-Чжанцзякоу СТС уровня 3 в сочетании с АТО протяженностью 174 км, которая стала одним из крупнейших инфраструктурных проектов [9]. Сейчас китайские поезда «Фусин», движущиеся со скоростью 350 км/ч, доставляют пассажиров из одного олимпийского города в другой за время от 55 мин до 1 ч 17 мин в зависимости от числа остановок вместо привычных 3 ч. На новой высокоскоростной магистрали предусмотрена основанная на искусственном интеллекте система диспетчерского управления движением поездов, реализующая функции интеллектуального обнаружения случаев отказа и динамического диспетчерского управления. Данная система обеспечивает повышение безопасности, оперативности и качества управления поездной работой посредством полной автоматизации процесса принятия решений при возникновении сбоев, что благоприятно влияет на уровень безопасности пассажиров и соответствует высокому уровню клиентоориентированности. Дополнительно для прохода на станцию используется, совместно с электронными билетами, система сканирования удостоверения личности, а также применяется технология распознавания лица.

## Проекты от JR Central, JR West и JR East

JR Central объявила о планах оснастить системой автоведения в 2028 году 16-вагонные высокоскоростные поезда Shinkansen N700S, которые с 2020 года выпускаются Hitachi Rail и Nippon Sharyo (рис. 6) [10]. Разработанный на основе более ранней конструкции серии N700, новый поезд N700S (где «S» означает «Supreme») будет включать в себя ряд новых функций. Усовершенствованные системы автоматического управления и торможения позволят сократить тормозной путь в чрезвычайных ситуациях, таких как землетрясения. Сейчас в парке перевозчика 12 таких поездов, недавно были заказаны еще 13. JR Central проводит тестовые испытания в автоматическом режиме с ноября 2021 года. Поезда могут сами регулировать скорость, выполнять торможение и остановку. При этом машинист присутствует в кабине на случай чрезвычайных ситуаций, а также для запуска поезда. В направлении беспилотных систем в Японии работает большинство крупных перевозчиков. Так, в 2022 году перевозчик JR West приступил к сертификационным испытаниям автоматического движения на уровне GoA2 на поезде серии W7, а в 2021 году другой оператор JR East провел испытания высокоскоростного поезда с уровнем



Рисунок 6. Высокоскоростной поезд Shinkansen N700S. Источник: Wikipedia

автоматизации GoA4 на кольцевой линии Яманоте в Токио протяженностью 34,5 км, состоящей из 29 станций и являющейся частью сети линий узкой колеи (1067 мм). Линия Яманоте как аналог Московского центрального кольца (МЦК) предназначена для эксплуатации в городе и ближайших пригородах. Есть предположение, что при условии возникновения неполадок такая система автоведения обеспечит более скорое восстановление движения поезда и тем самым повысит эксплуатационные показатели. Особенностью линии Яманоте является то, что она не совмещена с другими железнодорожными путями, как и МЦК.

## Развитие САУ ДП в СССР

Начало развития систем автоматического управления в СССР относится к концу 1960-х годов, когда несколько линий Московского, Ленинградского, Киевского и Харьковского метрополитенов были оснащены централизованными системами управления. Разработаны новые системы автоведения поездов, позволяющие двигаться без присутствия машиниста на борту. Шлейфы и индуктивные датчики определяли локацию поездов. Так, в начале 1960-х прошли испытания системы автономного ведения поездов на метрополитене в Москве, а на одной из линий Ленинградского метрополитена была впервые произведена попытка применить комплексную систему автоматического управления (КСАУ), объединившей в себе систему автоведения и систему обеспечения безопасности движения поездов. Данная система в будущем усовершенствовалась и стала основной на нескольких станциях метро. В 1981 году КСАУ были внедрены в Москве, Ленинграде, Харькове и Ташкенте.

В дальнейшем уровень надежности и эффективности данной системы повысился благодаря развитию микропроцессорных вычислительных средств, что позволило в 1990 году провести ряд испытаний бортовых устройств в автономном режиме в харьковском метрополитене. При этом во время испытательных работ присутствовали пассажиры. В результате испытания было выявлено незначительное отклонение в заданных параметрах времени прохождения пути, не превышавшее  $\pm 2,5$  с; погрешность остановки не превышала значения в 30 см [11].



## Развитие САУ ДП в современной России

Компания «Российские железные дороги» входит в число организаций, которые одни из первых в мире стали разрабатывать и развивать автоматизированные железнодорожные системы, интегрированные в городскую среду и предназначенные для всеобщего использования.

Так, например, на станции Лужская в результате проведения работ по объединению элементов систем технического зрения и позиционирования с системами управления движением маневровых поездов разработан особый комплекс управления маневровыми передвижениями в зоне сортировочной станции. Данная деятельность велась с 2015 года в рамках проекта «Цифровая сортировочная станция», который является первым и довольно важным примером апробации интеллектуальных систем в ОАО «РЖД» является проект «Цифровая сортировочная станция». В настоящее время на станции Челябинск-Главный внедряется новый проект «Цифровой железнодорожной станции» с модульной архитектурой и максимальным исключением влияния «человеческого фактора» на выполнение технологических операций за счет внедрения безлюдных технологий с использованием соответствующих устройств и решений. Один из модулей станции «Модуль автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями» будет реализовываться за счет применения технического зрения, высокоточного позиционирования с учетом формирования электронной карты, а также широкополосной системы связи.

Полученный опыт автоматического управления маневровыми локомотивами учитывался при разработке системы автоматического управления электропоездом «Ласточка». За прошедшее время на данных полигонах выполнен значительный объем испытаний и наработана платформа для практической реализации проектов автоматического управления.

В настоящее время ОАО «РЖД» на Московском центральном кольце (МЦК) создается беспилотная транспортная система, где предусмотрена интеграция электропоездов «Ласточка» с принципиально новой гибридной системой управления, а также комплекс современных инфраструктурных и бортовых технических решений [12].

Необходимость перехода к автоматизированным системам управления обусловлена увеличением нагрузки на персонал, что может потенциально привести к замедлению реакции машиниста при оценке и принятии правильных решений в связи с изменением поездной обстановки, а также увеличением случаев возникновения сбоев, вызванных несоблюдением правил и норм безопасности сотрудниками обслуживающего персонала вследствие переутомления. Поэтому важнейшими задачами в рамках реализации проекта по введению в эксплуатацию системы автоматического управления «Ласточка» уровня GoA4 на МЦК являются уменьшение межпоездного интервала до 3 мин, неукоснительное соблюдение графика движения поездов, замена человеческого фактора в управлении поездами на современные технологии управления, позволяющими управлять поездами с высокой эффективностью, скоростью и безопасностью.

## Выводы

Исходя из анализа развития проектов по автоматическому управлению поездами в мире, можно с уверенностью сказать, что первыми серьезными внедрениями на железнодорожном транспорте в классическом варианте системы автоматического управления были решения советских и японских ученых, которые в 1960-х годах начали применять искусственный интеллект ЭВМ того времени для управления поездами. Элементная база тех лет не позволяла осуществлять такое управление с достаточным уровнем функциональной безопасности, но не смотря на трудности, технологические решения прошлого века позволили осуществить значительный скачок в развитии проектов автоматического управления движением поездов.

В 2000-х годах Европе и США наибольшее распространение получили системы «адаптивного» управления поездами, которые позволили поездам двигаться с разными скоростями в зависимости от плотности движения на участке. В 2020-х годах в мире стали широко использоваться технологии «умных» поездов, которые могут определять свою скорость, расстояние до препятствий, местоположение по окружающим инфраструктурным объектам с помощью сенсоров различной физической природы, навигационных датчиков и цифровой модели пути. По видам управления поездами в мире используются различные системы, такие как: PTC (*Positive Train Control*) в США, ETCS (*European Train Control System*) в Европе, CTC (Chine Train Control System) в Китае. В целом, развитие САУ ДП в мире идет в интеграции с такими цифровыми платформами, как цифровое управление транспортом, «умные» города, интеллектуальные транспортные системы, киберфизические системы и т.д.

В России основное внимание уделяется расширению и совершенствованию существующих технических решений (высокоточное позиционирование, определение препятствий на пути следования на расстоянии свыше 500 м и т.д.) во взаимосвязи с разработкой обеспечивающих технологий (калибровка датчиков, создание цифровых моделей пути, обнаружение препятствий в зоне посадки высадки пассажиров и зонах особой важности и т.д.) в области САУ ДП, которые на сегодняшний день создают необходимые предпосылки для внедрения полностью автономных систем управления. Необходимо отметить, что при решении текущих проблем полной автоматизации появляются совершенно новые задачи, которые не имеют готовых решений или аналогов в прошлом. На повестке дня стоит вопрос доказательства функциональной безопасности новых цифровых средств, таких как системы технического зрения и искусственного интеллекта, на базе которых принимаются ответственные решения.

Основные тренды, влияющие на значительный рост рынка автономных поездов, проявляются в увеличении площади телекоммуникационного покрытия, во внедрении Интернета вещей (IoT), технического зрения и элементов искусственного интеллекта на транспорте [13]. Основной движущей силой рынка автономных поездов являются инвестиции правительств развитых стран в транспортную мобильность, проектирование конструкций новых поездов, оснащенных интеллек-



туальными системами, которые управляются с помощью цифровых технологий и должны стать полностью автономными. Появляются новые профессии операторов-машинистов, способных дистанционно контролировать все параметры поезда, а в случае аварийных ситуаций готовых взять управление на себя.

В прогнозной оценке Азиатско-Тихоокеанский регион и Северная Америка будут доминировать на рынке автономных поездов в период 2025-2030 годов. Азиатско-Тихоокеанский регион имеет одну из крупнейших железнодорожных сетей в мире, и ожидается, что рынок автономных поездов в этом регионе продемонстрирует и дальше значительный рост.

Основными тенденциями развития САУ ДП является расширение использования данных систем в различ-

ных странах, включая развивающиеся страны, которые сталкиваются с увеличением объемов перевозок и необходимостью оптимизации железнодорожной инфраструктуры. Улучшение технических возможностей систем автоматического управления поездами, включая улучшение точности и надежности, с целью увеличения пропускной способности в условиях высокой плотности трафика, внедрение более совершенных систем связи и обмена данными между поездами и центром управления, позволяет вывести на новый уровень формат управления автономными поездами. Для повышения уровня безопасности движения поездов важно продолжать создание более эффективных систем контроля и прогноза состояния, предотвращающих аварии и уменьшающих риски для пассажиров и грузов. ■

## Список литературы

1. Mordor Intelligence: рынок автономных поездов – рост, тенденции, влияние Covid-19 и прогнозы (2023–2028 гг.) / URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/autonomous-train-market> (дата обращения: 28.04.2023).
2. Mail Rail / URL: <https://www.postalmuseum.org/visit-us/schools/museum-visits/mail-rail-schools/> (дата обращения: 29.01.2023).
3. Политех: наука и инновации – Искусственный интеллект встал на рельсы / URL: [https://research.spbstu.ru/print/news/iskusstvennyy\\_intellekt\\_vstal\\_na\\_relsy.pdf](https://research.spbstu.ru/print/news/iskusstvennyy_intellekt_vstal_na_relsy.pdf) (дата обращения: 15.11.2022).
4. Heavy Haul Freight Transportation System: AutoHaul / URL: [https://www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020\\_06/pdf/06a05.pdf](https://www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020_06/pdf/06a05.pdf) (дата обращения: 15.11.2022).
5. SNCF. Driverless trains: on track for a rail revolution / URL: <https://www.sncf.com/en/innovation-development/innovation-research/driverless-trains-to-run-in-2023> (дата обращения: 08.12.2022).
6. Thameslink Programme – New Trains/Technology – ATO / URL: <https://www.thameslinkprogramme.co.uk/learning-legacy/new-trains-technology/ato/> (дата обращения: 29.01.2023).
7. Digital S-Bahn Hamburg: first highly automated S-Bahn in passenger service / URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/digital-S-Bahn-Hamburg> (дата обращения: 29.01.2023).
8. Crossrail Project Update / URL: <https://www.crossrail.co.uk/news/articles/crossrail-project-update> (дата обращения: 29.01.2023).
9. Железные дороги мира: развитие системы сигнализации в Китае и автоведение поездов / URL: <https://zdmira.com/articles/razvitie-sistemy-signalizatsii-v-kitae-i-avtovedenie-poezdov> (дата обращения: 28.04.2023).
10. ROLLINGSTOCK: news and trends of railway rolling stock markets / URL: <https://rollingstockworld.ru/passazhirskij-ps/jr-central-planiruet-vnedrit-sistemu-avtovedeniya-na-vysokoskorostnyh-poezdah-v-2028-godu/> (дата обращения: 28.04.2023).
11. Баранов Л.А. Автоматическое управление движением поездов метрополитена / Л.А. Баранов // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3. – С. 156–165 (дата обращения: 29.01.2023).
12. Попов, П. А. Поезд без машиниста – российские перспективы / П. А. Попов, А. Л. Охотников // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 8. – С. 4-6. – DOI 10.34649/AT.2019.8.8.001. – EDN TRXKMN.
13. Охотников, А. Л. Искусственный интеллект для железной дороги / А. Л. Охотников, А. В. Зажигалкин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 5. – С. 30-34. – DOI 10.34649/AT.2021.5.5.004. – EDN IFAYJK.

УДК 528.02; 528.06

# Киберпространство транспортной инфраструктуры

## Transport infrastructure cyberspace

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

E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

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

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



### Аннотация

Исследуется киберпространство транспортной инфраструктуры. Объективная необходимость применения киберпространства вытекает с одной стороны из-за широкого использования разных информационных пространств, с другой стороны возникает потребность новых форм управления производством и транспортом. Киберпространство транспортной инфраструктуры рассматривается как новый инструмент управления в сфере транспорта. Описаны системы управления транспортом в киберпространстве. Статья описывает киберпространство как совокупность вложенных информационных и киберпространств. Раскрывается содержание двух основных компонент киберпространства: координатного и коммуникационного. Описаны локальные информационные пространства, входящие в киберпространство: радиорелейное информационное пространство и пространство радиоэлектронных меток.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортная инфраструктура, киберпространство, кибербезопасность, управление.

### Abstract

The article explores the cyberspace of transport infrastructure. The objective need for the use of cyberspace arises, on the one hand, from the widespread use of various information spaces, on the other hand, there is a need for new forms of production and transport management. The cyberspace of transport infrastructure is seen as a new management tool in the field of transport. The transport control systems in cyberspace are described. The article describes cyberspace as a set of nested information and cyberspaces. The content of two main components of cyberspace is revealed: coordinate and communication. The local information spaces included in the cyberspace are described: the radio relay information space and the space of electronic labels.

**Keywords:** transport, transport infrastructure, cyberspace, cybersecurity, management.



## Введение

Киберпространство транспортной инфраструктуры возникло естественным путем за счет тенденции развития и интеграции информационных пространств и в первую очередь сетевых типа интернета и Интернета вещей. Современное управление транспортной инфраструктурой требует применения разных информационных пространств [1]. Информационные пространства выполняют две основные функции: информационное обеспечение и управленческую поддержку. Следует подчеркнуть, что они выполняют именно функции поддержки. Управление осуществляют различные центры управления. Взаимодействие между киберпространством и реальным пространством открывает возможность создания новых пространств, которые являются синтетическими пространствами, ранее не существовавшими.

Киберпространство есть новая форма искусственно-информационного пространства, построенная на отношении искусственного и реального пространства. Если рассматривать отношение киберпространства и кибернетики, то киберпространство ближе к социальной кибернетике [2], чем к технической кибернетике. В первоначальной концепции кибернетики Винера основная идея была построена на обратной связи и тому, при которой одна часть системы может контролировать другую. Киберпространство опирается в первую очередь на коммуникации и на глобальное информационное пространство, с вложенными в него локальными информационными и киберпространствами.

Киберпространство, в отличие от технической системы управления, является открытым и ориентировано в большей степени на мягкое управление. Киберпространство создает условия для саморазвития и проявления синергетических эффектов. Существует различие между киберпространством и информационным пространством. Информационное пространство большей частью пассивно и выполняет функции информирования. Киберпространство активно и активно воздействует на объекты транспортной инфраструктуры [3] и может менять их состояние.

Киберпространство в области транспорта выполняет четыре основные функции. Первая функция связана с обеспечением информационной безопасности и кибербезопасности. Вторая функция связана с поддержкой управленческих технологий. Наиболее ярко эта функция проявляется в технологии «цифровых двойников». Третья функция связана с созданием коммуникационного пространства или коммуникационной среды. Наиболее ярко эта функция проявляется в технологии Интернета вещей и цифровой железной дороги. Четвертая функция киберпространства связана с обучением, в том числе в сфере транспорта. В этой части широко применяют виртуальные и иммерсивные технологии. Обучение осуществляют на основе виртуальной реальности, смешанной реальности, дополненной реальности и иммерсивных технологий и систем. Еще одна функция киберпространства связана с взаимодействием человека с киберпространством и с осознанием человека в киберпространстве [4].



Рисунок 1. Основные системы управления транспортом в киберпространстве

## Системы киберпространства

Транспортное киберпространство содержит ряд систем, связанных с управлением объектами транспортной инфраструктурой, и в первую очередь с управлением подвижными объектами. На рис.1 приведены основные системы управления, входящие в транспортное киберпространство.

На рис.1 системы управления расположены в порядке усложнения слева направо. Первыми и наиболее простыми в этом типологическом ряду являются автоматизированные системы управления транспортом (АСУТ). К классу АСУТ относят также ситуационные центры управления движением. Их работа строилась на технологиях АСУ и технологиях автоматизации процессов управления в разной степени. Качественно новым этапом стали интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые являлись адаптацией интеллектуальных систем применительно к задачам управления дискретными транспортными потоками и подвижными объектами. В этих системах алгоритмы заменялись на правила и эти системы стали самообучаемыми и само развивающимися.

Следующим этапом, характеризующим распределенное управление, стали технологии Интернета-вещей (IoT). Самыми сложными системами в киберпространстве являются транспортные кибер-физические системы, которые характеризуются распределенной системой датчиков и встроенными вычислителями. Информация от датчиков поступает в локальный и центральный узлы обработки. Встроенные вычислители обладают subsidiarностью. Они позволяют вычислять и оценивать ситуацию на месте и на этой основе принимать решение независимо от центра управления движением.

## Вложенные информационные пространства в киберпространстве

Киберпространство в области транспортной инфраструктуры обладает вложенностью. Глобальное пространство включает меньшие по масштабу пространства. На рис.2 показана связь различных информационных пространств, входящих в киберпространство транспортной инфраструктуры (КПТИ).

Киберпространство транспортной инфраструктуры включает два качественно разных, но дополняющих друг друга информационных пространства. Коммуникационное пространство является типичным для мно- >>>

гих видов киберпространства. Например, для сетевого киберпространства или киберпространства Интернет. Координатное пространство [5] транспортной инфраструктуры является специфическим и характеризует именно транспортную инфраструктуру. Это пространство задает пространственное управление. Координатное пространство КПТИ используется: при управлении недвижимостью транспортной инфраструктуры; при управлении подвижными объектами; при решении задач размещения объектов транспортной инфраструктуры, при оптимизации маршрутов движения. Координатное пространство КПТИ используется при проектировании и строительстве объектов транспортной инфраструктуры.

Координатное пространство КПТИ создается двумя путями «снизу и сверху». Традиционно в геодезии координатное пространство создавалось с основания, то есть с использования геодезических сетей на поверхности Земли, на основе которых проводилось разбивочные работы и выносились проекты в натуру. Это технология «снизу».

Развитие спутниковых технологий предоставило новый вариант создания координатного пространства с помощью Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Это технология «сверху». Спутники образуют независимую от земной поверхности пространственную систему координат, привязанную к центру масс Земли. Недостатком этой системы является неточная привязка к земной поверхности. Земля имеет относительно сложную конфигурацию, далекую от правильной геометрической фигуры. Поэтому идеальное геометрическое пространство не всегда точно описывает положение пространственных объектов применительно к поверхности Земли.

Для устранения этого недостатка придумали системы базовых станций как пространственный интерфейс. Эти системы, с одной стороны, привязаны к ГНСС как к глобальной общеземной системе координат, с другой стороны они привязаны к конкретной части земной поверхности. Они фактически связаны с геодезическими сетями и измеряют координаты на конкретной части земной поверхности с учетом реперных или иных геодезических сетей.

Информационное пространство базовых станций (рис.2) связывает глобальную систему спутниковых координат с геодезическими сетями на участке земной поверхности. ГНСС обеспечивает сопоставимость и координацию в масштабе Земли. Навигационное пространство ГНСС есть глобальное информационное пространство для всей Земли. Базовые станции обеспечивают привязку и точность измерений на конкретных участках поверхности Земли. Они создают локальное информационное пространство для части земной поверхности, на которой решаются задачи управления ОТИ.

Координатное пространство КПТИ за рубежом дополняется системой реперных сетей (информационное координатное пространство сетей), расположенных вдоль железнодорожных трасс. Это пространство решает задачи геометрического контроля состояния трасс и объектов транспортной инфраструктуры независимо



Рисунок 2. Вложенные информационные пространства

от спутниковых технологий. Оно представляет собой автономную геодезическую сеть, предназначенную только для решения задач транспорта. В России из-за большой протяженности дорог и, соответственно, высокой стоимости эти сети не создают полностью, но кое где создают фрагментарно.

Коммуникационное пространство КПТИ решает задачи не только связи, но и координирования. Как известно, системы космической телефонной связи обладают принципиально теми же возможностями по навигации, что и ГНСС, но с меньшей точностью.

