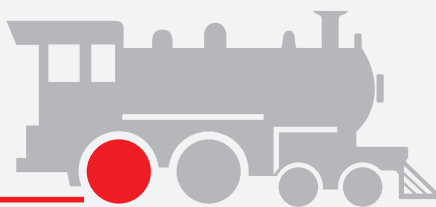


сетевое издание

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

## ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

### В ВЫПУСКЕ

#### **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

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

«О ВАЖНОСТИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

**Тягунов А.М.**

«ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА»

#### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

**Рогов И.Е.**

«ЭВОЛЮЦИЯ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ»

**Матчин В.Т.**

«ОБНОВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА»

#### **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ**

**Цветков В.Я.**

«ГЕОМЕТРИИ ЕВКЛИДА И РИМАНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ»

**Козлов А.В.**

«ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ВЫПРАВКЕ ПУТИ»

#### **ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Охотников А.Л.**

«СИТУАЦИОННАЯ АНАЛИТИКА В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ  
НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ»

**Андреева О.А.**

«СИСТЕМАТИКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЕДИНИЦ  
ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ»

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ**

**Озеров А.В.**

«О ПОДХОДАХ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
И НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ»

**Яшкичев И.В., Немцов Э.Ф., Леонтьев Б.П.**

«ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОШИБОК В СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ  
РЖД СРЕДСТВАМИ ОТП СД. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК»

**Коваленко Н.И.**

«АТТЕСТАЦИЯ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ  
ДИСЦИПЛИН С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА НОРМАЛИЗАЦИИ»

# № 2

Июнь 2021





### Стратегия развития железных дорог

- Розенберг Игорь Наумович, Дулин Сергей Константинович, Дулина Наталья Георгиевна*  
О важности интероперабельности для цифровой трансформации  
железнодорожного транспорта 3
- Тягунов Алексей Михайлович*  
Цифровая трансформация в сфере транспорта 13

### Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

- Рогов Игорь Евгеньевич*  
Эволюция ситуационного управления транспортом 22
- Матчин Василий Тимофеевич*  
Обновление локальных баз данных на объектах транспорта 30

### Геоинформационные технологии и системы на транспорте

- Цветков Виктор Яковлевич*  
Геометрии Евклида и Римана при проектировании и строительстве объектов  
транспортной инфраструктуры 38
- Козлов Александр Вячеславович*  
Цифровое моделирование при выправке пути 47

### Цифровые методы на железнодорожном транспорте

- Охотников Андрей Леонидович*  
Ситуационная аналитика в системах технического зрения на железной дороге.  
Термины и определения 55
- Андреева Ольга Александровна*  
Систематика пространственных информационных единиц транспортной инфраструктуры 64

### Организация работ и безопасность движения на транспорте

- Озеров Алексей Валерьевич*  
О подходах к обеспечению функциональной безопасности и надежности  
железнодорожных систем управления 74
- Яшкичев Иван Владимирович, Немцов Эдвард Фридрихович, Леонтьев Борис Павлович*  
Основные способы выявления ошибок в справочных данных РЖД средствами ОТП СД.  
Результаты исправления ошибок 82
- Коваленко Николай Иванович*  
Аттестация при дистанционном обучении железнодорожных дисциплин  
с применением метода нормализации 91



УДК: 004.9

## **О ВАЖНОСТИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Научный руководитель, АО «НИИАС», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Дулин С.К.** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС», ИПИ ФИЦ ИУ РАН, E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия
- Дулина Н.Г.** к.т.н., ведущий программист, ВЦ ФИЦ ИУ РАН, E-mail: ngdulina@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье анализируются процессы, характерные для оцифровывания информации, и стандартизация оцифровывания в информационной среде. Рассмотрены проблемы цифровой трансформации. Отмечено, что важнейшим условием для проведения цифровой трансформации является обеспечение соответствующего уровня интероперабельности. Показана необходимость стандартизации для успешного проведения цифровой трансформации.
- Ключевые слова:** транспорт, многоцелевое управление, оцифровывание, цифровая трансформация, интероперабельность; стандартизация

## **THE IMPORTANCE OF INTEROPERABILITY FOR THE DIGITAL TRANSFORMATION OF RAIL TRANSPORT**

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(Tech), Professor, Scientific director, JSC «NIIAS», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Dulin S.K.** D.ofSci., Professor, Chief Researcher, JSC «NIIAS», Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS, E-mail: skdulin@mail.ru, Moscow, Russia
- Dulina N.G.** PhD., Lead coder, DC of Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS, E-mail: ngdulina@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes the processes typical for the digitization of information, and the standardization of digitization in the information environment. The problems of digital transformation are considered. It is noted that the most important condition for digital transformation is to ensure an appropriate level of interoperability. The necessity of standardization for successful digital transformation is shown.
- Keywords:** transport, multipurpose control, digitization, digital transformation, interoperability; standardization

### **Введение**

Цифровые данные, как показывает опыт, обеспечивают совершенствование деятельности железнодорожного транспорта. Однако большинство современных данных, связанных с железнодорожным транспортом, не обладают интероперабельностью: они хранятся в изолированных базах данных, неинтероперабельных системах и используются в программах ограниченного доступа, данными трудно обмениваться, часто не удается их анализировать и интерпретировать. Это замедляет прогресс железнодорожного транспорта, поскольку современные технологии, которые используют эти данные - искусственный интеллект,

обработка больших данных и внедрение мобильных приложений - не могут быть эффективны в полной мере. Ни у кого не вызывает сомнений, что интероперабельность является необходимым условием для цифровых инноваций, предусмотренных для развития железнодорожного транспорта.

Цифровизация железнодорожного транспорта обещает большие преимущества для глобального транспортного сообщения. Электронные транспортные геоданные, мобильные приложения для навигации и координации, визуализация и мониторинг инфраструктуры, а также новые датчики и устройства контроля и управления обеспечивают постоянно растущий поток цифровых данных о состоянии транспортной системы. В сочетании с искусственным интеллектом, облачными вычислениями и аналитикой больших данных, это богатство данных обладает огромным потенциалом и может улучшить качество управления железнодорожным транспортом.

### Интероперабельность

Но цифровые данные полезны только в том случае, если они могут быть превращены в значимую информацию. Для этого необходимы высококачественные наборы данных, коммуникации между ИТ-системами и стандартные форматы цифровых данных, приемлемые для человеко-машинной обработки. На самом деле, нынешний железнодорожный информационный контент в меньшей степени характеризуется "большими данными", а скорее большим количеством обособленных групп данных. Это неоптимальные условия для технологий управления данными, которые должны стимулировать инновации методов представления знаний. Раскрытие полного потенциала цифрового контента железнодорожного транспорта требует взаимосвязанной структуры данных с быстрыми, надежными и безопасными интерфейсами, международными стандартами обмена данными, а также железнодорожными транспортными терминами, которые определяют содержание тезаурусов для представления железнодорожной транспортной информации. В итоге: успешная цифровая трансформация зависит от интероперабельности.

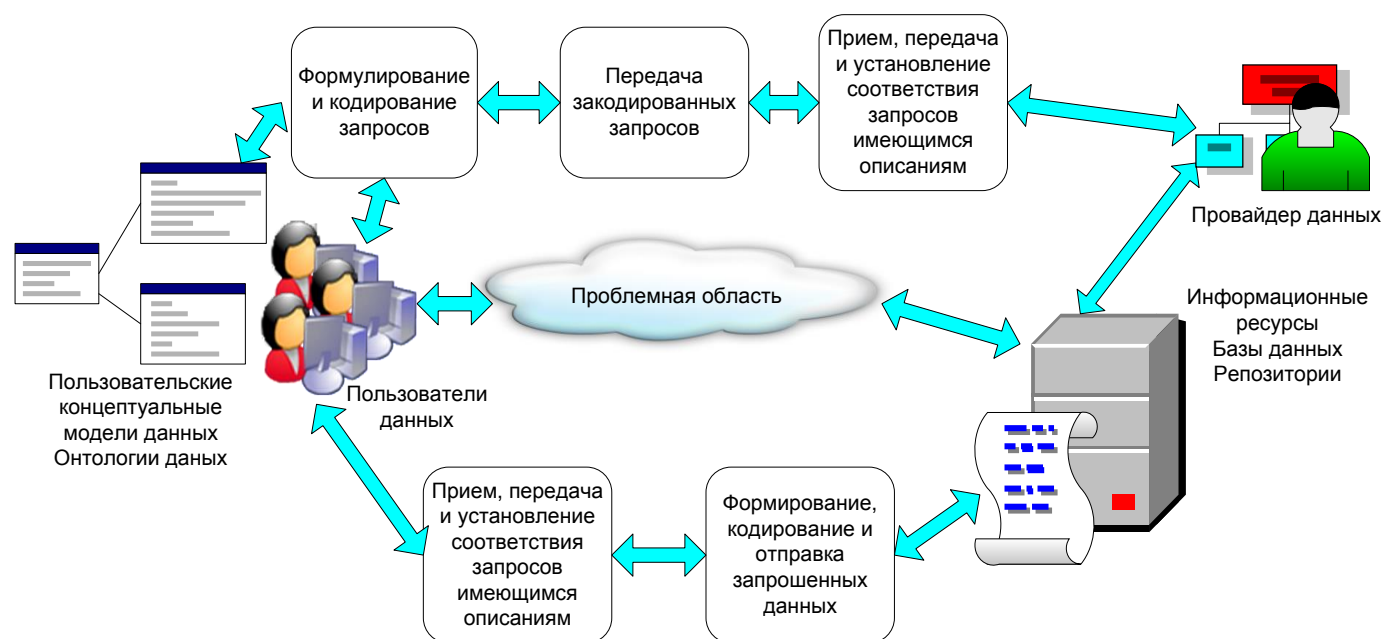


Рисунок 1. Структура интероперабельности

Важность интероперабельности транспортных ИТ-систем (рис. 1) признается большинством разработчиков, хотя осведомленность по этой теме по-прежнему относительно низка среди железнодорожников, также, как и по таким темам как искусственный интеллект, большие данные или мобильные технологии, которые, в настоящее время рассматриваются в качестве основных движущих факторов инноваций в области цифровой трансформации контента железнодорожного транспорта. Соответственно, прогресс в области интероперабельности транспортных ИТ-систем является медленным. Можно утверждать, что интероперабельность необходима для достижений в области цифровой трансформации, являясь, по сути, предпосылкой для большинства нововведений, предусмотренных для развития железнодорожного транспорта.

Интероперабельность может быть в целом определена как "способность двух или более систем или компонентов обмениваться информацией и использовать информацию, полученную в результате обмена" [1]. Различают технические, синтаксические, семантические и организационные аспекты интероперабельности (рис. 2) [2].

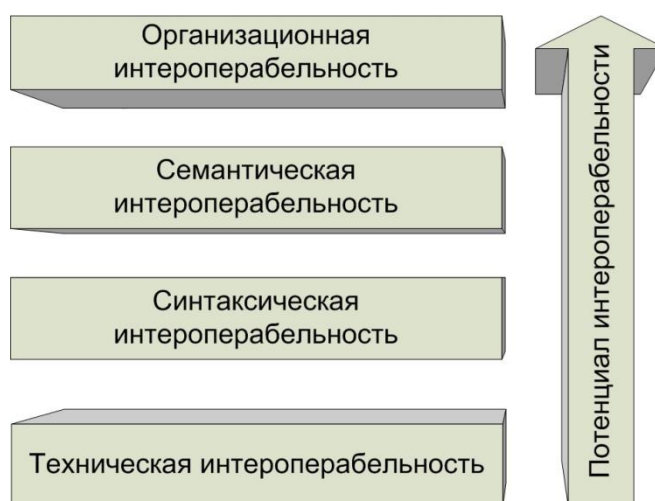


Рисунок 2. Уровни интероперабельности

**Техническая интероперабельность.** Техническая интероперабельность обеспечивает базовые возможности обмена данными между системами (например, перемещение данных с USB-флешки на компьютер). Для этого необходимы каналы связи и протоколы передачи данных. С сегодняшними цифровыми сетями и коммуникационными протоколами достижение технической интероперабельности, как правило, относительно просто. Однако перемещения данных из А в группу В недостаточно. Для обработки данных и извлечения значимой информации необходима синтаксическая и семантическая интероперабельность.

**Синтаксическая интероперабельность.** Синтаксическая интероперабельность определяет формат и структуру данных (например, в документе XML). Структурированный обмен данными о состоянии здоровья поддерживается международными организациями по разработке стандартов.

**Семантическая интероперабельность.** В то время как существующие стандарты уже определяют основную семантику данных, семантическая интероперабельность на самом деле

является областью железнодорожной транспортной терминологии, номенклатур и онтологий, которые обеспечивают распределение значений железнодорожных транспортных терминов между подсистемами, обеспечивая тем самым цифровой "lingua franca" - общий язык для железнодорожных транспортных терминов, которые, в идеале, понятны специалистам и приемлемы для машинной обработки. В сочетании со стандартами использование этих терминов может гарантировать, что данные о состоянии железнодорожного транспорта имеют четкую структуру и недвусмысленную семантику.

**Организационная интероперабельность.** На самом высоком уровне *интероперабельность* включает собственно организации, законодательство и политику. Обмен данными между ИТ-системами не является самоцелью, а должен, в конечном счете, помочь железнодорожникам работать более эффективно и улучшить обслуживание потребителей. Для этого необходимы общие бизнес-процессы и рабочие процессы, позволяющие обеспечить бесперебойное железнодорожное обслуживание в грузовой и пассажирской сферах. Поскольку различные заинтересованные стороны имеют различные интересы (и эти интересы не всегда направлены на максимизацию интероперабельности), это также требует политики, которая обеспечивает стимулы для интероперабельного обмена данными и, при необходимости, обеспечения интероперабельности с помощью правовых норм.

#### **О проблемах цифровой трансформации.**

Цифровые технологии, искусственный интеллект (ИИ) и крупномасштабная аналитика, обозначаемая термином "большие данные", все больше меняют железнодорожный транспорт. Эти технологии опираются на растущие объемы цифровых данных [3, 4]. Поэтому для использования алгоритмов ИИ и анализа больших данных на полную мощность и их максимального ввода крайне важно обрабатывать информацию из различных подсистем. Всеобъемлющий анализ данных может, например, потребовать информации от отдельных подразделений и различных датчиков. Аналогичным образом, несколько источников данных часто необходимы, когда данные скудны, а требуется большой пул сопоставимых данных, что может привести к необходимости обмена информацией между системами, учреждениями и странами.

К сожалению, сегодняшняя цифровая структура контента железнодорожного транспорта затрудняет крупномасштабную обработку данных в ИТ-системах. Современные ИТ-системы работают с широким спектром форматов данных, пользовательских спецификаций и неоднозначной семантики. Эта ситуация усугубляется тенденцией к хранению растущих объемов неструктурированных данных не в реляционных базах данных. Хотя наличие этих неструктурированных данных, возможно, лучше, чем их отсутствие, и современные алгоритмы могут частично извлечь полезную информацию даже из неструктурированных данных – их очень трудно обрабатывать. Как следствие, перед анализом обычно необходимы трудоемкие процедуры фильтрации и предобработки данных.

Кроме того, запуск алгоритмов на неструктурированных, нестандартизированных данных может привести к ошибкам, которые искажают результаты анализа. Такие ошибки трудно обнаружить в больших наборах данных, поскольку огромный объем данных затрудняет прогнозирование, обнаружение и исправление всех возможных ошибок. Это может привести к систематическим ошибкам, которые компрометируют достоверность результатов анализа и которые в конечном итоге могут подорвать доверие к цифровым технологиям. Эта проблема становится еще более актуальной при использовании искусственных нейронных сетей и



алгоритмов глубокого обучения. Поскольку такие методы по существу являются "черными ящиками" для пользователей, важно, чтобы их расчеты основывались на прочной основе. Для этого нужны данные с четкой структурой и однозначной семантикой. В противном случае современные алгоритмы ИИ могут принести больше вреда, чем пользы.

Чтобы избежать этих сложностей и предоставить алгоритмам ИИ и технологиям больших данных возможность корректного использования, необходимо обеспечить интероперабельность. Самым большим препятствием для применения ИИ и технологий больших данных на железнодорожном транспорте является, возможно, не отсутствие алгоритмов, а отсутствие подходящих данных для разработки ИИ и приложений для больших данных. Поэтому использование упомянутых выше международных стандартов и терминологий может помочь обеспечить алгоритмы структурированными и значимыми данными и способствовать использованию ИИ и больших данных на железнодорожном транспорте.

Цифровая трансформация железнодорожного транспорта не всегда требует сложной аналитики или сложных алгоритмов ИИ. Во многих случаях, нужно просто сделать правильную информацию доступной для нужного пользователя [4]. Часто важные части железнодорожной информации теряются по мере того, как они перемещаются через различные подсистемы. Например, железнодорожная транспортная информация иногда даже не может быть распространена в различных департаментах одной и той же дороги из-за правил защиты данных. Это приводит к неэффективности принятия решений и может создавать серьезные риски. Предоставление поставщикам транспортных услуг необходимой информации может помочь избежать такой неэффективности и повысить качество обслуживания. В этом контексте особенно важно содействовать использованию интероперабельных электронных железнодорожных записей.

Важно отметить, что, делая соответствующую информацию легко доступной, интероперабельные ИТ-системы должны облегчить жизнь работникам железнодорожного транспорта. Рост цифровых технологий часто вызывает опасения, что придется проводить больше времени с документацией и вводом данных и меньше времени останется на принятие решений. Однако интероперабельные ИТ-системы могут снизить нагрузку на документацию (например, избегая повторного ввода данных) и упростить громоздкие процессы поиска информации.

Интероперабельность может также способствовать проведению научных исследований в области железнодорожного транспорта. Это особенно важно в области реальных данных: использование интероперабельных форматов для реальных данных открывает различные возможности для исследователей.

Во-первых, если реальные данные интероперабельны, они могут быть использованы для крупномасштабных наблюдений на региональном, национальном или глобальном уровнях.

Во-вторых, реальные данные являются сокровищницей для ИИ и методов машинного обучения, обсуждаемых выше. Будучи в состоянии найти закономерности и корреляции в наборах данных, эти методы могут помочь аналитикам оценить новые гипотезы, которые впоследствии могут быть исследованы более тесно в запланированных испытаниях (в этих испытаниях важно исключить ложные корреляции и определить причинно-следственные связи).

Если данные структурированы в соответствии с международными стандартами [5,6], их

гораздо легче анализировать, а усилия, необходимые для фильтрации и предварительной обработки данных, сокращаются. Это может ускорить процесс исследования и сделать разработку сценариев анализа более гибкой: если аналитики знают, что данные будут соответствовать определенным форматам и семантике, анализ может быть запрограммирован без прямого доступа к данным.

Вместо этого анализ достаточно сформировать удаленно, а затем передать на сайт данных для расчета результатов. Это может разблокировать источники данных, которые в противном случае оказались бы недоступны (из-за, например, строгих правил защиты данных). Это также может улучшить качество исследований, поскольку анализы могут быть запрограммированы различными экспертами, а не только теми, кто имеет прямой доступ. Аналогичным образом, интероперабельные данные могут гарантировать, что один анализ может быть проведен со многими различными источниками данных, содержащими данные из различных департаментов. В целом, интероперабельность может генерировать новые идеи в обслуживании железнодорожного транспорта, что позволяет более эффективно анализировать существующие источники данных. Интероперабельные интерфейсы и стандартные терминологии позволяют сделать обмен данными интероперабельным между различными международными структурами.

Цифровая трансформация железнодорожного транспорта зависит от интероперабельных и стандартизированных данных [7]. Интероперабельные данные могут помочь реализовать весь потенциал ИИ и технологии больших данных, улучшить коммуникацию железнодорожной транспортной отрасли, сделать железнодорожные исследования более эффективными и способствовать международному сотрудничеству. Поскольку интероперабельность требует совместных усилий работников железнодорожного транспорта, аналитиков, ИТ-экспертов, инженеров по обработке данных и политиков, важно сделать интероперабельность важной темой в железнодорожном транспорте. В конечном итоге усилия по повышению оперативной интероперабельности могут принести огромные дивиденды: с учетом международных стандартов и железнодорожной транспортной терминологии интероперабельность может проложить путь к взаимосвязанной цифровой инфраструктуре, которая преодолевает барьеры между отдельными специалистами, организациями и странами.

Существует множество предложений о том, как разработать и поддерживать корпоративный уровень цифровой трансформации, но слишком мало идей, как управление данными встраивать в цифровую трансформацию. Некоторые идеи носят чисто теоретический характер, а большинство относятся к конкретным прикладным задачам определенной компании, что затрудняет их адаптацию другими компаниями. Таким образом, становится актуальным вопрос, как должна выглядеть методология, позволяющая связать информационное управление с корпоративной цифровой трансформацией? [6]

Хорошо выполненная цифровая трансформация имеет три основных стадии, которые согласуются с существующим управлением данными [7]:

1. Расширение объема оцифрованных информационных ресурсов.
2. Совершенствование обработки информационных ресурсов с помощью цифровых инструментов и процессов
3. Повышение уровня подготовки специалистов в области современных методов цифровой трансформации.