Как альтернатива ГНСС возможно создание радиорелейного координатного пространства, которое решает задачи координирования и управления подвижными объектами. Эта идея запатентована в НИИАС [6] в виде создания радиорелейного информационного пространства, которое обладает возможностью оперативного управления объектами при наличии цифровой модели железнодорожного полотна. С одной стороны это ограничение, но с другой стороны эта информация независимо собирается, существует и ее можно использовать для управления.

Локальным информационным пространством является информационное пространство электронных меток [7]. Электронные метки обычно используют индивидуально для контроля вагонов или грузов. В работе предложена идея создания такого пространства путем массовой установки системы меток координирования их с помощью дополнительных геодезических методов. В результате возникает система электронного контроля движения, которая может работать селективно по видам грузов. Обычная электронная метка отвечает на вопрос «да/нет». Есть вагон или нет, есть груз или нет. Вопросы координации отходят на второй план. Система электронных меток дает возможность: отслеживать наличие объекта, определять его координаты с геодезической точностью, определять скорость движения, а также дополнительно интенсивность потока грузов. >>>

## Угрозы в киберпространстве

Киберпространство является более открытым, чем техническая система управления. Такая открытость создает дополнительные угрозы и ставит дополнительные проблемы. С областью угроз в киберпространстве связаны понятия управления рисками и кибербезопасность. Кибербезопасность — это «способность защищать или защищать использование киберпространства от кибератак [8].

Существуют различные типы кибератак, такие как вредоносное ПО, фишинг, атака «человек посередине», межсайтовый скриптинг, внедрение SQL, ботнеты, социальные ботнеты, атаки на основе шпионажа, которые крадут данные и информацию, перехват последней мили, ошибки/перехват передачи, критическая инфраструктура, кибер-похищение, кибер-вымогательство, хактивизм [9]. Поэтому для повышения кибербезопасности большинство стран разработали законы о защите данных.

Растущая тенденция к аутсорсингу данных третьим сторонам создает неизбежные риски для информационной безопасности и защиты данных.

Современное киберпространство включает облачные технологии. Применение облачных технологий приводит к тому, что системы управления и системы данных будут мигрировать на облачную платформу.

Традиционные инструменты безопасности не предназначены для решения проблем при внедрении облака. Это мотивирует разработку специальных решений по управлению безопасностью облачных технологий. Предлагаются различные решения типа CSA [10].

Кроме того, при решении проблемы больших данных за счет облачных вычислений [11, 12] также возникает несколько проблем с точки зрения облачного хранения данных с учетом конфиденциальности, безопасного и масштабируемого контроля доступа.

Кибербезопасность является самой большой проблемой для клиентов, которые передают свои личные и личные данные в облачное хранилище, поскольку это связано со многими киберрисками. Существует множество кибер-рисков, связанных с облаком, таких как захват учетной записи, сложные постоянные угрозы (APT), утечка данных, потеря данных, отказ в обслуживании, небезопасный API, злонамеренные инсайдеры, неправомерное и нечестное использование облачных сервисов, недостаточная осторожность, проблемы с общими технологиями, уязвимости систем и приложений и слабая идентификация.

Железные дороги являются важной критической инфраструктурой. Железнодорожная отрасль оказывает существенное влияние на общество как в пассажирских, так и в грузовых перевозках. Это облегчает массовый транспорт людей из одного места в другое и огромное количество товаров для торговли и бизнеса с более быстрой досягаемостью и экономической ценностью. Кибер-инциденты могут привести к целому ряду возможных последствий, от нарушения статуса до прерывания работы и даже травм и гибели людей из-за взлома систем.

В настоящее время разработаны несколько архитектур, для обеспечения безопасности на железных дорогах [8].

Одно из предложений включает архитектуру многоуровневой интеллектуальной системы защиты информации. Предлагают меры по смягчению последствий с учетом жесткой политики безопасности, сотрудничества между юридическими, государственными, технологическими и социальными аспектами. Комплексный подход к безопасности, конфиденциальности и надежности (SPD) во встроенных системах был разработан платформой SHIELD, которая может применяться к железнодорожному наблюдению [13].

Поскольку эксплуатация и техническое обслуживание железных дорог имеют первостепенное значение, в LTU разработана платформа eMaintenance для реализации систем поддержки принятия решений, отвечающих требованиям железнодорожной отрасли [14]. Она действует как стратегия обслуживания, при которой различные задачи управляются в электронном виде с использованием данных об элементах в режиме реального времени, таких как мобильные устройства, дистанционное беспроводное зондирование, мониторинг состояния, инженерия знаний, телекоммуникации и интернет-технологии.

В рамках стандарта ISO 27000 (информационная безопасность) модель PDCA применяют для структурирования всех процессов системы управления информационной безопасностью (Information Security Management System, ISMS), где требования информационной безопасности и ожидания заинтересованных сторон выступают в качестве входных данных, а необходимые действия и процессы обеспечивают результаты информационной безопасности, которые соответствуют этим требованиям. и ожидания [15]. Основными задачами данного исследовательского проекта являются:

1. Выявить потенциальный риск и последствия сбоя в защите данных/информации в железнодорожной инфраструктуре.
2. Изучить современные методы исследования в области безопасности данных/информации и рекомендовать наиболее подходящие методы для железнодорожной инфраструктуры.
3. Провести исследование потенциала защищенных данных и его стоимостную оценку.

Железнодорожные системы переходят на более интеллектуальные и связанные системы, что открывает новые возможности для злоумышленников и киберпреступников. Безопасность должна учитываться в транспортной сфере для защиты операторов, экономических аспектов и безопасности граждан.

Транспортная сфера сталкивается со многими проблемами. Во-первых, в Европе нет закона о кибербезопасности на транспорте. Поэтому в этой области системы управления сталкиваются с низким уровнем осведомленности. Заинтересованным сторонам железных дорог трудно выделить бюджет на эту конкретную тему из-за отсутствия законодательных нормативных документов. Использование разнородных технологий и программных решений приводит к очень разнообразным и несопоставимым наборам данных. Существует также множество проблем, связанных с большими данными для железных дорог. >>>

С точки зрения информационной безопасности, основной задачей железнодорожного сектора является снижение риска потенциальной потери данных и обеспечение стабильной и стабильной работы железных дорог. В случае возникновения проблемы могут возникнуть важные последствия, такие как остановка поезда, негативные экономические последствия, потеря доверия и несчастные случаи. Меры защиты от кибератак в железнодорожном секторе еще не полностью разработаны. Недостаточно осведомлены о новых рисках, и риски не учитываются в полной мере из-за невысокого уровня безопасности на железнодорожном транспорте [16].

Потенциальными системами, которые могут быть подвержены кибербезопасности на железной дороге, являются электронные системы блокировки, системы защиты железнодорожных переездов, автоматическая система блокировки, системы трансмиссии гусеничного транспорта, дополнительные системы (например, связь, обнаружение отказов)

Существует и применяется вредоносное ПО для атак на Центр управления операциями или блокировками, существуют беспроводные атаки на беспроводную связь (GSM-R), существуют парольные атаки на *Radio Block Center* и т. Контекстно общим методом поддержки безопасности являются разные виды мониторинга. В том числе и радио электронный мониторинг.

## Заключение

Современное киберпространство рассматривают как «глобальный домен в информационной среде, состоящий из взаимозависимой сети инфраструктур информационных систем, включая Интернет, телекоммуникационные сети, компьютерные системы и встроенные процессоры и контроллеры» [9].

Киберпространство транспортной инфраструктуры формируется на основе интеграции глобальных и локальных информационных пространств, и локальных киберпространств. Оно является новым инструментом управления в сфере транспорта. Киберпространства транспортной инфраструктуры обеспечивает преемственность между разными системами управления транспортом: АСУТ, ИТС, ТКФС. Киберпространства транспортной инфраструктуры создает условия для функционирования цифровой железной дороги. Основная проблема киберпространства – проблема кибербезопасности. Киберпространство является открытой системой. Поэтому по мере его развития возрастают разнообразные кибер угрозы. Нейтрализация этих угроз вторая задача после задачи управления. ■

## Список литературы

1. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Социальная кибернетика в цифровизации транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.3-14.
3. Андреева О.А. Кибернетическое зеркалирование для управления предприятиями транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №4 (20). – С.19-27.
4. Gálík S. On human identity in cyberspace of digital media //European Journal of Tranformation Studies. – 2019. – Т. 7. – №. 2. – С. 33-44.
5. Розенберг И.Н., Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009. -67 с.
6. Розенберг Е.И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б.В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU 95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010
7. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геодезические сети электронных меток // Науки о Земле. – 2018. – №4. – С.17-27.
8. Kour R. et al. A review on cybersecurity in railways //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2023. – Т. 237. – №. 1. – С. 3-20.
9. Thaduri A. et al. Cybersecurity for eMaintenance in railway infrastructure: risks and consequences //International Journal of System Assurance Engineering and Management. – 2019. – Т. 10. – С. 149-159.
10. CSA Top Threats Working Group (2016) The treacherous 12: cloud computing top threats in 2016. Cloud Security Alliance (CSA), Feb.
11. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110-115.
12. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
13. Priscoli FD, Giorgio AD, Esposito M, Fiaschetti A, Flammini F, Mignanti S, Pragliola C (2017) Ensuring cyber-security in smart railway surveillance with SHIELD. Int J Crit Comput Based Syst 7(2):138–170.
14. Karim R (2008) A service-oriented approach to e-maintenance of complex technical systems (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
15. ISO/IEC (2007) 27001:2005, Information technology—security techniques—information security management systems—requirements.
16. Masson É, Gransart C (2017) Cyber security for railways—a huge challenge—Shift2Rail perspective. In: International workshop on communication technologies for vehicles. Springer, Cham, pp 97–104.

УДК: 528.02; 528.06

# Геодезическое обеспечение мониторинга состояния зданий и сооружений

## Geodetic support for monitoring the condition of buildings and structures

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

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



### Аннотация

В статье исследуется геодезическое обеспечение мониторинга состояния зданий и сооружений объектов транспортной инфраструктуры. Показано многообразие объектов, которое влечет многообразие мониторинга. Выделено два типа объектов транспортной инфраструктуры: геотехнические и природные. Показано, что сам мониторинг нуждается в поддержке, без которой его реализация невозможна. Выделено два вида поддержки: координатная и технологическая. Среди объектов транспортной инфраструктуры выделяют основные и вспомогательные. Основные объекты это те, которыми проводится мониторинг с целью исследования их состояния. Вспомогательные объекты служат для поддержки мониторинга. Статья показывает, что поддержка мониторинга осуществляется только геодезическими методами.

**Ключевые слова:** транспорт, мониторинг, геодезия, транспортная инфраструктура, состояние объектов, геотехнические объекты, здания, сооружения, осадки, деформации.

### Abstract

The article explores geodetic support for monitoring the state of buildings and structures of transport infrastructure facilities. The variety of objects is shown, which entails the variety of monitoring. Two types of transport infrastructure objects have been identified: geotechnical and natural. It is shown that monitoring itself needs support, without which its implementation is impossible. There are two types of support: coordinate and technological. Among the objects of transport infrastructure, the main and auxiliary ones are distinguished. The main objects are those that are monitored in order to study their condition. Helper objects serve to support monitoring. The article shows that monitoring is supported only by geodetic methods.

**Keywords:** transport, monitoring, geodesy, transport infrastructure, state of objects, geotechnical objects, buildings, structures, precipitation, deformations.



## Введение

Управление в сфере транспорта нуждается в точной и своевременной информации [1]. Техническое состояние зданий и сооружений объектов транспортной инфраструктуры требует периодического или систематического наблюдения. Объекты транспортной инфраструктуры находятся в динамической ситуации, поэтому анализ их состояния является первоочередной задачей. Эти задачи решает мониторинг как технология наблюдения. Однако сам мониторинг тоже нуждается в поддержке или геодезическом обеспечении. Следует подчеркнуть, что все виды мониторинга требуют геодезического обеспечения [2, 3]. Большая часть этого обеспечения сводится к созданию координатной основы [4] мониторинга. В терминах прикладной информатики [5] и прикладной геоинформатики [6] эта основа есть информационное пространство [1, 7].

В терминах геодезии эта основа есть совокупность геодезических сетей. Понятие геодезической сети является одним из основных понятий в геодезии. Геодезической сетью называют совокупность координатно-связанных прочно закреплённых точек на поверхности. Обычно их называют пунктами. Положение пунктов определено в плане и по высоте. В геодезическом обеспечении используют опорные сети как основу координации и проведения работ. Опорные геодезические сети закрепляют координатную основу мониторинга зданий, сооружений и пути на поверхности Земли

## Геодезические сети как координатная основа мониторинга

Сущность геодезического обеспечения [8] мониторинга состояния зданий и сооружений состоит в создании сетей под необходимую точность мониторинга и последующее координатное наблюдение с опорой на созданные сети. Геодезические сети делят на плановые, высотные и планово-высотные.

В плановых геодезических сетях определяют прямоугольные координаты пунктов на поверхности земли. Для построения сети на местности или в пространстве строят связанные между собой геометрические фигуры. Обычно некоторые элементы этих фигур известны, другие элементы определяют непосредственными измерениями. По геометрическим фигурам вычисляют координаты определяемых пунктов сети.

*Пункт геодезический* – точка земной поверхности, положение которой определено в известной системе координат на основании геодезических измерений. Координаты геодезического пункта в плане определяют методами триангуляции, трилатерации, линейно-угловых построений, полигонометрии, разного рода засечками, а также спутниковыми приемниками. Высоты геодезического пункта определяют методами геометрического или тригонометрического нивелирования, спутниковыми приемниками. Геодезические пункты обозначаются и закрепляются на местности путем возведения специальных сооружений.

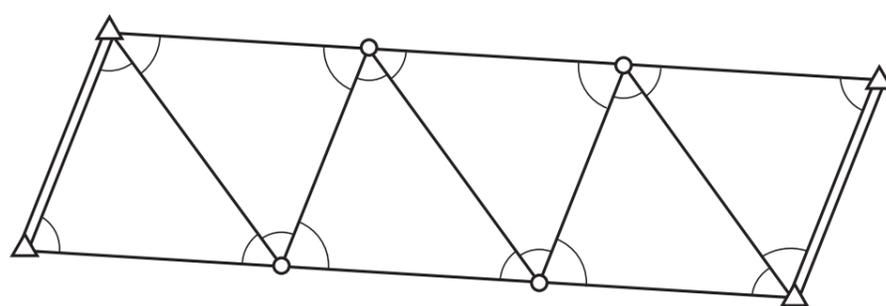


Рисунок 1. Триангуляция

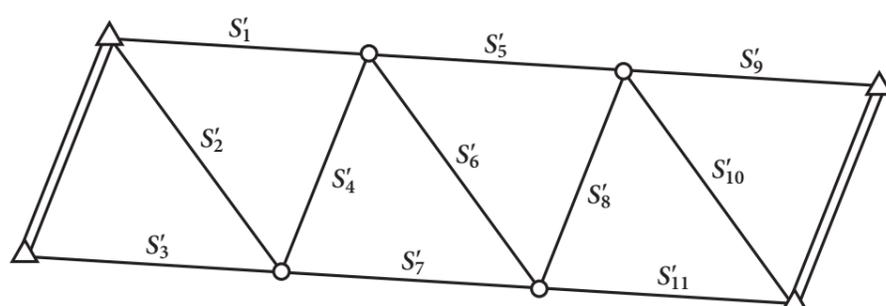


Рисунок 2. Метод трилатерации

В зависимости от формы фигур, образуемых на местности или в пространстве, и непосредственно измеряемых их элементов различают следующие основные методы построения геодезических сетей.

*Триангуляция* (рис.1). Это построение на местности примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряют все горизонтальные углы. Схемы триангуляции разнообразны. На рис. 1 представлен ряд треугольников.

Существует *микротриангуляция* – плановая съемочная сеть для наземных топографических съемок (тахеометрической, горизонтальной и т.д.), развиваемая в открытой местности методом триангуляции в виде несложных сетей треугольников, цепочек треугольников или вставок отдельных пунктов, определяемых прямыми, обратными или комбинированными засечками. Углы треугольников должны быть не менее  $20^\circ$ , а стороны не короче 150 м. Невязки в треугольниках не должны превышать  $1,5'$ .

Принцип вычисления координат пунктов в триангуляции состоит в том, что сначала по теореме синусов решают треугольники и вычисляют стороны, затем по горизонтальным углам рассчитывают дирекционные углы этих сторон, и, наконец, из решения прямых геодезических задач находят координаты определяемых пунктов. Но в действительности всё гораздо сложнее. Избыточные измерения в геодезии приводят к уравнительным вычислениям по методу наименьших квадратов. Уравнивание влечет большой объем вычислений

Другим методом создания координатной основы является трилатерация (рис.2). Этот метод основан на построении примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряют все стороны (рис. 4.2).

Принцип вычисления координат пунктов в трилатерации состоит в том, что сначала решают треугольники и находят горизонтальные углы, затем по ним определяют дирекционные углы сторон, и, наконец, из ре- >>>

шения прямых геодезических задач находят координаты определяемых пунктов. Уравнительных вычислений здесь ещё больше, чем в триангуляции. Оба метода используют жесткие фигуры, поэтому являются математически устойчивыми.

Менее жесткой технологией является полигонометрия. Она включает построение системы ломаных линий, которые образуют замкнутые или разомкнутые фигуры. В полигонометрии измеряют длины линий с высокой точностью дальномером, а горизонтальные углы точным теодолитом типа Т2 или Т5. Полигонометрию уравнивают либо строго по методу наименьших квадратов, либо приближенными способами, обычно применяют раздельное уравнивание углов и приращений координат.

**Космическая сеть.** В настоящее время находят применение спутниковые методы определения координат на базе глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). Спутниковые приёмники дают возможность определять координаты автономными методами. Спутниковые методы по сравнению с традиционными по точности определения пространственных координат удовлетворяют всем видам топографо-геодезических работ.

Основные преимущества спутниковой технологии координатных определений перед традиционными: независимость от взаимной видимости между пунктами, от времени суток и года, всепогодность измерений, высокоточность измерений, возможность одновременно определения плановых координат и высот, достижимость полной автоматизации полевых и камеральных работ. Космические сети предназначены для построения и поддержания на современном уровне мониторинга и систем координат.

### Систематика объектов транспортной инфраструктуры

На Рис. 3 дана систематика объектов транспортной инфраструктуры, большинство которых подлежат мониторингу и мониторингу деформаций и осадок.

Все многообразие объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) делится на два класса: геотехнические и природные. Геотехнические это технические объекты, которые встроены в природную среду. Среди объектов ОТИ выделяют основные и вспомогательные. Основные ОТИ это те, за которыми проводится мониторинг. Вспомогательные объекты ОТИ это те, которые служат для поддержки мониторинга.

Координатная основа задается вспомогательными объектами. В качестве координатной основы используют: геодезические сети, границы государственные и политико-административные.

В качестве основных объектов городской инфраструктуры используют: населенные пункты, здания, постройки и их части. Для них применяют характеристики: тип населенного пункта. людность. политико-административное деление. характер и тип застройки. культурное и историческое значение.



Рисунок 3. Многообразие объектов транспортной инфраструктуры

В качестве вспомогательных объектов используют: хозяйственные объекты и ориентиры (в пределах и вне населенных пунктов). Для них применяют характеристики: хозяйственное значение. специализация. ориентирные свойства. природоохранное значение.

Важнейшее значение в транспортной инфраструктуре имеют объекты транспорта: транспорт, дорожная сеть и сооружения на суше и воде. Для них применяют характеристики: виды транспорта. класс дорог. покрытие. техническое устройство. эксплуатационная готовность. сооружения различного назначения (воздушного, сухопутного и водного транспорта).

Важную роль играют объекты водоснабжения и гидротехнические объекты. Для них применяют характеристики: виды объектов водоснабжения, периоды и объемы водности, качество воды, назначение и виды конструкций гидротехнических сооружений.

Для водных видов транспорта и интермодальных перевозок значение имеют гидрография и воды океана. Для них применяют характеристики: типы и размеры объектов гидрографии. водный режим, свойства и динамика вод. использование, охрана, морфология и генезис берегов.

Рельеф суши и шельфа играет важную роль при организации мониторинга. Для них применяют характеристики: тип, генезис, морфология. показатели динамики. морфометрические характеристики.

Важную роль для транспортной инфраструктуры играет растительность (естественная и культурная), а также донная флора и фауна. Для них применяют характеристики: жизненные формы естественной растительности, изменимость естественная и антропогенная, сельскохозяйственные и технические насаждения и культуры, образ жизни, видовые признаки, постоянство местообитания.



При строительстве дорог, исследовании деформаций и осадок необходимо учитывать: грунты, донные осадки, искусственные покрытия, болота и солончаки. Для них применяют характеристики: типы грунтов, устойчивость, степень разрушенности и проходимости, генетические типы, гранулометрический состав, размерность донных осадков.

Природное и культурное наследие также входит в инфраструктуру. Для них применяют характеристики: виды, значение (статус), профиль охраняемых, предлагаемых к охране и проектируемых объектов.

Таким образом, объекты транспортной инфраструктуры характеризуются многообразием и большим набором характеристик. Это приводит к тому, что нельзя применять один вид мониторинга ОТИ на все случаи жизни. Мониторинг должен быть дифференцированным в зависимости от типа объекта и задач наблюдения за ним.

## Цифровизация мониторинга объектов транспортной инфраструктуры

Цифровизация транспорта [9] влечет цифровизацию мониторинга ОТИ. Основными характеристиками состояния ОТИ являются деформации и осадки. Деформациями и осадками сооружений называют изменение структуры здания [10]. Они возникают при воздействии природных и факторов на геотехнический объект [11]. Воздействию может подвергаться основание или все сооружение. Деформации зданий и сооружений зависят от смещений горных пород в их основаниях. Смещения зданий и сооружений происходят в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Эти перемещения называют осадкой, подъемом и сдвигом. Осадки определяют относительно выбранной горизонтальной плоскости. Ее называют плоскостью уровня. Осадки определяют по смещению осадочных марок по вертикали вниз. Если смещения осадочных марок равны, то осадки называются равномерными. Если смещения осадочных марок не равны, то осадки называются не равномерными. Не равномерные осадки приводят к деформациям зданий или его частей. Опасность тем больше, чем значительнее разность осадок. Подъем физически характеризуется как осадка, но имеет противоположное направление.

Технологии наблюдения за деформациями используют информационную модель структуры сооружения и различные логические конструкции. Измеряют не все точки, а только выбранные. Поэтому модели измерения деформаций можно рассматривать как измерение дискретной структуры. Результаты измерений представляют собой первичную цифровую информационную модель. Цифровая модель [12] деформаций есть дискретная модель. Результаты измерений, объединенные в модель, представляют собой пространственную информационную модель.

Сервисный аспект определения деформация при водит к необходимости применения технологий геосервиса [13]. Еще один фактор требует учета при анализе и наблюдении деформаций. Здание не является изолированным объектом. Оно находится в окружении других объектов.

Эти объекты создают пространственную ситуацию, влияющую на состояние здания. Этот факт приводит к необходимости применения модели информационной ситуации [14]. Таких ситуаций можно создать много поэтому возникает задача систематизации информационных ситуаций.

Цифровое моделирование деформаций и осадок сооружений также является многоаспектным и связано с видом мониторинга. По аспекту поверхности Земли и околоземному пространству разделяют такие виды цифрового моделирования: подземное [15], наземное, воздушное [16] (БПЛА) и космическое.

По специализациям разделяют геодезическое цифровое моделирование, геоинформационное [17], экологическое [18], цифровой кадастре, геотехническое цифровое моделирование [19], цифровое моделирование транспортных систем.

По масштабам разделяют: локальные цифровые модели, региональные цифровые модели, глобальные цифровые модели.

Цифровое моделирование при мониторинге транспортной инфраструктуры отвечает тенденциям цифровизации и обеспечивает удобство хранения и анализа результатов мониторинга.

Основой цифрового и связанного с ним информационного моделирования служат теоретические положения прикладной информатики и прикладной геоинформатики. Существуют разные виды цифрового моделирования. Можно ввести специальный термин цифровое деформационное моделирование. Цифровое деформационное моделирование как технология есть технология наблюдения и измерения осадок и деформаций ОТИ. Цифровое деформационное моделирование в теоретическом плане есть развитие информационного моделирования. Оно связано с дискретными наборами точек, то есть с дискретными моделями, дискретной математикой и дискретной оптимизацией.

Информационное моделирование в широком и концептуальном смысле считают методом познания. Это метод при исследовании реального пространства использует принципы пространственного моделирования и создает новое геознание [20]. Поэтому цифровое деформационное моделирование в узком смысле получает информацию о состоянии ОТИ. В широком смысле оно накапливает опыт и получает новое многоуровневое знание. Цифровое деформационное моделирование служит основой формирования картины мира [21]. В аспекте накопления опыта цифровое деформационное моделирование можно рассматривать как метамоделирование [22]. Цифровое деформационное моделирование имеет, как правило, визуальное представление. Это связывает данную технологию с методами визуальной обработки информации или видеоинформации [23, 24].

## Заключение

Статья вводит новое понятие цифровое деформационное моделирование применительно к ОТИ. Объекты транспортной инфраструктуры образуют множество типов и классов. Общая совокупность ОТИ делится на два >>>

класса: геотехнические и природные. Геотехнические это технические объекты, которые встроены в природную среду. Примером является железная дорога. Природные объекты, это тек которые существуют независимо от человека: рельеф, водоемы. Однако в силу динамики среды человеку приходится анализировать и выяснять отношения между геотехническими и природными объектами. Основным инструментом этого является мониторинг. Среди объектов ОТИ выделяют основные и вспомогательные. Основные ОТИ это те, за которыми проводится мониторинг. Вспомогательные объекты ОТИ это те, которые служат для поддержки мониторинга. Многообразие ОТИ порождает многообразие вид.

Все виды мониторинга требуют геодезического обеспечения. Геодезическое обеспечение делится на два вида: координатное и технологическое. Координатное обеспечение сводится к созданию координатной основы мониторинга. Технологическое обеспечение связано с использованием приборов. Среди разных видов мониторинга существует геодезический мониторинг, который служит основой получения информации

о деформациях и осадках ОТИ. В современных условиях результаты мониторинг формируют и хранят в виде цифровых моделей. Пространственное и цифровое моделирование является обязательной компонентой мониторинга ОТИ. Цифровое моделирование деформаций является естественным видом моделирования деформаций, поскольку работает с дискретными данными. Деформации оценивают по отдельным точкам, то есть по дискретным совокупностям.

Цифровое моделирование деформаций дает возможность изучать не только поведение точек, но и поведение их структуры. Цифровое моделирование деформаций связано с информационным моделированием. Информационное моделирование деформаций включает использование: разнообразных информационных моделей: ситуаций, единиц, конструкций, полей. При исследовании состояний ОТИ существует понятие поле мониторинга и поле деформаций. Пока в мониторинге ОТИ преобладает технологический и эмпирический аспекты. Развитие теории деформаций ОТИ является важной и пока нерешенной задачей. ■

## Список литературы

1. Ознамец В.В. Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.22-31.
2. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 3(11). – С.50-59.
3. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифрового транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.29-43.
4. Розенберг И.Н., Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009. –67 с.
5. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
6. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. –360 с.
7. Раев В.К. Информационное пространство и информационное поле // Славянский форум. 2021, 4(34). С.87-96.
8. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение транспортной сферы // Славянский форум. -2018. – 2(20). – С.50-56.
9. Козлов А.В., Тягунов А.М. Цифровизация транспортной сферы // ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.14-19.
10. Павлов А.И. Цифровое моделирование деформаций // Славянский форум. 2022, 3(37). С. 247-257.
11. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. – №4. – С.52.
12. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147-155.
13. Кудж С.А. Геосервис как сложная организационно техническая система// Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.55-64.
14. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С.64-69.
15. Gong H. et al. Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations //International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – Т. 29. – №. 2. – С. 229-238.
16. Choi K. A., Lee J. H., Lee I. P. Development of a close-range real-time aerial monitoring system based on a low altitude unmanned air vehicle // Spatial Information Research. – 2011. – Т. 19. – №. 4. – С. 21-31.
17. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
18. Затягалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №5(8). – С.94-99.
19. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.42-49.
20. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
21. Чехарин Е. Е. Картина мира как когнитивная модель // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.290-296.
22. Ожерельева Т.А. Метамоделирование в информационном поле – Saarbrucken, 2020. –109с.
23. Цветков В.Я. Методы и системы обработки и представления видеoinформации. – М.: ГКНТ, ВНИЦентр, 1991. – 113 с.
24. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей. // Известия академии наук СССР. Техническая кибернетика. -1980. – №6. – С.36-43.

УДК: 001.98

# Сбор информации в геоинформатике транспорта

## Collection of information in transport geoinformatics

**Булгаков С.В.**, к.т.н., доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: bul@bk.ru, Москва, Россия

**Bulgakov S.V.**, PhD, Associate Professor, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: bul@bk.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье исследуются особенности сбора информации в геоинформатике транспорта. Описана геоинформатика транспорта как самостоятельное научное направление, показана ее связь с географией транспортных сетей. Описаны особенности транспортной геоинформатики: сложные системы, сети, топология, пространственные отношения, дискретные потоки, пространственные модели, цифровые модели. Показано разнообразие технологий сбора информации в геоинформатике транспорта. Основой сбора является геоинформационный подход. Показано, что сбор не заканчивается накоплением данных, а завершается геоинформационным и цифровым моделированием. Описано построение цифровых моделей на основе собранной информации.

**Ключевые слова:** транспорт, геоинформатика, транспортные системы, сбор информации, пространственная информация, управление, объекты транспортной инфраструктуры.

### Abstract

The article explores the features of collecting information in the geoinformatics of transport. The geoinformatics of transport is described as an independent scientific direction. The integration of sciences in the geoinformatics of transport is noted. The systematics of directions of geoinformatics of transport is given. The features of transport geoinformatics are described: complex systems, networks, topology, spatial relationships, discrete flows, spatial models, digital models. The variety of technologies for collecting information in the geoinformatics of transport is shown. The basis of the collection is a geoinformation approach. It is shown, that the collection does not end with the accumulation of data, but ends with geoinformation and digital modeling. The construction of digital models based on the collected information is described.

**Keywords:** transport, geoinformatics, transport systems, information collection, spatial information, management, objects in the transport infrastructure.



## Введение

Геоинформатика транспорта [1, 2] является новым научным направлением, использующим методы геоинформатики для решения задач транспорта. Задачами геоинформатики транспорта (ГТ) является не только получение пространственной информации, но и накопление знаний, включая управленческие знания, пространственные знания и геознания. Это задает направление развитию научных методов ГТ. Геоинформатика транспорта применяет логические методы преобразования входной информации. Это задает направление развитию логических методов ГТ. Геоинформатика транспорта развивается в следующих направлениях: интеграции фундаментальных наук; интеграция наук о Земле; интеграция транспортных наук, связанных с ГТ; развитие прикладных систем; решение прикладных задач в сфере транспорта; развитие методов цифрового моделирования; развитие трехмерного моделирования; поддержка ИТС и ТКФС. ГТ использует общую геоинформатику, прикладную геоинформатику [3] и специальную геоинформатику в области безопасности и сервиса.

В прикладном аспекте ГТ включает сбор пространственных данных, построение моделей данных, построение моделей объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), использованием моделей, хранением моделей в БД и ГБД. В геоинформатике транспорта используют метрическую и атрибутивную информацию. Атрибутивная информация содержит: статистику, экономическую информацию, экологические данные, проектные данные, нормативы и прочую информацию. ГТ использует данные, содержащие погрешности. Это требует первичной обработки собранной информации.

Геоинформатика транспорта использует комплексное моделирование: цифровое, геодезическое, фотограмметрическое, дистанционное, геоинформационное, экологическое. Представление результатов обработки в ГТ использует цифровую и картографическую формы. Геоинформатика транспорта в качестве основной задачи имеет управление объектами транспортной инфраструктуры. Поэтому сбор информации в ГТ направлен на решение этой задачи и отличается от сбора информации, например, при картографировании или в муниципальном управлении.

## Геоинформатика транспорта как научное направление

ГТ первоначально развивала идеи географии транспортных сетей (ГТС). Поэтому формально она развивается от геоинформатики, но содержательно была ближе к географии транспортных сетей. ГТС первоначально было направлением социально-экономической географии. Ее основателем считают немецкого географа Иоганн Коля. Он исследовал территории Германии, России, Великобритании и других стран и выполнил обобщение транспортных организаций в разных странах. В настоящее время ГТС ближе к информатике и геоинформатике, чем

к географии. Специфика ГТ обусловлена деятельностью отрасли транспорта. Эта отрасль материального производства, которая осуществляет перевозки людей и грузов. Различают разные виды транспорта. ГТ во многом является общей для всех видов транспорта. Но при решении прикладных задач ГТ учитывает специфику транспорта и вид задачи. Проблемы транспорта многочисленны, поэтому ГТ разделяют на специальные направления:

- теоретическая ГТ (математические методы анализа транспортных сетей и дискретных потоков);
- прикладная ГТ (изучение транспортных потоков, мониторинг состояния транспортных сетей);
- ГТ видов транспорта (железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского, речного, трубопроводного, телекоммуникаций);
- ГТ инфраструктуры;
- региональная ГТ (региональное и городское управление транспортом);
- социальная ГТ, включая социальную кибернетику;
- логистическая геоинформатика [4]
- интеллектуальная ГТ.

Базовыми теоретическими понятиями транспортной геоинформатики, являются: система, сети, топология, пространственные отношения, потоки, моделирование, цифровая модель. Транспорт есть сложная система. Особенностью ГТ является использование четырех групп систем: системы данных, системы обработки, системы управления, транспортные комплексы. Одной из главных задач ГТ является нахождение и установление пространственных отношений между ОТИ. Эта задача решается методами координации [5-7] и методами классификации [8].

Метод координатных систем использует количественные признаки нахождения в пространстве объектов и их элементов. Он использует геометрию, пространственную логику, топологию, математический анализ дифференциальную геометрию, высшую геодезию и другие математические дисциплины. В ГТ используют разные глобальные и локальные координатные системы, что позволяет переходить от одной системы к другой. Метод классификаций основан на установлении классификационных отношений между объектами и их элементами. Он дополняет метод координатных систем в ГТ.

Особенностью ГТ является интеграция наук. В силу этого ГТ осуществляет перенос знаний. Процесс интеграции основан на системном подходе, интеграции знаний и комплементарности получение синергетического эффекта от интеграции. Методология ГТ использует совместно информационное и геоинформационное моделирование для получения решений прикладных задач и обобщения знаний. Информационное моделирование как метод познания [9, 10] дает возможность сравнения явлений на основе информационного поля и информационного пространства.

ГТ включает анализ графической информации. Это позволяет обрабатывать региональную информацию в картографической форме. Графическая информация позволяет выполнять картографический анализ ОТИ по субъектам федерации и на уровне территориальных единиц. >>>

Включение в ГТ данных дистанционного зондирования (ДДЗ) позволяет глобально отслеживать изменения в транспортной сфере и формировать глобальные управленческие решения. ГТ с использованием ДДЗ позволяет всесторонне исследовать проблемы глобальных интермодальных перевозок.

Одной из особенностей ГТ является топологическое исследование дорог и сетевых систем. Эти системы рассматривают как сложные системы с позиций теории систем и как топологические объекты в рамках топологии. Это обуславливает обязательное использование топологии при изучении транспортных систем методами ГТ.

### Геоинформационный подход к сбору информации

Сбора информации в ГТ включает методы, технологии и информационно измерительные системы. К технологиям сбора в ГТ относят: полевые технологии, фотограмметрические технологии, спутниковые технологии, технологии космической геоинформатики, технологии мобильного лазерного сканирования, технологии применения БПЛА. В ГТ применяют геоинформационный подход (рис.1), который является основой многих технологий включая сбор информации.

Сбор информации является первым и основным этапом геоинформационного подхода [11]. На его основе осуществляют группировку, сортировку, унификацию, селекцию интеграцию данных и даже рецепцию информации. Сбор информации в ГТ обычно завершается хранением: в хранилище данных, в репозитории, в базе пространственных данных (БПД), базе геоданных (БГД), в инфраструктуре пространственных данных (ИПД).

Для ввода применяют аналоговые и цифровые методы. Первичные данные формируют фактофиксирующие модели. Для обеспечения сопоставимости данных используют принцип единства измерений.

### Геодезические методы сбора

Геодезические технологии и методы сбора информации используют полевые измерения. К этой группе технологий относят технологии спутникового позиционирования. В основе методов сбора в этой группе лежат геодезические измерения и измеряемые величины.

*Геодинамические измерения* – измерения, определяющие положение измеряемых точек во времени относительно исходных пунктов, включающая интерпретацию измерений.

*Линейные измерения* – геодезические измерения, в которых измеряемыми величинами являются длины сторон объектов (расстояния или их разности).

*Угловые измерения* – геодезические измерения, в которых измеряемыми величинами являются углы между направлениями на точки наблюдения.



Рисунок 1. Геоинформационный подход в геоинформатике транспорта (ГТ)

*Измерения превышений* – линейные измерения, в которых измеряемой величиной являются разности высот на точки наблюдения.

*Измерения координат* – вид измерений, в которых измеряемая является триадой координат, характеризующей положение измеряемой точки.

Особенностью геодезических измерений является измерение отдельных точек, что увеличивает трудоемкость данной технологии.

### Фотограмметрические технологии сбора информации

Фотограмметрические технологии сбора информации основаны на использование снимков, полученных с разных носителей: самолетов, вертолетов, управляемых дирижаблей, БПЛА, мотodelьтапланов и прочих носителей. Фотограмметрические технологии сбора получают информацию с по снимкам. Фотограмметрические технологии и геодезические технологии выполняют геометрические построения не только собирают информацию, но и проводят самостоятельную обработку. Фотограмметрические технологии всегда связаны с геодезическими измерениями.

Фотограмметрические технологии использует многие виды снимков. Это снимки, полученные с помощью аналоговых камер, цифровых камер, телевизионных камер, сканерных съемочных систем, радиолокационных систем и систем мобильного лазерного сканирования и т.д.

В фотограмметрии существует три направления получения информации. Первое связано с созданием карт и планов по снимкам. Его называют фото- >>>

топография. Второе направление направлено на решение прикладных задач. Данное направление обозначают термином «прикладная фотограмметрия». Его применяют в строительстве, в разных видах кадастра, при мониторинге путей, при мониторинге осадок и деформаций ОТИ, в криминалистике и прочем. Третье направление относят к получению информации с помощью космических технологий и его обозначают термином «космическая фотограмметрия». Это направление связано с космической геоинформатикой.

Результаты обработки в фотограмметрии всегда триады точек. При этом часто формируют модели, а не отдельно взятые точки как в геодезии. Фотограмметрические методы применяют для построения ареальных моделей, трехмерных моделей рельефа, цифровых и аналоговых карт, фотосхем, ортофотопланов. Обработке снимков предшествует дешифрирование — специальная технология выявления изображений объектов на снимках и обозначения их границ.

Результатом фотограмметрической обработки являются группы точек, а также модели фотосхема и фотоплан. Фотосхема — изображение местности, полученное в результате монтажа снимков с нанесенными на них обозначениями

*Фотоплан* — фотографический аналог картографического плана. Его изготавливают путем трансформирования фотоснимков. Фотоплан обычно изготавливается в рамках трапеции. Точность контуров фотоплана соответствует точности карты аналогичного масштаба. Копии фотоплана используют для рисовки горизонталей рельефа. Фотоплан — это массовое измерение множества точек, удобное для хранения и визуального анализа. Его применяют часто для анализа площадей.

## Картографические методы сбора

Картографические технологии сбора пространственной информации используют цифровые и аналоговые карты. Основным видом сбора информации в этой технологии являются информационные единицы, представляющие картографические условные знаки. Этот метод является когнитивной технологией, поскольку при составлении карт применяют приемы «показ с преувеличением», «смещение». Поэтому при обработке карт необходимо применять обратные процедуры.

Карта средних и мелких масштабов всегда содержит картографические искажения, которые надо учитывать. В силу этого картографическая информация больше используется для визуального анализа. Таких искажений не содержат трехмерные цифровые модели [12, 13] и в этом их преимущество.

Топографическая карта и топографический план представляют собой уменьшенное изображение на плоскости участков местности. Масштаб в пределах плана есть величина постоянная. На картах мелкого и среднего масштаба масштаб изменяется от точки к точке и по направлениям. Установленный для данной карты масштаб соблюдается только по одному из на-

правлений (по одному меридиану или параллели), этот масштаб называется главным. В остальных частях карты масштабы отличаются от главного и называются частными.

Часть территории Земли, на листе карты называют криволинейной трапецией. Криволинейность трапеции обусловлена разбиением поверхности Земли меридианами и параллелями, задающими участки неправильной геометрической формы. Поэтому лист топографической карты есть область, ограниченная выпрямленными дугами меридианов и параллелей. Она напоминает трапецию. Для обозначения листов карты используют картографическую классификацию.

## Сбор данных дистанционного зондирования Земли

В широком смысле технология ДЗ включает получение информации любыми неконтактными методами, то есть воздушную, наземную и космическую фотосъемку. В узком смысле ДЗ есть получение информации с борта космических аппаратов (КА). Космическая съемка производится за пределами атмосферы Земли и дает изображения в разных областях спектра. Главное ее преимущество глобальность и широкий охват. Один космический снимок может содержать информацию сотен воздушных снимков. Глобальный анализ процессов возможен только с помощью ДЗ. ДЗ, как и фотограмметрия, обеспечивает массовый сбор информации.

## Геоданные как результат сбора информации

В результате сбора информации в геоинформатике формируют общую структуру данных, которую называют геоданными [14, 15]. Геоданные применяют: на транспорте, в кадастре, в управлении территориями, в логистике

Геоданные делят на две категории общие и специальные. Общие геоданные описывают общие свойства объектов. Геоданные (Gdata) всегда структурированы по трем общим группам: «место», «время», «тема». Их формальное описание имеет вид

$$Gdata = F\{(C1, C2, \dots, Cn), (Pt1, Pt2, \dots, Ptm), (A1, A2, \dots, Al)\} \quad (1)$$

В (1) введены обозначения:  $C_i$  — характеристики «место», совокупность координатных (пространственных) параметров ( $i=1..n$ );  $Pt_i$  — «время», характеристики временных параметров ( $i=1..m$ );  $A_i$  — «тема», тематические характеристики ( $i=1..k$ ).

Геоданные удобны при моделировании в пространстве. Геоинформатика применяется в разных предметных областях. Геоданные предметных областей используют для построения моделей предметной области. Геоданные используют интегрированную информационную основу ГИС [16, 17]. Именно она является отличием >>>

геоданных от данных других областей. Для решения задач используют геоданные нужной предметной области.

Геоинформатика транспорта использует свои частные геоданные  $GdataGT$ .

$$GdataGT = F^*(C, Pt, A, Tr, Mv, V, Int, Tпр) \quad (2)$$

В выражении (2) дополнительно к обозначениям выражения (1) введены обозначения:  $Tr$  – топология,  $Mv$  – пропускная способность,  $V$  – допустимая скорость движения,  $Int$  – интенсивность движения.