Можно выделить следующие уровни цифровой трансформации (рис. 3) [7]:



Рисунок 3. Уровни цифровой трансформации

### Стандарты и цифровая трансформация

Своевременное и согласованное принятие технических стандартов, вероятно, будет играть ключевую роль в контексте цифровой трансформации. Стандарты могут способствовать постоянной цифровизации промышленности путем развития совместимости между продуктами и процессами; они также могут передавать информацию между экономическими агентами и компьютерами, гарантируя при этом соответствующий уровень качества и безопасности. Важно отметить, что стандарты могут также содействовать инновациям и освоению новых цифровых технологий [9].

Специалисты давно признают ключевую роль стандартов в общих усилиях по устранению барьеров и раскрытию потенциала роста экономики. Прогресс в области новых технологий во всем мире ускоряется в геометрической прогрессии, и разработка новых стандартов в этой области отвечает этому прогрессу. Поэтому необходимы скоординированные усилия по разработке технологических стандартов, которые не только более чутко реагируют на насущные потребности, но и являются гибкими, открытыми, более тесно связанными с исследованиями и инновациями и, что важно, лучше связанными друг с другом.

Новые передовые технологии производства опираются в первую очередь на новые цифровые технологии, такие как Интернет вещей (IoT), большие данные (BigData), робототехника и искусственный интеллект (ИИ), которые не работают изолированно, а основаны на связанных системах, обеспечивающих коллективные решения. Применение этих технологий будет распространяться на широкий круг областей экономической деятельности, включая здравоохранение, образование, сельское хозяйство, транспорт, производство и электросети. Обеспечение беспрепятственного производства и доставки товаров и услуг в этих областях, в

свою очередь, требует повышения оперативной совместимости и эффективной связи между устройствами, сетями и хранилищами данных. Как видно из приведенной ниже таблицы (рис.4), в последние годы разработка стандартов управления цифровыми технологиями велась достаточно активно [10].

Short name	Long name/topic	Publ. year	Cur. year	Doc.	Cert.	Stand. org.
AgileSHIFT	Scaling Agile	2018	2018	y	i	AXELOS
Agile SM	Agile (IT) service management	2017	2017	y	i	(DevOps Inst.)
DA	Disciplined Agile (hybrid)	2015	2018	y	i	PMI
DPBoK	Digital Practitioner Body of Know.	2019	2019	y	i	Open Group
FitSM	Lean IT service management	2015	2015	y	i	ITEMO
IT4IT	IT reference architecture	2015	2017	y	i	Open Group
LeSS	Large-Scale Scrum	2013	2015	y	i	The Less Co.
Nexus	Scaling Scrum	2015	2018	y	i	Scrum.org
P2Agile	PRINCE2 Agile (hybrid)	2015	2015	y	i	AXELOS
Resilia	IT ("cyber") resilience	2015	2015	y	i	AXELOS
SAFe	Scaled Agile Framework	2011	2020	y	i	Scal. Ag., Inc.
Scrum	Agile product development	1995	2017	y	i	Scrum.org
Scrum@S	Scrum@Scale	2017	2020	y	i	Scrum Inc.
SIAM	Service Integration & Management	2017	2017	y	i	Scopism Ltd.
TBM	Technology Business Management	2016	2016	y	i	TBM Council
VeriSM	IT service management	2017	2017	y	i	IFDC <sup>14</sup>

Рисунок 4. Стандарты управления цифровыми технологиями

С учетом вышесказанного, развитие стандартов и основанной на стандартах совместимости имеет центральное значение для продолжающегося распространения промышленной цифровизации. Эта важная роль выходит за рамки простого содействия цифровой трансформации. Стандарты могут играть важнейшую роль в качестве ускорителей перемен, поощряя освоение цифровых инноваций, а также управляя развитием новых технологий. В ходе опроса, проведенного Всемирным экономическим форумом в 2015 году, 47% респондентов указали, что установление и продвижение общих стандартов являются одними из наиболее важных мер, которые правительства могут принять для ускорения внедрения промышленного интернета вещей. [11]

Стандартизация новых технологий и областей является необходимой мерой для продвижения единого цифрового рынка с акцентом на основную отраслевую совместимость и на стандарты, охватывающие различные области, от здравоохранения (телемедицина и м-здоровье) до транспорта (планирование поездок, электронный груз) и окружающей среды и энергетики. Однако эти усилия должны идти в ногу с быстрыми изменениями в технологиях во всем мире.

Стандарты являются добровольно принятыми правилами или руководящими принципами кодификации информации. Они предоставляют спецификации и техническую информацию о продуктах, материалах, услугах и процессах. Разработка стандартов полностью основана на консенсусе и включает в себя широкий спектр игроков, начиная от предприятий, работников и потребителей, до государственных органов и региональных организаций. В некоторых случаях стандарты могут упоминаться в законодательстве в качестве предпочтительного способа или даже в качестве обязательного требования для соблюдения конкретных законов.

Существует множество различных типов стандартов. Среди наиболее часто используемых являются те, которые указывают, какие характеристики конкретного продукта или услуги должны быть признаны пригодными для использования. Другие стандарты касаются методов тестирования, терминологии и определений, информационных требований и совместимости соединений.

В целом стандарты могут быть подразделены на три большие группы [9]:

**Фундаментальные стандарты**, которые касаются терминологии, конвенций, знаков и символов.

**Стандарты спецификаций**, которые определяют характеристики продуктов (стандарты продуктов) или качество услуг (стандарты сервисной деятельности) и предельные значения качества продуктов (пригодность использования, влияние на здоровье и безопасность, а также на окружающую среду).

**Организационные стандарты** описывают функции и взаимоотношения в компании, касающиеся управления качеством, технического обслуживания, анализа стоимости, логистики, управления проектами и управления производством.

Своевременное и согласованное принятие стандартов, вероятно, будет играть ключевую роль в контексте продолжающейся цифровизации промышленности как средство содействия оперативной совместимости и инновациям. Цифровая трансформация обусловлена рядом новых технологий. Среди прочего, это IoT (где объекты, такие как бытовая техника, переносная электроника, транспортные средства и датчики подключены к Интернету), большие данные (где большие объемы данных производятся очень быстро большим количеством различных источников), робототехника и ИИ (они включают быстро растущее использование роботов и наличие систем, наделенных способностью анализировать окружающую среду и принимать решения с некоторой степенью автономии).

### **Заключение**

Цифровая трансформация в конечном итоге может заложить основу для успешного создания в отрасли сетей с добавленной стоимостью. Стандарты, которые являются общими, открытыми и широко доступными для использования в качестве технических строительных блоков, принесут пользу экономическим возможностям и инновациям. Действительно, общепринятые протоколы связи, форматы данных и интерфейсы могут обеспечить совместимость между различными секторами и странами, поощряя при этом широкое внедрение новых технологий.

Цифровизация также все больше смещает фокус промышленности в «экономику результатов», где компании конкурируют не за счет продажи товаров и услуг, а за счет предоставления измеримых результатов, которые важны для клиента; таким образом, чтобы оставаться конкурентоспособными, они должны иметь более глубокое понимание потребностей клиентов и контекстов, в которых будут использоваться продукты и услуги. Цифровизация стала возможной благодаря применению новых методов и технологий, позволяющих

отслеживать, измерять и анализировать использование продукта и поведение клиентов, например, с помощью подключенных датчиков и потоков данных с подключенных машин. Совместимость, основанная на стандартах, лежит в основе этого процесса, поскольку компании будут все больше полагаться на деловых партнеров и связанные с ней экосистемы для своевременного понимания потребностей и поведения клиентов.

### Список литературы

1. Макаренко С.И, Олейников А.Я., Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности, №4, 2019. С.215-245.
2. Turnitsa, C., and Tolk, A. (2006). Battle management language: a triangle with five sides. Proceedings of the Simulation Interoperability Standards Organization (SISO) Spring Simulation Interoperability Workshop (SIW). -- Huntsville, AL, 2–7 April 2006.
3. Дулин С.К., Дулина Н.Г. От согласованности геоданных к семантической геоинтероперабельности – М.: ВЦ РАН, 2014. 28с.
4. Hansen R, Sia SK (2015) Hummel’s digital transformation toward omnichannel retailing: key lessons learned. MIS Quarterly Executive 14(2):51–66.
5. Hess T, Matt C, Benlian A, Wiesbuck F (2016) Options for formulating a digital transformation strategy. MIS Quarterly Executive 15(2):123–139.
6. Kohli R, Melville NP (2019) Digital innovation: a review and synthesis. Information Systems Journal 29(1):200–223.
7. Matt C, Hess T, Benlian A (2015) Digital transformation strategies. Business & Information Systems Engineering, 57(5):339–343.
8. Hawkins R. and P. Ballon (2007) When standards become business models: reinterpreting ‘failure’ in the standardization paradigm, Journal of Policy, Regulation and Strategy for Telecommunications, Information and Media, 9 (5) 20-30.
9. Krechmer K. (2009) Open Standards: a Call for Change, IEEE Communications Magazine, 47(5), 88-94.
10. ISO. Standards for Digital Transformation. <https://m.facebook.com/isostandards/videos/standards-for-digital-transformation/3104740422892233/>.
11. Vries H.J. de and T.M. Egyedi (2007) Education about Standardization – Recent Findings, International Journal for IT Standards and Standardization Research, 5, 1-16.

УДК: 347.763.2

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА

**Тягунов А.М.** Начальник управления информатизации, РТУ (МИРЭА), E-mail: tyagun72@bk.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** Описаны результаты исследования цифровизации в транспортной сфере. Описано содержание и особенности цифровой экономики. Дается анализ понятия цифровизация. Описана цифровая железная дорога как сложной технико-технологический комплекс. Показана связь цифровой железной дороги с цифровой экономикой. Показано место цифровой железной дороги среди связанных с нею сложных систем. Описаны основные технологические компоненты цифровой железной дороги. Описаны принципы блокового управления. Описаны принципы радионаблюдения. Показана связь цифровой железной дороги с цифровой логистикой. Показана роль кибер-физических систем в развитии транспорта.

**Ключевые слова:** транспорт, цифровизация, цифровая железная дорога, сложные системы, цифровая экономика, цифровое управление, цифровые модели, блоковое управление.

## DIGITAL TRANSFORMATION IN THE FIELD OF TRANSPORT

**Tyagunov A.M** Head of Informatization Department, Russian Technological University (RTU MIREA), E-mail: tyagun72@bk.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The article describes the results of a study on digitalization in the transport sector. The content and features of the digital economy are described. The analysis of the concept of digitalization is given. The digital railway is described as a complex technical and technological complex. The connection of the digital railway with the digital economy is shown. The place of the digital railway among the complex systems connected with it is shown. The main technological components of the digital railway are described. The principles of block control are described. The principles of radio observation are described. The connection of the digital railway with digital logistics is shown. The role of cyber-physical systems in the development of transport is shown.

**Keywords:** transport, digitalization, digital railway, complex systems, digital economy, digital control, digital models, block control.

### Введение.

Цифровая экономика [1-3] – главное направление современного развития экономики, включая сферу транспорта. Поскольку управление транспортом является пространственным и использует пространственную информацию и геоданные, то в сфере транспорта цифровая экономика тесно связана с пространственной экономикой [4]. Ядром цифровой экономики является цифровой сектор ИТ/ИКТ, производящий цифровые товары и услуги. «Цифровая экономика» (ЦК) может быть определена как часть экономики, сформированная исключительно за счет информационных (цифровых) технологий. ЦК использует бизнес-модели [5], использующие цифровые технологии и цифровые услуги. Она состоит из

цифрового сектора плюс новые цифровые и платформенные услуги.

Самый широкий охват - использование ИКТ во всех экономических областях - называют "цифровой экономикой". Цифровая экономика составляет около 5% мирового ВВП и 3% глобальной занятости [2]. За этим стоит значительная неравномерность: на сегодняшний день львиная доля цифровой экономики в мировом регионе является глобальной. Цифровизации экономики предлагает потребителю новые скоростные услуги и ускоряет процесс их получения и использования. Применение цифровых пространственных моделей и геоинформационных технологий обеспечивает повышенную безопасность, автоматизацию и интеграцию технологий и средств транспорта. Услуги, предлагаемые цифровыми методами, обладают более широкими возможностями в сравнении с не цифровыми услугами. Цифровизация транспортной сферы увеличивает пропускной способности всех видов транспорта. В тоже время, при этом возрастают угрозы типа кибератак, угрожающие безопасности движения и жизни. Решение задач безопасности состоит в разработке защищенного аппаратного и программного комплекса управления.

Цифровые технологии совершенствуют логистику [6] и инфраструктуру. Одним их примером цифровизации транспорта является цифровая железная дорога (ЦЖД) [7-9]. В более широком смысле можно говорить о цифровом транспорте [10]. В то же время существуют терминологические особенности в области цифровизацией. Ряд ранее существовавших терминов в России: дигитализация, цифрование, цифровизация соответствует английскому термину digitalization. Эти термины применялись в цифровом моделировании и геоинформатике, Термин «дигитализация» в России является стандартизованным и закрепленным в ГОСТ Р 52438-2005. Позже, с появлением цифровой экономики, появился термин «digitization», который буквально означает отцифровка. Однако в области цифровой экономики и цифрового транспорта ему ставят другой русский эквивалент, но не стандартизованный термин «цифровизация». С технологической точки зрения эта терминология допустима.

Дигитализация как технология преобразования аналоговых сигналов в дискретные существует задолго до появления цифровой экономики. Она направлена на получение дискретной информации для последующей ее передаче и обработки с высоким качеством. Это цифровая телефонная связь, цифровое телевидение. То есть в области коммуникаций цифровые методы доказали свое преимущество давно. В области управления они появились позже. Следует отметить появление цифровых вычислительных машин (ЦВМ), которые также обладали преимуществом перед аналоговыми вычислительными машинами (АВМ), именно ЦВМ способствовали применению дискретной информации для обработки на компьютере и организации ее хранения в базах данных (БД). Поэтому термин «дигитализация» есть узкое технологическое понятие, в областях информатики, геоинформатики, базах данных и компьютерной обработки. Новый термин «Цифровизация» имеет более широкое применение, так как дополнительно применяется в управлении и производстве. значение. В тоже время, существуют публикации, которые сужено трактуют термин «цифровизация» как «дигитализация».

### **Цифровая экономика и ее развитие.**

Цифровая экономика является новым феноменом, который приобрел большое значение, учитывая оценки двузначного годового роста во всем мире. Движущей силой этого феномена являются экономические и политические факторы, которые имеют корни в технологических



инновациях и критических технологиях [11]. В 90-е годы экономические изменения были связаны главным образом с появлением Интернета. Это было и остается основой для роста цифровой экономики. Однако в 2000-х и 2010-х годах ряд новых информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) привело к распространению и поддержке экономических изменений в этой экономике. Такие изменения включают в себя: встраивание подключенных датчиков во все большее число объектов (Интернет вещей); новые устройства конечных пользователей (мобильные телефоны, смартфоны, планшеты, нетбуки, ноутбуки, 3D-принтеры); новые цифровые модели (облачные вычисления, цифровые платформы, цифровые услуги); растущая интенсивность использования данных за счет распространения «больших данных», анализа данных и алгоритмических решений; а также новые технологии автоматизации и робототехники [12].

Цифровая экономика предоставляет технологии пользовательской «цифровой доступности», которые включают: потенциальные действия человека или организации с целью интеграции цифровой системы и среды, в которой они функционируют [13].

Более детально это включает: датафикацию или фактофикацию [14], цифровую трансформацию (преобразование всех частей информационной цепочки создания стоимости из аналоговой в цифровую), виртуализацию [15] и генерацию (использование данных и технологий таким образом, чтобы не планировалось при их происхождении путем перепрограммирования и рекомбинации) [16]. Влияние любой цифровой технологии можно понимать как продукт масштаба ее диффузии и глубины ее эффекта [17]. С быстрым распространением, в том числе в развивающихся странах, и увеличением глубины эффекта цифровых технологий, с увеличением потребительской доступности - влияние цифровых технологий на экономику быстро растет.

Цифровая экономика не только обеспечивает прогресс развития в развитых странах, но и создает расслоение и разрыв между развитыми странами и странами с низкой компьютерной и цифровой культурой [2]. Существуют разные концепции и определения "цифровой экономики", которые возникли с течением времени и с момента типично цитируемого происхождения этого термина. Приведем некоторые:

- Цифровая экономика: обещание и опасность в эпоху сетевого интеллекта [18] (Tapscott).
- Цифровая экономика: Конвергенция вычислительных и коммуникационных технологий в Интернете и связанный с этим поток информации и технологий, стимулирующий всю электронную торговлю и обширные изменения [19].
- Цифровая экономика: включает в себя товары или услуги, развитие, производство, продажа или предоставление которых критически зависит от цифровых технологий [20].
- Цифровая экономика: включает три основных компонента: инфраструктура электронного бизнеса, электронный бизнес, компьютерные сети. «Инфраструктура электронного бизнеса – это доля общей экономической инфраструктуры, используемой для поддержки электронных бизнес-процессов и ведения электронной коммерции». "Электронный бизнес - это любой процесс, который бизнес-организация проводит через компьютерные сети [21].

Цифровая экономика - глобальная сеть экономической и социальной деятельности, которая включена с помощью цифровых технологий, таких как Интернет и мобильные сети - Департамент широкополосной связи и цифровой экономики (DBCDE) [22].

Одной из проблем широких и простых определений ЦЭ является ширина экономической

деятельности, которая в настоящее время влечет существенно разнообразное использование цифровых технологий. Поэтому некоторые в некоторых определениях делается попытка различать качества «производить цифровые услуги» и «являться цифровыми технологиями». Однако часто, разделительная линия остается субъективной. Сами по себе определения это всего лишь названия или обозначения.

Более важным является концептуализация цифровой экономики или построение ее информационных конструкций [23]. В работе [2] выделены три элемента, связанные с концептуализацией цифровой экономики. Это содержание, услуги или сервис; товары (программное обеспечение); цифровая инфраструктура. Основополагающие услуги ЦЭ определяют ядро цифровой экономики. Ядро цифровой экономики называют цифровым сектором: В настоящее время он охватывает промышленные коды ISIC, производство компьютерных, электронных и оптических продуктов, публикацию программного обеспечения, телекоммуникации, компьютерное программирование, консалтинговая и связанная с этим деятельность, деятельность в области информационных (цифровых) услуг. Три элемента, связанные с концептуализацией цифровой экономики также выделяют как [2]:

- Hardware manufacture + Software+ Information services;
- Digital services+ Platform economy;
- e-Business + e- Commerce + Industry 4.0 + Algorithmic economy + sharing economy (платформенная экономика).

Термин «алгоритмическая экономика» является новым для российских исследований и пока не применяется в отечественной литературе при анализе ЦЭ. Анализируя определения и содержание цифровой экономики, можно определить ряд направлений перспектив развития ЦЭ.

*Ресурс* – включение человеческих знаний и методов искусственного интеллекта в цифровые технологии.

*Потоки* – интеграция данных и усложнение информационных и материальных потоков.

*Структура* – тенденция к распределенным системам и субсидиарным экономическим моделям [24].

*Бизнес-модели* – рост веса электронного бизнеса и электронной коммерции.

Следует отметить важную проблему качества данных в ЦЭ. В настоящее время, особенно в развивающихся странах, существуют проблемы с применением данных для цифровой экономики. Полные данные отсутствуют или они низкого качества. Качество цифровой экономики зависит от качества и полноты применяемых данных. Простейший пример пространственные данные низкой точности приемлемые для низкоскоростного транспорта не приемлемы для высокоскоростного транспорта. Сбор данных часто стоит за кривой технологических изменений. Цифровая экономика является не только сетевой, но и полевой. Она функционирует на основе использования концепций информационного поля [25] и информационного пространства [26, 27].

### **Цифровая железная дорога как реализация цифровой экономики**

Цифровая железная дорога является типичным продуктом цифровой экономики и цифрового транспорта. Она развивается соразмерно с цифровым бизнесом [5], интеллектуальными транспортными системами [28], цифровой связью [29], цифровой логистикой. В системном аспекте ЦЖД может быть рассмотрена как сложная организационно техническая система (СОТС) [8]. В аспекте саморазвития ЦЖД может быть рассмотрена как субсидиарная система [30]. Как СОТС ЦЖД включает разные подсистемы, среди которых следует выделить

спутниковые технологии [31] и радиорелейное информационное пространство [32], которые являются обязательными для ЦЖД.

Необходимо дать анализ цифровизации, которая задает особенности ЦЖД. Один из вариантов рассмотрения ЦЖД представляет ее в виде сложной организационно-технической системой (СОТС) Как СОТС ЦЖД связана с другими сложными системами и направлениями. Для цифровизации транспортной сферы и ЦЖД характерно обязательное использование пространственной информации. Это приводит к обязательному применению геоинформатики [33] и пространственного анализа.

Цифровой транспорт [34] емкое понятие. Оно включает интеллектуальные логистические системы, интеллектуальные транспортные системы (ИТС), модель непрерывного поезда и ЦЖД и ТКФС. В условиях единой транспортной политики [35] ЦЖД должна быть комплементарна другим видам транспорта. В Евросоюзе сформирована единая Европейская система управления железнодорожным движением (ERTMS). Она содержит Европейскую систему управления поездом (ETCS) и мобильные сети для обеспечения синхронизации между движением поездов [36].

Интегральная цифровая коммуникация является обязательным компонентом ЦЖД. Она основана на едином информационном и коммуникационном пространстве и на системе единого времени. ЦЖД является объектом транспортной инфраструктуры, поэтому требует применения для контроля и управления: геотехнического мониторинга [37], геоинформационных технологий, технологий комического мониторинга. Оперативность управления ЦЖД во многих случаях исключает технологии реакции человека для принятия решений. Для управления современного ЦЖД применяют ситуационные центры и элементы интеллектуального управления. Цифровая коммуникация заостряет проблему информационной безопасности в управлении. Для эффективной политики информационной безопасности необходимо применять программные оболочки.

Информационное пространство ЦЖД реализуется в первую очередь за счет использования технологии радиорелейного пространства и пространства электронных меток. Радиорелейное информационное пространство (РИП) является новым видом информационного пространства, характерным для ЦЖД. Для реализации этого пространства трасса дороги должна быть окружена радиорелейными мачтами. В этом случае объект транспорта всегда находится в зоне этого пространства.

РИП не связана со спутниковой навигацией, а служит ее дополнением. В России РИП существует в особо охраняемых зонах: атомные электростанции, военные полигоны, аэродромы. РИП осуществляет фиксацию подвижного объекта на трассе. Однако она требует наличия цифровой модели трассы. Для реализации этой технологии подвижные средства и траса должны быть оборудованы радиочастотными метками.

*Технология применения подвижных виртуальных блоков.* Виртуальные блоки яркий пример применения виртуальных моделей в производственных процессах. Обычное движение железнодорожного транспорта называют сигнально-блоковым. На железнодорожном пути существуют участки – физические блоки, движение по которым разрешено или запрещено с помощью сигнальных устройств. При разрешающем сигнале происходит движение. При запрещающем сигнале движение запрещено.

В технологии виртуальных блоков [38] блоки являются не физическими, а виртуальными. Внешние сигналы заменена на внутреннюю сигнализацию. Каждый подвижный объект

содержит вычислитель, который анализирует информационную ситуацию [39] вокруг подвижного объекта. Именно бортовой вычислитель формирует виртуальный блок, внутри которого движение разрешено. Система виртуальных блоков определяется в реальном времени бортовыми вычислителями. Виртуальные блоки задают безопасные зоны для поезда [38]. Виртуальный блок является динамическим. Он зависит от массы, скорости поезда, уклона пути и погодных условий. Качественно важно, что при цифровом управлении такой механизм требует перехода от точечных четких параметров движения к интервальным нечетким параметрам [40].

### **Цифровая логистика и ЦЖД.**

Цифровизация существует не только для подвижных объектов, но и для материальных потоков, которые они перевозят. Это приводит к понятию цифровая логистика [41], которая существует как в рамках ЦЖД, так и самостоятельно. Современный рост данных, включая цифровые, приводит к проблеме Big Data [42]. Для решения проблемы используют специальные методы и ПО, которые анализируют данные, оптимизируют свою деятельность и оптимизируют цепочку поставок.

Цифровизация построения моделей логистических цепочек и цифровая оптимизация потоков, позволяют оптимально использовать имеющиеся ресурсы, сокращать затраты. Цифровые решения наглядны и прозрачны. Цифровые системы управления цепочками поставок упрощают анализ и контроль заказов и поставок. Логистические компании применяют многообразие данных для улучшения работы и получения конкурентного преимущества.

Цифровые технологии широко применяют логистические компании для повышения эффективности операций, и, главное, для накопления опыта путем анализа операций и их результатов. Накопление опыта связано с применением неявного знания [43]. Накопление неявного знания создает основу для беспилотного управления, такого как использование роботов, перевозка грузов, транспортировка опасных грузов и прочее. В цифровой логистике широко применяют использование дронов [44]. Правительства разных стран применяют системы мониторинга трафика на основе беспилотных летательных аппаратов. В таких странах, как Франция, Испания, Германия, Австрия, Словакия и другие, есть несколько исследовательских проектов, изучающих использование беспилотных летательных аппаратов для управления трафиком. Широкое использование беспилотных летательных аппаратов значительно ускорит работу, уменьшит трудности, напряжение и неэффективность. Фирма Amazon Prime Air реализует погрузку [44] с помощью БПЛА, менее чем за 40 минут после того, как заказчики разместили заказ. Это пример цифровой технологии.

### **Заключение.**

Цифровая экономика развивается неравномерно среди разных стран и среди разных отраслей. Количество технических средств осуществляющих цифровизацию не заменит количество специалистов, которые могут эффективно использовать эти средства и тем самым развивать цифровую экономику. В свое время в СССР провалилась программа «электронные библиотеки». Компьютеризацию библиотек обеспечили, но подготовить новые кадры для работы с электронными технологиями не смогли. Куда девать старых не квалифицированных специалистов? Поэтому по социальным факторам оставили не квалифицированных, что исключило возможность развития электронных библиотек. Применительно к ЦЖД существует такая же проблема. Например, некоторые управленцы цифровую железную дорогу называют моделью. Такая интерпретация преуменьшает значение и масштаб данного феномена.

Цифровая железная дорога в первую очередь сложная организационно-техническая система. Во многих публикациях о ЦЖД не уделяют внимание специфике данных, применяемых в ЦЖД. Если рассматривать ЦЖД как систему, то по стандартам ISO/IEC 9126-1:2001 и ГОСТ 28195-89 организация данных комплементарно технологиям и программному обеспечению является обязательным компонентом качества информационной системы. В ряде работ о ЦЖД упускают важные факторы: геоинформатику и координатные преобразования. Для небольших стран проблема координатных преобразований не актуальна. Для стран с большой территорией типа России и США, включающей несколько зон, координатные преобразования из одной зоны в другую являются необходимым условием точного определения местоположения транспортного средства в единой координатной среде и в системе единого времени. Цифровизация транспортной сферы проходит по нарастающей тенденции за счет использования разных видов транспорта и разных технологий. Особенностью цифровизации транспортной сферы является тесная связь с технологиями обработки пространственной информации и с геоинформатикой. В рамках программы цифровизации транспортной сферы ЦЖД является главным направлением. Интернет вещей (IoT) также вносит свой вклад в цифровизацию транспорта. Приложения IoT применяются для позиционирования перевозимых товаров с учетом контролируемого температурного режима и для обеспечения адресной доставки пакета в нужное место и в заданное время. Проекты цифровизации целесообразно реализовать с включением кибер-физических систем. Кибер-физические системы заменяют интеллектуальные транспортные системы как более гибкие и мобильные. Во многих публикациях, посвященных ЦЖД недостаточно освещают переход от местных координат к глобальным при глобальном управлении транспортом. Для малых территорий эта проблема не актуальна. Для Российских территорий связь между координатными местными и глобальными системами становится необходимым. В рамках программы цифровизации транспортной сферы ЦЖД, Интернет вещей и Кибер-физические системы есть главные компоненты цифровизации транспорта. Кибер-физические системы сменяют ИТС.

### Список литературы

1. Bulturbayevich M. B., Jurayevich M. B. The impact of the digital economy on economic growth // International Journal of Business, Law, and Education. – 2020. – Т. 1. – №. 1. – С.4-7.
2. Bukht R., Heeks R. Defining, conceptualising and measuring the digital economy // Development Informatics working paper. – 2017. – №. 68.
3. Popkova E. G. Digital economy: Complexity and variety vs. rationality. – 2020.
4. Tsvetkov V. Ya. Spatial Relations Economy // European Journal of Economic Studies, 2013, № 1(3). - P.57-60.
5. Brousseau E., Pénard T. The economics of digital business models: A framework for analyzing the economics of platforms // Review of network Economics. – 2007. – V. 6. – №. 2. – P.81-114.
6. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
7. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), P.181- 185.
8. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая

система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.69-79.

9. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.

10. Merenkov A. Digital economy: transport management and intelligent transportation systems //E-management. – 2018. – Т. 1. – №. 1. – С.12-18.

11. Ожерельева Т.А. Анализ пространственных транспортных инноваций // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.27-34.

12. OECD, 2015. OECD Digital Economy Outlook 2015, OECD, Paris. <http://www.oecd.org/sti/oecd-digital-economy-outlook-2015-9789264232440-en.htm>.

13. Heeks, R., 2017. Information and Communication Technology for Development, Routledge, Abingdon, UK.

14. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. - №9-3. – С.487.

15. V. Ya. Tsvetkov. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, 1(11), pp.35-44.

16. Heeks, R., 2016. Examining "Digital Development", Development Informatics Working Paper 64, University of Manchester, UK. [.http://www.gdi.manchester.ac.uk/research/publications/di](http://www.gdi.manchester.ac.uk/research/publications/di).

17. Handel, M., 2015. The Effects of Information and Communication Technology on Employment, Skills, and Earnings in Developing Countries, background paper for the World Development Report 2016, World Bank, Washington, DC.

18. Don Tapscott The Digital Economy. Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence. Publisher: McGraw-Hill Published: 1994, - 368p.

19. Lane, N., 1999. Advancing the digital economy into the 21st century, Information Systems Frontiers, 1(3), 317-320p.

20. Brynjolfsson, E. & Kahin, B. (eds) 2000. Understanding the Digital Economy: Data, Tools, and Research, MIT Press, Cambridge, MA.

21. Mesenbourg, T.L., 2001. Measuring the Digital Economy, US Bureau of the Census, Suitland, MD. <https://www.census.gov/content/dam/Census/library/working-papers/2001/econ/umdigital.pdf>.

22. DBCDE, 2013. Advancing Australia as a Digital Economy: An Update to the National Digital Economy Strategy, Department of Broadband, Communications and the Digital Economy, Canberra. <http://apo.org.au/node/34523>.

23. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014. № 3(5). - P.147-152.

24. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С.40-43.

25. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). P.1416-1422.

26. Ожерельева Т.А. Информационное пространство как инструмент поддержки принятия решений // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.169-175.

27. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.

28. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - Saarbrücken, 2012. - 297с.

29. Sneps-Snepp M. et al. Digital Railway and the transition from the GSM-R network to the LTE-

R and 5G-R-whether it takes place? //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – V. 5. – №. 1. – P.71-80.

30. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.

31. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.43-50.

32. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.46 -52.

33. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.

34. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифрового транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.29-43.

35. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.22-26.

36. <https://www.networkrail.co.uk/our-railway-upgrade-plan/digital-railway/>.

37. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.

38. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.17 -26.

39. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

40. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.

41. Бубнова Г. В., Лёвин Б. А. Цифровая логистика-инновационный механизм развития и эффективного функционирования транспортно-логистических систем и комплексов //International journal of open information technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.

42. Данилов К.В., Капустин Н.И. Технологии Big Data в железнодорожной отрасли инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.25-33.

43. Цветков В.Я. Неявное знание и его разновидности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 3. – С.199-205.

44. D'Andrea R. Guest editorial can drones deliver? //IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. – 2014. – V. 11. – №. 3. – P.647-648.

УДК: 001.6: 001.51

## ЭВОЛЮЦИЯ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ

**Рогов И.Е.** Директор, Институт довузовской подготовки РТУ (МИРЭА), E-mail: iero82@bk.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье исследуются особенности состояния и развития ситуационного управления в сфере железнодорожного транспорта. Раскрываются три направления этого управления: организационное, технологическое и интеллектуальное. Показано, что ситуационное управление широко использует методы информационного моделирования. Отмечено значение геоинформатики и методов дистанционного зондирования для ситуационного управления железнодорожным транспортом. Показано, что интеллектуальное ситуационное управление является наиболее эффективным.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, управление, интеллектуальное управление, информационное управление, технологии управления, ситуационное управление.

## EVOLUTION OF SITUATION TRANSPORT MANAGEMENT

**Rogov I.E.** Director of pre-university education institute, Russian Technological University (RTU MIREA), E-mail: iero82@bk.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The article examines the features of situational management in the field of railway transport. The article reveals three directions of this management: organizational, technological and intellectual. It is shown that situational management widely uses information modeling methods. The importance of geoinformatics and remote sensing methods for the situational management of railway transport is noted. It is shown that intelligent situational control is the most effective control technology at the present time.

**Keywords:** railway, intelligent control, information control, control technologies, situational control

### Введение.

Интенсификация движения и перевозок на железнодорожном транспорте ведет к возрастанию сложности управления движением. Сложность ситуаций влечет рост нагрузки на лицо, принимающее решение, и в таких условиях целесообразным является переход на автоматизированное управление транспортом. Железнодорожный транспорт является сложной геотехнической системой [1]. Поэтому для его управления нужна разносторонняя комплексная информация, которую обеспечивает геотехнический мониторинг [2]. Управление транспортом использует пространственную информацию, геоданные и геоинформационные модели и технологии.

В аспекте развития школ управления [3] управление транспортом является пространственным ситуационным управлением [4]. Концепции ситуационного управления строятся на применении модели информационной ситуации. Методология ситуационного управления строится на том, для всех случаев управления движением нет единственного



универсального способа и управление организуется по принципу управление при непредвиденных обстоятельствах [3]. Основой ситуационного транспортного управления является создание модели информационной пространственной ситуации [5-9] и применение ситуационного пространственного анализа для принятия решения и его оптимизации.

Поддержкой ситуационного анализа являются технологии информированности и применение метода инцидентов или стереотипов. Это приводит к необходимости систематизации ситуаций для принятия обоснованных управленческих решений. Важной тенденцией современного управления транспортом, связанной с ростом скоростных режимов, является сокращение допустимого времени на принятие решений, особенно, решений в кризисных ситуациях. Сокращение допустимого времени на принятие решений влечет рост информационной неопределенности и нечеткости. Повышение когнитивной нагрузки на управленческий персонал и сокращение сроков принятия решений повышают риск ошибки за счет «человеческого фактора» и информационной неопределенности [10, 11]. Многие из этих проблем упрощаются за счет применения ситуационного управления. Ситуационное управление требует использования методов информационного управления [12-14] и применения разных моделей информационной ситуации. Информационное управление приводит к необходимости применения моделей информационного поля [15, 16] и информационного пространства [17-19] как инструментов управления.

#### **Виды ситуационного управления.**

Ситуационное управление на железнодорожном транспорте включает разные направления: организационное управление [20], автоматизированное [21], цифровое управление [22-24], интеллектуальное управление [25], кибер-физическое [26, 27] управление. Схема организационного управления [29] приведена на рис.1. Организационное ситуационное управление включает: формирование цели управления (цель, рис.1); создание системы управления (СУ), воздействующей на объект управления (ОУ).

Управление осуществляется с помощью управляющих воздействий (УВ, рис.1) системы управления на объект управления. Неотъемлемой частью такой схемы управления является подсистема контроля и мониторинга (ПСКМ) объекта управления.

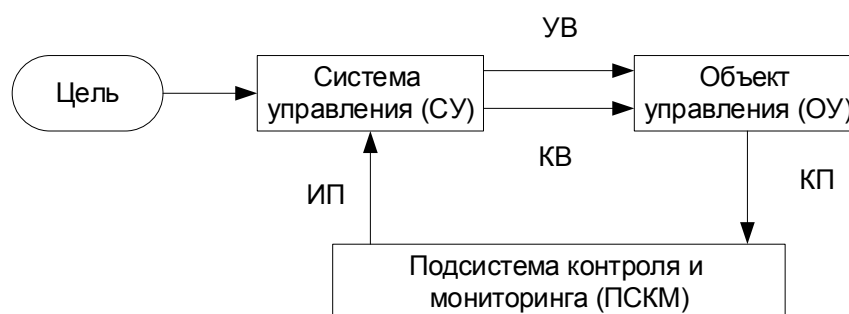


Рисунок 1. Организационное управление транспортом.

На эту систему поступают контрольные параметры (КП, рис.1). В ПСКМ эти параметры подвергают первичной обработки и направляют в систему управления в виде информирующих параметров (ИП, рис.1). На основе информирующих параметров в системе управления формируется информационная управленческая ситуация, которая служит основой принятия

решения и формирования корректирующих воздействий (КВ, рис.1). Поэтому в такой схеме практически осуществляется двуцикловое управление: управляющие воздействия и корректирующие воздействия.

Основной целью применения информационной ситуации в управлении транспортом является повышение эффективности управления транспортными средствами и инфраструктурой по обеспечению безопасности движения за счет:

- Анализа рисков нарушения безопасности движения и определения мест наиболее вероятного их проявления;
- Формирование рекомендаций для принятия управляющих решений по снижению рисков и нарушений безопасности движения;
- Оперативной ликвидации угрожающих факторов и последствий аварийных ситуаций.

Современная концепция управления транспортом является полевой. Она строится на концепции информационного поля и информационного пространства. Простейшая полевая модель управления приведена на рис.2.

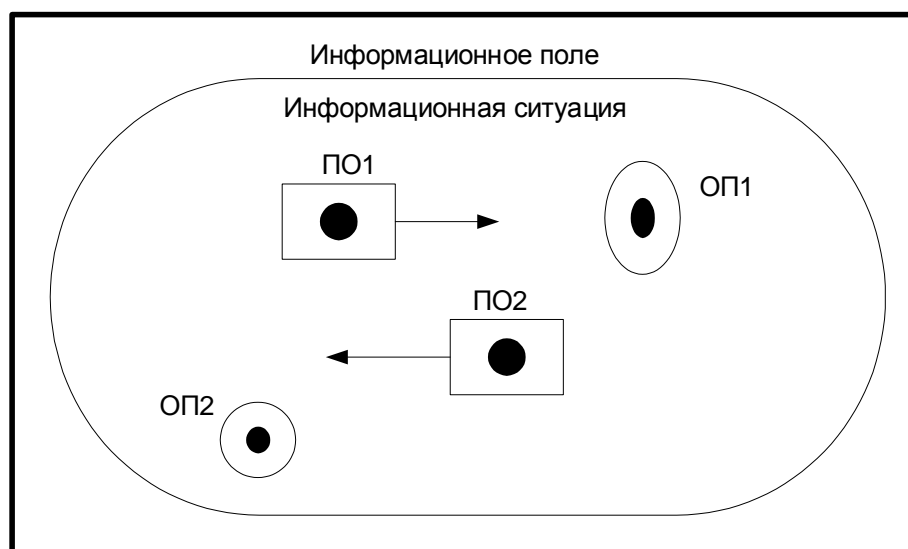


Рисунок 2. Полевая ситуационная модель управления.

В соответствии с полевой моделью управления объект управления или подвижный объект (ПО, рис.2) находится в информационном поле и в его локальной части, которая и есть информационная ситуация. Нахождение в информационном поле означает, что состояние и параметры объекта управления известны с помощью различных технологий и систем, например, при использовании технологии Интернета вещей. В ситуации на рис.2 стрелками показано направление движения. Качественно необходимо выделить подвижный объект (ПО, рис.2) и объект препятствие (ОП, рис.2). Для ситуации ПО1- ОП1- препятствие мешает движению. Для ситуации ПО2- ОП2- препятствие не мешает движению. Такие информационные ситуации можно назвать индикационными. Они имеют два значения «да» или «1» и «нет» или «0». Такой качественный анализ сокращает время принятия решений. Этот подход применяют в автоматизированных системах управления движением и в ситуационных центрах.

Дальнейшее развитие управления привело к созданию и применению интеллектуальных транспортных систем [29-31]. Основная причина их применения - информационный барьер, исключающий возможность адекватного принятия решений человеком. Это, в первую очередь, сложность ситуации. Сложность информационной ситуации можно анализировать с применением методов анализа сложности алгоритмов. Интеллектуальные транспортные системы используют пространственную информацию, геоданные и методы геоинформатики.

На рис.3 приведена схема управления с использованием интеллектуальной транспортной системы (ИТС).