Спецификой  $GdataGT$  является деление их на качественные группы «место (*place*), время (*time*), тема» (*topic*). Пространство и время – разные категории. Пространственные данные не включают *time*, а *time* не зависят от *place*. Совокупность двух этих групп данных образует класс пространственно-временных данных. Эти данные связаны между собой с помощью связей «*place – time*». Существуют связи «*topic – time*» и связи «*place – time – topic*». Геоданные включают связи «*place – time – topic*».

В геоданные не включают данные математические абстрактные пространства. В геоданные ГТ не входят данные внеземных пространств. Геопространственные данные есть часть геоданных, связанных только с Землей. Пространственные данные могут быть получены на Луне или на любой планете Солнечной системы.

В том случае, если геоданные служат инструментом управления, в их состав включается еще один параметр – время применения ( $Tпр$ ). Этот параметр определяет допустимое суммарное время получения геоданных и допустимое время формирования управляющего воздействия. Геоданные позволяют связывать объекты друг с другом. При обработке в ГИС геоданные ГТ делят на следующие категории:

- экономические характеристики объектов;
- физические характеристики объектов;
- динамические характеристики объектов;
- геометрия объектов (морфология, габариты, координаты),
- топология и топологические характеристики,
- геоинконические (визуальные) характеристики (сигнатура, цвет, плотность, отображение),
- топографические характеристики;
- метаданные,
- линейные характеристики объектов;
- связанность объектов;
- темпоральные характеристики.

Это разнообразие позволяет применять геоданных в различных областях: транспорта, транспортного строительства и логистике.

## Геоинформационное моделирование в ГТ

Сбор данных не завершается их накоплением и хранением. Геоинформационное [18-20] моделирование (ГМ) является завершающим этапом сбора информации в ГТ. ГМ является видом пространственного моделиро-

вания. Пространственное моделирование включает построение пространственной модели и манипуляции с ней. ГМ, как метод научного познания, включает получение геознания [21-23] и построение картины мира [24]. ГМ в когнитивном аспекте есть форма познания человеком реальности. ГМ в ГТ создает возможность переноса результатов, полученных в ходе сбора информации, на оригинал. Этим ГМ решает задачу получения знаний.

Главными направлениями ГМ в ГТ являются визуальное моделирование, цифровое моделирование [12, 13], когнитивное моделирование и трехмерное моделирование. Большую роль в ГТ наряду с геоинформационным играет информационное моделирование [25, 26]. ГТ интегрирует разные науки, поэтому обработка информации в ГТ строится на основе интеграции технологий обработки. ГМ в ГТ реализуют с использованием ГИС, ИС, САПР, АСУТ, ИТС, с использованием математического моделирования.

ГМ является видом пространственного моделирования (ПМ) и имеет сходство и различие с ним. Они являются объективным критерием накопления опыта проверки истинности знаний. ПМ направлено на получение пространственных знаний [27]. ГМ направлено на получение геознаний. ПМ и ГМ создают информационные и геоинформационные ресурсы.

При ПМ и ГМ исходный пространственный объект заменяется пространственной моделью. В модели входят множество параметров, связанных между собой. Пространственная модель включает информацию об объекте моделирования, о его семантике и о его семантическом окружении. В ряде случаев модель обладает свойством системности и может быть рассмотрена как сложная система. Для ГТ важно, что модели имеют жизненный цикл, описывающий жизненный цикл объекта транспортной инфраструктуры. Жизненный цикл часто зависит от ресурсов и скорости их расходования. Часть параметров моделей ОТИ определяют на основе сбора информации. Их считают фактофиксирующими. Другая часть параметров моделей ОТИ определяется на основе вычислений.

*Целями ГМ являются:* фиксация фактов о пространственных явлениях, интерпретация процессов и фактов, прогнозирование пространственных процессов. ГМ в ГТ позволяет с меньшими временными затратами описать процессы в ОТИ. ГМ в ГТ определяет ключевые факторы и решает задачи оптимизации, включая дискретную оптимизацию

При визуальном анализе, обработке и моделировании применяют символическое или знаковое ГМ. При знаковом ГМ используют визуальные образы и информационные единицы в них. При исследовании неявных знаний, при выявлении латентных связей применяют математическое моделирование. Математическая модель есть формальное описание (формулы, уравнения, неравенства, логические цепочки) реальных процессов и изменения состояния объекта. Эти изменения обусловлены зависимостью от внешних факторов и выявляются с помощью ГМ. Особенностью ГМ в ГТ является использование топологии. >>>

## Построение цифровых моделей

При исследовании методами ГТ применяют пространственное цифровое моделирование. В ГТ цифровое моделирование позволяет применять универсальные математические методы для программной обработки информации. Обобщенно цифровой моделью называют дискретную модель, сформированную для обработки в компьютерных технологиях. Цифровая модель ориентирована на компьютер или ЦВМ. Частная цифровая модель (ЧЦМ) является моделью конкретных объектов, имеющих: координаты и габариты. Такая модель характеризуется точностью координат и масштабом наблюдения. Ее основное назначение хранение в БД и использование для проектирования и управления.

Определяющим в понятии цифровая модель является ее дискретность. Эта дискретность позволяет проводить цифровую обработку. Цифровые модели имеют разные структуры. Их хранятся в системах хранения, в базах данных или в файловых структурах. Наибольшее применение ЦМ находят в проектировании, строительстве, управлении, экологии и др.

Формально ЦМ являются конструкциями геоданных и содержат различные форматы собранной информации. Разделяют метрическую и атрибутивную информацию в ЦМ. По содержанию в ЦМ выделяют семантику и синтактику. По форме определяют морфологию ЦМ. Метрическая информация задает габариты и положение в пространстве ОТИ. Атрибутивная информация задает свойства и физические характеристики ОТИ и позволяет оценивать жизненный цикл ОТИ. Цифровые модели, полученные по реальным измерениям, характеризуются погрешностями. Они обусловлены ошибками измерений и ошибками вычислений. Погрешность накладывает ограничение на применение цифровой модели для разных масштабов.

Атрибутивная информация в ЦМ задает принадлежность объектов к определенному классу ОТИ. Она задает условия применения, обработки и визуализации. Семантический аспект позволяет, рассматривая ЦМ как содержательную модель. Он позволяет применять оценки информативности и структурированности цифровой модели. Семантическая часть информации задает информационное соответствие между объектом транспортной инфраструктуры и его ЦМ. Синтаксическая часть определяет набор правил обработки в ГИС и применения ЦМ. Она также связана с классификацией. Анализ структуры ЦМ выделяет в ней логическую и физическую структуры.

Логическая структура ЦМ определяется как совокупность логических информационных конструкций. Она задает схемы ЦМ в базе данных и схемы построения проектов на основе ЦМ. Элементом логической структуры ЦМ является формальная запись.

Физическая структура ЦМ определяется методом записи и хранения ЦМ в физической среде. Она задает физический формат, физический объем, размеры кластеров. Элементом физической структуры ЦМ является физическая запись.

Таким образом, ЦМ является компьютерно-ориентированной и объединяет даталогическую и физическую части модели. Среди пространственных ЦМ выделяют типы: цифровая модель местности (ЦММ), цифровая модель объекта (ЦМО), цифровая модель процесса (ЦМП), цифровая модель ареала (ЦМА). Наибольшее применение в САПР и геоинформатике находит цифровая модель местности. ЦММ – информационная дискретная модель местности, предназначенная для хранения и обработки в компьютерных технологиях, которая должна содержать несколько основных свойств, вытекающих из ее определения. Ее информативность равна информативности аналоговой модели.

## Заключение

Сбор информации в ГТ связан с первичным и вторичным моделированием. Первичное моделирование в ГТ состоит в предобработке собранной пространственной информации. Вторичное моделирование в ГТ состоит в построении моделей ОТИ. Результатом сбора информации являются геоданные и цифровые модели. Сбор информации в ГТ является эвристическим и когнитивным в силу активного участия человека в обработке пространственной информации. Сбор информации в ГТ может включать разные технологии. В силу этого он может быть рассмотрен как технологическая система. Сбор информации в ГТ в широком смысле – это технология обработки пространственной информации, которая используют любые информационные системы, например Автокад или системы лазерного сканирования. Технологии сбора пространственной информации, например ГНСС, также является технологией сбора. Сбор информации в ГТ применяют при геоинформационном мониторинге транспорта и в управлении ОТИ. ■

## Список литературы

1. Булгаков С. В. Геоинформатика транспорта в условиях цифровой трансформации // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 28-37.
2. Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. – Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2020. –180 с.
3. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.
4. Цветков В. Я., Булгаков С. В. Логистическая геоинформатика – Москва: МАКС Пресс, 2023. – 192 с.
5. Виноградов А. В. Об установлении единой координатной системы в геодезических работах // Геодезия и картография. – 2010. – №. 5. – С. 16-18.
6. Розенберг И.Н., Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009. -67 с.
7. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – Т. 2. – №. 1 (5). – С. 62.
8. Скопина М. В. Пространственные классификации нерегулярных парков // Приволжский научный журнал. – 2010. – №. 2. – С. 104-110.
9. Максудова Л.Г., Цветков В.Я. Информационное моделирование как фундаментальный метод познания // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №1. – С.102-106.
10. Раев В.К. Тринитарные модели познания // Славянский форум. – 2017. -4(18). – С.77-83.
11. Затягалова В.В. Геоинформационный подход при мониторинге загрязнения моря по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Науки о Земле. – 2-2012.- С.80-85
12. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147-155.
13. Рувинов И.Р. Применение цифровых моделей в материально техническом обеспечении // Науки о Земле. – № 1-2013 – С.18-23.
14. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. – №4. – С.50-51.
15. Господинов С. Г. Геоданные и геознания // Перспективы науки и образования. – 2016. – №. 5 (23). – С. 20-23.
16. Коваленко Н.И. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. – 2014. – 2 (6). – С.51 -55.
17. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №4. – С.150-154.
18. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле. – №4-2012.- С.72-76.
19. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
20. Бучкин В.А. Геоинформационное ситуационное моделирование железнодорожного пути // Науки о Земле. – 2018. – №4. – С.43-52.
21. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
22. Ожерельева Т.А. Геознания. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №5—4. – С.669-669.
23. Савиных В.П. Геознание. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 132 с.
24. Бутко Е.Я. Персональная картина мира как результат образования // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. – № 1 (115). – С. 87-94.
25. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. – №2. – С.118-122.
26. Болбаков Р. Г. Семиотическое информационное моделирование // Славянский форум, 2015. – 4(10) – С.54-60.
27. Waller D., Hunt E., Knapp D. The transfer of spatial knowledge in virtual environment training // Presence. – 1998. – Т. 7. – №. 2. – С. 129-143.

УДК: 528.94

# Геопорталы для планирования полетов беспилотных воздушных судов в воздушном пространстве Российской Федерации

## Geoportals for unmanned aerial vehicles planning flights in the Russian Federation airspace

**Максимова С.Е.**, аспирант «Российский университет транспорта», специалист I категории АО «НИИАС», E-mail: sofya.maksimova.1992@mail.ru, Москва, Россия

**Maksimova S.E.**, postgraduate student, Russian University of Transport, specialist of the 1st category, JSC «NIIAS», E-mail: sofya.maksimova.1992@mail.ru, Moscow, Russia



### Аннотация

В статье рассмотрены геопорталы, предоставляющие доступ к пространственно-временной и атрибутивной информации о структуре воздушного пространства Российской Федерации. Данные геопорталы часто используются для планирования использования воздушного пространства операторами беспилотных воздушных судов. В рамках анализа использования геопорталов выявлены общие черты и отличительные особенности, для систематизации полученной информации составлена таблица.

**Ключевые слова:** транспорт, геопортал, беспилотное воздушное судно (БВС), использование воздушного пространства, элементы структуры воздушного пространства.

### Abstract

The article describes geoportals that provide access to spatio-temporal and attributive information about the structure of the Russian Federation airspace. These geoportals are often used to plan the use of airspace by UAV operators. The analysis revealed common and distinctive features of the geoportals using. A table has been compiled to systematize the information received.

**Keywords:** transport, geoportal, unmanned aerial vehicle (UAV), the use of airspace, air-space structure elements.



## Введение

На современном этапе развития различных отраслей науки широко используются методы и средства коммуникации на основе сети Интернет. Веб-картография является динамично развивающейся отраслью, в сферу интересов которой вовлекаются все новые задачи. Геопорталы стали одним из средств обеспечения доступа к тематическим наборам пространственных данных.

*Геоортал* — информационная система, выполняющая роль единого пункта доступа к сервисам инфраструктуры пространственных данных, интерфейс которой обеспечивает с использованием сети Интернет доступ пользователей к информации для поиска пространственных данных и геосервисов по их метаданным, а также выполнения других функций в соответствии с его назначением и целевой аудиторией [1].

Интерес различных категорий пользователей к пространственной информации определенной тематики обусловлен различными факторами. В частности, все более интенсивно применяются беспилотные воздушные суда (далее – БВС) с разнообразными видами полезной нагрузки для различных целей: съемка с БВС в личных интересах, различные виды авиационных работ, коммерческие воздушные перевозки и т.д.

Порядок использования воздушного пространства установлен воздушным законодательством РФ. Полеты БВС выполняются в сегрегированном воздушном пространстве: использование воздушного пространства БВС осуществляется посредством установления временного, местного режимов (далее – ВР, МР), а также кратковременных ограничений (далее – КО). Для установления ВР или МР необходимо подать корректно составленное представление – текстовый документ, в котором требуется указать пространственно-временную и атрибутивную информацию, полный перечень которой установлен приказом Министерства транспорта РФ от 27 июня 2011 г. № 171 «Об утверждении Инструкции по разработке, установлению, введению и снятию временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений», в том числе о границе района выполнения работ (в координатах) и диапазон используемых высот, рубежи набора высоты и снижения на маршруте полета и т.д.

Перед тем как приступить к составлению представления, следует ознакомиться с информацией о рельефе местности, наличии населенных пунктов в зоне планируемого полета, об элементах структуры воздушного пространства – важно определить, с какими органами Единой Системы Организации Воздушного Движения (далее – ЕС ОрВД) будет контактировать руководитель работ с применением БВС, потребуется ли заблаговременно получить разрешение на использование воздушного пространства запретной зоны (или иного элемента структуры воздушного пространства), приграничной полосы, на проведение полета над населенными пунктами, убедиться в отсутствии пересечения с уже установленными МР или ВР и т.д. Горизонтальные и вертикальные границы элементов структуры воздушного пространства, регламент работы установлены соответствующими приказами Министерства Транспорта РФ.

Таблица 1.  
Геопорталы, предоставляющие доступ к картографической информации для планирования полетов БВС в воздушном пространстве РФ

Название	Адрес в сети Интернет	Разработчик
«Карта зон ограничений полетов для БВС – AVTM»	<a href="https://map.avtm.center/">https://map.avtm.center/</a>	ООО «Дигинавис»
«Небосвод UTM»	<a href="https://skyarc.ru/">https://skyarc.ru/</a>	ООО «НИЦ «Аэроскрипт»
«Система предоставления планов полетов по сети Интернет»	<a href="https://new.ivprf.ru">https://new.ivprf.ru</a>	ООО «МОНИТОР СОФТ»

После того, как установлен МР или ВР, необходимо в установленные сроки подать соответствующие планы полетов – текстовый документ, в определенные текстовые поля которого в установленном виде вносится пространственная и атрибутивная информация (установлена Табелем о сообщениях). Для работы со значительным объемом пространственной информации важно использовать актуальные геоинформационные инструменты. Такие возможности могут быть предоставлены специализированными геопорталами.

Если пользователь выполняет полет БВС без установления МР или ВР, а также КО, необходимо убедиться, что полет соответствует критериям, указанным в п. 52.1 ФП ИВП РФ, а для этого потребуется изучить актуальную картографическую информацию о воздушном пространстве, в котором планируется полет БВС. Доступ к такой информации большому количеству пользователей может быть предоставлен через специализированные геопорталы.

Лица, составляющие представления на установление МР или ВР, планы полетов, как правило, используют заранее заготовленные шаблоны указанных документов, внося изменения в определенные поля с информацией.

Юридические и физические лица, применяющие в работе БВС, обычно выполняют планирование полетов с применением быстрого и дешевого доступа к современной инфраструктуре средств связи. В Таблице 1 указаны ресурсы в сети Интернет, обеспечивающие доступ к картографической информации для планирования полетов БВС в воздушном пространстве РФ.

Из указанных геопорталов «Карта зон ограничений полетов для БВС – AVTM» (далее – «AVTM») и «Небосвод UTM» (Рис.1 а, б) разработаны специально для работы с картографической информацией для планирования полетов БВС, «Система предоставления планов полетов по сети Интернет» (далее – «СППИ») – для множества различных категорий пользователей воздушного пространства (Рис. 1в).

Рассматриваемые геопорталы характеризуются рядом общих признаков.

Для начинающих пользователей предусмотрены обучающие материалы в формате текстовых инструкций или видео, есть страницы с ответами на наиболее часто задаваемые операторами БВС вопросы. На геопорталах в помощь операторам БВС опубликованы ссылки на соответствующие Telegram-боты. Регистрация пользователей проводится по адресу электронной почты. >>>

В окне геопортала предусмотрено наличие таких элементов, как строка поиска, масштабная линейка, инструменты измерения, время на территории полета (*Coordinated Universal Time* – всемирное скоординированное время) и астрономические координаты. На геопортале «СППИ» предусмотрена возможность отображения координатной сетки.

На страницах рассматриваемых геопорталов можно ознакомиться с информацией об отдельных погодных показателях на территории проведения полета.

В каждом геопортале в наличии как минимум две картографические подложки (карта и мозаика космоснимков), а также возможность просмотра карты в двумерном и трехмерном виде. Геопортал «СППИ» предоставляет значительно больший выбор подложек.

В интерфейсе геопортала присутствует дерево слоев, в котором отображается информация об элементах структуры воздушного пространства. Дерево слоев может быть структурировано на несколько частей. В геопортале «СППИ» дерево слоев доступно к просмотру только после выбора территории для планирования полетов на карте. В качестве атрибутивной информации элементов воздушного пространства указаны высота и контакты уполномоченных лиц, с которыми возможно согласовать выполнение полета в границах элемента, например, в границах запретной зоны. В перечне слоев обязательно присутствует информация о таких элементах, как запретные зоны, опасные зоны, зоны ограничения полетов, диспетчерские зоны и другие элементы, устанавливаемые для осуществления деятельности в воздушном пространстве, а также аэродромах, вертодромах и т.д. При нажатии на точку на карте отображается информация об элементах воздушного пространства в указанной местности, также появляется предупреждения о запрете полета БВС в границах субъекта РФ, если такой установлен (не является элементом структуры воздушного пространства).

Пользователь любого из указанных геопорталов может выполнить оперативную проверку возможности полета БВС максимальной взлетной массой 30 кг и менее в светлое время суток на высоту до 150 м в заданной области (в соответствии с 52.1. ФП ИВП РФ), однако на геопортале «СППИ» система функционирует в тестовом режиме и не выполняет проверку пересечения с границами населенных пунктов. Кроме того, при такой проверке на геопортале «СППИ» не учитывается пересечение границ устанавливаемого режима с приграничной полосой.

Геопорталы «Небосвод UTM» и «СППИ» предоставляют услугу составления представления на установление режима и плана полета БВС, пользователю предоставлена возможность отметить на карте границы зоны полета, а затем заполнить форму с временной и атрибутивной информацией о будущем полете. Для подготовки представления и плана полета необходимо зарегистрировать БВС на геопортале, приложив уведомление из уполномоченного органа (Росавиации) о постановке БВС на учет.

При подготовке представления на установление МР или ВР может потребоваться указать наличие разрешения на выполнение полета БВС (например, в границах населенного пункта или запретной зоны), а также ука-



Рисунок 1а. Портал Карта зон ограничений полетов для БВС – AVTM (далее – «AVTM»)

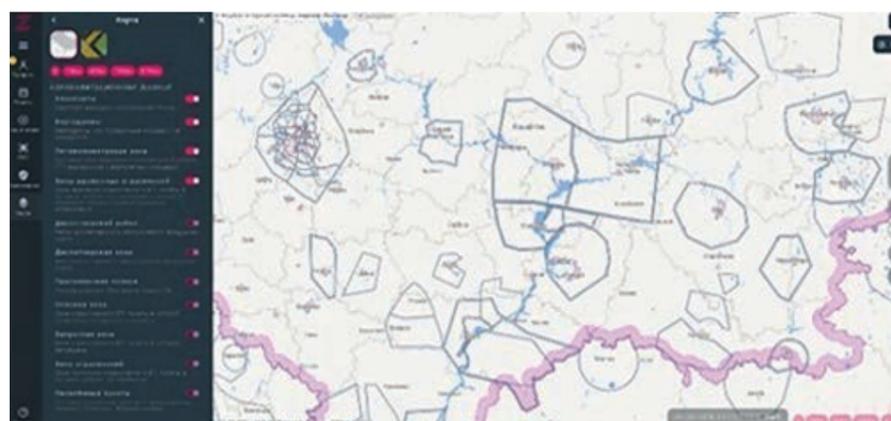


Рисунок 1б. Портал Небосвод UTM



Рисунок 1в. Портал Система предоставления планов полетов по сети Интернет (далее – «СППИ»)

зать контактные данные лица, выдавшего разрешение. При подготовке представления с использованием геопортала «Небосвод UTM» возможно прикрепить файл с разрешением к представлению на МР. В случае, если используется геопортал «СППИ», информацию о разрешении на проведение полета БВС необходимо указать в соответствующем поле.

После отправки представления или плана полета в орган ЕС ОрВД на геопортале предоставляется возможность отслеживать состояние поданного документа (статусы «на обработке», «опубликован NOTAM», «отвергнут» и т.д.) в режиме реального времени. (Извещение NOTAM – извещение, передаваемое по каналам связи и содержащее информацию о состоянии аэронавигационного оборудования, элементов структуры воздушного пространства, своевременное предупреждение о котором имеет важное значение для персонала, связанного с выполнением полетов воздушных судов, а также иную аэронавигационную информацию [2]).



Возможно применение инструментов сортировки, фильтрации и поиска планов полета и представлений на установление режимов. Пользователь может анализировать ранее поданные документы, сохранять шаблоны документов для повторяющихся полетов. Геопортал «AVTM» подобных возможностей не предоставляет.

Среди функциональных возможностей рассматриваемых геопорталов не предусмотрена проверка обязательного страхования ответственности владельца воздушного судна. (Статья 131 п.1. Воздушного кодекса РФ: Страхование ответственности владельца воздушного судна перед третьими лицами за вред, причиненный жизни или здоровью либо имуществу третьих лиц при эксплуатации воздушного судна, является обязательным [3]).

Вместе с тем, каждый из рассматриваемых геопорталов имеет свои особенности. Так, при изучении геопортала «AVTM» выявлены следующие:

- данный геопортал не предоставляет возможности составления представления на установление МР или ВР, возможен только просмотр картографической информации;
- пользователь может отметить на карте места, в которых обнаружены помехи, данные участки отображаются на карте отдельным слоем;
- после регистрации разработчики могут получить доступ к API.

Среди отличительных особенностей геопортала «Небосвод UTM» необходимо выделить следующие:

- невозможно отключение отдельных картографических слоев с пространственной информацией об элементах структуры воздушного пространства;
- после установления NOTAM и присвоения номера МР или ВР за сутки до полета геопортал автоматически выполнит отправку плана полета;
- после ввода основных параметров полета (геометрия, расписание и т.д.) во вкладке «Чек-лист» отобразится информация об ограничениях, действующих в воздушном пространстве выполнения полета, или об их отсутствии.

При изучении геопортала «СППИ» выявлены следующие особенности:

- в данном сервисе осуществляется разделение пользователей на категории с учетом не только типа воздушного судна и его максимальной взлетной массы, но и вида авиации. Для присвоения роли пользователя необходимо предоставить соответствующие документы, например, для получения роли внешнего пилота пользователю необходимо предоставить администратору ресурса свидетельство о постановке на учет БВС. Для государственной авиации предусмотрены различные роли с учетом названия ведомства: МВД, МЧС, Росгвардия и т.д. Кроме того, могут зарегистрироваться пользователи с ролью пилота аэростата или шара-зонда;
- предоставлены ссылки для перехода на портал учета БВС Росавиации и на официальный сайт ФГУП «Государственная корпорация по организации воздушного движения РФ».

Вышеперечисленные особенности рассмотренных геопорталов систематизированы в таблицу (Таблица 2).

Геопорталы, рассмотренные в настоящей статье предоставляют доступ к информации о структуре воздушного пространства в относительно простой форме, доступной для понимания широким кругом пользователей. Некоторые геопорталы выполняют функцию посредника между оператором БВС и органами ЕС ОрВД в части, касающейся передачи документов, содержащих пространственно-временную и атрибутивную информацию об использовании воздушного пространства пользователем. Потребность в геопорталах, предоставляющих информацию о структуре воздушного пространства возрастает, поскольку количество применений БВС в гражданской, государственной и экспериментальной авиации увеличивается, как и количество юридических и физических лиц, применяющих БВС. ■



Таблица 2.  
Характеристики геопорталов, предоставляющие доступ к картографической информации для планирования полетов БВС в воздушном пространстве РФ

Опция	Название геопортала		
	«AVTM»	«Небосвод UTM»	«СППИ»
<b>I. Пользователи</b>			
Регистрация пользователей	по адресу электронной почты		
Категории пользователей	внешний пилот	внешний пилот	различные категории пользователей с учетом вида авиации и типа воздушного судна
<b>II. Интерфейс геопортала</b>			
<b>II.1. Работа с картой</b>			
Картографические подложки	2 (карта, мозаика космоснимков)	2 (карта, мозаика космоснимков)	8 (карты, мозаики космоснимков)
Просмотр картографической информации об элементах структуры воздушного пространства	+	+	+
Наличие элементов интерфейса: строка поиска, масштабная линейка, инструменты измерения, время на территории полета (UTC) и астрономические координаты	+	+	+
Возможность отображения координатной сетки	—	—	+
Дерево слоев структурировано на несколько частей	-	-	+
Возможно отключение любых слоев	+	-	+
Информация о погоде в районе полета	+	+	+
Возможность отметить места обнаружения помех на карте	+	—	—
<b>II.2. Работа с представлениями на установление на МР и ВР и планами полета</b>			
Выполнение оперативной проверки возможности полета БВС без установления МР или ВР на высоту до 150 м	+	+	+
Составление представлений на установление МР и ВР и плана полета БВС	—	+	+
Указание наличия разрешений на полет над населенными пунктами, в запретной зоне и т.д.	—	Возможно прикрепить файл с разрешением	Необходимо вписать информацию в соответствующее поле
Автоматическое составление и отправка плана полета после присвоения номера режима	—	+	—
Возможность отслеживать статус поданного представления на установление МР или ВР и плана полета	—	+	+
Инструменты сортировки, фильтрации и поиска планов полета и представлений на установление режимов	—	+	+
Сохранение шаблонов документов для повторяющихся полетов	—	+	+
Составление «Чек-листа» с информацией об ограничениях, действующих в воздушном пространстве выполнения полета, или об их отсутствии.	—	+	—
<b>III. Информация для пользователей</b>			
Наличие обучающих материалов для начинающих пользователей (текстовые инструкции, видео)	+	+	+
Наличие страницы с ответами на часто задаваемые вопросы	+	+	+
Ссылки на портал учета БВС Росавиации и на официальный сайт ФГУП «Государственная корпорация по организации воздушного движения РФ»	—	—	+
<b>IV. Дополнительно</b>			
Доступ к API для разработчиков	+	—	—
Проверка обязательного страхования ответственности владельца воздушного судна	—	—	—

## Список литературы

1. Национальный стандарт Российской Федерации «Инфраструктура пространственных данных. Общие требования» от 01.06.2020 ГОСТ Р 58570-2019.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. N 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».
3. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 г. N 60-ФЗ.
2. Карта зон ограничений полетов для БВС – AVTM: [Электронный ресурс]. URL: <https://map.avtm.center>. (Дата обращения: 15.04.2023).
4. Небосвод UTM: [Электронный ресурс]. URL: <https://skyarc.ru>. (Дата обращения: 15.04.2023).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 августа 2015 №901 «О Единой системе организации воздушного движения Российской Федерации».
7. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 27 июня 2011 г. № 171 «Об утверждении Инструкции по разработке, установлению, введению и снятию временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений».
8. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 24 января 2013 г. N 13 «Об утверждении Табеля сообщений о движении воздушных судов в Российской Федерации».
9. Система предоставления планов полетов по сети Интернет: [Электронный ресурс]. URL: <https://sppl.ivprf.ru>. (Дата обращения: 15.04.2023).

УДК: 656.5

# Поддержка принятия решения в управлении транспортом с использованием мультиагентных систем

## Decision support in transport management using multi-agent systems

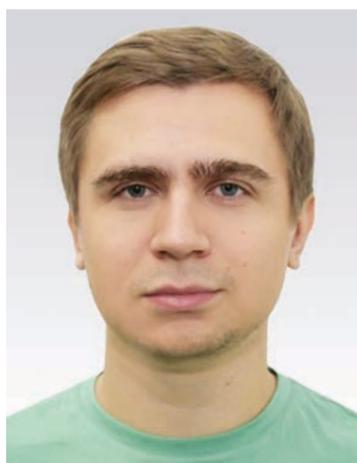
**Мельников Д.А.**, Аспирант, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),

E-mail: dmbox2019@gmail.com, Москва, Россия

**Melnikov D.A.**, Graduate student, Russian Technological University (RTU MIREA),

E-mail: dmbox2019@gmail.com, Moscow, Russia

### Аннотация



В статье исследуются модели социальных агентов как инструмент поддержки принятия решений в управлении транспортом. Вводится понятие «Агенты поддержки принятия решений», рассматриваются социальные агенты, показан принцип их организации и работы. Подробно описано пять типов таких агентов. Дается сравнение технических и социальных агентов. Технические агенты чаще действуют индивидуально. Социальные агенты действуют только в составе целостной системы. Это их принципиальное отличие. Показано, что направление деятельности технических агентов связано с прямым управлением и маршрутизацией транспортных средств. Направление деятельности социальных агентов, применительно к транспорту, связано с мягким управлением и устранением пробок на дорогах или их последствий. Показана связь социальных агентов и интеллектуальных технологий. Показано, что агент является процессуальной единицей информационного поля. Показана рациональность применения информационных и имитационных моделей при проектировании агентов.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, агенты, социальные агенты, агентные системы, мягкое управление, информационная ситуация, агенты поддержки принятия решений, агенты данных, агенты действий.

### Abstract

The article explores the models of social agents as a decision support tool in transport management. The concept of "Decision Support Agents" is introduced. Social agents are considered. The principle of their organization and work is shown. Five types of such agents are described in detail. A comparison of technical and social agents is given. Technical agents often act individually. Social agents act only as part of an integral system. This is their fundamental difference. It is shown that the direction of activity of technical agents is associated with the direct control and routing of vehicles. The direction of activity of social agents, in relation to transport, is associated with soft management and the elimination of traffic jams or their consequences. The connection between social agents and intellectual technologies is shown. It is shown that the agent is a procedural unit of the information field. The rationality of using information and simulation models in the design of agents is shown.

**Keywords:** transport, management, agents, social agents, agent systems, soft control, information situation, decision support agents, data agents, action agents.



## Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР или DSS) [1] предназначены для оказания помощи ЛПП, участвующим в сложных процессах принятия решений. Ранние DSS [2] были задуманы как хранилища данных для восстановления информации, относящейся к решениям. Однако вскоре стало понятно, что ключевая проблема для лица, принимающего решения, заключается не в доступе к соответствующим данным, а в их интерпретации и понимании семантики. Также возникла необходимость в организации аргументации с применением информационного моделирования, что снижало нагрузку на человека.

Современные DSS помогают лицам, принимающим решения, исследовать последствия своих суждений, чтобы принимать решения на основе формирования прогноза и его последствий. Сформировался класс DSS, основанных на знаниях [3]. Эти системы необходимы в областях, где люди должны принимать оперативные решения при управлении сложными промышленными или экологическими процессами, или в условиях больших данных [4, 5]. Решение задач в пространственно распределенных средах привело к построению распределенных структур DSS и в итоге к IoT [6].

Появилось понятие «Агенты поддержки принятия решений» (АППР). Это понятие постепенно распространилось на программные модули и модели агентов в мульти-агентных системах. Агенты поддержки принятия решений несут ответственность за части процесса принятия решений. Они действуют логически, интеллектуально или рациональным образом. В качестве основы используют сбор оперативной информации с учетом стратегической информации. Однако для агентных систем характерен эвристический подход. Агентные системы в аспекте управления в основном предоставляют расширенные услуги по рассуждению для анализа информации [7]. Несмотря на достижения в области агентно-ориентированной программной инженерии, принципиальный подход к проектированию основанных на знаниях многоагентных систем для поддержки принятия решений все еще далек от окончательного совершенствования. Следует отметить, что большая часть работ по мультиагентным системам направлена не решение задачи директивного управления или поведения агента в ситуации [8, 9]. Значительно меньше работ посвящено разрешению проблем в ситуациях. Этим направлением занимаются социальные агенты.

## Агенты социальных знаний, или подход SKADS

Широкое развитие социальной кибернетики [10] мотивирует применение различных социальных моделей в технических областях, включая принятие решений. В настоящее время набирает популярность подход, основанный на агентной модели «social knowledge agents for decision support» или SKADS. В соответствии с основной концепцией в агентно-ориентированной программной инженерии [11], SKADS впервые моделирует агентную DSS с точки зрения организационных парадигм.

Таблица 1. Социальные взаимодействия в DSS

Тип социального взаимодействия	Коммуникативная роль	Протокол
Выполнение действия	Запрашивающая сторона	FIPA-запрос-протокол FIPA-request-when-protocol
Обмен информацией	Информатор	FIPA-query-protocol Протокол подписки FIPA
Объяснение	Объяснитель	Пояснение-протокол
Совет	Советник	Рекомендательный протокол
Переговоры	Сторона, запрашивающая переговоры	FIPA-Propose-протокол,
Выполнение действия	Заказчик переговоров	FIPA-CNET-протокол,
Брокерская деятельность	посредническая заявитель, брокер	FIPA-брокерский протокол FIPA-рекрутинг-протокол

Эта модель затем дорабатывается, с тем чтобы создать агентно-ориентированную модель. В системе SKADS уделяет особое внимание вопросам взаимодействия агентов, поэтому он строго следует стандарту *Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)* [12], уделяя особое внимание языку связи агентов (ACL) FIPA и его абстрактной архитектуре.

Существуют социальные и коммуникативные роли, которые должны поддерживаться DSS, чтобы справиться с типичными взаимодействиями при принятии решений. В практической реализации идентифицируются классы агентов, которые должны присутствовать в любой DSS, основанной на знаниях. Основой применения является абстрактная мультиагентная архитектура, которая осуществляет поддержку реализации DSS для конкретных задач.

Ключевым моментом в современной DSS является помощь лицу, принимающему решения, в изучении последствий аргументации системы. Это определяет важность информационного взаимодействия между ЛПП и DSS. В основе взаимодействия положена многоуровневая функциональность. Она задает типы социального взаимодействия с участием DSS: обмен информацией, объяснение, советы и выполнение действий [13].

Существуют многопользовательские DSS. В DSS с несколькими лицами, принимающими решения, часто проводятся дополнительные посреднические и переговорные взаимодействия, которые выявляют потенциальных партнеров для решения данной проблемы и устанавливают условия, при которых выполняется определенное действие, соответственно. То есть, в этих системах поддержка принятия решений осуществляется опосредованно, а не напрямую как в директивных системах.

Роли обычно описывают различные типы функциональных возможностей для классов агентов. Целесообразно ввести понятие коммуникативной роли для описания коммуникативной компетентности агентов в социальных взаимодействиях. Коммуникативные роли характеризуются коммуникативными действиями и информационной коммуникативистикой. >>>

Коммуникативные действия могут выполняться в поиске информации или в поиске референций. Коммуникативные действия могут выполняться в одном или нескольких протоколах взаимодействия. Анализ [13] определил общие типы социальных взаимодействий. Они представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, большинство социальных взаимодействий, относящиеся к DSS, вместе с их соответствующими коммуникативными ролями, поддерживаются непосредственно FIPA.

Роли в DSS на основе агентов требуют компетенции предметной области, поэтому их надо специализировать: на коммуникативных ролях, на социальных ролях, на элементах онтологии предметной области, о которых они информируют или объясняют. Минимальная компетенция DSS будет сосредоточена на следующих концепциях:

- Системные проблемы. Определение решения и ситуации решения как целостной системы.
- Каузальные проблемы: Выявление причинно-следственных особенностей ситуации.
- Резервные действия: Представление различных альтернатив решения. анализ рисков.
- Прогнозируемые проблемы: Моделирование потенциальных последствий решений, анализ последствий рисков.

Социальные роли должны быть сопоставлены с типами агентов, которые в конечном итоге будут играть эти роли в DSS. Особенно это важно для агентных систем, основанных на знаниях и геознаниях [14]. Необходимо чтобы ролевые процессы адекватно отражали априорное распределение параметров ситуации, присутствующее в конкретной области DS. Обычно существуют два следующих случая [15].

Первый случай включает ситуацию – одна роль – несколько агентов. В сложных областях часто необходимо (или желательно), чтобы разные агенты играли одну и ту же роль, но в разных "частях" системы. Таким образом, агентная модель может лучше отражать человеческую организацию, снижать требования к коммуникации или просто уменьшать сложность необходимых процессов рассуждения.

Второй случай включает ситуацию один агент – несколько ролей: подходы к проектированию, ориентированные на знания, такие как KSM [16], предполагают, что некоторые типы границ знаний домена могут служить рядом целей и, следовательно, могут использоваться агентами для выполнения различных ролей. Очевидно, что нетрудно воспроизвести такие базы знаний среди различных агентов. Основываясь на социальных ролях? обычно создают следующие модели агентов для DSS:

- **Агенты данных (DA):** DA играют роль информатора по отношению к текущему состоянию определенной части системы. Таким образом, они отвечают за поиск информации из различных источников информации, таких как датчики или базы данных, и ее распространение.
- **Агенты управления (MA):** MA играют оставшиеся роли информатора, а также роли советника и объясняющего. Как следствие, они должны быть наделены моделями знаний, которые позволят им сообщать (и обосновывать) проблемы, причины, потенциальные будущие состояния и т.д., а также предлагать потенциальные управленческие действия.

- **Агенты по реализации действий (AIA):** Эти агенты играют роль запрашиваемого лица и отвечают за фактическое выполнение действий, которые лицо, принимающее решения, решило предпринять.
- **Агенты пользовательского интерфейса (UIA):** UIA играют остальные роли (информатор, запрашивающая сторона и т.д.) от имени пользователя. Обратите внимание, что, удобно упорядочивая и = переплетая разговоры, они способны отвечать на различные вопросы (например, «Что происходит в S?», «Что может произойти в S, если произойдет событие E?» и т.д.). Кроме того, обратите внимание, что чем тоньше уровень разложения ролей социального информатора, тем больше пространство потенциальных разговоров, в которые может участвовать MCA.

Подход SKADS требует, чтобы по крайней мере один экземпляр этих типов агентов был представлен в DSS, но из-за различных априорных распределений в соответствующих проблемных областях, часто будут сосуществовать несколько экземпляров вышеупомянутых типов агентов. В DSS, которые поддерживают нескольких лиц, принимающих решения, присутствуют дополнительные координаторы координации (CF), которые обеспечивают поддержку в переговорах и подборе партнеров (вербовка, посредничество).

## Агентное управление дорожным движением

Первое применение архитектуры SKADS относится к области управления дорожным движением. Она была использована в части дорожной сети с высокой пропускной способностью в районе Бильбао [15], включающей кольцевую дорогу города, а также четыре основных подъезда к столичной области. Регулярная информация о состоянии трафика в этом часто используемом районе, регистрируемая петлевыми детекторами, поступает в Центр управления мобильностью, расположенный в Мальмасине, недалеко от города Бильбао. На основе этих данных операторы дорожного движения должны принимать решения о контрольных действиях, которые необходимо применять, чтобы решить или минимизировать заторы. Эти действия включают в себя:

- Отображение сообщений на *Variable Message Signal (VMS)*, установленных над дорогой, чтобы предупредить водителей о проблемах с дорожным движением или рекомендовать изменить собственные маршруты.
- Обращение к местным властям с просьбой направить соответствующих людей для управления ситуацией.

По мере того, как инфраструктура управления дорожным движением становится все более сложной, возрастает потребность в оказании помощи операторам в их задачах управления, помогая им настраивать согласованные планы управления для всей дорожной сети и адекватно использовать доступные сигнальные устройства с глобальной точки зрения. Именно это и является целью прототипа DSS/ Фактически эта система решает задачи ситуационного центра. >>>

Применяя подход SKADS к проблеме управления дорожным движением в районе Большого Бильбао, было учтено, что операторы представляют работу дорожной сети, в первую очередь, с точки зрения так называемых проблемных зон, определенных в соответствии с географическими критериями и односторонним направлением движения. В результате связь между абстрактной архитектурой и фактической структурой прототипа DSS выглядит следующим образом.

1. Выбирают столько DA, сколько имеется проблемных областей в зоне управления. Каждый DA отвечает за сбор информации о состоянии панелей VMS (панели ситуационного центра) и данных, записанных петлевыми детекторами.
2. Каждый DA может дополнять и = или фильтровать зашумленные данные (например, из-за проблем с трансмиссией), используя исторические данные, и преобразовывать наблюдаемые количественные значения в качественные данные (например, высокая скорость, низкая заполняемость). Фактически это методология теории нечетких множеств.
3. Применяют два типа агентов управления (МА). Первый тип агент обнаружения проблем (*Problem detection agents*, PDA) отвечают за мониторинг потока трафика в проблемной области, понимание поведения трафика и обнаружение проблем.
4. Если проблемная ситуация обнаруживается в результате анализа данных, отправленных соответствующим DA, PDA запрашивает второй тип агента управления (*control agent*, CA) для ее разрешения. Каждый агент отвечает за решение = минимизации проблем, решаемых одним или несколькими PDA, и с этой целью он может взаимодействовать с другими PDA, чтобы получить информацию о состоянии их проблемной области и диагностировать перегрузку.
5. На основе информации, полученной в районах, окружающих заторы, CA генерирует предложения по контролю. Контрольное предложение состоит из набора сообщений, которые должны отображаться на панелях VMS с предупреждениями или рекомендациями по альтернативным маршрутам для водителей, приближающихся к затору. Когда обнаруживается несколько областей перегрузки и два или более центров сертификации конкурируют за использование одних и тех же панелей VMS, соответствующие центры сертификации сообщают о достижении соглашения по согласованному совместному предложению.
6. Применяют один UIA, который взаимодействует с транспортными операторами в центре управления по вопросам дорожного движения, предложений по продолжению перевозки т.д.
7. Применяют один AIA, который выполняет решения операторов: Как только оператор трафика принимает предложение по управлению, AIA отображает соответствующие сообщения на VMS.

Два типа агентов управления (PDA и CA) являются ключевыми компонентами DSS для управления трафиком. Они наделены базами знаний, которые используют либо правила JESS (*Friedman-Hill 2003; JESS 2003*) или кадры KSM (*Cuena and Molina 1997*). В частности, для PDA

требуются два вида знаний: физическая структура и дорожное движение.