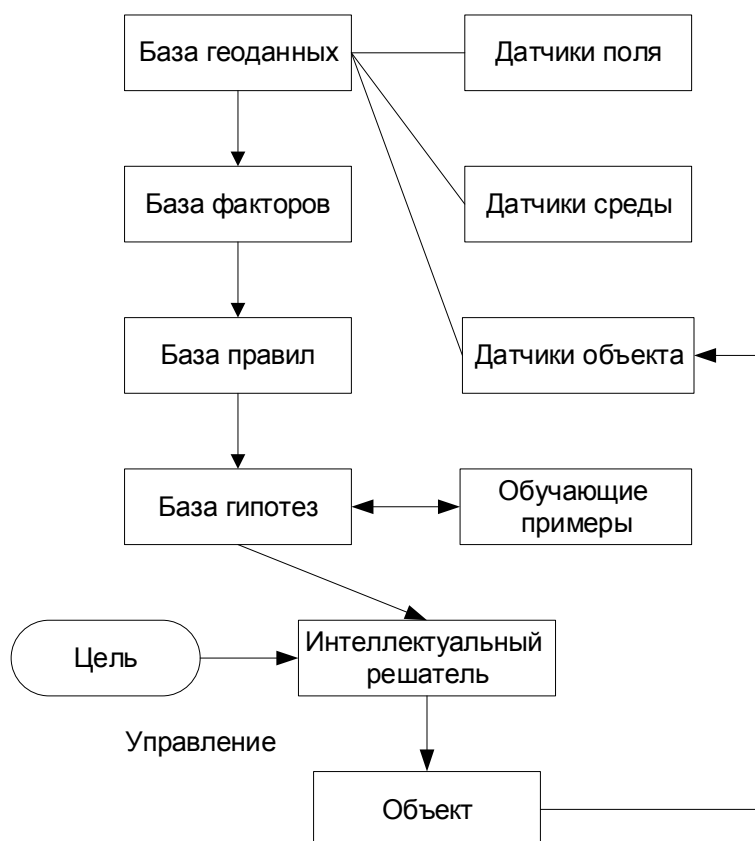


Рисунок 3. Схема управления с использованием интеллектуальной транспортной системы.

Информация об объекте поступает с различных сенсоров и датчиков. При этом объем информации намного больше видимой информации из кабины машиниста. Полевая концепция управления состоит в том, что вся информация от датчиков это информация полевая, то есть из информационного поля, окружающего подвижный объект. В ИТС применяют не разнородные пространственный данные, а структурированные и систематизированные геоданные [32], которые являются системным информационным ресурсом [33].

Геоданные [34] формируют на основе результата сбора и информации с разных сенсоров и датчиков. Они представляют собой стандартизованную и систематизированную структуру данных. В управлении транспортом геоданные обязательно структурированы. Они включают три группы данных «место», «время», «тема».

Поэтому одним из начальных этапов управления с помощью ИТС является наполнение базы геоданных [35, 36], которая по сути выполняет функции подсистемы поддержки принятия

решений. База геоданных содержит информацию о глобальных и локальных информационных пространственных ситуациях. Глобальная информационная ситуация – это электронная карта всего маршрута движения. Локальная информационная ситуация - это ситуация, которая окружает подвижный объект. для этой информационной ситуации подвижный объект является ядром. Следующая база данных представляет собой базу факторов управления, в которой накоплен опыт ситуационного управления. Это база данных содержит не только факторы, но главное, причинно-следственные связи между факторами. По существу, это эмпирическая база правил для интеллектуальной системы. Она отвечает на вопросы.

- В какой ситуации появляется данный фактор?
- В чем причина появления данного фактора?
- С какими факторами связан данный фактор?
- Какими опытными (известными) методами устранить данный фактор?

Эта база данных является системой поддержки ИТС, то есть она позволяет на основе опыта принимать управленческие решения без проведения аналитического или интеллектуального анализа и детального разбора ситуации.

**База правил** является основой интеллектуального анализа и формирования управляющих решений. Эта база является самоорганизующейся. По мере накопления опыта в ней появляются новые правила или новые механизмы конструирования правил.

**База гипотез** в ИТС это по существу база формальных стереотипных обоснованных решений. Формальное стереотипное решение напоминает собой подпрограмму с формальными и фактическими параметрами. База гипотез допускает имитационное моделирование с формальными стереотипными гипотезами- решениями с целью оптимизации и выбора оптимального решения. База гипотез – это дискретная база данных, которая применяет методы дискретной оптимизации. В силу этого, а также при условии нечеткой информации, оптимизация в этой базе может давать не оптимальное решение, а рациональное решение для конкретной ситуации. Информация из всех баз данных поступает в интеллектуальный решатель, который с учетом цели управления вырабатывает управляющее решение.

**База факторов**, база правил и база гипотез связаны с обучающей аналитической системой, которая обобщает опыт и формирует новые правила и новые формальные гипотезы. Правила формируют по четко причинно-следственным связям, а гипотезы строят как модели возможностей и предположений.

Большое внимание в настоящее время уделяется беспилотному управлению [37-39]. На рис.4. приведена схема беспилотного управления с использованием интеллектуальной транспортной системы.

Эта схема управления дополняется лицом принятия решений. В настоящее время не накоплен достаточно большой опыт беспилотного управления на транспорте в разных погодных и ночных условиях. В силу этого необходимо подключение когнитивного опыта человека эксперта в сложно интерпретируемых ситуациях.

Эта схема имеет специализированный датчик препятствий и специальную схему анализа (нечеткая подсистема управления, рис.4), которая использует интервальную математику, мягкие вычисления и аппарат теории нечетких множеств. Беспилотное управление качественно отличается от многих схем управления тем, что она решает задачи извлечения неявного знания об объектах препятствиях. В обеих схемах на рис.3 и рис.4 в явной форме не выделены спутниковые системы связи и контроля. Они имеют место в обеих схемах управления.

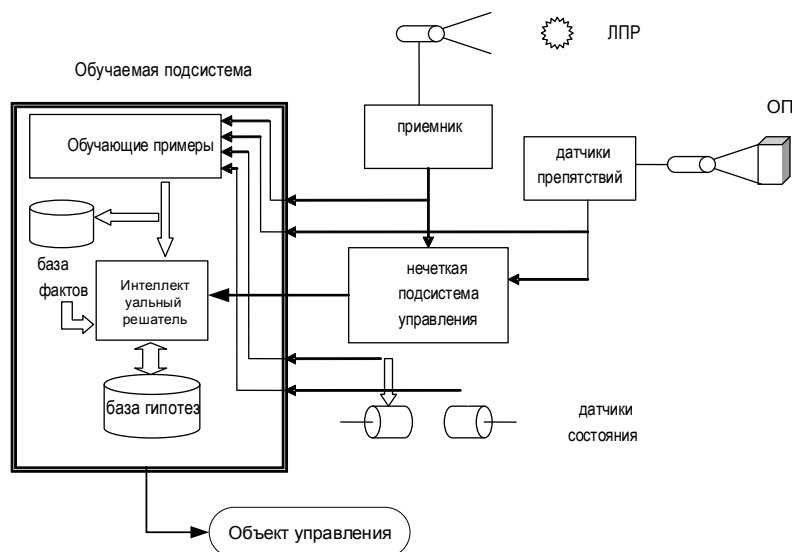


Рисунок 4. Схема беспилотного управления с использованием интеллектуальной транспортной системы.

### Заключение.

Современное ситуационное управление является одним из многоаспектных направлений повышения эффективности управления и комплексной деятельности ОАО РЖД. Ситуационное управление выполняется явно в ситуационных центрах и неявно в ИТС и киберфизических системах. Понятие информационной ситуации в управлении транспортом в настоящее время связано не только с пространственным положением объекта управления, но и с состоянием его ходовой части, прогнозом ресурсных возможностей, отношений, в которых он находится с другими подвижными объектами и объектами препятствиями и прочим. По существу, такая ситуация представляет собой облако данных и требует применения технологий обработки больших данных.

Современное ситуационное управление является интеллектуальным ситуационным управлением именно оно является наиболее эффективным. Современный этап применения ситуационного управления характеризуется комплексностью и включением в ситуационное управление многих научных направлений. В частности, ситуационное управление связано с разработкой оптимальных и адаптивных систем, систем с искусственным интеллектом на базе широкого применения цифровизации транспорта и его инфраструктуры. Современное ситуационное управление тесно связано с транспортными инновациями [40], поэтому оно является инновационным управлением.

### Список литературы

1. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. –2009. – №4. – С.52.
2. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.
3. Encyclopedia of Management <http://www.enotes.com/management-encyclopedia/management-thought> Дата просмотра 16.03.2021.

4. Охотников А.Л., Павловский А.А. Ситуационное семиотическое управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4. – 3(15). – С.53-62.
5. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), P.2166- 2170.
6. Титов Е.К. Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 4(12). – С.30-38.
7. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
8. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.
9. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
10. Ожерельева Т.А. Оппозиционный анализ неопределенности и определенности // Славянский форум. - 2017. - 1(15). – С.218-226.
11. Розенберг И.Н. Информационная неопределенность // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.12-18.
12. Ожерельева Т.А. Информационное управление подвижными объектами // Государственный советник. – 2018. - №4(24). – С.29-37.
13. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 4(4). – С.11-24.
14. Александров А. В. Информационное управление // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.7-18.
15. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). P.1416-1422
16. Мордвинов В. А. Синергетика в информационном поле // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.25-31.
17. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
18. Бучкин В.А. Геоинформационное пространство в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.
19. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.268-274.
20. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
21. Киснеева Л. Н., Аухадеев А. Э. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта // Вестник НЦБЖД. – 2016. – №. 3. – С.36-42.
22. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), P.181- 185.
23. Nambisan S. et al. Digital Innovation Management: Reinventing innovation management research in a digital world // Mis Quarterly. – 2017. – Т. 41. – №. 1.
24. Sandkuhl K., Stirna J. (ed.). Capability Management in Digital Enterprises. – Cham : Springer, 2018. – №. 1.

25. Розенберг И. Н. Интеллектуальное управление // Современные технологии управления. 2017. - №4 (76). – С.45-50.
26. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
27. Volkova V., Loginova A., Kudriavtceva A. Management of enterprise cyberphysical systems sustainable development while undergoing a digital transformation //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 940. – №. 1. – С. 012009.
28. Раев В.К. Организационные системы // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С.94-100.
29. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - Saarbrücken, 2012. - 297с.
30. Zhu L. et al. Big data analytics in intelligent transportation systems: A survey //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2018. – Т. 20. – №. 1. – С.383-398.
31. Guerrero-Ibáñez J., Zeadally S., Contreras-Castillo J. Sensor technologies for intelligent transportation systems //Sensors. – 2018. – Т. 18. – №. 4. – С.1212.
32. Del Frate F. et al. Fabspace 2.0: The open-innovation network for geodata-driven innovation //2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – IEEE, 2017. – С.353-356.
33. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.
34. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - С.12- 14.
35. Матчин В. Т. Стандартизация при создании баз геоданных // Славянский форум, 2015. - 4(10) – С.209-216.
36. Toro-Domínguez D. et al. ImaGEO: integrative gene expression meta-analysis from GEO database //Bioinformatics. – 2019. – Т. 35. – №. 5. – С.880-882.
37. Попов П.А., Охотников А.Л. Поезд без машиниста - российские перспективы // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С.4-6.
38. Sheng Y. D. Q. W. L. Research on Automatic Unmanned Urban Rail Integrated Automation System //Journal of Physics: Conference Series. - IOP Publishing, 2019. - Т. 1168. - №. 2. - С. 022080.
39. De Simone M. C., Guida D. Identification and control of a unmanned ground vehicle by using Arduino //UPB Sci. Bull. Ser. D. – 2018. – Т. 80. – С.141-154.
40. Ожерельева Т.А. Анализ пространственных транспортных инноваций // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.27-34.

УДК: 334.71: 656: 338.245

## ОБНОВЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

**Матчин В.Т.** Ст. преподаватель, Институт информационных технологий, МТУ (МИРЭА),  
E-mail: matchin.vt@gmail.com, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье исследуются базы данных на подвижных объектах. Показано, что эти базы данных являются локальными в сравнении с глобальными базами данных в центрах управления. Базы данных на подвижных объектах относятся к категории пространственных баз данных или баз геоданных. Вводится новый термин «базы данных подвижных объектов». Рассматриваются особенности обновления баз данных подвижных объектов, такое обновление может быть штатным и нештатным. Базы данных подвижных объектов всегда связаны с глобальной базой данных. База данных подвижных объектов работает в режиме скользящего окна. Обе базы данных содержат цифровую базу данных и базу изображений, базу геоданных и базу цифровых моделей рельефа. Показано, что база данных подвижных объектов является подсистемой поддержки принятия решений в автоматизированном транспорте. Описан метод обновления с использованием спутниковых технологий.

**Ключевые слова:** транспорт, базы данных, базы данных подвижных объектов, глобальные базы данных, штатное обновление, поддержка принятия решений.

## UPDATING LOCAL DATABASES ON TRANSPORT OBJECTS

**Matchin V.T.** Senior Lecturer, Institute of information technologies, MTU (MIREA), E-mail: matchin.vt@gmail.com, Moscow, Russia

**Annotation.** The article examines databases on moving objects. These databases are shown to be local versus global databases in control centers. Moving databases are categorized as spatial databases or geodatabases. A new term "databases of mobile objects" is introduced. The features of updating the databases of mobile objects are considered; such an update can be regular and non-standard. Moving object databases are always linked to the global database. The database of moving objects works in the sliding window mode. Both databases contain a digital and image database, a geodatabase, and a digital elevation model database. It is shown that the database of mobile objects is a decision support subsystem in automated transport. An update method using satellite technologies is described.

**Keywords:** transport, databases, databases of moving objects, global databases, regular updates, decision support.

### Введение

При перемещении транспортных средств с использованием современных систем, таких как: цифровая железная дорога [1-3], интеллектуальные транспортные системы [4, 5] или (транспортные) кибер-физических системы [6-8] возникает задача использования пространственной информации для оптимизации маршрута движения. Во многих транспортных средствах с автономным управлением такая информация в виде локальной электронной карты хранится на подвижном транспортном средстве в специальной базе данных. Такую базу данных



называют базой данных подвижного объекта (БДПО). Она определяет состояние и положение подвижного объекта в пространстве [9]. БДПО определяет не только состояние объекта, но и возможность его дальнейшего движения. База данных подвижного объекта позволяет определять пространственные отношения данного подвижного объекта с другими подвижными объектами и организовывать комплементарность [10. 11] движения.

Однако, подвижная база данных всегда связана со стационарной базой данных на пункте управления или в ситуационном центре [12]. Поэтому связь БДПО с глобальной базой данных (ГБД) является особенностью использования БДПО. Обе базы данных совместно оценивают состояние подвижного объекта. Обе базы данных нуждаются в обновлении информации. Обновление ГБД влечет обновление БДПО. Нештатное обновление БДПО влечет обновление ГБД. Взаимность обновления этих баз данных является вторым существенным отличием БДПО от других пространственных баз данных (ПБД) или баз геоданных (БГД). БДПО является активной и применяется для управления, она должна оперативно обновляться актуальной информацией. Для управления движением БДПО должна содержать семантическую информацию о температуре, о влажности, об уклоне пути, о ситуации и другие.

### **Пространственные базы данных**

Пространственные базы данных содержат пространственную информацию, но бывают разных типов. База данных подвижного объекта содержит пространственную и временную информацию. Это определяет принадлежность такой базы данных к области геоинформатики [13, 14]. В геоинформатике базы данных, которые используют пространственную интегрированную информацию называют базами геоданных (БГД) [15, 16]. БДПО являются базами данных с пространственной информацией. Многие данные, которые хранят базы геоданных, называют геоданными [17, 18]. Системы управления в интеллектуальной транспортной системе или кибер-физической системе используют БГД как основу управления. Особенность ГБД – двойственное представление информации в визуальном и цифровом виде. При работе с БДПО данных важны методы формирования геоданных и структура бортовой базы данных. особенностью бортовых баз данных является быстрая смена окружающей ситуации или модели информационной ситуации. Частая смена информации ставит задачи обновления баз данных [19]. Большинство пространственных баз данных являются стационарными. БДПО перемещается и поэтому информация в ней меняется постоянно.

### **Механизм описания пространственной ситуации в базе данных**

Современное управление транспортом является ситуационным. Поэтому базовым понятием и моделью управления является модель информационной ситуации [20]. Реальная ситуация связана с перемещением подвижного объекта в пространстве (рис.1).

На рис.1 показано, что реальный объект движется в окружении связанной с ним информационной ситуации. Маршрут движения и ситуация окружения маршрута содержатся на электронной карте. Можно говорить о локальной и глобальной информационной ситуации. Каждая из этих ситуаций хранится в разной базе данных. Глобальная информационная ситуация хранится в виде электронной карты в стационарной базе данных, которая находится в ситуационном центре или центре управления движением (рис.2).



Рисунок 1. Реальная ситуация перемещения подвижного объекта

Локальная информационная ситуация хранится в виде локального фрагмента электронной карты в стационарной базе данных, которая на подвижном объекте.

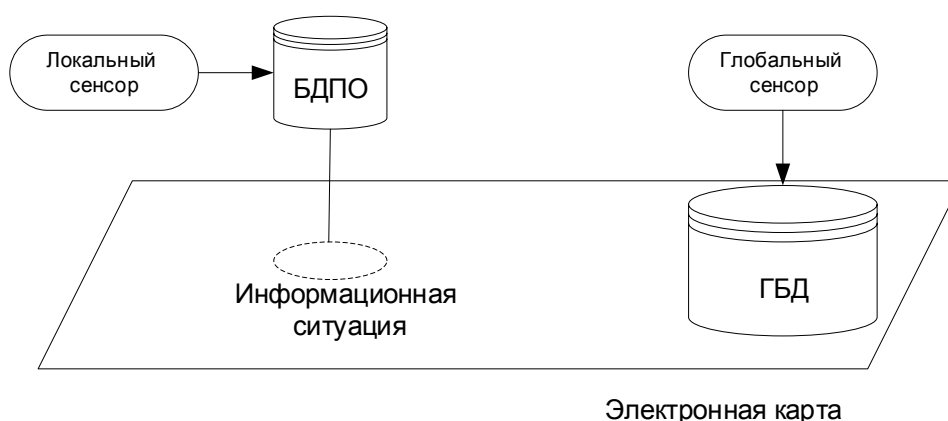


Рисунок 2. Система баз данных для подвижных объектов.

Содержание отмеченных баз данных согласовано и комплементарно [10]. Изменение ситуации в любой из баз данных реплицируется в другую базы данных. Это является особенностью обновления информации для подвижных объектов

### Характеристики баз данных подвижных объектов

Базы данных подвижных объектов (БДПО) отличаются от других баз пространственных данных или баз геоданных. Базы данных подвижных объектов являются трех канальными. Они принимают информацию от сенсоров подвижного объекта и по каналам связи с центром управления. Еще один источник информации - спутниковые системы позиционирования и связи. Специфика БДПО состоит в автоматизированном приеме пространственной информации с помощью сенсоров [21]. Специфичность БДПО состоит в использовании технологий, определяющих положение подвижного объекта в пространстве. БДПО служит основой системы управления подвижным объектом. Она может быть рассмотрена как система поддержки принятия решений при управлении подвижным объектом. Причем БДПО применяют на разных системах управления, например, транспортное АСУ [22], ИТС [4], ТКФС [8], ЦЖД [3], автономный поезд [23]. Существенным отличием БДПО является регулярное обновление информации в ней, и это обновление имеет две причины: перемещение подвижного объекта в глобальной ситуации и изменение внешней ситуации

Подвижный объект в процессе движения использует глобальную и локальную информацию рис.3. Глобальная информация - это информация о всем возможном маршруте движения. Она

может иметь вид мульти масштабной карты. Локальная информация описывает локальную информационную ситуацию [20] вокруг объекта. Ее ядром является центроид подвижного объекта, который является центроидом информационной ситуации. В процессе движения информационная ситуация скользит по электронной карте (рис.2). Простейшим примером является навигатор, применяемый в автомобиле. Он показывает часть маршрута, остальная часть скрыта и показывается по мере движения. Глобальная информация часто представляет собой электронную карту. Обновление БДПО с позиций познания можно определить как нахождение неявного знания [24, 25] в информационном поле [26, 27].

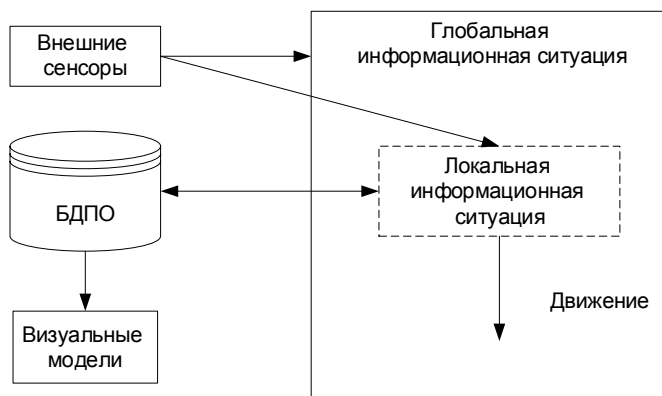


Рисунок 3. База данных подвижного объекта и механизм ее обновления.

Часть электронной карты отображается в навигаторе. Это и есть информационная ситуация. По мере движения объекта в БДПО информация меняется соразмерно движению объекта и изменению ситуации вокруг объекта. Одним из видов обновления БДПО состоит в замене информации БДПО на информацию из глобальной базы данных в соответствии с перемещением центроида объекта и центроида ситуации. БДПО можно рассматривать как подмножество глобальной пространственной базы данных (ГПБД) или глобальной электронной карты (ГЭК), где:

$$\text{БДПО} \subseteq \text{ГПБД} \quad (1)$$

$$\text{БДПО} \subseteq \text{ГЭК} \quad (2)$$

Выражение (1) говорит о том, что БДПО есть цифровое подмножество ГПБД. Выражение (2) говорит о том, что БДПО есть визуальное подмножество глобальной электронной карты. Два выражения (1) и (2) подчеркивают двойственность представления БДПО. Содержательно БДПО имеет вид:

$$\text{БДПО} = F(\text{IS}, \text{PC}, \text{SE}, \text{OP}) \quad (3)$$

Выражение (3) говорит о том, что важным содержанием БДПО являются: IS – информационная ситуация, PC – точка центроида как ядро ситуации, SE – семантическое окружение ядра, OP – объекты – препятствия движению.

Процедура изменения содержания БДПО при движении объекта напоминает модель скользящего окна при обработке изображений или модель скользящего среднего при обработке числовых рядов. Обновление содержания БДПО может быть прямым и обратным, что соответствует движению объекта в прямом и обратном направлениях. Принципиальной особенностью БДПО является то, что она сохраняет пространственные отношения между содержанием информационной ситуации и содержанием глобальной базы данных.

В БДПО смена информации обусловлена движением объекта (перемещением центра) и сменой обстановки при движении объекта. В терминах информационного поля глобальная база данных содержит информационное поле, а БДПО содержит часть информационного поля [26, 27] в виде информационной ситуации,

Обновление БДПО делится на штатное и не штатное. Штатное обновление - это перемещение информационной ситуации по информационному полю. Нештатное обновление - это появление новых объектов препятствий, которых ранее в информационном поле не было. Штатное и не штатное обновление БДПО можно рассматривать как процесс извлечения неявных знаний [24]. Для выявления новых объектов - препятствий необходимо проведение геотехнического мониторинга [28].

База геоданных и БДПО, как правило, включает две базы: базе данных изображений (БДИ) и базу данных цифровых моделей (ЦБД). Это обусловлено разными способами хранения визуальной информации и цифровой информации. В последние годы существенно расширилось применение средств когнитивной графики, в том числе и для визуализации пространственной информации. Пространственные изображения обладают высокой степенью наглядности и информативности. Повышение требований к качеству изображений предусматривает повышенные требования к производительности систем формирования трехмерных изображений. Чем точнее и качественнее представляется объект, тем больший объем данных потребуется для его описания и хранения.

Визуализация информации в БДПО осуществляется в виде картографических моделей и габаритных изображений. Отсюда одна из задач БДПО - формирование визуального представления по маршруту движения. для локальной ситуации это простая задача. Для глобальной базы данных или электронной карты визуальное представление использует тайловые структуры. Тайл или паттерн представляет собой локальную модель покрытия, которая позволяет сжимать изображение в тысячу раз и хранится в БДПО как примитив и структура.

Глобальная база данных должна быть создана до начала эксплуатации БДПО. Другим важным процессом для ГБД является процесс обновления уже введенных данных. Дополнительная проблема возникает при необходимости оперативно обновлять данные

В настоящее время для изменения содержания БД большого объема применяют методы искусственного интеллекта. Такое обновление пространственных данных в БДПО основано на алгоритмах автоматизированного обновления, которые включают подсистемы информационного поиска. Алгоритмы или правила анализируют и перестраивают области БДПО, в которых происходят ситуационные изменения. Такой механизм возможен за счет использования моделей пространственных отношений. Создание БДПО включает организацию данных, накопление данных, организацию структуры БД, привязку БДПО к ГБД, организацию моделей запросов. Наряду с существующими технологиями предлагается перспективная технология применения БДПО, которую называют бортовой базой данных [29] с использованием спутниковой информации. Бортовая база данных может отличаться от БДПО, если она содержит стационарную информацию. Технология применения БДПО приемлема для воздушного, автомобильного, морского и железнодорожного транспорта. Система с БДПО включает бортовой вычислитель, который извлекает изображения и информацию о положении объекта в глобальной системе или в локальной системе координат.

Современные подвижные объекты используют спутниковые технологии для обновления

информации. Спутниковые технологии собирают информацию и передают ее в как в центр обработки, так и на подвижный объект. Например, в проекте OAGMS [30] по данным спутниковой информации бортовые вычислительные системы систематизируют данные и трансформируют их в визуальные модели. систематика моделей создает условия для простого обновления на основе информационного поиска. Изображения хранят комплементарно с пространственной информацией. БДПО хранит глобальные данные и локальные данные. Глобальные геоданные есть мульти масштабная карта. Ситуационные пространственные данные описывают параметрическую и пространственную ситуацию, окружающие подвижный объект. Для анализа локальной ситуации система управления осуществляет информационный поиск по данным спутников. Вычислительная система подвижного объекта выполняет информационный поиск. БДПО синхронно выполняет поиск информации в своем содержании и в содержании ГБД. В системе осуществляется пространственный информационный поиск [19], который также называют географическим поиском. Результаты поиска служат основой обновления и накладываются на электронную карту. При этом применяют процедуры концептуального смешивания.

После этого наборы данных моделируются с помощью теоретико-множественных операций и сжимаются. Ботовой вычислитель принимает необходимую информацию и адаптирует ее к содержанию БДПО. Обновление содержание БДПО применяют для управления подвижным объектом. Цифровое принятие решений дублируется на картографической модели. Обновление данных ГБД и БДПО является одной из нормативных задач управления транспортом.

Обновление глобальной электронной карты в центре управления выполняют по-разному. Например, для объектов больших размеров деление электронной карты в ГБД осуществляют по параллелям и меридианам. Это первый уровень обновления, который называют «меридианным». Другой уровень обновления, называемый «бесшовным» не связан с меридианами, а является скользящим (рис.2). В этом случае они загружаются в БДПО по мере перемещения объекта по трассе (рис.1). Глобальное обновление осуществляется в ГБД. Оно осуществляется с использованием всех сенсоров. Локальное обновление осуществляется в БДПО. Оно осуществляется с использованием сенсоров подвижного объекта.

Третий уровень обновления, называемый «комплементарным», состоит в согласовании данных ГБД и БДПО на уровне пространственной и семантической информации. Все пространственные объекты имеют семантическое описание. Изменение пространственных данных влечет изменение семантики.

Четвертый уровень обновления, называемый «координатным», состоит в преобразовании координат из местных систем БДПО в глобальную систему ГБД. Эта технология требует сложных математических преобразований систем координат и выполняется в ГБД, которая обладает более мощными вычислительными ресурсами. Поэтому лишь некоторые систем содержат четыре уровня обновления [31]. Все системы управления ПО и схемы обновления БДПО могут использовать два набора данных.

Некоторые системы обновления пространственной информации. используют три базы: цифровую базу данных (глобальный цифровой компонент), визуальную базу данных (глобальная электронная карта), локальную визуальную цифровую БДПО (локальный скользящий ситуационный компонент). Все базы данных используют единую интегрированную информационную основу. Таким образом система обновления является комплексно системой и не связана толь ко БДПО. БДПО есть компонент глобальной базы данных и глобальной

электронной карты.

### **Заключение**

База данных подвижных объектов является относится к классу баз геоданных. Однако она является двуфункциональной. Первая функция связана с хранением актуальной информации. Вторая функция связана с поддержкой принятия решений при управлении подвижным объектом. БДПО содержит описание информацию о пространственной ситуации, которая окружает подвижный объект. Это описание включает семантическое описание окружения пространственных объектов. Подвижный объект использует технологию бесшовности между БДПО и ГБД. Она решается путем создания системы опорных точек движения, которые находятся на трассе подвижного объекта. БДПО является скользящей моделью глобальной базы данных или мультимасштабной электронной карты. Обновление информации в БДПО делится на штатное и не штатное. Штатное обновление связано с перемещением объекта по трассе и скачиванием информации ГБД в БДПО. Не штатное обновление связано с появлением на трассе или в содержании ГБД новых объектов или новых ситуаций. Модель информационной ситуации является обязательным компонентом технологии обновления БДПО. Большое значение для контроля движения и выявления препятствий имеет визуальная часть БДПО В широком смысле обновление включает использование спутниковых данных для обновление наземных данных. Полное обновление БДПО является четырех уровневый. Упрощенное обновление БДПО является уровневый. На подвижном объекте БДПО связано с бортовым вычислителем, который решает вопросы обновления и управления транспортным средством. С позиций управления БДПО относится к системам поддержки принятия решений [32]. Это ее существенное отличие от многих пространственных бах данных.

### **Список литературы**

1. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.
3. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), P.181- 185.
4. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - Saarbrücken, 2012. - 297с.
5. Dimitrakopoulos G., Demestichas P. Intelligent transportation systems //IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2010. – Т. 5. – №. 1. – С.77-84.
6. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
7. Rawat D. B., Bajracharya C., Yan G. Towards intelligent transportation cyber-physical systems: Real-time computing and communications perspectives //SoutheastCon 2015. – IEEE, 2015. – С. 1-6.
8. Sun Y., Song H. (ed.). Secure and trustworthy transportation cyber-physical systems. – Springer Singapore, 2017. – С.23-49.
9. Джанджгава Г. И., Сазонова Т. В., Шелагурова М. С. Методы формирования и структура бортовой базы данных о рельефе земной поверхности //Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – №. 1 (162). – С.151-161.
10. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.

11. Потапов А. С. Субсидиарность и комплементарность интеллектуальных систем // Славянский форум. -2020. – 1(27). - С.77-86.
12. Розенберг И. Н. Ситуационный центр как сложная организационно техническая система //Славянский форум. – 2019. – №. 4. – С.129-138.
13. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.
14. Маркелов В.М. Особенности применения геоинформатики в логистике // Науки о Земле. 2012. № 01. С.62-65.
15. Матчин В. Т. Стандартизация при создании баз геоданных // Славянский форум, 2015. - 4(10) – С.209-216.
16. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. - 2005. - Т. 11. № 3. - С.16-29.
17. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049/.
18. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - С.12- 14.
19. Матчин В.Т. Информационный поиск при обновлении баз данных // Славянский форум. - 2019. – 3(25). - С.37-44.
20. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
21. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44-52.
22. Афров А. М. и др. Единое автоматизированное управление распределенными объектами трубопроводных транспортных систем //Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2008. – №. 1. – С.46-57.
23. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Тенденции развития автономного поезда // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.3-12.
24. Цветков В.Я. Неявное знание и его разновидности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 3. – С.199-205.
25. R. G. Bolbakov. Tacit Knowledge as a Cognitive Phenomenon // European Journal of Technology and Design, 2016, 1 (11), pp. 4-12, DOI: 10.13187/ejtd.2016.11.4, [www.ejournal4.com](http://www.ejournal4.com).
26. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). P.1416-1422.
27. Майоров А.А. Информационное поле // Славянский форум. - 2013. – 2(4). - С.144-150.
28. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.
29. Zhou G., Kaufmann P. On-board geo-database management in future earth observing satellites//International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information SCIENCES. – 2002. – Т. 34. – №. 1. – С. 354-359.
30. Abdelrahim M., Coleman D., Faig W. Intelligent Imagery System: A Proposed Approach //International archives of photogrammetry and remote sensing. – 2000. – Т. 33. – №. B4/1; PART 4. – С.11-21.
31. Alkalai, L, (2001). An Overview of Flight Computer Technologies for Future NASA Space Exploration Missions, 3rd IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, April 2 - 6, Berlin, Germany.
32. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: МАКС Пресс, 2001. -312с.

УДК: 656, 004.89, 656.052

## **ГЕОМЕТРИИ ЕВКЛИДА И РИМАНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.**

**Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра по научной работе, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье исследуется проблема пространственных отношений между геоцентрической и топоцентрической системами координат. Применительно к строительству объектов транспортной инфраструктуры это трансформируется в противоречие между проектированием и выносом в натуру. Проектирование осуществляется в декартовой системе координат (с применением Эвклидовой геометрии), а вынос в натуру реализуется в криволинейной системе координат (геометрия Римана). При проектировании - вертикали рассматриваются как параллельные линии, но в реальности они таковыми не являются, они направлены по нормальям к референц-эллипсоиду. Показано, что при замене криволинейной поверхности плоскостью, погрешность по высоте на порядок выше погрешности в плановых координатах. Рассмотрена неприменимость обычных методов нивелирования для строгого выведения проекта в горизонтальную плоскость, для точных значений необходимо использовать цифровое оборудование.

**Ключевые слова:** транспорт, высокоточное проектирование объектов, геометрия Евклида и Римана, оптическое и цифровое нивелирование.

## **GEOMETRIES OF EUCLIDA AND RIEMAN AT DESIGN AND CONSTRUCTION OF OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE.**

**Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIAS", E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The article examines the problem of spatial relationships between geocentric and topocentric coordinate systems. With regard to the construction of transport infrastructure facilities, this is transformed into a contradiction between design and take-out. Design is carried out in a Cartesian coordinate system (using Euclidean geometry), and stakeout is carried out in a curvilinear coordinate system (Riemann geometry). When designing, verticals are considered as parallel lines, but in reality they are not, they are directed along the normals to the reference ellipsoid. It is shown, that when replacing a curved surface with a plane, the error in height is an order of magnitude higher than the error in the plane coordinates. The inapplicability of conventional methods of leveling for the strict placement of the project in the horizontal plane is considered; for accurate values, it is necessary to use digital equipment.

**Keywords:** transport, high-precision design of objects, geometry of Euclid and Riemann, optical and digital leveling.

### **Введение**

При проектировании объектов транспортной инфраструктуры часто возникает необходимость выведения их основания и верхней части в горизонтальную плоскость. При выносе объектов в натуру и строительстве применяют различные методы нивелирования.



Нивелированием называют комплекс работ для определения превышений между точками земной поверхности, а также определение их высот относительно принятой отсчетной поверхности [1-3]. Термин «отсчетная поверхность» обычно не настораживает и в большинстве работ, выполняемых на небольших площадках, отсчетную поверхность считают горизонтальной поверхностью. Однако это не соответствует реальности. В реальных земных условиях существует кривизна земной поверхности, которая налагает особенности на измерение высот и определение вертикали.

Кривизна земной поверхности задает проблему пространственных отношений [4, 5] между геоцентрической системой координат и топоцентрической системой координат [6-8]. Эта проблема вызывает проблему координатных преобразований между системами координат [9], и при комплексном мониторинге железных дорог [10]. Существует объективное противоречие, связанное с проектированием и выносом в натуру в разных системах геометрии [11]. Проекты объектов транспортной инфраструктуры выполняют в Декартовой системе координат и используют Евклидову геометрию. В этой геометрии вертикальные линии на проекте являются параллельными и не пересекаются. Горизонтальные линии проекта также являются параллельными и описывают горизонтальные плоскости. При выносе в натуру на криволинейную поверхность фактически используют геометрию Римана. Вертикальные линии на земной поверхности не являются параллельными, а пересекаются примерно в центре масс Земли. Горизонтальные плоскости трансформируются в криволинейные поверхности равных высот.

Использование нивелиров, задающих равные высотные отметки, формирует не горизонтальную линию, а геодезическую линию, которая прямой не является. Использование нивелиров, задающих равные высотные отметки, формирует не горизонтальную плоскость, а уровенную поверхность [1], которая является криволинейной поверхностью второго порядка. На малых расстояниях криволинейностью основания сооружения и не параллельностью вертикальных линий пренебрегают. Однако при необходимости высокоточных проектов и сооружений [12, 13], для которых необходимо соблюдение условий евклидовой геометрии, необходимо специальное геодезическое обеспечение и методы учета криволинейности поверхности для введения поправок построения горизонтальных плоскостей. Эти проблемы привели к появлению геометрической геодезии [14], которая решает задачи пространственных отношений разных геометрий и координатных систем.

### **Системы координат на земной поверхности**

Для моделирования фигуры Земли применяют модели геоида, квазигеоида и эллипсоида. Это определяет выбор разных систем координат. На земной поверхности применительно к объектам транспортной инфраструктуры используют разные координатные системы: геоцентрические, референчные и топоцентрические.

Геоцентрические системы координат [6-8] связывают с центром Земли. В основе этих координатных систем положена модель общеземного эллипсоида, а именно эллипсоид вращения, плоскость экватора и центр которого совпадает с плоскостью экватора и центром масс Земли и наилучшим образом аппроксимирует поверхность геоида (квазигеоида).

Референчные системы координат связывают с фигурой референц-эллипсоида. Эти системы используют для территории конкретной страны или нескольких стран. Как правило, референц-эллипсоиды принимаются для обработки геодезических измерений законодательно. В России (СССР) с 1946 года используется эллипсоид Красовского [15].

Ориентирование референц-эллипсоида в теле Земли подчиняется следующим требованиям

1. Разности астрономических и геодезических координат должны быть минимальными
2. Малая полуось эллипсоида ( $b$ ) должна быть параллельна оси вращения Земли.

3. Поверхность эллипсоида должна находиться по возможности ближе к поверхности геоида в пределах данного региона (для стран с большой территорией) или для страны (для стран с малой территорией).

Общеземной эллипсоид в качестве основной функции имеет моделирование формы Земли. Референц-эллипсоиды задают систему высот. Поэтому в отличие от общеземного эллипсоида для ориентирования и закрепления референц-эллипсоида в теле Земли необходимо задать исходные геодезические даты (*datum*).

Геоцентрической системой координат принято называть криволинейную систему координат ( $X, Y, Z$ ), у которой начало отсчета  $O$  совпадает с центром масс Земли (рис.1). Эта система координат и координатное описание соответствует геометрии Римана.

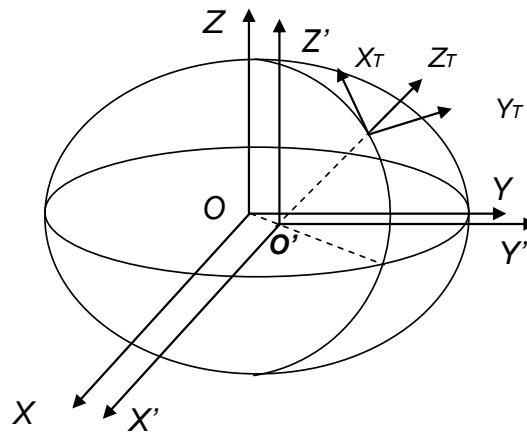


Рисунок 1. Геоцентрическая и топоцентрическая системы координат [16].

Если начало отсчета системы  $O'$  располагается вблизи центра масс Земли (в пределах нескольких сотен метров), то такая система координат ( $X', Y', Z'$ ) называется квазигеоцентрической.

В геоцентрической системе координат ось  $Z$  направлена на северный полюс Земли (рис.1). Ось  $X$  направлена в точку пересечения экватора с Гринвичским меридианом. Ось  $Y$  дополняет образованную экваториальную систему до правой. Геоцентрические системы координат используют в первую очередь для навигации при движении объектов околоземном пространстве или на поверхности Земли. Геоцентрическая система одна, а топоцентрических может быть много. Геоцентрическая система координат является криволинейной и может быть рассмотрена как глобальная, а топоцентрические системы координат могут быть рассмотрены как локальные.

Топоцентрическая система координат (рис.1) применяется для непосредственные геодезических измерений и строительства объектов на поверхности Земли. Ее качественным отличием от геоцентрической является то что она использует эвклидову геометрию и Декартову систему координат. Топоцентрическую систему координат можно рассматривать как локальную Декартову систему координат, которая скользит по референцной поверхности и связана с одной точкой этой поверхности.

Топоцентрической системой координат (рис.1) называют прямоугольную систему координат ( $XT$ ,  $YT$ ,  $ZT$ ), у которой начало отсчета находится на поверхности Земли или вблизи нее. Ось  $ZT$  совпадает с нормалью к поверхности земного эллипсоида. Ось  $XT$  лежит в плоскости меридиана и направлена на северный полюс. Ось  $YT$  дополняет образованную систему до левой. Система участвует в суточном вращении Земли, оставаясь неподвижной относительно точек земной поверхности и потому удобна для навигации и определения положения объектов относительно поверхности Земли.