*Физическая структура:* Знания, представляющие как статическую, так и динамическую информацию сети. Статическая информация представляет собой физическое описание проблемной области (узлы, участки, положение датчиков и т.д.). Динамические аспекты позволяют PDA иметь абстрактную информацию, полученную из исходных данных (например, превышение трафика).

*Проблемы дорожного движения:* Знания об обнаружении и диагностике состояния дорожного движения в этом районе. Проблема рассматривается как дисбаланс между пропускной способностью и спросом на трафик на дороге, являющийся количественной величиной этого превышения трафика. Серьезность проблемы – это качественная величина, полученная от превышения трафика.

## Информационный аспект агентов

Пока не сложилась общая теория социальных и технических агентов для их анализа можно использовать разные подходы и методы включая методы прикладной информатики [17] и прикладной геоинформатики [18]. Применение прикладной информатика очевидно вытекает из необходимости применения информационных моделей. Применение прикладной геоинформатики обусловлено тем, что управление движением происходит в реальном пространстве. В этом пространстве наиболее эффективными являются геоинформационные модели и геоинформационные моделирование. Еще одна особенность, которую пока не рассматривают теории агентных систем, состоит в необходимости использования геоданных для управления движением. Привлечение теории информационного поля позволяет утверждать, что социальный агент есть информационная единица в информационном поле. Социальные агенты являются дополняющими информационными единицами систем поддержки принятия решений.

Соответственно, информационное поле позволяет говорить о моделях агентов, моделях совокупности агентов, моделях информационных ситуаций агентов и метамodelей агентов. Также следует отметить важность системного подхода именно для социальных агентов. Их применение предполагает их групповое применение как целостной системы.

Преимущество социальных агентных систем в их совместной реакции на решение проблем дорожного движения. Технические агенты решают задачи маршрутизации. Социальные агенты решают задачи развязки и устранения последствий заторов. Особенность теории этих систем связана с дискретной математикой, дискретной оптимизацией и выбором рациональных решений.

Включение множества социальных агентов в систему транспортного обслуживания позволяет решать задачи, которые с помощью прямых алгоритмов не решаются. Агентный подход позволяет решать задачи управления движением в реальном времени. Агентные техно- >>>

логии напрямую выходят на область искусственного интеллекта. Они служат развитием интеллектуальных транспортных систем и транспортных кибер-физических систем. Как правило новые задачи являются основным мотивом применения агентных систем.

Перспективным в развитии агентных систем следует считать применение информационных моделей для анализа и проектирования агентов. Также перспективным следует считать применение имитационного моделирования и эволюционного моделирования в развитии и применении социальных агентов. Использование социальных агентов позволяет снижать сложность транспортных ситуаций и обеспечивать поддержку принятия решений в ситуационных центрах. Перспективным в развитии агентных систем следует считать применение теории информационного и теории информационных единиц.

## Заключение

Исследования показывают, что мультиагентная технология может быть успешно применена для создания DSS для реальных задач управления трафиком. В данном простом примере использовано только четыре организационных агента. Их количество может быть увеличено, если они в совокупности образуют целостную систему поддержки принятия решений. Применение социальных агентов отличается от технических агентов. Технические агенты решают задачи прямого управления, то есть прямого воздействия на подвижный объект или жесткого управления. Применение социальных агентов направлено на устранение заторов и пробок, то есть, по существу, решает задачи мягкого управления. Применение социальных агентов дополняет методы применения технических и делиберативных агентов. ■

## Список литературы

1. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 312 с.
2. Keen P. G. W. Decision support systems: a research perspective // Decision support systems: Issues and challenges: Proceedings of an international task force meeting. – 1980. – С.23-44.
3. Cánovas-Segura B. et al. Impact of expert knowledge on the detection of patients at risk of antimicrobial therapy failure by clinical decision support systems // Journal of biomedical informatics. – 2019. – Т. 94. – С. 103200.
4. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110-115.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
6. Shafique K. et al. Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С.23022-23040.
7. Ossowski, S., J. Z. Hernandez, C. A. Iglesias, and A. Fernandez. 2002. Engineering agent systems for decision support. Engineering Societies in an Agent World III, ed. Petta, Tolksdorf, and Zambonelli, 234^274. Springer-Verlag.
8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №6. – С.107-109.
9. Мельников Д.А. Применение агентных систем для оптимизации грузоперевозок // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.22-28.
10. Espejo R. Good social cybernetics is a must in policy processes // Kybernetes. – 2015. – Т. 44. – №. 6/7. – С.874-890.
11. Wooldridge, M., N. Jennings, and D. Kinny. 2000. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. Autonomous Agents and Multiagent Systems 3(3):285-312.
12. Dale J., Lyell M. Foundation for Intelligent Physical Agents // Online verfügbar unter <http://www.fipa.org/>, zuletzt aktualisiert am. – 2014. – Т. 4. – С.2014.
13. Serrano, J. M., S. Ossowski, and A. Fernandez. 2003. The pragmatics of software agents. Analysis and design of agent communication languages. Intelligent Information Agents. The AgentLink Perspective, eds. Klusch et al., 234274, LNAI 2586. Springer.
14. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
15. Ossowski S. et al. Multi-agent systems for decision support: a case study in the transportation management domain // Applied Artificial Intelligence. – 2004. – Т. 18. – №. 9-10. – С. 779-795.
16. Cuenca, J. and M. Molina. 1997. KSM – An environment for design of structured knowledge models. In Knowledge-Based Systems, Advanced Concepts, Techniques & Applications, ed. S. G. Tzafestas, 217-246.
17. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
18. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.

УДК 656.004.89; 656.052/625.173.1

# Методы линейного программирования при планировании транспортной инфраструктуры Индонезии

## Linear programming methods for planning Indonesia's transport infrastructure

**Коваленко Н.И.**, д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (РУТ, МИИТ),  
E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия  
**Kovalenko N.I.**, D.ofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport (RUT, MIIT),  
E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

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

### Аннотация



Задача исследования состоит в применении методов линейного программирования для формирования бюджетов муниципалитетов на строительство и реконструкцию объектов транспорта с учетом объемов производственного плана подрядных организаций в соответствии с комплексным стратегическим планом развития инфраструктуры региона Индонезии. Приведены результаты исследования транспортных проблем Индонезии для решения задач перевозки, как пассажиров, так и грузов. Такая задача возлагается на железнодорожный транспорт, который включен в программу развития транспорта на островах Суматра, Сулавеси, Калимантан и Папуа, разработанной в Национальной стратегии развития транспорта (РИПНАС) до 2030 года. Рассмотренный вариант матриц формируется на основе сложившихся институциональных отношений между поставщиками и потребителями. Они отражают не только текущую выгоду, но и надежность взаимодействия, что в обычной постановке транспортной задачи игнорируется. Эти матрицы служат основой получения опорного решения. Например, на острове Суматра – это развитие пригородной (между провинциями) железнодорожной сети для снижения транспортной нагрузки на автомагистрали в качестве связующего звена экономической деятельности.

**Ключевые слова:** транспортная система Индонезии; железнодорожный транспорт; Национальная стратегия развития транспорта (РИПНАС); симплекс-метод; каноническая транспортная задача; комбинаторные методы решения; динамическое программирование.



### Abstract

The objective of the study is to apply linear programming methods for the formation of municipal budgets for the construction and reconstruction of transport facilities, taking into account the volume of the production plan of contractors in accordance with the comprehensive strategic plan for the development of infrastructure in the region of Indonesia. The results of the study of transport problems in Indonesia for solving the problems of transportation of both passengers and cargo are presented. This task is assigned to rail transport, which is included in the program for the development of transport on the islands of Sumatra, Sulawesi, Kalimantan and Papua, developed in the National Strategy for the Development of Transport (RIPNAS) until 2030. The considered version of the matrices is formed on the basis of the existing institutional relations between suppliers and consumers. They reflect not only the current benefit, but also the reliability of interaction, which is ignored in the usual formulation of the transport task. These matrices serve as the basis for obtaining a reference solution. For example, on the island of Sumatra, it is the development of a suburban (inter-provincial) railway network to reduce the traffic load on highways as a link of economic activity.

**Keywords:** Indonesia's transport system; rail transport; National Transport Development Strategy (RIPNAS); simplex method; canonical transport problem; combinatorial methods of solution; dynamic programming.



## Введение

Одна из проблем Индонезии, как страны-архипелага, является объединение всех своих территорий устойчивыми транспортными сообщениями [1, 2, 3]. В настоящее время Индонезия является четвертой из 10 стран с самым большим населением в мире, которое составляет около 269,6 миллиона человек. Индонезия – это архипелаг, имеющий более 17000 островов общей площадью 735 355 квадратных миль. Поэтому транспорт представляет важный макроэкономический аспект национальной, региональной и местной экономики, как в сельских, так и в городских районах [4, 5].

Важная задача в решении транспортных проблем Индонезии возлагается на железнодорожный транспорт, позволяющий перевозить как пассажиров, так и грузы, обеспечивать экономию энергозатрат, иметь высокий уровень безопасности при эксплуатации, быть экологически безопасным и более эффективным по сравнению с автомобильными перевозками (по объемам массовых перевозок). Конец 19 века стал началом развития железнодорожного транспорта в Индонезии. В настоящее время работы по развитию и совершенствованию в этой области продолжаются и включены в программу развития железнодорожного транспорта на островах Суматра, Сулавеси, Калимантан и Папуа [6, 7, 8]. Программа развития заложена в Национальной стратегии развития железных дорог (РИПНАС) до 2030 года.

Например, целью развития железнодорожной сети на острове Суматра является соединение существующих несвязанных железнодорожных линий в Ачехе, Северной Суматре, Западной Суматре, Южной Суматре и Лампунге в единую сеть соединенных между собой железных дорог [9, 10]. До 2030 года планируется поэтапное строительство железнодорожной инфраструктуры, включая железнодорожные пути и объекты [1, 2, 3]. Согласно намеченной стратегии [9, 10], разработка сети железных дорог, например, острова Суматра планируется в столице каждой провинции, в которую входят следующие города: Медан (Северная Суматра) протяженность – 230 км; Пеканбару (Риау) – 120 км; Паданг (Западная Суматра) – 330 км; Палембанг (Южная Суматра) – 250 км; Бандар Лампунг (Лампунг) – 170 км и Батам (Острова Батам) – 330 км.

Авторы выражают благодарность Пуспитасари Ю. и Нурдиане Х. студентам из Индонезии, принимавшим активное участие в сборе и обработке информации по состоянию транспортной инфраструктуры Индонезии.

## Материалы и методы

В качестве математической модели для решения задачи планирования развития транспортной инфраструктуры Индонезии, анализа факторов, влияющих на строительство и развитие транспорта, может рассматриваться каноническая транспортная задача, в которой используют два типа критериев оптимизации: минимум затрат на строительство и минимум времени на его выполнение.

Задача называется транспортной, но ее применение выходит за рамки транспорта. Названием транспортная задача охватывается широкий круг задач с общей мате-

матической моделью [11, 12]. Эти задачи относятся к области линейного программирования [13, 14].

Классическую транспортную задачу можно решить симплекс-методом [15, 16], но при учете её особенностей результат решения может быть другим. Общим недостатком постановки и решения транспортной задачи в ее многочисленных вариантах является то, что она не является рыночной, так как учитывает интересы только одного участника рынка. Часто транспортная задача представляет интересы одного участника рынка и характеризует его предложение. На рынке существует спрос, который является дополнительным фактором. Фактор спроса в решении транспортных задач не учитывается.

Классическая постановка транспортной задачи.

Условия постановки классической транспортной задачи, следующие:

- имеется  $m$  – производителей работ (подрядных организаций) (вектор ресурсов),
- имеется  $n$  – строительных объектов (вектор потребления),
- заданы коэффициенты затрат  $c_{ij}$ , то есть затраты стоимости единицы строительной операции от  $i$ -го производителя для  $j$ -го строительного объекта (матрица затрат).

В результате решения необходимо определить  $x_{ij}$  объем строительных работ от  $i$ -го производителя (например, подрядной организации) для  $j$ -го пользователя (например, муниципалитета) (искомое решение). Кроме того, необходимо найти план объема строительных работ для каждой пары производитель – пользователь, чтобы по возможности:

1. мощности всех производителей (подрядных организаций) были реализованы,
2. просы всех пользователей (муниципалитетов) были бы удовлетворены,
3. суммарные затраты на производство работ были бы минимальными.

Особенностями постановки классической транспортной задачи являются: система ограничений задана в виде равенств (каноническая форма); коэффициенты при переменных системы 0 или 1; каждая переменная входит в систему ограничений два раза.

Система ограничений имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = M_j \quad (j = 1 \dots m), \quad (1)$$

где  $m$  – число производителей работ (подрядных организаций):

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = N_i \quad (i = 1 \dots n), \quad (2)$$

где  $n$  – число строительных объектов.

Линейная функция может быть выражена в виде:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min \quad (3)$$

При решении поставленной задачи с учетом множества ограничений (1, 2) требуется найти решение  $X$ , >>>

при котором линейная функция  $F$  (формула 3) имеет минимальное значение. Произвольно допустимое решение  $X(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, x_{j1}, \dots, x_{m1}, x_{mn})$  называют распределением заявок или предложений. Оно задается заполнением таблицы заявок или предложений от производителей к заявителям. Если суммарная мощность производителей равна суммарной потребности заявителей, то такой тип задач называют закрытым, в противном случае задачу называют открытой. Решение транспортной задачи включает два этапа. Первый этап заключается в нахождении первоначального базисного решения. Второй этап включает корректировку и оптимизацию базисного решения.

После нахождения базисного решения плана производства работ, нужно применить один из алгоритмов его улучшения и приближения к оптимальному плану.

Транспортная задача с учетом интересов и конкуренции. В реальной практике транспортная задача решается с учетом опыта взаимодействия между заявителем и производителем. В реальности и на рынке планирования строительных работ существуют интересы производителей (подрядных организаций) и интересы заявителей (например, муниципалитетов). Интересы производителей отражены графом предложений (рисунок 1) и матрицей подрядных организаций по производству строительных работ (рисунок 2). Условно матрица подрядных организаций (поставщиков) обозначена как матрица  $B$ .

Граф предложений (рисунок 1) показывает, что отношения между поставщиками не являются комплиментарными. Между ними существует конкуренция и борьба за своего потребителя (муниципалитет). В матрице  $B$  предложения обозначены символом  $t$  – tender. Наличие символа  $t$  в строке матрицы качественно отражает интерес поставщика в выполнении определенного объема строительных работ, определяемого количественно величиной  $t$ .

Аналогичная ситуация существует для удовлетворения интересов заявителей (например, муниципалитетов). Интересы потребителя отражает граф спроса (рисунок 3) и матрица потребителя (рисунок 4).

Условно матрица заявителей (например, муниципалитетов) обозначена как матрица  $A$ . Граф спроса (рисунок 3) показывает, что между потребителями, как и между поставщиками, существует конкуренция и борьба за своего поставщика (подрядную организацию).

В матрице  $A$  предложения обозначены символом  $r$  – request. Наличие символа  $r$  в строке матрицы качественно отражает интерес потребителя к данному поставщику, который количественно выражает интерес в получении продукта, определяемого количественно величиной  $r$ . Величины  $r$  и  $t$  имеют противоположные знаки. Это обусловлено противоположными направлениями векторов на рисунок 1 и рисунок 3.

Следует отметить, что данная постановка задачи приводит не к одной, а двум матрицам. Эти матрицы отражают не только разные интересы поставщика и потребителя, но внутреннюю конкуренцию между поставщиками и потребителями.

Матрицы  $A$  и  $B$ , в отличие от математической постановки задачи, формируются на основе реальных ежегодных планов строительства объектов инфраструктуры

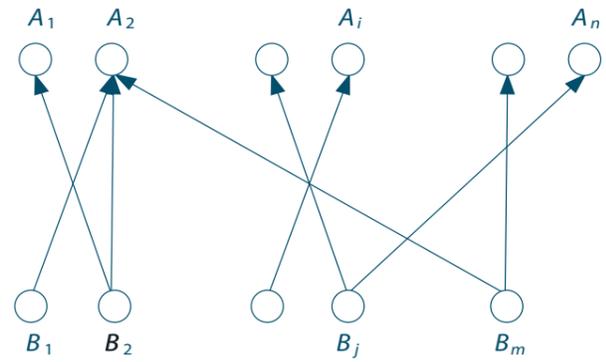


Рисунок 1. Граф предложений подрядных организаций строительных работ

	$A_1$	$A_2$	....	....	....	$A_n$
$B_1$		$t$				
$B_2$	$t$	$t$	$t$			
....			$t$	$t$	$t$	
....		$t$	$t$		$t$	$t$
....			$t$			$t$
$B_m$	$t$	$t$		$t$	$t$	

Рисунок 2. Матрица поставщика (подрядных организаций)  $B$

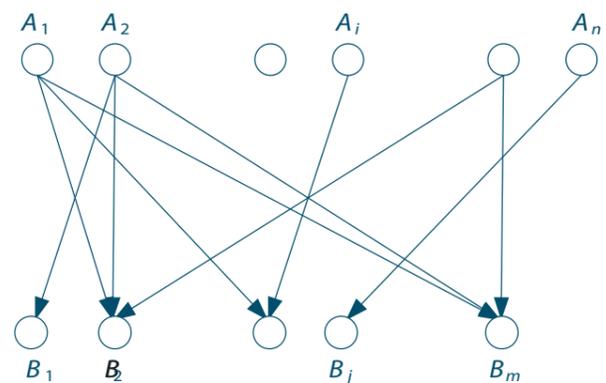


Рисунок 3. Граф спроса заявителей (например, муниципалитетов)

	$A_1$	$A_2$	....	....	....	$A_n$
$B_1$	$r$	$r$				$r$
$B_2$		$r$	$r$			
....			$r$	$r$	$r$	
....		$r$	$r$	$r$	$r$	
....	$r$	$r$		$r$		$r$
$B_m$				$r$	$r$	

Рисунок 4. Матрица заявителей (например, муниципалитетов)  $A$  >>>

или планов потребления продукции. По существу, они могут повторять план предыдущего года с внесением в него корректировок. Поэтому их можно использовать в качестве реального опорного плана. Матричное решение получается путем наложения векторных схем или сложения матриц  $A$  и  $B$  с элементами, имеющими противоположные знаки.

В идеальном случае, в сбалансированной системе потребления и поставок. Это и будет оптимальным решением.

$$A + B = 0 \tag{4}$$

В реальности:

$$A + B = N \tag{5}$$

где  $N$  определяется как матрица несоответствия (рис. 5).

Элементами матрицы несоответствия будут  $r$  и  $t$ , а также  $\Delta r$  и  $\Delta t$ . Величины  $r$  и  $t$ , говорят о полном несоответствии по данному направлению (связи поставщик потребитель), а величины  $\Delta r$  и  $\Delta t$  говорят о наличии частичного несоответствия между данным направлением взаимодействия. Таким образом, имеет место избыток ресурсов со стороны производителя  $t$  (производителя работ, например подрядной организации) или недостаток в ресурсах  $r$  (недостаток финансирования) со стороны потребителя (заявителя, например, муниципалитета). Задача сводится к минимизации матрицы путем взаимного поглощения ее элементов:

$$A + B = \min(N) \tag{6}$$

Эта задача решается методами комбинаторной математики.

*Комбинаторные методы решения.* Минимизация матрицы может рассматриваться как задача целочисленного программирования. Задача максимизации носит название «Задача о ранце», которая всегда решается. Данная задача формулируется следующим образом [17].

Имеется  $n$  объектов строительства инфраструктуры ( $c_{ij} = 1, n$ ) и различные стоимости производства работ  $c_j$ . Требуется выбрать такие виды строительных работ, которые имеют минимальную суммарную величину не более  $b_1$  (заданного значения бюджета). Обозначим  $x_j = 1$ , если  $j$ -й вариант выполнения работ выбран и  $x_j = 0$  в противном случае. В нашем случае задача состоит в минимизации линейной формы ( $F_L$ ):

$$F_L(x) = \sum_{j=1}^n (c_j x_j) \Rightarrow \dots \min \dots \tag{7}$$

При линейном ограничении:

$$\sum_{j=1}^m (c_j x_j) \leq b_i, \quad x_j = \{0, 1\} \tag{8}$$

Для решения данной задачи, в основном, предлагаются алгоритмы, основанные на методе динамического программирования [18].

Обобщением задачи является задача целочисленного линейного программирования. По существу, это и есть решение транспортной задачи. В нашем случае требуется минимизировать стоимостные потребности в строительных работах ( $f_r$ ).

	$A_1$	$A_2$	....	....	....	$A_n$
$B_1$	$r$	$0$	$0$	$0$	$0$	$r$
$B_2$	$t$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
....	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
....	$0$	$0$	$0$	$r$	$r$	$0$
....	$r$	$r$	$t$	$r$	$0$	$0$
$B_m$	$t$	$t$	$0$	$0$	$0$	$0$

Рисунок 5. Матрица несоответствия  $N$

$$f_r(x) = \sum_{i=1}^n (c_j x_j) \quad j = 1, \dots, n \tag{9}$$

При ограничениях:

$$\sum_{j=1}^n (a_{i,j}) \leq b, \tag{10}$$

где  $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; x_j = \{0, 1\}$

## Обсуждение результатов

Алгоритмы решения целочисленной задачи линейного программирования используют, главным образом, идею дополнительных секущих плоскостей, предложенной Гомори [19, 20]. Машинные эксперименты, проведенные с этими алгоритмами [21], показали, что они дают хорошие результаты в основном для задач небольшой размерности. Однако даже среди этих задач встречаются такие, для которых алгоритмы секущих плоскостей либо не дают решения за реальное время, либо требуют объема вычислений того же порядка, что и полный перебор.