### **Измерение высот и понятие вертикали**

Ось  $Z$  топоцентрической системы задает вертикаль и служит основой измерения высот. Измерение вертикалей и высот относится к области геодезии. В геодезической литературе возникает множество нестыковок. Рассмотрим в качестве примера фундаментальный труд [1]. Это единственная за время СССР и России энциклопедия по геодезии, картографии и кадастру. На странице 94 дается определение О1 «Вертикаль - прямая в пространстве, перпендикулярная к горизонтальной плоскости». Это определение применимо для топоцентрической системы и противоречит понятию вертикали в геоцентрической системе как направлению к центру масс Земли. На земной поверхности нет горизонтальных плоскостей земная поверхность, геоид, эллипсоид – поверхности криволинейные. На странице 124 дается определение О2 «Высота – расстояние между точками объекта по вертикали». На этой же странице уточняется О3 «Высота абсолютная – расстояние от точки земной поверхности по отвесной линии до уровенной поверхности, принятой в геодезической сети за исходную». Это противоречит определению О1. На странице 124 дается еще одно определение О4 «Высота геодезическая – высота точки земной поверхности над референц-эллипсоидом по нормали к нему. Непосредственно определить геодезическую высоту не представляется возможным».

На этой же странице «высота одной и той же точки может иметь различные (!!) значения, зависящие от пути нивелирования, а сумма превышений по замкнутому полигону не равна нулю». Следует отметить, что эти определения из разных статей энциклопедии. Далее в статье о динамической высоте говорится: «Высота динамическая – высота, которая при перемещении точки по уровенной поверхности не меняется. Динамические высоты в основном применяются при некоторых расчетах, связанных, например, со строительством крупных гидротехнических сооружений. Изменение высоты уровенной поверхности по широте особенно значительно в водоемах, простирающихся по меридиану. Так, например, на Байкале, простирающемся с юга на север на 450 км, разница в отметках уреза воды достигает 0,16 м». На странице 140 говорится: «Геодезической высотой называют длину отрезка нормали  $AA'$  от данной точки  $A$  до поверхности эллипсоида». И так далее. Общий вывод. При измерениях на местности используют геоцентрическую систему координат и геометрию Римана. Допустимость использования декартовых систем координат требует исследования.

### **Особенности нивелирования как метода нахождения высот.**

В настоящее время выделяют такие виды нивелирования. Геометрическое нивелирование выполняют при помощи уровенного нивелира и реек. Тригонометрическое нивелирование выполняют при помощи теодолитов или тахеометров посредством, служащих основой измерения наклона визирных линий с одной точки на другую. Барометрическое нивелирование выполняют при помощи барометра. Гидростатическое нивелирование выполняют при помощи сообщающихся сосудов, заполненных жидкостью. Жидкость всегда находится на одном уровне под влиянием силы тяжести. Радиолокационное нивелирование

выполняют при помощи радиовысотометров и эхолотов, установленных как на воздушных, так и на водных судах; Спутниковое нивелирование выполняют при помощи GNSS-приёмников или методом спутниковой альтиметрии. Особое место занимают лазерные уровни и лазерные устройства. Они не зависят от силы тяжести и проектируют плоскость в декартовой системе координат.

Характерной ошибкой многих учебников, описывающих нивелирование, является изображение отвесных линий как параллельных линий рис.2.

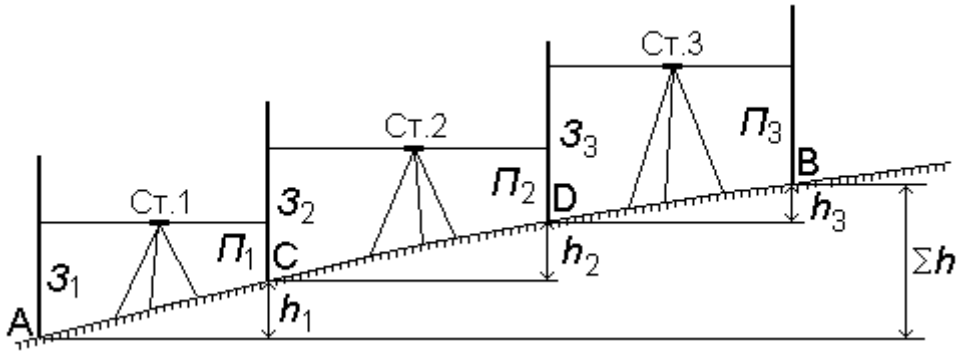


Рисунок 2. Типичный пример идеального нивелирования.

На рис.2 показаны вертикальные рейки и точки стояния между ними. Суммарная высота  $h$  определяется как сумма превышений между точками стояния. На рис.2 используется декартова система координат или топоцентрическая система координат. Соответственно применяется геометрия Эвклида. Ни о какой кривизне Земли в этих источниках не говорится.

На рис.3 показано, что использование пузырькового или гидростатического нивелирования (или любого нивелирования, использующего силу тяжести), задает уровенную поверхность, которая плоскостью не является.

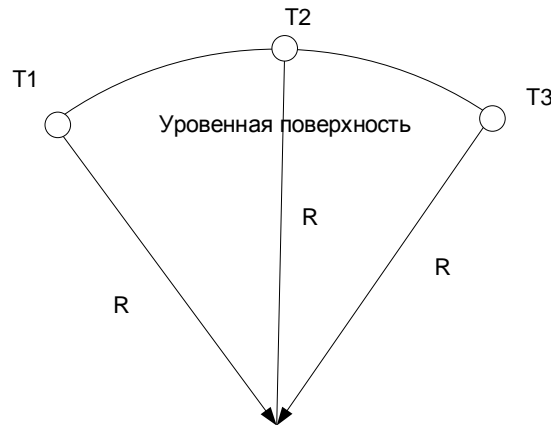


Рисунок 3. Нивелирование на земной поверхности

На рис.3 точки T1, T2, T3- точки стояния нивелиров, соответствующие равным высотам. R – радиус кривизны Земли, которому соответствует направление вертикали в геоцентрической системе координат. На рис.3 отчетливо видно, что вертикали не являются параллельными и пересекаются в центре масс земли.

На рис.3 используется криволинейная система координат или геоцентрическая система координат. Соответственно применяется геометрия Римана. Таким образом существует

проблема перехода от реальной геометрии Римана к идеализированной геометрии Эвклида.

#### Учет поправок за кривизну.

На рис.4 дано схематичное изображение проекта сооружения. Это может быть мост, тоннель или здание. Проект сооружения имеет прямоугольную форму.



Рисунок 4. Схематичное изображение проекта прямоугольного сооружения.

На рис.4 показано основание, параллельное верхней границе сооружения, и равные параллельные высоты трех сечений проекта. На рис. 5 дана фактическая схема выноса этого проекта натуру.

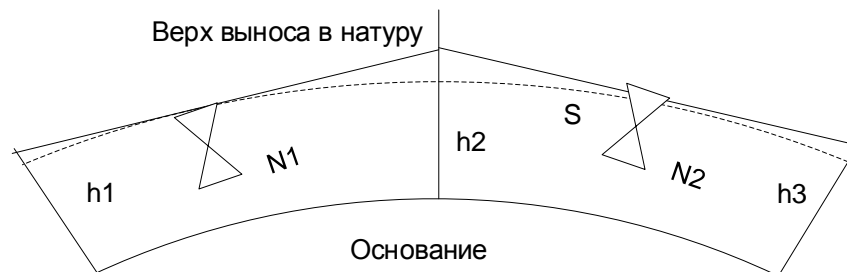


Рисунок 5. Схематичное изображение выноса проекта в натуру.

На рис.5 видно, что прямоугольное сооружение преобразуется в трапециевидное. На рис.5 показано, что горизонтальное основание переходит в криволинейную поверхность, которая задается уровнем поверхности равной высоты. Верхняя часть сооружения переходит в ломанную линию, которая задается нивелированием в точках N1, N2. С помощью нивелирования обнаружить ломанную кривую невозможно. Она будет по измерениям соответствовать горизонтали L на рис.4

Для учета влияния кривизны на геометрию сооружения используем рисунок 6.

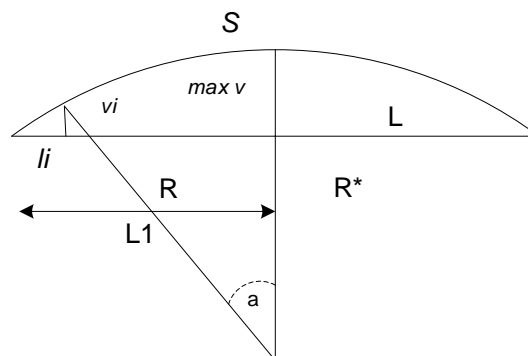


Рисунок 6. Схема анализа ввода поправок для криволинейной поверхности.

На рис.6 S- дуга криволинейной поверхности равного уровня или равной высоты, L – хорда,

соответствующая этой дуге. Эта хорда и есть строгая горизонталь, которая задает горизонтальную плоскость в топоцентрической системе координат. Величина  $v$  обозначает поправку или расхождение между горизонтальной плоскостью и сечением криволинейной поверхности уровня. Величина  $max v$  обозначает высоту хорды или максимальное расхождение между горизонтальной плоскостью и криволинейным участком земной поверхности. Величина  $l$  есть смещение по горизонтальной оси. Величина  $v/l$  есть поправка между дугой  $S$  и хордой для смещения  $l$ .

В справочниках [1, 2] говорится об участках 20 км x 20 км, как допустимых для которых можно пренебрегать кривизной земной поверхности. Дуге 20 км на земной поверхности соответствует центральный угол примерно 0,18 градуса. Более точно для радиуса Земли  $R_1=6371$  км этот угол равен 0,17988 градуса. В справочниках задают и другой радиус Земли. Для радиуса Земли  $R_2=6378$  км этот угол равен 0,17968 градуса. Но для оценочных расчетов рассмотрим угол 0,18 градусов как центральный угол, для которого можно анализировать поправки для учета или не учета за кривизну. Длина дуги  $S$  (рис.6), соответствующая центральному углу в 0,18 градусов для радиуса  $R_1$  равна 20,01509 км. Длина дуги  $S$  (рис.6), соответствующая центральному углу в 0,18 градусов для радиуса  $R_2$  равна 20,03708 км.

Длина хорды  $S$  (рис.6), соответствующая центральному углу в 0,18 градусов для радиуса  $R_1$  равна 20,0150785651 км, а для радиуса  $R_2$  равна 20,0370697047 км. Ошибка по длине между хордой и дугой для радиуса  $R_1$  составляет в метрах 0,008230874. Ошибка по длине между хордой и дугой для радиуса  $R_2$  составляет в метрах 0,008239917. Это означает, что на 20 км ошибка измерения длины составляет примерно 8 мм. Это допустимо. Относительная ошибка для обоих случаев одинакова и равна  $4,11233E-07$ , то есть примерно 4 десяти миллионных.

Можно рассчитать ошибку по площади. Площадь сферического квадрата для заданного центрального угла в 0,18 градусов рассчитывается как пересечение шаровых поясов. Для  $R_1$  площадь сферического квадрата равна 400,6036995 кв км. Для  $R_2$  площадь сферического квадрата равна 401,4844926 кв км. Площадь квадрата, построенного на хордах этих дуг, для заданного центрального угла 0,18 градусов для  $R_1$  равна 400,60336997 кв км и для  $R_2$  равна 401,4841624 кв км. В метрах ошибка составляет около 370 кв метров. Относительная ошибка площади одинакова для обоих вариантов и составляет  $8,22467E-07$  или примерно 8 десяти миллионных. Это допустимо и такое упрощение возможно.

Для того чтобы рассчитать поправки по высоте воспользуемся схемой на рис.6. Из курса геометрии известно, что высота хорды определяется по формуле

$$max v = R - \frac{1}{2} (4R^2 - L^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

В выражении (1)  $max v$  – высота хорды или максимальное отклонение горизонтальной плоскости от криволинейной поверхности,  $R$  – радиус кривизны, в нашем случае радиус Земли,  $L$  – длина хорды или длина линейного сооружения, которое монтируют на земной поверхности.

Для участка в 20 км расстояние между хордой и дугой в соответствии с выражением (1) будет равно 7,848066 метров. То есть разница в высоте составляет около 8 метров. Это значительная величина. Относительная ошибка составляет  $1,23184E-06$  или около одной миллионной. Вывод поправка по высоте на порядок больше, чем поправка по длине или по площади. Следовательно, ее необходимо учитывать при высокоточных работах. Если перейти к линейному объекту, например депо, которое имеет длину 800м, то для него разница между уровенной поверхностью и горизонталью составляет  $max v=12,55689$  мм. Это означает что

использование обычных нивелиров при проектировании депо поднимет центральную часть депо на 1,26 см по отношению к краям депо. Допустимо это или нет - определяют нормативные документы. Но принципиально важно, что нивелирование задает отклонение высоты основания сооружения от строгой горизонтальной плоскости.

### **Заключение**

Строительство объектов на поверхности Земли вынуждено связано с использованием геометрии Римана. Проектирование объектов связано с использованием геометрии Эвклида. Это порождает противоречие и требует оценки участков, для которых такое упрощение допустимо. Для участков 20 км x 20 км такое упрощение в плане допустимо. При этом следует учитывать, что ошибка по высоте на порядок превосходит ошибку в плане.

Для высокоточных сооружений, возводимых на земной поверхности, необходима оценка кривизны земной поверхности и оценка допустимости применения проектов, сформированных в Декартовой системе координат в криволинейную геоцентрическую систему координат. Вертикали в геометрии Римана является не параллельными линиями, в то время как в Декартовой системе координат они параллельны. В условиях кривизны поверхности Земли прямоугольные проекты преобразуются в трапециевидные конструкции с непараллельными стенами. Для условий Земли допустимо с использовать участки 20 x 20 км как участки Эвклидовой геометрии в плане. Несоответствие между высоток криволинейной поверхности и горизонтальной плоскостью для участка 20 x 20 км достигает 7 метров. Принципиально, что погрешность по высоте на порядок больше, чем погрешности плановых координат. Это необходимо учитывать при строительстве высокоточных объектов. для строительства высокоточных объектов целесообразно отказаться от обычных методов нивелирования и переходить к лазерным приборам. Также следует учесть, что геодезическое обеспечение железных дорог [17, 18] требует особой подготовки и специальных расчетов.

### **Список литературы**

1. Бородко А.В., Бугаевский Л.М., Верещака Т.В., Запрягаева Л.А., Иванова Л.Г., Книжников Ю.Ф., Савиных В.П., Спиридонов А.И., Филатов В.Н., Цветков В.Я. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I А-М.
2. Баканова В. В. Геодезия–М.: Недра. – 1980.
3. Torge W., Müller J. Geodesy. – Walter de Gruyter, 2012.
4. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 5. - С.138-140.
5. Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // Славянский форум, 2016. -2(12). – с.272-276
6. Господинов Г.С. Геодезическая астрономия и космическая геоинформатика // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 1(1). – С.45-50.
7. Розенберг И.Н. Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 - 67с
8. Dudnik A. E. et al. Geocentric Coordinate Systems and Actual Problems of Modernization of the State Geodetic Network //Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2018. – Т. 931. – С. 687-691.

9. Yan X. et al. Study on the Method of Conversion from Beidou Coordinate System to Local Coordinate System //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – Т. 440. – №. 5. – С.052082.

10. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 1(1). – С.14-21.

11. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // Наука и технологии железных дорог. - 2017. Т.1.-2(2). – С.31-38.

12. Krasnoperov R. I., Sidorov R. V., Soloviev A. A. Modern geodetic methods for high-accuracy survey coordination on the example of magnetic exploration //Geomagnetism and Aeronomy. – 2015. – Т. 55. – №. 4. – С. 547-554.

13. Peyret F., Betaille D., Hintzy G. High-precision application of GPS in the field of real-time equipment positioning //Automation in construction. – 2000. – Т. 9. – №. 3. – С.299-314.

14. Hooijberg M. Geometrical geodesy. – Springer, Berlin, 2008.

15. Бугаевский Л.М., Вахрамеева Л.А. Геодезия. Картографические проекции. – М.: Недра, 1992. – 292с.

16. Цветков В. Я., Лонский И. И., Булгаков С. В. Общая и прикладная геоинформатика : учебник. – Москва: МАКС Пресс, 2021. – 200с.

17. Булгаков С.В. Развитие методов геодезического обеспечения железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.25-35.

18. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифрового транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.29-43.



УДК: 656.07

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ВЫПРАВКЕ ПУТИ

**Козлов А. В.** Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** Цель статьи - исследование методов моделирования при выправке и укладке пути. Статья показывает, что геометрия и геометрическая геодезия играют важную роль при моделировании кривых. Моделирование рассмотрено в плане и по высоте. Описаны методы моделирования: модели прямоугольных координат, модели хорд, модели углов или модели полярных координат, модели продолженных хорд. Описана роль пространственной информации, геоданных и геоинформатики в моделировании объектов транспортной инфраструктуры. Показано, что частные методы моделирования пути входят в технологии пространственного анализа. Пространственный анализ можно рассматривать как инструмент повышения эффективности проектирования объектов транспортной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** транспорт, проектирование трассы, переходные кривые, моделирование, пространственное моделирование, пространственная информация, геоданные

## DIGITAL MODELING FOR TRACK STRAIGHTENING

**Kozlov A. V.** Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The aim of the article is to study modeling methods for aligning and laying tracks. The article shows that geometry and geometric geodesy play an important role in modeling curves. Modeling is considered in plan and in height. The methods of modeling are described: models of rectangular coordinates, models of chords, models of angles or models of polar coordinates, models of continued chords. The role of spatial information, geodata and geoinformatics in modeling transport infrastructure objects is described. It is shown that particular methods of path modeling are included in the technologies of spatial analysis. Spatial analysis can be considered as ways to improve the efficiency of the design of transport infrastructure facilities.

**Keywords:** transport, alignment design, transition curves, modeling, spatial modeling, spatial information, geodata.

### Введение.

Исследование и моделирование объектов транспортной инфраструктуры [1-5] имеет множество направлений и реализуется целым спектром технологий [6-10]. Одной из распространенных технологий является технология разбивки кривых при выносе в натуру или проектировании железнодорожного пути. Хотя это типичная пространственная технология моделирования, длительное время она реализовывалась эмпирически по нормативам. Разбивка кривых может осуществляться инструментально и с применением моделей.

В последнее время широко применяют информационные модели [11, 12] и цифровые модели [13]. В дополнении к ним на предварительном этапе используют инфологические модели [14]. Моделирование обобщает опыт инструментальных работ и использует набор пространственных моделей и информационных единиц [15, 16] перед тем как осуществлять практические действия. Модели и моделирование не должны противоречить существующим нормативам, поэтому базовый подход к моделированию разбивка кривых основан на нормативном подходе. Нормативная разбивка кривых: для строительства трассы, для перепроектировки трассы, для проведения ремонтных работ – требуется, чтобы участки пути на местности разбивались на равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за прямую. Очевидно, чем больше радиус кривой, тем может быть больше интервал детальной разбивки. При радиусе больше 500 м разбивают через 20 м, при радиусе от 100 до 500 м – через 10 м. Для кривых радиуса меньше 100 м детальную разбивку производят через 5 м.

Наиболее распространенными способами детальной разбивки кривых и соответственно методов моделирования, являются способы: прямоугольных координат, хорд (секущих), углов (полярных координат), продолженных хорд. Эти способы задают модели разбивки: модели прямоугольных координат, модели хорд, модели углов или модели полярных координат, модели продолженных хорд.

#### **Пространственный анализ как основа проектирования на транспорте.**

Пространственная информация и геоданные [17] служат основой современного моделирования объектов транспортной инфраструктуры. Моделированию объектов транспортной инфраструктуры основано на использовании пространственной информации. При этом пространственная информация используется системно, то есть с применением геоданных. Соответственно основой моделирования объектов транспортной инфраструктуры является геоинформатика [18]. Она используется методически как основа технологий моделирования. Она используется комплексно, то есть для хранения информации. Она используется для построения базовых моделей. Она используется системно как основа построения элементов информационного и геоинформационного пространства [19].

Термин «пространственный анализ» применяют в узком и широком смысле. В широком смысле пространственный анализ исследует различные реальные и не реальные пространства. Он включает пространственную логику [20] математические и системные методы понимания и интерпретации явлений и процессов окружающего мира. В узком смысле пространственный анализ исследует реальные пространства космическое, околоземное, наземное, подземное. В этом аспекте пространственный анализ связан с науками о Земле и математикой.

Наиболее близкой к пространственному анализу наукой является геоинформатика. она создавалась на основе интеграции наук, технологий и данных. В ее сферу пространственный анализ входит как один из основных методов исследования. В силу этого геоинформационное моделирование [21] тесно связано с пространственным анализом и пространственным моделированием. Пространственный анализ тесно связан с системным анализом, который служит основой пространственного анализа. Пространственный анализ связан с рядом разделов математики, геометрией, топологией, теорией множеств, дифференциальным исчислением. Пространственный анализ связан с психологией и когнитивными науками. Пространственный анализ связан со структурным анализом, который вышел из недр системного анализа и развился в самостоятельное научное направление. Пространственный анализ связан с визуальными моделями и визуальным моделированием. Широта и многоаспектность пространственного

анализа делает актуальным его исследование как феномена и проведение научного обобщения по методам пространственного анализа.

### Модель прямоугольных координат.

В этом способе моделирования положение точек 1, 2, 3,.. (рис. 1) на кривой определяется через равные дуги  $k$  координатами  $x_1, y_1; x_2, y_2, x_3, y_3, ..$  при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, за условное начало координат – начало или конец кривой.

Для совместной детальной разбивки переходных и круговых кривых в специальных таблицах по аргументам (радиуса)  $R$  и длины  $l$  даны: абсциссы точек от начала переходной кривой, при этом вместо значений  $x$  приведены разности  $K-x$  («кривая без абсциссы»); ординаты точек, увеличенные на сдвигку  $p$ . Координаты конца переходной кривой подчеркнуты (или набраны жирным шрифтом).

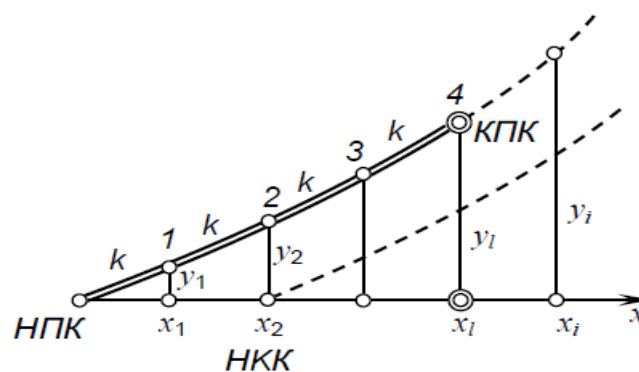


Рисунок 1. Моделирование методом прямоугольных координат

Моделирование ведут от начальной точки кривой (НПК) и конечной точки кривой (КПК) к середине (НКК). Вдоль тангенса откладывают длины кратных кривых ( $k, 2k, 3k$ ), отмеряя назад значения разности «кривая без абсциссы». В найденных пунктах восстанавливают перпендикуляры и откладывают ординаты  $1, 2, 3, y, y, y, ..$  определяя точки кривой. Расстояние между этими точками должно равняться  $k$ , что служит контролем точности моделирования.

При большом угле поворота, когда ординаты достигают значительных величин, рекомендуется разделить общий угол поворота на две части, как бы заменив одну кривую  $AB$  двумя сопрягающимися кривыми  $AD$  и  $DB$  одного радиуса (рис. 2).

Каждую часть кривой разбивают отдельно от линии тангенсов  $AE$  и  $DE, BF$  и  $DF$ . Дополнительные точки  $E$  и  $F$  находятся на линиях  $AC$  и  $BC$  на расстоянии от точек  $HK$  и  $KK$ , равном длине тангенса. Таким же образом можно разделить кривую и на большее число сопряженных частей.

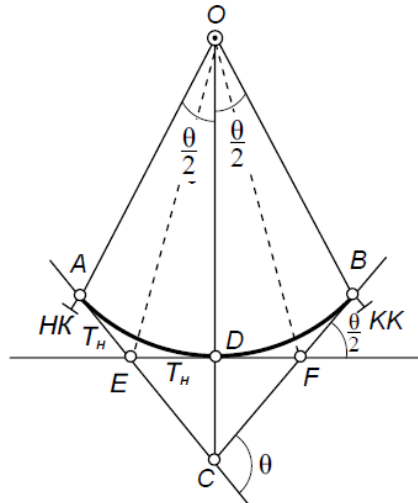


Рисунок 2. Моделирование при больших углах поворота

**Моделирование методом хорд**

В этом методе моделирования положение точек переходных и круговых кривых определяется координатами хорд. Направление хорды АВ, стягивающей конечные точки переходной кривой, получают по координатам ее конца  $x_i$  и  $y_i$  (рис. 3).

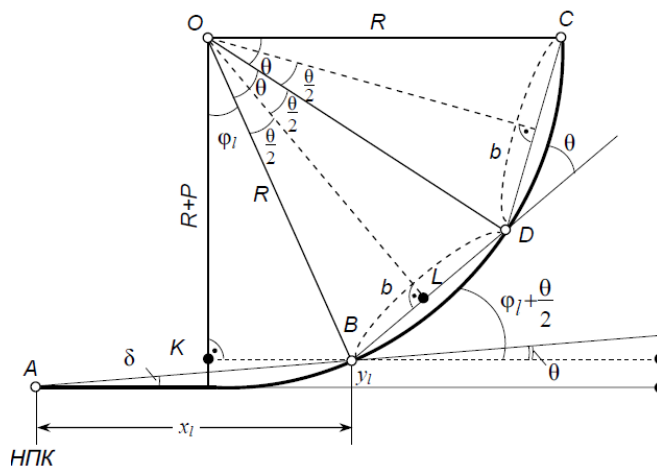


Рисунок 3. Моделирование с использованием метода хорд

На рис. 3 видно, что направление секущей BD круговой кривой составляет с направлением BN, параллельным линии тангенса AM, угол  $\phi_1 + \theta/2$  как направления, соответственно перпендикулярные к сторонам ОК и OL. Следовательно, угол между продолжением хорды переходной кривой АВ и первой секущей BD круговой кривой равен

$$\delta_1 = \phi_1 + \theta/2 - \delta \tag{1}$$

В выражении (1)  $\phi_1$  – центральный угол переходной кривой;  $\theta$  – центральный угол кривой, стягиваемой хордой b.

$$\sin(\theta/2) = b/2R \tag{2}$$

При одной и той же длине хорды угол между последующими секущими круговой кривой будет равен углу  $\theta$ . Длину хорды b выбирают 100 м и более, однако с таким расчетом, чтобы наибольшая ордината у соответствовала возможностям стесненных условий измерений (не превышала 2–3 м).

Направления секущих задают при помощи теодолита по углам и  $\theta$ . Координаты  $K(x, y)$  для детальной разбивки кривой от хорды приведены по аргументам  $R$  и  $b$  в особых таблицах: отдельно для переходных кривых, отдельно для круговых кривых. Координаты точек кривой от хорды находятся путем преобразования координат от тангенса при повороте хорды от касательной: переходной кривой на угол  $\delta$ , круговой кривой на угол  $\theta/2$ .

В таблицах также моделируют величины углов для переходных кривых:  $\delta$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_1 - \delta$  и круговых кривых  $\theta$ . Детальную разбивку кривой моделируют от концов хорды к середине таким же образом, как и в способе прямоугольных координат, от линии тангенса.

#### Моделирование методом углов.

В этом методе моделирования принимают во внимание то, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего центрального угла (рис. 4), вычисляемого по формуле (2).

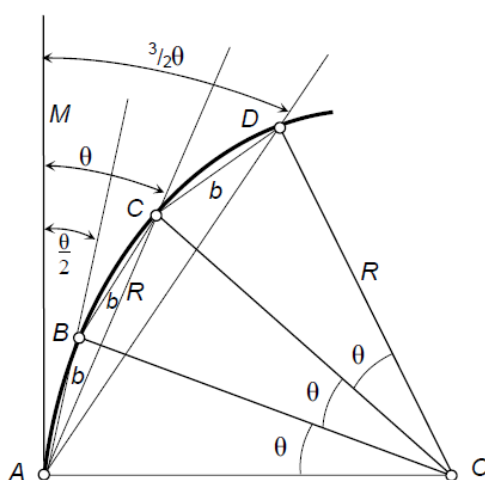


Рисунок 4. Моделирование с использованием метода углов.

Величину угла  $2\theta$  можно выбирать из таблиц по значениям  $b$  и  $R$ . В начале кривой  $A$  устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол  $\theta/2$ , откладывая вдоль полученного направления длину хорды  $AB = b$ . Найденную точку кривой закрепляют. От того же направления  $AM$  теодолитом отмеряют второй угол  $2\theta/2$ . От точки  $B$  откладывают следующую длину хорды  $b$  так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку  $C$  кривой, и т.д. Так как в способе углов положение последующей точки определяется относительно предыдущей, то с возрастанием длины кривой точность ее детальной разбивки быстро падает. В этом главный недостаток данного метода моделирования.

#### Моделирование методом продолженных хорд.

Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. По радиусу  $R$  и принятой длине хорды  $b$  (10 или 20 м) находят отрезки  $d$  и  $y$ , называемые промежуточным и крайним перемещениями.

$$y = b^2/2R; d = 2y = b^2/R \quad (3).$$

Положение первой точки кривой  $B$  (рис.5) может быть определено при помощи прямоугольных координат  $x$  и  $y$  или  $s$  отрезка тангенса линейной засечкой радиус-векторами  $AB = b$  и  $NB = y$ .

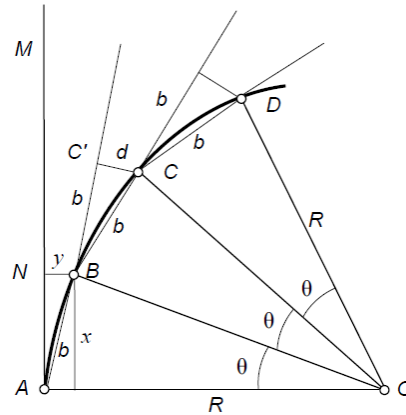


Рисунок 5. Моделирование с использованием метода продолженных хорд

Закрепив точку В , на продолжении створа АВ откладывают длину хорды  $b$  и отрезками  $C'C = d$  и  $BC' = b$  засекают на кривой точку С и т.д. Недостаток способа тот же, что и предыдущего.

**Вертикальные кривые.**

При проектировании трассы переломы продольного профиля сопрягаются вертикальными кривыми. Это могут быть круговые кривые большого радиуса или клотоида. Положение любой точки профиля на вертикальной кривой определяется прямоугольными координатами  $x$  и  $y$  (рис. 6).

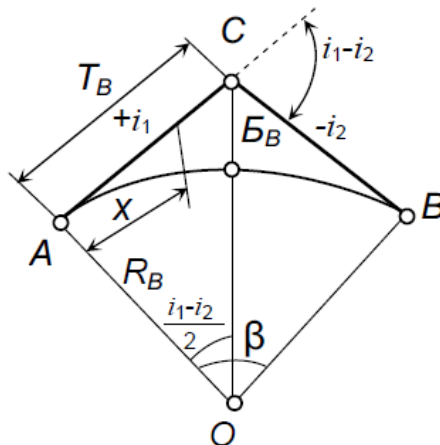


Рисунок 6. Моделирование вертикальных кривых.

Абсциссы  $x$  отсчитывают через 10 м по пикетажу трассы от начала вертикальной кривой. Для круговой кривой ординаты  $y$  вычисляют по формуле:

$$y = x^2/2R \quad (4)$$

(или берут из таблиц) и вводят как поправки в проектные отметки продольного профиля, прибавляя их в случае вогнутой кривой и вычитая при выпуклой кривой. Для определения элементов вертикальных кривых  $T_B$ ,  $K_B$  и  $B_B$ , а также координат  $x$  и  $y$  составлены специальные таблицы.

**Заключение**

Рассмотренные методы моделирования являются частью пространственного анализа и геоинформационного моделирования. Рассмотренные методы реализуются методами ГИС и с применением математического моделирования. Современный пространственный анализ

является комплексным научным направлением, которое включает методы моделирования железнодорожного пути. Реальное пространство и информационное поле служат основой современного пространственного анализа.

Теоретической основой пространственного анализа служит системный анализ и качественный анализ. Эмпирические подходы, которые долго применялись при проектировании пути, имеют потолок эффективности. Применение методов моделирования позволяет делать качественные проработки и комплексировать разные методы в единую систему моделирования.

Применение методов пространственного моделирования допускает включение в систему моделирования методов физического моделирования. Например, на модель пути может быть наложена физическая нагрузка и это даст возможность рассмотреть поведение верхнего строения пути при разных видах нагрузки. Такие модели входят в модели геоданных. В этом случае от пространственной модели переходят к пространственно-временной модели [22], которая позволяет решать дополнительные задачи/.

Пространственный анализ исследует информационные связи и пространственные отношения между пространственными объектами и явлениями. Общим для разных видов пространственного анализа является рассмотрение реального пространства как сложной системы, состоящей из структурных элементов. Методики пространственного анализа используют правила, информационные единицы и их комбинации. Общим для разных видов пространственного анализа является не только построение структуры пространства и пространственных объектов, но выявление пространственных отношений. Важным этапом пространственного анализа является использование модели информационной ситуации [23, 24]. Информационная ситуация включает связи и отношения объекта с другими объектами и с частью информационного поля. Перенос методов пространственного анализа в область моделирования объектов транспортной инфраструктуры может существенно развить данное направление и способствовать развитию транспорта.

### Список литературы

1. Охотников А.Л. Ведение кадастра транспортной инфраструктуры // Науки о Земле. – 2019. - №4. – С.23-34.
2. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 1(1). – С.14-21.
3. Болбаков Р. Г. Интегрированный мониторинг объектов транспортной инфраструктуры// Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.39-49.
4. Рогов И.Е. Конструктивное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.21-33.
5. 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.
6. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.
7. Андреева О.А. Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.57-69.
8. Андреева О.А. Геоинформационное проектирование объектов транспортной

инфраструктуры // Науки о Земле. – 2020. - №1. – С.91-99.

9. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 4(12). – С.39-49.

10. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Концептуальное пространственное смешивание при анализе объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 3(11). – С.3-16.

11. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.60-75.

12. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. – 5(83). - С.4- 11.

13. Цветков В.Я. Использование цифровых моделей для автоматизации проектирования // Проектирование и инженерные изыскания. - 1989. - № 1. - С.21 -23.

14. Раев В.К. Инфологические модели как инструмент исследования // Славянский форум. - 2020. – 3(29). - С.56-66.

15. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – 1(13). – С.57-68.

16. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), p.57-64.

17. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.

18. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.

19. Бучкин В.А. Геоинформационное пространство в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.

20. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.3 -16.

21. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. - №3. - С.23- 27.

22. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. - №8. – С.48-51.

23. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

24. Бучкин В.А. Геоинформационное ситуационное моделирование железнодорожного пути // Науки о Земле. – 2018. - №4. – С.43-52.



УДК: 334.71: 656: 338.245

## **СИТУАЦИОННАЯ АНАЛИТИКА В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

- Охотников А.Л.** Руководитель Центра стратегического развития, АО «НИИАС», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье рассматриваются недостатки единой терминологии для анализа изображений в системах технического зрения (СТЗ) на железнодорожном транспорте. Приведен краткий обзор имеющихся публикаций, рассмотрен стандарт «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения» (ГОСТ Р 59385-2021) и проведен его анализ на предмет применения основных определений и терминов для интегрированной СТЗ на железнодорожном транспорте. Исходя из структуры информации, поступающей от различных датчиков, определения разделены на три основные группы: по видам анализа, по сценам наблюдения, по ситуации (сценарию) в сцене наблюдения при управлении поездом.
- Ключевые слова:** транспорт, система технического зрения, автоматическое управление, ситуационный анализ, стандартизация терминов и определений.

## **SITUATIONAL ANALYTICS IN RAILWAY TECHNICAL VISION SYSTEMS. TERMS AND DEFINITIONS**

- Okhotnikov A.L.** Head of the Center for Strategic Development, JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article discusses the lack of a unified terminology for image analysis in technical vision systems in railway transport. A brief overview of the available publications is given, the standard “Information Technologies. Artificial Intelligence. Situational video analytics. Terms and definitions” (GOST R 59385-2021) and analyzed it for the application of basic definitions and terms for an integrated technical vision systems in railway transport. Based on the structure of the information coming from various sensors, the definitions are divided into three main groups: by the type of analysis, by the observation scenes, by the situation (scenario) in the observation scene when driving the train.
- Keywords:** transport, technical vision system, automatic train operation, situational analysis, standardization of terms and definitions.

### **Введение**

В современном пространстве интеллектуальных транспортных систем (ИТС) управление движущимися объектами и роботизация технологических процессов не обходятся без технологий, реализованных на основе технического (компьютерного) зрения [1]. При стремительном развитии продуктов и средств для видеоаналитики с применением технологии искусственного интеллекта, возникает потребность в едином терминологическом обеспечении.

Работ, посвященных описанию систем технического зрения (СТЗ) для движущихся объектов, особенно для железнодорожной отрасли, не очень много. Среди публикаций, в которых дано

описание применения систем технического зрения для управления объектов (роботов, машин, транспортных средств и других средств передвижения) можно выделить такие публикации как «Система технического зрения для ориентации в пространстве автономной системы» [2] об управлении роботом в неопределенной ситуации с помощью системы технического зрения и использованием множества исходных образов; «Оптическая система спектрозональной телевизионной камеры для систем технического зрения» [3] о разработке оптической системы технического зрения с помощью камеры, обеспечивающей одновременное формирование трех спектрозональных видеосигналов; «Методы поискового проектирования интеллектуальных систем технического зрения эргатических систем управления» [4] об интеллектуальной системе технического зрения, способной вести пассивный контроль и визуализацию текущих значений параметров динамических процессов и многофакторный анализ для определения текущего уровня безопасности эргатической системы управления, а также синтезировать оптимальные (субоптимальные) решения и прогнозировать ситуацию; «Системы технического зрения в роботизированных комплексах» [5] о разработке системы технического зрения для управления роботизированным комплексом; «Система распознавания объектов, обеспечивающая работу бортовой СТЗ в реальном времени» [6] где рассмотрен макет системы для распознавания объектов, автоматического обнаружения, и определения углового направления на объекты в реальном времени; «Система технического зрения в архитектуре системы удаленного управления» [7] с описанием способов и проблем управления мобильными роботами через Интернет, «Интеграция системы технического зрения с бесплатформенным инерциальным блоком системы навигации» [8] с решением задачи нейросетевой интеграции бесплатформенного инерциального блока и системы технического зрения при управлении мобильными объектами; «Разработка системы технического зрения для автономного управления робототехнической системой» [9] о способе обнаружения препятствий разрабатываемой системы технического зрения для эффективного управления робототехническим комплексом; «Комплексированная система технического зрения в системе управления робота с навесным оборудованием» [10] о применении датчиков различной физической природы комплексированной системы технического зрения для формирования среды маневрирования и рабочей зоны робота; «Разработка локомотивной системы технического зрения» [11] о создании локомотивной СТЗ с применением алгоритма обнаружения и распознавания световой сигнализации, основанном на оценке положения и показаний светофора, а также алгоритма выделения посторонних объектов на пути следования локомотива; «Система дистанционного автоматического управления БПЛА на основе технического зрения» [12] о системе дистанционного автоматического управления беспилотным летательным аппаратом на основе СТЗ; «Проблемы технического зрения в современных системах управления автомобилем» [13] о работе алгоритма машинного зрения автомобиля для строительства 3D-геометрии сцены, распознавания и классификации обнаруженных движущихся и неподвижных объектов, «Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа» [14] об автоматизированной системе управления технологическим процессом на железнодорожном транспорте; «Интегрированная система технического зрения и управления АНПА для поиска и обследования протяженных кабельных линий» [15] о решении задачи управления автономным необитаемым подводным аппаратом при поиске и обследовании протяженных кабельных линий с использованием данных фото-

видеосистемы и электромагнитного искателя; и др.

### Постановка задачи

Единого подхода к описанию и терминологии в области применения СТЗ на транспорте в настоящее время нет. Исходя из анализа имеющихся публикаций и нормативных документов, можно сформировать (использовать) определения, исходя из следующей структуры:

- виды анализа;
- анализируемая сцена наблюдения;
- ситуации и сценарии в сцене наблюдения.

Данные термины разделены на три основных вида функционирования СТЗ по анализу информации, которые отвечают на вопросы: «Что? Где? Как?» на рис.1.