В задачах комбинаторного типа выделяются две группы: метод локальной оптимизации и метод пошагового получения решений. Пошаговое получение решений включает итеративные, инкрементные и спиральные алгоритмы [22]. В [23] описано исследование по применению метода случайного поиска для решения задачи целочисленного программирования при дополнительном условии, что все параметры  $a_{ij}, c_j, b$  неотрицательны.

Формирование бюджета муниципалитетов на строительство и реконструкцию с учетом объемов производственного плана подрядных организаций производится последовательно, начиная с линейного уровня, сформированного производственно-техническим отделом подрядной организации [24, 25] в соответствии с комплексным стратегическим планом развития инфраструктуры региона Индонезии.

Учет интересов не только подрядных организаций, но и заявителя, например, муниципалитетов приводит к необходимости постановки транспортной задачи >>>

нового типа: в этой задаче вместо одной матрицы используют две матрицы, независимо отражающие интересы подрядных организаций по строительству новых и реконструкции существующих железных дорог и потребителя – заявителя, например, муниципалитетов. Эти матрицы формируются на основе сложившихся институциональных отношений между поставщиками и потребителями. Они отражают не только текущую выгоду, но и надежность взаимодействия, что в обычной постановке транспортной задачи игнорируется. Эти матрицы служат основой получения опорного решения. Например, на острове Суматра это развитие пригородной (между провинциями) железнодорожной сети для снижения транспортной нагрузки на автомагистрали в качестве связующего звена экономической деятельности.

## Выводы

Для развития пригородной железнодорожной сети на острове Суматра планируется построить основную магистраль для соединения следующих городов: Банда Ачех – Сигли – Биреун – Локсеумаве (284 км); Локсеу-

маве – Лангса – Беситанг (199,5 км); Бинджай – Беситанг (156 км); Рантаупрапат – Дури – Думаи (251 км); Дури – Пеканбару (100 км); Пеканбару – Муаро (297 км); Пеканбару – Ренгат – Джамби (274 км); Джамби – Бетунг (188 км); Бетунг – Симпанг (124 км); Тарахан – Бакаухени (70 км); Пематанг Сиантар – Данау Тоба (117 км); Кратчайший путь Реджосари – Тарахан (37,752 км); Кратчайший путь Индарунг – Солок (36,2 км); Реконструкция линии Белаван – Габион; Реконструкция линии Паданг – Пуло Аэр; Реконструкция линии Нарас – Сунгай Лимау, и Реконструкция линии Муаро Калабан – Логас.

Дальнейшая оптимизация получается путем обработки результирующей матрицы, причем результирующая матрица может быть дополнена новыми предприятиями по строительству и выполнению ремонтных работ и новыми потребителями – заявителями. В качестве решения результирующей матрицы можно использовать метод решения «Динамической транспортной задачи с задержками» или комбинаторные методы. Таким образом, развитие сети пригородных поездов требует государственной финансовой поддержки в инфраструктуру для достижения максимального качества обслуживания. ■

## Список литературы

1. Kementerian Perhubungan. Rencana Induk Perkeretaapian Nasional. Ditjen Perkeretaapian. Jakarta, 2011. – 86 p.
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024, 2020. – 710 p.
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2015 tentang Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha dalam Penyediaan Infrastruktur, 2015. – 37 p.
4. PT. Penjaminan Infrastruktur Indonesia. Proyek KPBU Kereta Api Makassar- Pare-pare, 2018. – 366 c.
5. M. Yamin Jinca. Keterpaduan Sistem Jaringan Antar Moda Transportasi di Pulau Sulawesi. Makassar. 2009. – 14 p.
6. Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Selatan Nomor 1 Tahun 2019 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2018-2023. 2019. – 655 p.
7. Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Barat Nomor 8 Tahun 2017 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Provinsi Sulawesi Barat Tahun 2017-2022. 2017. – 484 p.
8. Peraturan Daerah Provinsi Sulawesi Utara Nomor 1 Tahun 2014 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Provinsi Sulawesi Utara Tahun 2014-2034. 2014. – 114 p.
9. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tengah. Provinsi Sulawesi Tengah dalam Angka. 2018. – 607 p.
10. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Barat. Provinsi Sulawesi Barat dalam Angka. 2021. – 651 p.
11. Миловидов С.П., Козлов П.А. Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке //Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1982. – №. 1. – pp. 211-212.
12. Бородинова И.А., Сараев Л.А. Стохастическая транспортная задача // Вестник Самарского государственного университета. 2010. № 81. стр.16–23.
13. Dantzig G. Linear programming and extensions. – Princeton university press, 2016.
14. Gass S. I. Linear programming //Encyclopedia of Statistical Sciences. – 2004. – V. 6.
15. Nelder J. A., Mead R. A simple method for function minimization //The computer journal. – 1965. – V. 7. – №. 4. – p.308-313.
16. Цветков В.Я. Математические методы анализа в экономике. – М.: МАКС Пресс, 2001, – 56с.
17. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Комбинаторное решение транспортной задачи. Наука и технологии железных дорог. 2019. Т. 3. № 1 (9). С. 85-88.
18. Беллман Р., Дрейфус С, Прикладные задачи динамического программирования. «Наука», 1965
19. Gomory R. E. An Algorithm for integer solutions to linear programs. Recent Advances Math. Programm. McGraw-Hill Book, 1963.
20. Gilmore P. C., Gomory R. E. Multi-Stage Cutting Stock Problems of two and more dimensions. Opns. Res., v. 13, No. 1, 1965.
21. Теплицкий Э. Д., Финкелыптейн Ю. Ю. Машинный эксперимент по решению задач целочисленного линейного программирования // Экономико-математические методы, т. IV, № 2. 1968.
22. Цветков, В.Я., Мордвинов В.А. Подход к систематизации алгоритмов // Онтология проектирования. – 2018. – Т. 7, №4 (26). – С. 388-397.
23. Пятецкий-Шапиро А.Б. и др. Об одном интерактивном методе решения задач целочисленного программирования. Доклад АН СССР, т. 160, т. 169, № 6, 1966.
24. Волков Б.А., Коваленко Н.И., Добрин А.Ю., Коваленко А.Н. О методике планирования расходов на текущую эксплуатацию пути // Путь и путевое хозяйство, № 5, 2018, С. 23-26.
25. Волков Б.А., Коваленко Н.И., Добрин А.Ю., Коваленко А.Н. Сокращение затрат на текущую эксплуатацию пути в зависимости от классификации железнодорожных линий // Путь и путевое хозяйство, № 6, 2019, С. 15-19.

УДК: 523.21

# Повышение инвестиционной привлекательности инфраструктуры за счет развития путей необщего пользования

## Increasing the investment attractiveness of infrastructure through the development of non-public paths

**Мельников Д.А.**, к.э.н., Первый проректор, Российский университет транспорта,

E-mail: vovkrv@bk.ru, Москва, Россия

**Volkov R.V.**, PhD.(Econ), First Vice-Rector, Russian University of Transport (MIIT),

E-mail: vovkrv@bk.ru, Moscow, Russia

### Аннотация



В статье исследуется развитие территорий за счет повышения инвестиционной привлекательности объектов транспортной инфраструктуры. В качестве основы предлагается инфраструктурный проект развития железнодорожной инфраструктурной составляющей. Показано, что развитие путей необщего пользования повышает инвестиционную привлекательность региона и стимулирует инвестиции в данный регион. Объектом исследования является транспортная инфраструктура, находящаяся на территории особой экономической зоны промышленно-производственного типа. Дается анализ проекта развития. Реализация проекта осуществляется через развитие путей необщего пользования. Показана информационная потребность и выгоды, которые приносит инфраструктурный проект. Проект развивает транспортную инфраструктуру, а также городскую и муниципальную инфраструктуру.

**Ключевые слова:** транспорт, транспортная инфраструктура, особая экономическая зона, управление инфраструктурой, геоинформатика, принятие решений.

### Abstract

The object of the study is a group of enterprises located in the territory of a special economic zone of an industrial production type with a railway infrastructure component. The development of tracks on the territory of the special economic zone of the industrial production type of the railway station "Promyshlennaya" increases the investment attractiveness of the commercial real estate object. As a solution, an infrastructure project for the development of the railway infrastructure component at the expense of the investor's money is proposed. The content of the concept of infrastructure project is revealed. The implementation of the infrastructure project is carried out through advanced property management technology. The proposed real estate management technology simultaneously develops urban and municipal infrastructure.

**Keywords:** transport infrastructure, special economic zone, transport infrastructure management, real estate management, decision making.



## Введение

Территориальным или пространственным управлением [1] называют управление территориями или транспортной инфраструктурой. Как метод управления выделяют семиотическое управление [2], которое является связующим звеном с интеллектуальным управлением. Пространственное управление включает управление недвижимостью [3] и геосервис [4]. В пространственном управлении выделяют территории, которые называют особой экономической зоной. Особая экономическая зона (ОЭЗ) [5], имеет особый юридический статус и ряд преференций. Многие ОЭЗ включают объекты транспортной инфраструктуры и требуют развития. Обычно ОЭЗ включает комплекс разных объектов, которые требуют увеличения инвестиционной привлекательности.

Одним из методов повышения инвестиционной привлекательности территории и ОЭЗ является развитие транспортных коммуникаций и транспортной доступности региона. В частности, возможно развитие инфраструктуры за счет развития железных дорог необщего пользования, которые стимулируют коммерческую деятельность в аспекте транспортировки промышленных и коммерческих грузов. Традиционный подход включает развитие общественного транспорта, но существует направление развития грузовых перевозок.

С позиций автоматизации [6] и цифровизации [7] целесообразно развивать дорогу на цифровой основе [8]. При этом необходимо создание цифрового управляющего пространства [9]. С позиций геоинформатики [10] ОЭЗ есть пространственный объект, управление которым является распределенным [11]. С позиций топологии ОЭЗ есть топологический объект, включающий транспортную сеть. Железнодорожный транспорт является одним из видов транспорта, обладающий инвестиционной привлекательностью. Наличие транспортных коммуникаций в городской инфраструктуре обеспечивает экономию времени и средств для транспортировки грузов или продукции зоны.

При развитии ОЭЗ совпадают интересы территориальных муниципальных коммерческих и крупных корпоративных организаций. Коммерческие организации заинтересованы в активности ОЭЗ и ее инвестиционной привлекательности, корпорации и государственные организации заинтересованы в развитии железнодорожного транспорта и его поддержке. Совместными усилиями они решают общую задачу. Это решение создает экономию ресурсов для всех сторон.

Развитие транспортной инфраструктуры требует использования пространственных знаний и информационных ресурсов [12], применяемых в технологиях управления [13] территориями. Такое управление опирается на геоинформатику, геоинформационное моделирование, цифровые модели [14] и цифровизацию [15]. Геоинформационный проект становится инструментом развития транспортной и городской инфраструктуры с увеличением инвестиционной привлекательности объектов ОЭЗ.

## Специфика особой экономической зоны

Особая экономическая зона часто имеет определенный экономический тип. Например, промышленно-производственный тип (ОЭЗ ППТ) такая зона представляет собой государственный проект, направленный на развитие региона путем привлечения отечественных и иностранных инвестиций.

ОЭЗ ППТ представляет собой ареальный объект, включающий линейные и точечные объекты. Обычно линейным объектом является железнодорожная ветка, проходящая через территорию ОЭЗ. Инфраструктура ОЭЗ ППТ первоначально включала: внутреннюю дорожную сеть; подъездную автомобильную дорогу; сети электроснабжения; сети теплоэнергии; сети водоснабжения; сети газоснабжения. Данные параметры говорят о том, что у резидентов особой ОЭЗ отсутствует альтернативный маршрут для вывоза/завоза грузов и сырья.

Для развития инфраструктуры и развития транспортной доступности ОЭЗ ППТ обычно осуществляют строительства железнодорожной станции необщего пользования находящейся на территории ОЭЗ ППТ и примыкающей к ближайшей железнодорожной станции. С позиции логистики [16] это повышает пропускную способность зоны.

При рассмотрении возможности примыкания существующей станции к новой станции обычно выявляют недостатки и устраняют их в ходе проектирования. Например, при расчетах для выдачи технических условий были выявлены следующие недостатки:

- отсутствие вытяжного пути, вследствие чего маневровая работа по станции осуществляется с выездом на главный путь;
- дефицит существующего путевого развития для обеспечения перевозок проектируемого железнодорожного пути необщего пользования

Указанные недостатки приводят к снижению темпов расформирования/формирования поездов и увеличению простоя вагонов, что в свою очередь влияет на инвестиционную привлекательность. Для устранения недостатков предлагают инфраструктурный проект строительства станции, включающий:

- новые маршруты с использованием альтернативного железнодорожного транспорта;
- создание и использование новых площадок как логистического терминала;
- снижение загрязнения окружающей среды связи с тем, что железнодорожный транспорт является экологичным видом транспорта;
- отсутствие зависимости транспортировки от погодных условий;
- пространственные и конструктивные решения.

Основное технологическое решение состояло в предложении геоинформационного проекта развития, использующего методы прикладной информатики [17] и прикладной геоинформатики [18], которая развивает транспортную и городскую инфраструктуру одновременно. Проект мотивирован привлечением инве- >>>

стиций для решения коммерческих и государственных задач. Объектом коммерческой недвижимости называют земельные участки, здания и сооружения, предназначенные для использования в коммерческой деятельности с последующим извлечением постоянной прибыли, увеличения дохода от аренды и прироста капитала. Особая экономическая зона является точкой бифуркации или точкой инновационного развития региона, а не только недвижимости или только транспорта. Недвижимость, расположенная на территории особых экономических зон промышленно-производственного типа, обычно является коммерческой из-за использования ее для получения постоянного дохода.

В Российской Федерации сформирована достаточно полная нормативно-правовая база, обеспечивающая развитие путей необщего пользования, примыкающих к железнодорожным станциям. Эта база позволяет формировать логику и логическую цепочку данного процесса. При формировании таких цепочек применяют не обычную логику, а пространственную логику [21, 22].

При решении задач и развития недвижимости широко применяют модели жизненного цикла как основу оценки и эффекта развития. Многие модели жизненных циклов допускают реконструкцию, которая увеличивает длительность жизненного цикла и повышает стоимость недвижимости, через стоимость ее жизненного цикла.

Реконструкция, как этап жизненного цикла [21, 22] объектов недвижимости, напрямую относится и к объектам железнодорожной инфраструктуры, так как пути общего и необщего пользования являются недвижимостью как таковой. При строительстве новых примыканий к путям общего пользования рассматривается вопрос в возможностях и провозных мощностях прилегающей станции непосредственно к точкам примыкания.

В геоинформационном проекте заложено решение, включающее три компонента. С одной стороны, решается вопрос проектирования и строительства новых железнодорожных путей необщего пользования. Второй компонент связан с увеличением инвестиционной привлекательности. Третий компонент включает реконструкцию путей общего пользования за счет средств инвесторов, строящих свою новую инфраструктуру. В данной ситуации получается, что у двух компаний, у ОАО «РЖД» и инвестора, как владельца инфраструктуры общего пользования происходит обновление инфраструктуры за счет сторонних инвестиций.

Строительство объектов железнодорожной инфраструктуры необщего пользования происходит за счет средств инвесторов, строительство путей общего пользования за счет собственных средств ОАО «РЖД» или за счет государственного бюджета или федерального, в зависимости от его значимости. Иногда финансирование строительства происходит в равных долях между ОАО «РЖД» и инвестором.

В настоящее время недвижимость является одним из необходимых ресурсов обеспечения эффективной деятельности акционерного общества. При этом недвижимость является важнейшим имущественным компонентом собственников. По своей оценочной стоимости недвижимость составляет до 30-40% основных фондов

производственных предприятий, а в некоторых отраслях и видах деятельности — до 70-80%. Выделяют три компонента недвижимости как ресурса в системе управления: функциональный, финансовый и эксплуатационный.

Единое стратегическое управление как метод является сочетанием стратегического подхода к постановке задач и программно-целевого подхода к их реализации.

Стратегический подход [23] отличается от долгосрочного подхода (долгосрочного планирования) тем, что он ориентирует предприятие не на существующие условия, а на те, которым еще только предстоит сложиться. Иными словами, если долгосрочное планирование основывается на экстраполяции, то в соответствии со стратегическим подходом ставится задача прогнозирования (предвидения) изменений и заблаговременного приспособления к ним.

Объекты недвижимости являются обеспечивающим ресурсом. Это ставит задачу оптимизации их использования. Для этой цели необходимо провести исследования:

- выявление недостающих объемов и функционального качества объектов недвижимости;
- выявление излишков недвижимости для их возможной реализации или репрофилирования направлений их использования;

Управление недвижимостью – это деятельность, осуществляемая за счет и в интересах потребителей и связанная с определенным циклом жизни объекта недвижимости. Она включает компоненты:

- рациональное использование объекта недвижимости или территории;
- проектирование объекта недвижимости в комплексе с неотделимыми улучшениями;
- формирование инновационного потенциала;
- оценка состояния объекта;
- маркетинг и геомаркетинг [24];
- обращение (купля-продажа, аренда), лизинг, залог (ипотека), доверительное управление, передача прав хозяйственного ведения и оперативного управления, дарение и т.д.;
- сервис и геосервис [4];
- техническое обслуживание, эксплуатация и ремонт (текущий, непредвиденный);
- капитальный ремонт, модернизация, реконструкция и реставрация;
- репрофилирование по функциональному назначению;
- утилизация (снос и захоронение).

Управление недвижимостью – это деятельность, осуществляемая на свой риск, направленная на извлечение прибыли (от своего имени или по поручению собственника) от реализации полномочий владения, пользования и распоряжения объектами недвижимости. В силу этого технологии оценки риска имеют большое значение.

## Виды воздействия на объекты инфраструктуры

Рассмотрим виды воздействий на объекты недвижимости ОЭЗ, которые осуществляют субъекты рынка: >>>

1. Государственное регулирование недвижимости путем прямого вмешательства (прямое административное управление), включающее:
  - создание законов, постановлений, правил, инструкций и положений, регулирующих функционирование объектов недвижимости; введение механизма ответственности за нарушение нормативных требований при совершении сделок с объектами недвижимости;
  - контроль за соблюдением всеми субъектами рынка установленных норм и правил; регистрацию прав на объекты недвижимости и сделок с ними;
  - лицензирование девелоперской предпринимательской деятельности в сфере недвижимости;
  - путем косвенного воздействия (экономические методы управления объектами недвижимости), включая:
    - налогообложение объектов недвижимости предоставление льгот;
    - реализацию государственных целевых программ;
    - установление амортизационных норм;
    - реформирование жилищно-коммунального хозяйства; выпуск и обращение жилищных сертификатов;
    - путем комплексного решения вопросов землепользования и приватизации, развития инженерной инфраструктуры и т. д.
2. Общественное воздействие. Реакция широких слоев общества, в том числе и профессиональных участников рынка недвижимости, на те или иные операции с недвижимостью, которая служит основой для нормативных актов, положений и т. д.
3. Управление объектами недвижимости, которые собственник использует для ведения конкретной девелоперской предпринимательской деятельности и для получения максимальной прибыли.
4. Управление системами объектов недвижимости субъектов федерации: муниципальной недвижимостью; земельными ресурсами; лесным фондом; недвижимостью в жилищной сфере; нежилой недвижимостью.

Управление отдельными объектами, предприятиями и другими имущественными комплексами предполагает их передачу в оперативное управление и хозяйственное ведение, доверительное управление, аренду в различных формах и т. д.

В основу системы управления недвижимостью положен принцип пообъектного управления, который заключается в по объектном разграничении (формировании) недвижимости; классификации и единой регистрации объектов; по объектной регистрации имущественных прав и оценке недвижимости; учете отраслевых особенностей управления объектами недвижимости и координации политики в сфере недвижимости.

## Проблемы транспортной инфраструктуры

В докладе «Потребности в развитии стратегической транспортной инфраструктуры до 2030 года» («*Strategic*

*Transport Infrastructure Needs to 2030*») (Организации экономического сотрудничества и развития (ЭЭСР) на основе сопоставления индексов стран по глобальной конкурентоспособности и качеству инфраструктуры, рассчитанных Всемирным экономическим форумом, сделан важный вывод о прямой взаимосвязи общей конкурентоспособности страны и уровня развития инфраструктуры. Этот вывод подтверждается и другими авторитетными международными организациями.

По данным Всемирного банка, первые места в мировом рейтинге по простоте ведения бизнеса, существенно влияющей на национальную конкурентоспособность, занимают страны с наиболее развитой транспортной инфраструктурой.

Очевидно, что для ускоренной модернизации и развития экономики России необходимы модернизация и расширение базовой инфраструктуры, в том числе железнодорожной.

Железнодорожный транспорт имеет системообразующее значение для экономики России. Почти треть ВВП России формируется за счет добычи полезных ископаемых, обрабатывающих производств и строительства. предприятия отраслей – локомотивов экономического роста России являются крупными клиентами железнодорожного транспорта. При этом железная дорога для них, как правило, является единственным наземным средством доставки сырья для производства и готовой продукции до потребителей.

На инфраструктуре железнодорожного транспорта обеспечено более 40% грузооборота и почти 32% пассажирооборота всей транспортной системы страны. Железнодорожным транспортом отправляется порядка 3,5 млн. тонн грузов в сутки, благодаря чему обеспечивается работа ключевых отраслей экономики. Помимо этого, предприятия железнодорожного транспорта размещают заказы на производство продукции железнодорожного назначения у российских производителей.

Уже более 20 лет железнодорожный транспорт работает в условиях, ограничивающих возможности его развития. Транспортные услуги предоставляются по регулируемым государством тарифам, но при этом необходимые для работы железных дорог ресурсы могут быть приобретены только по рыночным ценам.

Фактически все это время происходит субсидирование развития других отраслей экономики за счет железнодорожного транспорта. Недоинвестирование в обновление и развитие основных фондов железнодорожного транспорта ведет к увеличению их износа, сокращению пропускной способности российской сети железных дорог и неполному освоению предъявляемого к перевозкам объема грузов.

В то же время, предприятия добывающих, обрабатывающих отраслей, а также производители строительных материалов активно инвестируют в развитие производств и увеличивают выпуск продукции, предъявляя к перевозкам по железным дорогам все больше грузов. По сути, отставание развития инфраструктуры железнодорожного транспорта от развития производственных мощностей основных грузо образующих отраслей становится фактором, ограничивающим рост российской экономики. >>>

Потенциал развития железнодорожной инфраструктуры задействован недостаточно, прежде всего, из-за низкого уровня инвестиций. По оценкам экспертной группы, работающей над стратегией социально-экономического развития России до 2020 года, рациональный объем инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры составляет порядка 1,5% ВВП (минимально необходимый объем инвестиций – 1% ВВП), тогда как за 2004–2011 гг. Уровень инвестирования в среднем составлял 0,7% ВВП в год.

В России сформировалась негативная тенденция двукратного недофинансирования потребных инвестиций в развитие железнодорожного транспорта. За 2004–2011 гг. недоинвестировано от 1,2 до 3,3 трлн. руб. При сохранении инвестиций в развитие железнодорожного транспорта на уровне 0,7% ВВП общая протяженность «узких мест» на железнодорожной сети к 2015 г. Возрастет более чем на 7 тыс. км.

В этом случае возможности железнодорожной инфраструктуры позволят к 2015 г. Осваивать лишь около 86% объемов грузовых перевозок, принятых в генеральной схеме развития железных дорог на период до 2020 года, сформированной на основе прогнозов минэкономразвития России.

Недостаточные темпы обновления и модернизации железнодорожного транспорта могут значительно повысить риск увеличения аварийности и отказов технических средств; привести к росту количества неплановых ремонтов, увеличению эксплуатационных расходов на поддержание необходимого уровня готовности технических средств, снижению энергоэффективности, уменьшению производительности труда. Следствием этого могут стать увеличение транспортной составляющей в цене товаров и повышение тарифной нагрузки на грузоотправителей.

В настоящее время повышается значимость железнодорожного транспорта в глобальной мировой транспортной системе. Эксперты ЭЭСР предупреждают, что большинство из существующих в мире инфраструктурных узлов не смогут удовлетворить даже полтора-двакратный рост потребности в перевозках, при том, что к 2030 г. Ожидается двух-трех кратное увеличение грузо- и пассажиропотоков. Основные долгосрочные потребности глобальной инфраструктуры будут заключаться в создании новых и развитии существующих транспортных узлов и коридоров национального и международного значения.

По оценкам ЭЭСР, до 2030 г. инвестиционные потребности мировой транспортной инфраструктуры, включающей аэро – и морские порты, железные дороги и трубопроводы, составят 11,3 трлн. долларов США. Предполагается, что более 44% этого объема должны составить инвестиции в железнодорожную инфраструктуру. При этом, если среднегодовой объем вложений в трубопроводы до 2030 г. Останется неизменным, то в аэро – и морские порты он должен увеличиться с 2015 г. В среднем в 1,6 раза, в железные дороги – более, чем вдвое. Таким образом, железнодорожный транспорт признается приоритетным направлением развития транспортной инфраструктуры в мире.

Отмечается тот факт, что инвестиции в инфраструктуру в развивающихся странах в целях ее расширения и обеспечения растущего спроса на транспортные услуги должны быть более значительны, чем в развитых. Однако объемы инвестиций в развитие железнодорожной инфраструктуры в России существенно меньше, чем в развитых странах.

При этом более двух третей всего объема инвестиций направляется на развитие железнодорожной инфраструктуры. В мире в течение 2004–2008 гг. Происходило увеличение доли государственного финансирования инвестиций в железнодорожную инфраструктуру (с 25 до 32%) при снижении доли операционных доходов.

## Инфраструктура как феномен

Пока по качеству инфраструктуры в целом Россия занимает в мировом рейтинге лишь 100-е место (29-е – по развитию железнодорожной инфраструктуры), по индексу развития логистики – 94-е. Уровень контейнеризации грузовых перевозок в стране составляет 16%, а в развитых странах и странах БРИКС – 60%. При этом, обладая одной из самых протяженных сетей железных дорог в мире, Россия занимает второе место по грузонапряженности, уступая лишь Китаю, и одно из последних мест по густоте железных дорог.

Очевидно, что для ускоренной модернизации и развития экономики России необходимы модернизация и расширение базовой инфраструктуры. В современной экономической теории анализ инфраструктуры – неизменно актуальная тема. Впервые понятие «инфраструктура» появилось в буржуазной политэкономии в конце 40-х гг. нашего столетия. Хронология появления первых попыток использования термина «инфраструктура» в экономической литературе, исходя из ее анализа по опубликованным в разных странах работах, большей частью весьма неопределенна. В ряде работ указывается послевоенный период, в нескольких исследованиях утверждается, что термин «инфраструктура» был введен в экономическую науку в 1955 г. американским экономистом П. Розенштейном-Роданом по отношению ко всем условиям окружающей среды, необходимым для того, чтобы частная промышленность была в состоянии сделать первый рывок

Причины, побудившие рассматривать инфраструктуру как самостоятельный элемент в экономической системе, были обусловлены, с одной стороны, процессами углубления общественного разделения труда, с другой невозможностью полноценного развития инфраструктуры только через рыночный механизм.

Понятие инфраструктура представляет совокупность материальных, институциональных и индивидуальных видов оборудования, имеющих в распоряжении хозяйствующих единиц, позволяющих при целесообразном размещении ресурсов обеспечивать полную интеграцию и высокий уровень хозяйственной деятельности. Инфраструктура может быть интерпретирована как совокупность сервисных отраслей, необходимых для развития экономики, и характеризующихся длительностью строительства и сроков службы объектов. >>>

Для анализа проблем необходимо определить понятие железнодорожного транспорта и его инфраструктуры. Под железнодорожным транспортным комплексом пользования подразумевают производственно-технологический комплекс, включающий в себя инфраструктуру железнодорожного транспорта, железнодорожный подвижной состав, другое имущество предназначенный для обеспечения потребностей физических лиц, юридических лиц и государства в перевозках железнодорожным транспортом на условиях публичного договора, а также в выполнении иных работ (услуг), связанных с такими перевозками.

Железнодорожный транспорт необщего пользования – совокупность производственно-технологических комплексов, включающих в себя железнодорожные пути необщего пользования, здания, строения, сооружения, в отдельных случаях железнодорожный подвижной состав, а также другое имущество и предназначенных для обеспечения потребностей физических и юридических лиц в работах (услугах) в местах необщего пользования на основе договоров или для собственных нужд.

Инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования – транспортная инфраструктура, включающая в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы, систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование инфраструктуры здания, строения, сооружения, устройства и оборудование. Железнодорожные пути необщего пользования – железнодорожные подъездные пути, примыкающие непосредственно или через другие железнодорожные подъездные пути к железнодорожным путям общего пользования и предназначенные для обслуживания определенных пользователей услугами железнодорожного транспорта на условиях договоров или выполнения работ для собственных.

Пути необщего и общего пользования должны соответствовать утвержденной проектной и технической документации. Для каждого объекта инфраструктуры разрабатывается инструкция, в которой указаны характеристика путевого развития, весовая норма и длина поезда, допущенного для движения по данным путям, допустимая скорость движения поездов на конкретном участке пути, типы локомотивов, допущенных для движения на путях, нормы закрепления вагонов, положения стрелочных переводов, расположение и наличие устройств сигнализации и централизации связи.

К инфраструктуре железнодорожного транспорта относится железнодорожный путь, электроснабжение, устройства железнодорожной автоматики и телемеханики и подвижной состав. Железнодорожный путь функционирует в условиях динамической нагрузки, с обеспечением достаточной скорости движения поездов и безопасности движения. От состояния путевого хозяйства напрямую зависят как эксплуатационные показатели, так и экономические. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики предназначены для безо-

пасного интервала путевого следования поездов, уменьшения интервала движения поездов и увеличения пропускной способности грузопотоков.

Устройства электроснабжения применяются непосредственно на электрифицированных железнодорожных линиях. На сегодняшний день электрифицируются более грузонапряженные линии на их долю приходится более 85% грузооборота, перевозимого железнодорожным транспортом. Однако, несмотря на очевидную разницу трактовки понятия «инфраструктура», в работах западных экономистов прослеживается один общий признак инфраструктуры. Дело в том, что западные экономисты рассматривали *инфраструктуру с точки зрения источников финансирования ее развития*. Главной проблемой для исследователей являлся процесс аккумуляции огромных средств, необходимых для развития инфраструктуры. Поскольку финансирование развития инфраструктуры в капиталистических странах осуществлялось в основном из госбюджета, западные экономисты трактовали эти инвестиции как «дополнительный общественный капитал» или «накладные социальные издержки».

Обобщая проанализированные точки зрения отечественных и зарубежных ученых на сущность и состав, закрепляемые за инфраструктурой, необходимо выделить основные её функции: обеспечение тех или иных видов человеческой деятельности на определенной территории; создание условий для работы предприятий в регионе и для размещения в нем рабочей силы и населения; подготовка общих условий для функционирования всего общественного капитала; формирование условий для производства и потребления.

Таким образом, инфраструктура может пониматься как функционально-сервисная подсистема, которая в воспроизводственном процессе воздействует на активность поведения субъектов его экономической системы, обеспечивая сочетание их интересов с задачами комплексного социально-экономического развития, и может рассматриваться как относительно самостоятельная система с собственными целями.

При данном подходе к инфраструктуре относятся, прежде всего, транспорт всех видов, связь, материально-техническое снабжение и складское хозяйство, а также отрасли, связанные с обслуживанием и управлением процессом воспроизводства.

Определения понятия «инфраструктуры» российское законодательство сегодня не содержит: отсутствует единый терминологический аппарат, направленный на обеспечение однозначного понимания задач, принципов, методов и форм развития и стимулирования отрасли.

Транспортная инфраструктура определяется как транспортные коммуникации, терминалы, логистические центры и иные сооружения, устройства и оборудование, обеспечивающие работу транспорта при осуществлении перевозок грузов, пассажиров и багажа. В силу своей двойственной ориентации (обслуживает производственную и социальную сферы), транспортная инфраструктура определяет не только экономическую, но и социальную ценность территории, вписываясь в рельеф, определяя и экологическую ситуацию. >>>

## Инфраструктурный проект

Анализ показывает, что инфраструктурный проект необходимо отличать от обычного строительного проекта или прочих видов деятельности, в результате которого создается хозяйствующий субъект. Современные инфраструктурные проекты носят смешанный характер и сочетают в себе различные признаки с точки зрения различных классификационных групп. Определим его основные характеристики:

- *инфраструктурный проект* — это долгосрочный стратегический проект, определяющий конкурентоспособность территории, ее устойчивое и сбалансированное развитие, девелоперский проект предполагающий строительство (реконструкцию) или модернизацию объектов инфраструктуры в соответствии с потребностями промышленности, повышения качества оказываемых потребителям услуг, улучшение социально-экономической ситуации на территории;
- *инфраструктурный проект* — это крупный инвестиционно-строительный проект, как правило, состоящий из нескольких сотен или даже тысяч работ, в котором могут быть задействованы органы государственной власти и управления, частные компании, в том числе и иностранные. Реализация инфраструктурного проекта, как и любого крупного проекта, имеет выраженное влияние на экономическую, социальную или экологическую ситуацию, что обуславливает необходимость участия государства для определения условий реализации проекта. Безусловно, существуют особенности проекта, накладываемые отраслью. Но, как показывают исследования, есть и значительное сходство между крупными проектами в разных отраслях.

К особенностям крупного проекта, которые необходимо учитывать при управлении им, относят:

- технологическую сложность, масштабность, уникальность, инновационность, организационную сложность, долгосрочность, повышенный риск;
- инфраструктурный проект может включать инновационные проекты (проекты создания новых объектов инфраструктуры, которые материализуют инновации и используют инновации в управлении ими).

При проектировании должны учитываться ряд важных факторов, возникновение которых может оказать существенное влияние на управление объектом, в частности:

- 1) высокие риски из-за долгосрочного горизонта экономического планирования и сложной системы взаимодействия;
- 2) возможные изменения масштаба и инвестиционной привлекательности проекта и его целей в процессе разработки и реализации, что уменьшает достоверность исходной технико-экономической информации и, соответственно, требует адаптивного управления;
- 3) удлиненность фазы проектирования из-за необходимости разработки инноваций, наложение фаз проектирования и строительства;
- 4) необходимость вовлечения уникальных ресурсов (специалистов высокой квалификации, материалов, приборов и т.п.). «Произвести» инновацию необходимо в конкретный срок, сдвиг которого приведет к срыву

завершения всего инфраструктурного проекта. Разрыв инновационного цикла происходит чаще всего на этапе «опытно-конструкторские разработки» — «производство инновационного продукта». Преодоление данного разрыва, в частности, обуславливает привлечение «особого» капитала (инвестиции «бизнес-ангелов», венчурный капитал), экономическая природа которого предопределяет его участие в высоко рискованных технологических проектах.

Масштаб и техническая (технологическая) сложность проекта с учетом специфики его реализации допускает возможность его финансирования за счет различных источников средств. Инфраструктурный проект характеризуется многообразием организационно-правовых и финансовых взаимодействий между многочисленными участниками, которые зависят друг от друга, в результате образуя единый механизм реализации проекта.

Успешный инфраструктурный проект предполагает разработку организационной структуры, учитывающей особенности конкретной отрасли инфраструктуры, и действенного механизма взаимодействия сторон в рамках единого информационного пространства. Возвратность вложений в инфраструктурный проект для инвесторов и кредиторов имеет длительный характер, таким образом, на определенном этапе применяется схема замещения одних обязательств, вытекающих из специфики финансирования проекта, другими (несущими кредитный риск и/или прочими). Для реализации проекта, как правило, создается специальная компания с нулевым балансом («*special purpose vehicle*», SPV), чтобы не допустить смешивание обязательств и вложений по данному проекту и по прочим обязательствам (вкладам) третьих лиц или консорциум (проектировщик, эксплуатант, строитель, оператор, поставщик оборудования).

В связи с этим становится актуальным выявление и изучение системных проблем и рисков для экономики России, связанных с недофинансированием развития железнодорожного транспорта, а также определение возможных способов по оптимизации механизмов финансирования инвестиций в развитие. В эпоху глобализации экономика России все глубже проникает в мировую экономику. Усиление интеграционных процессов — создание таможенного союза России, Беларуси и Казахстана, формирование единого экономического пространства, принятие России во всемирную торговую организацию — естественный шаг для обеспечения роста объемов внешней торговли и развития бизнеса.

Международные торговые соглашения не только создают благоприятные условия для экспорта российских товаров, но и устраняют барьеры для мировых конкурентов на внутреннем рынке. Способность удерживать рыночные позиции будет зависеть от конкурентоспособности, как отдельных отраслей экономики, так и российской экономики в целом.

На основе сопоставления индексов стран по глобальной конкурентоспособности и качеству инфраструктуры, рассчитанных всемирным экономическим форумом, сделан важный вывод о прямой взаимосвязи общей конкурентоспособности страны и уровня развития инфраструктуры. >>>

Этот вывод подтверждается и другими авторитетными международными организациями. По данным всемирного банка, первые места в мировом рейтинге по простоте ведения бизнеса, существенно влияющей на национальную конкурентоспособность, занимают страны с наиболее развитой транспортной инфраструктурой.

## Применение моделирования при развитии инфраструктуры

Информационное моделирование в объектном и корпоративном управлении применяется для улучшения технологий управления недвижимостью. Перспективным развитием управления является применение моделей интеллектуальной недвижимости.

Особенность информационного моделирования при управлении транспортной инфраструктурой в необходимости учета четырех факторов: информационного, пространственного, экономического и юридического. Информационный и пространственный факторы легко моделируются. Экономическое моделирование специфично и в его основе лежит математическое моделирование. Юридический фактор опирается на законы, которые периодически обновляются. Поэтому моделирование в этой сфере основано на аргументации и рассуждениях. При этом применяют пространственные рассуждения [25] как метод поддержки пространственного моделирования.

Пространственное моделирование близко к геоинформационному моделированию и информационному моделированию. Оно основано на применении пространственных знаний [26] и геознаний [27, 28]. Оно включает сбор геоданных, построение пространственных моделей и применение пространственных моделей. Пространственное моделирование многообразно. Оно включает пространственное метамоделирование [29], пространственное ситуационное моделирование [30], пространственное моделирование в космических исследованиях и другие виды.

Информационное моделирование широко применяют при управлении недвижимостью. Оно разделяется на структурное, управленческое и оптимизационное. В структурном моделировании [31] формируют модель структурных сдвигов, либо структуру технологий управления. Управленческое моделирование направлено на исследование надежности и риска цепочек управления. Оно осуществляет анализ управления имуществом комплексом, исследует особенности корпоративного управления. Оптимизационное моделирование направлено на выбор оптимальных управленческих решений и рациональных решений развития транспортной инфраструктуры.

## Заключение

Рассмотренный подход показывает форму совместного управления транспортной инфраструктурой государственными и коммерческими структурами. Транспортная инфраструктура влияет на развитие города и пригорода и на вложение инвестиций в территориальное развитие. Развитие транспортной инфраструктуры обеспечивает устойчивое развитие территорий. До кризиса у государства основной задачей было эффективно потратить бюджетные средства на строительство объектов инфраструктуры. В настоящее время необходим процесс развития существующей инфраструктуры на основе государственно-коммерческого партнерства. Такое партнерство особенно важно для инфраструктурных проектов. Для государства в условиях бюджетного дефицита инфраструктурный проект снижает расходы в текущий период и перенесет их в будущее. Инфраструктурный проект позволяет привлечь деньги с рынка, а затем, за счет будущей бюджетной эффективности объекта строительства расплатиться с инвестором. Но это требует включения в инфраструктурный проект показателя инвестиционная привлекательность. Управление в данном подходе является интегральным управлением инфраструктуры, в котором геоинформатика является ключевым фактором. ■

## Список литературы

1. Козлов А.В. Пространственное управление с применением геоданных // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.16-26.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. – 2(8) – С. 275-282
3. Волков Р.В. Управление недвижимостью транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 7. №1 (25). – С.10-16.
4. Ярош И.Д. Геосервис транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 7. №1 (25). – С. 32-37.
5. Прохорова В. В., Кравченко Н. П. Особая экономическая зона как инструмент развития территории //Проблемы экономики и юридической практики. – 2010. – №. 3. – С. 322-325.
6. Цветков В.Я. О двух концепциях автоматизации // Геодезия и картография. – 1986. – №5. – С. 48-51.
7. Козлов А.В., Тягунов А.М. Цифровизация транспортной сферы // ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.14-19.
8. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С. 50-61.
9. Ознамец В.В. Цифровое управляющее пространство// ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С. 35-39.
10. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. – 2000. – №1. – С. 46-50.
11. Шайтура С. В. Распределенное управление в транспортной сети //Наука и технологии железных дорог. – 2017. – Т. 1. – №. 3(3) – С. 25-34.
12. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2005. – №3. – С. 85-91.
13. Климова Н. И., Шмакова М. В., Тютюнникова Т. И. Финансовое управление территориями на различных стадиях их жизненного цикла //Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем. – 2019. – С. 129-134.
14. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2000. – №2. – С. 147-155.
15. Медведева О. В., Парамонова М. Г. Цифровизация управления и системы электронного документооборота //Ученые записки Тамбовского отделения РОСМУ. – 2019. – №. 13. – С. 75-80.
16. Маркелов В.М. Логистика и пространственная экономика // Славянский форум. – 2013. – 1(3). – С. 91-95.
17. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика М.: Янус – К, 2002. – 392 с.
18. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.
19. Aiello M., Pratt-Hartmann I., Van Benthem J. What is spatial logic? //Handbook of spatial logics. – 2007. – С. 1-11.
20. Boeing G. Urban spatial order: Street network orientation, configuration, and entropy //Applied Network Science. – 2019. – Т. 4. – №. 1. – С. 1-19.
21. Cantner U. et al. Entrepreneurial ecosystems: A dynamic lifecycle model //Small Business Economics. – 2021. – Т. 57. – С. 407-423.
22. Sharma R., Gupta K. Life cycle modeling for environmental management: a review of trends and linkages //Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Т. 192. – №. 1. – С. 51.
23. Котельников В. Ю. Управление инновациями: стратегический подход //М.: Эксмо. – 2007. – С. 1-15.
24. Cliquet G. From Geomarketing to Spatial Marketing //Spatial Economics Volume II: Applications. – 2021. – С. 277-305.
25. Коваленко Н.И. Пространственные рассуждения с применением геоданных// Славянский форум. -2020. – 4(30). – С. 273-283.
26. Кужелев П. Д. Пространственные знания для управления транспортом // Государственный советник. – 2016. – №2. – С. 17-22.
27. Господинов С.Г. Геоданные и геознания // Перспективы науки и образования. – 2016. – №5. – С. 20-23.
28. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132
29. Зайцева О. В. Пространственное мета моделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С. 57-68.
30. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С. 64-69.
31. Данелян Т. Я. Структурное моделирование //Статистика и экономика. – 2014. – №. 6. – С. 166-169.

# Контакты

## Редакция

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

## АО «НИИАС»

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

+7 (495) 967 77 06

info@vniias.ru