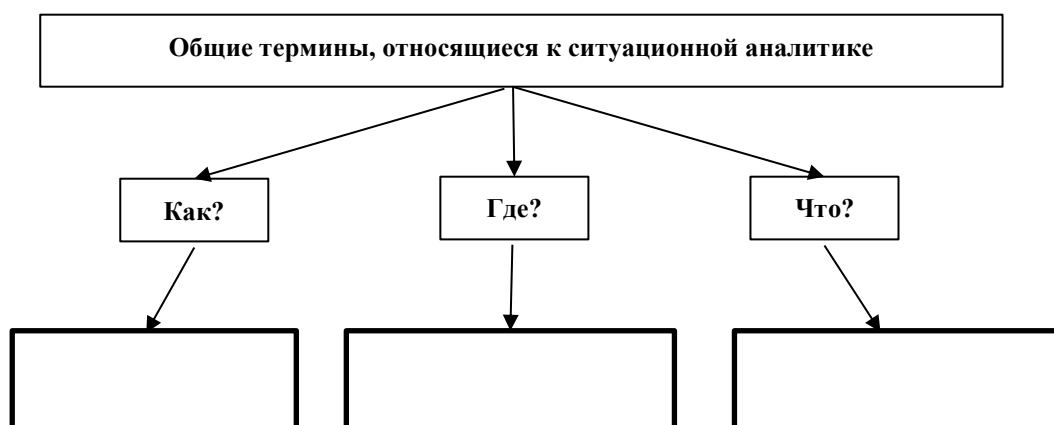


Рисунок 1. Графическая схема взаимосвязи понятий

**Системы технического зрения (СТЗ)** — это комплекс программно-аппаратных средств, включающий в себя подсистему датчиков различной физической природы и вычислительную подсистему со специальным программным обеспечением (ПО) [16]. В специальное программное обеспечение часто входят средства обработки изображений и искусственные нейронные сети (ИНС). Подсистема, состоящая из компьютера со специальным ПО, обрабатывает сигналы, полученные от датчиков с целью анализа информационной ситуации на пути движения транспортного средства (ТС) и формирует решения по управлению ТС. Решения или возможные сценарии управляющих воздействий, полученные на ее выходе, в процессе автоматизированного (автоматического) управления используются для помощи оператору (машинисту), а при автоматическом режиме реализации системы управления движением — для автономного реагирования на информационную ситуацию при движении ТС и изменения режима его движения.

Подсистема датчиков, включающая камеры, лидары, тепловизоры, радары, сканирует окружающее пространство по ходу движения ТС на предмет определения информационной ситуации, влияющей на его движение. В свою очередь информационная ситуация может быть внутренняя и внешняя, наблюдаемая и ненаблюдаемая, влияющая на ТС и не влияющая на него.

Таким образом при различных ситуациях рассматривают следующие сценарии:

- событие не влияет на ТС и не наблюдается, в этом случае оно не оценивается и не

рассматривается как событие;

- событие наблюдается, но никак не влияет на ТС, поэтому оно оценивается, но не учитывается для задач управления (объекты вдоль дороги вне зоны движения, температура воздуха, давление и т.д.);

- событие не наблюдается, но может повлиять на ТС, в этом случае необходимо использовать прогностическую модель или систему интегрированного технического зрения, включающую бортовые и инфраструктурные СТЗ, которая увеличит диапазон наблюдаемости для ТС (на пути за поворотом лежит дерево, человек переходит дорогу вне видимости поезда);

- событие наблюдаемо и влияет на движение ТС (скорость встречного ветра, нахождение препятствия на пути, которое видимо системой технического зрения или машинистом, стрелка, уклон пути и т.д.).

Под ситуационной видеоаналитикой будем рассматривать набор инструментов для автоматического анализа потокового видео (тепловых и лидарных) данных для принятия решений, дающих возможность оператору (пилоту, машинисту) предпринять необходимые действия по управлению ТС для недопущения опасной ситуации (применение служебного торможения) до перехода ее в «аварийную ситуацию» (применение аварийного торможения).

Необходимость применения ситуационной видеоаналитики заключается в следующем:

- существенное снижение нагрузки на оператора (машиниста);
- повышение качества контроля обстановки;
- отсутствие необходимости постоянного наблюдения за всеми контролируемыми направлениями;
- снижение влияния человеческого фактора;
- повышение производительности обработки событий операторами Центра дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) [17];
- возможность контроля значительного количества поездов или зон наблюдения без увеличения штата операторов.

С развитием систем искусственного интеллекта эволюция применяемых методов анализа видеоизображений (кадров) прошла путь от классических детерминированных алгоритмов обработки изображений к когнитивным технологиям на базе искусственного интеллекта, позволяющим восстанавливать необходимый сегмент происходящего на кадре изображения. С помощью ИНС и когнитивного анализа осуществляется интеллектуальная оцифровка информации, поступающей от различных датчиков СТЗ на базе программных средств формирования изображений.

Под когнитивными технологиями примем системы искусственного интеллекта, работающие по принципу аналогично человеческому мышлению и позволяющие осуществлять поддержку принятия решений в сложных многокритериальных задачах, когда человек не имеет возможности эти задачи решить самостоятельно за ограниченное время.

Для определения понятий, которые отражают внутренние логические связи, соответствующие вариантам обработки изображений с помощью устройств и специальных программ по формированию видеоизображений, в том числе с применением нейронных сетей, когнитивного анализа и нанотехнологических решений разработан стандарт Российской Федерации «Ситуационная видеоаналитика» по направлению «Информационные технологии» (далее – ГОСТ) [18]. Стандарт внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 164 «Искусственный интеллект», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства

по техническому регулированию и метрологии от 5 марта 2021 г. 120-ст.

Рассмотрим материал данного стандарта в целях применения его для систем автоматического управления поездами с применением систем технического зрения.

Установленные стандартом термины и определения могут применяться во всех видах нормативной и проектной документации, описывающей работы, относящиеся к использованию интеллектуальных систем ситуационной видеоаналитики и (или) использующей результаты этих работ, включая применение бортовых и инфраструктурных СТЗ для обеспечения безопасности управления движением поездов в автоматизированном и автоматическом режимах.

Термины стандарта, которые применимы при управлении в железнодорожной отрасли рассмотрим далее. Основным элементом подсистемы датчиков СТЗ, применяемых на железной дороге, помимо указанных выше лидаров, тепловизоров и радаров, является видеокамера – техническое средство, предназначенное для преобразования оптического изображения в видеоданные. Так как в целях обеспечения высокого уровня безопасности при управлении движением поездов используются датчики с различными физическими принципами, то будем иметь ввиду определения ГОСТа, использующие в основном **видео-аналитику** как частное, включающее в себя также формирование и анализ изображений от лидаров (облако точек в 3D изображении), тепловизоров (градиент распределения теплового излучения) и радаров (изображение эхосигнала).

**Видеоаналитика** (п.3 ГОСТ) – технология, использующая методы технического (компьютерного) зрения для автоматизированного получения данных на основании анализа изображений или последовательностей изображений (видеопотоков), т.е. применительно к железной дороге, где используются более широкий спектр датчиков (сенсоров), и с учетом особенностей формирования изображений от них, указанных выше, понимаем трактовку данного определения как анализ всех видов изображений датчиков, применяемых в зависимости от стоящих задач.

Для обработки и анализа определенной зоны, интересующей оператора (машиниста) необходим детектор или **аналитический детектор** изображений (**детектор видеоаналитики**) (п.5 ГОСТ) – функциональный модуль системы аналитики, осуществляющий анализ изображений по заданному алгоритму анализа изображений или набору алгоритмов. Могут применяться следующие модули видеоаналитики: оставленный предмет; пересечение линии; распознавание авто- (мото-) транспорта; вход-выход из зоны; движение в зоне; деградация изображения; выделение и распознавание человека (животного); трекинг (сопровождение) объекта.

С целью обнаружения препятствия необходимо определить объект **сцены наблюдения** (п.10 ГОСТ) – это объект, для анализа свойств и действий которого применяются системы видеоаналитики.

Для задач ситуационного управления ТС наиболее важными факторами являются наблюдаемость информационной ситуации, оценка ее, и определение влияния ситуации на ТС, а также когда ситуация не наблюдается, не оценивается, но она может повлиять на управление ТС. Второй случай применим при движении ТС, когда машинист или датчики на удаленном расстоянии не видят и не оценивают обстановку, которая при определенном сближении может повлиять на выбор управляющего воздействия, например, при обнаружении препятствия с его приближением к ТО. В данном случае можно говорить о нечеткой или слабо прогнозируемой

ситуации, которая требует отдельного изучения и освещения.

В широком смысле можно разделить обстоятельства или ситуацию по масштабу влияния, по источнику происхождения, по дистанции (расстоянию), по времени принятия решений и т.д. Наблюдение за ситуацией можно рассматривать как определение параметров внутренних, т.е. объекта управления (диагностика состояния ТС), так и параметров внешних – информационной ситуации (детекция препятствий), окружающей ТС. Исходя из этого имеем определения:

**Ситуация** (п.12 ГОСТ) – соответствие наблюдаемой на сцене видеонаблюдения совокупности (количественных и качественных) изменений или их отсутствия заданному описанию, подлежащее обнаружению системой видеоаналитики.

**Сценарий ситуации** (п.13 ГОСТ) – заданная совокупность или последовательность взаимосвязанных событий в сцене наблюдения, характеризующая ситуацию.

**Класс сценариев (ситуаций)** (п.14 ГОСТ) – характеристика сценариев (ситуаций), классифицирующая принадлежность тех или иных сценариев (ситуаций) по области применения систем ситуационной видеоаналитики по основанию принадлежности к определенной отрасли (например, железнодорожной, обеспечение безопасности) или сфере человеческой деятельности. Для транспортной отрасли актуальны сценарии, зависящие от погодных условий и в частности от прозрачности воздуха (выделяют 11 вариантов состояния атмосферы и 10 баллов прозрачности), от условий освещенности (6 классов), условий оптической видимости (выделяют 6 классов видимости), метеорологической оптической видимости (MOR) (расчетные данные) и многие другие (например, на МЦК рассматривается 41 сценарий из них: 18 –штатных и 23 – сценарии отказов и нештатных ситуаций).

**Ситуационная аналитика** (п.15 ГОСТ) – аналитика, предназначенная для анализа ситуаций и (или) сценариев в сцене (видео-)наблюдения.

Немаловажную роль для прогнозирования ситуации может сыграть **предиктивная аналитика** (п.16 ГОСТ) – аналитика полученных изображений, предназначенная для прогнозирования развития сценариев и (или) ситуаций в сцене наблюдения. Такая аналитика позволяет на ранней стадии определить опасную ситуацию или ее предвестники и избежать аварий и катастроф.

Для описания функциональных требований работы СТЗ необходимо учитывать **задержку обнаружения** (п.19 ГОСТ) – интервал времени между возникновением обнаруживаемой ситуации на сцене наблюдения и временем формирования системой информационного сигнала об обнаружении ситуации.

К видам **анализа изображений** можно отнести такие определения как:

**Детекция (детектирование) объекта** (п.21 ГОСТ) – функция системы видеоаналитики, заключающаяся в автоматизированном определении положения и границ объекта на изображении в сцене видеонаблюдения, т.е. фиксация габаритов и положения препятствия, плюс важно определение направления движения объекта, если оно движется.

**Классификация объекта** (п.22 ГОСТ) – функция системы видеоаналитики, заключающаяся в распознавании в сцене видеонаблюдения принадлежности объекта к определенному классу, это задача обычно решается ИНС, заранее обученной по выборке.

**Идентификация (распознавание) объекта** (п.23 ГОСТ) – функция системы видеоаналитики, заключающаяся в установлении соответствия экземпляра объекта в сцене видеонаблюдения по характерным признакам объекту из предварительно сформированного перечня, также задача ИНС.

**Сегментация фона** (п.26 ГОСТ) – технология или процесс разделения видеосцены на подвижные объекты и стационарный фон.

**Реидентификация объекта** (п.27 ГОСТ) – функция системы видеоаналитики обнаруживать и идентифицировать объект на последовательности видеокадров как один и тот же, с учетом нахождения нового положения объекта в кадре при перемещении объекта или при смене области зрения видеокамеры.

**Трекинг объекта** (п.28 ГОСТ) – обнаружение перемещения объекта из одной области видеосцены в другую за счет реидентификации движущегося в наблюдаемой сцене объекта. Трекинг объекта применяется для предсказания движения объекта -препятствия и вычисления его возможной координаты на время  $t+1$ .

Определения, относящиеся к **сцене наблюдения** и важные для управления ТС:

**Условия освещенности** (п.31 ГОСТ) – описание параметров освещенности, соответствующее определенному диапазону освещенности, а также равномерности (неравномерности) освещенности сцены или объектов в сцене и стабильности освещенности сцены или объектов в сцене.

**Контрастность изображения** (п.32 ГОСТ) – отношение яркостей наиболее светлого и темного участков видеоизображения, сформированного видеокамерой.

**Помехообразующие факторы** (п.36 ГОСТ) можно отнести к функциональным требованиям как совокупности факторов в сцене наблюдения, препятствующих обнаружению заданных объектов, ситуации или сценария.

Определения, относящиеся к **ситуациям и сценариям** при управлении ТС:

Сценарии и ситуации, описанные в ГОСТ, в основном относятся к системам видеонаблюдения, предназначенным для осуществления охраны и безопасности на объектах, в частности для железнодорожного транспорта ближе к функционалу транспортной безопасности. Для автоматизированного (автоматического) управления поездом используют другие виды сценариев и ситуаций [19]. Частично можно применить следующие описанные сценарии:

**Сценарий «Стерильная зона»** (п.52 ГОСТ) - сценарий ситуации в регистрируемой сцене, по которому тревожным считается факт появления объекта (человека, транспортного средства, животного) в поле зрения камеры, пересечения им условно заданной запрещенной линии либо нахождения в запрещенной зоне.

**Сценарий «Нетипичные изменения в сцене»** (п.53 ГОСТ) – сценарий ситуации в регистрируемой сцене, по которому тревожным считается снижение качества видеосигнала (затемнение, засветка, расфокусировка).

**Сценарий «Перемещение объекта из одной зоны в другую»** (п.54 ГОСТ) – перемещение человека или иного объекта из одной области сцены видеонаблюдения в другую.

### **Выводы**

В статье проведен обзор литературных источников, описывающих разработку и использование СТЗ для управления различными мобильными автономными объектами, включая робототехнические и роботизированные комплексы, беспилотные автомобили, летательные и подводные объекты, а также локомотивы.

Также рассмотрены и проанализированы основные термины и определения, включенные в новый стандарт «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения» (ГОСТ Р 59385-2021). Из них выбраны актуальные

для железнодорожной отрасли и применимые в системах технического зрения для управления движением поезда в автоматизированном и/или автоматическом режимах. Данные дефиниции рекомендуется применять для разработки нормативной и проектной документации, при исследовании и описании систем технического зрения с использованием ситуационной аналитики на железнодорожном транспорте, в целях автоматизированного (автоматического) управления тяговым подвижным составом.

### Список литературы

1. Левин, Б. А. Развитие интеллектуального управления на транспорте / Б. А. Левин, И. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – Т. 2. – № 2(6). – С.3-15.
2. Гарчинский, Н. Р. Система технического зрения для ориентации в пространстве автономной системы / Н. Р. Гарчинский // Перспективы развития науки и образования: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции [Электронный ресурс], Душанбе, Таджикистан, 06 июня 2016 года / Под общей редакцией А.И. Вострецова. – Душанбе, Таджикистан: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2016. – С.14-18.
3. Оптическая система спектральной телевизионной камеры для систем технического зрения / А. Е. Алимов, О. В. Шавкунов, Д. С. Ковин, Ю. С. Сагдуллаев // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание - 2017: сборник материалов XIII Международной научно-технической конференции, Курск, 16–19 мая 2017 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2017. – С.32-34.
4. Ботуз, С. П. Методы поискового проектирования интеллектуальных систем технического зрения эргатических систем управления / С. П. Ботуз // Научно-техническая конференция "Техническое зрение в системах управления-2017": Тезисы, Москва, 14–16 марта 2017 года / Институт космических исследований Российской академии наук. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2017. – С.7-8.
5. Зинзер, А. Е. Системы технического зрения в роботизированных комплексах / А. Е. Зинзер, Е. В. Осипов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 31 января – 02 2018 года / Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет". – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2018. – С. 684-689.
6. Система распознавания объектов, обеспечивающая работу бортовой системы технического зрения в реальном времени / Н. И. Дмитриев, А. А. Хрусталева, А. И. Ляпин, Е. Ю. Суворов // Механика, управление и информатика (см. в книгах). – 2012. – № 2(8). – С.40-44.
7. Шаветов, С. В. Система технического зрения в архитектуре системы удаленного управления / С. В. Шаветов, А. А. Ведяков, А. А. Бобцов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 2(90). – С.164-166.
8. Интеграция системы технического зрения с бесплатформенным инерциальным блоком системы навигации / Е. А. Ивашина, М. О. Корлякова, А. Ю. Пилипенко, А. А. Филимонков // Труды ФГУП "НПЦАП". Системы и приборы управления. – 2014. – № 1. – С.51-59.



9. Марченко, М. В. Разработка системы технического зрения для автономного управления робототехнической системой / М. В. Марченко, В. В. Марченко // Инноватика-2016: сборник материалов XII Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 20–22 апреля 2016 года / Под редакцией А.Н. Солдатов, С.Л. Минькова. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2016. – С.145-149.
10. Вазаев, А. В. Комплексирующая система технического зрения в системе управления робота с навесным оборудованием / А. В. Вазаев, В. П. Носков, И. В. Рубцов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 3. – С.110-121.
11. Иванов, Ю. А. Разработка локомотивной системы технического зрения: специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ю. А. Иванов. – Москва, 2014. – 152 с.
12. Титков, И. П. Система дистанционного автоматического управления БПЛА на основе технического зрения / И. П. Титков // Молодежный научно-технический вестник. – 2015. – № 12. – С.31.
13. Проблемы технического зрения в современных системах управления автомобилем / Е. Ю. Косенко, Н. В. Адаменко, Д. А. Помелуйко, Б. Ц. Мушинов // I Всероссийская научно-практическая конференция: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Таганрог, 20 мая 2016 года / Донской государственный технический университет Конгресс-отель «Таганрог» ООО «ЭльДирект» ООО «Курьер», ВТБ24. – Таганрог: Донской государственный технический университет, 2016. – С.71-74.
14. Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа / С. Г. Волотовский, Н. Л. Казанский, С. Б. Попов, Р. В. Хмелев // Компьютерная оптика. – 2005. – № 27. – С. 177-184.
15. Инзарцев, А. В. Интегрированная система технического зрения и управления АНПА для поиска и обследования протяженных кабельных линий / А. В. Инзарцев, А. М. Павин // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 2(4). – С.15-20.
16. Охотников, А.Л. Системы технического зрения: тенденции развития / А.Л. Охотников // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С.44-51.
17. Попов, П. А. Применение передовых технологий для работы в автоматическом режиме на МЦК / П. А. Попов // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 11. – С.17-21.
18. ГОСТ Р 59385-2021 Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения.
19. Попов, П. А. Развитие отечественных и зарубежных беспилотных технологий / П. А. Попов // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 9. – С.6-12.

УДК: 528.9; 004.94

## СИСТЕМАТИКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЕДИНИЦ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**Андреева О.А.** Аспирант, МИИГАиК, E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье описываются особенности формирования и применения пространственных информационных единиц, применяемых в проектах транспортной инфраструктуры. Статья показывает различие между трехмерным и пространственным моделированием. Дана категориальная систематика информационных единиц. Информационные единицы рассматриваются как языковое средство и как семантические конструкции. Статья дает полевою, ситуационную и модельную систематику информационных единиц. Показано различие в применении типологизации, типизации и систематизации при формировании информационных единиц. Статья дает систематику пространственного моделирования с применением информационных единиц.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, пространственное моделирование, информационные единицы, пространственные информационные единицы, информационное поле, систематика.

## SYSTEMATICS OF SPATIAL INFORMATION UNITS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

**Andreeva O.A.** Postgraduate student, MIIGAiK, E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The article describes the features of the formation and application of spatial information units used in transport infrastructure projects. The article shows the difference between 3D and spatial modeling. A categorical systematics of information units is given. Information units are considered as a linguistic means and as semantic constructions. The article gives a field, situational and model taxonomy of information units. The difference in the application of typology, typification and systematization in the formation of information units is shown. The article gives a taxonomy of spatial modeling using information units.

**Keywords:** transport infrastructure, spatial modeling, information units, spatial information units, information field, taxonomy.

### Введение.

Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) является обязательным условием управления транспортной инфраструктурой. Пространственные модели любых проектов в любой области обладают разной степенью сложности и состоят из простых частей. Простейшей частью ОТИ являются пространственные информационные единицы (ПИЕ). В теории САПР их аналогом являются графические примитивы. В работе [1] сделана попытка раскрыть практические аспекты приложения ПИЕ и показать их значение. В данной работе [1] описана полезность, целесообразность и возможность применения ПИЕ на практике. Данная работа является развитием идей [1] и научным обобщением этого приложения, поскольку

общей теории применения ПИЕ до настоящего времени нет.

Вопросам применения информационных единиц посвящено не мало работ, однако понятие и модели информационных единиц являются разнообразными и такое разнообразие необходимо учитывать при их применении и формировании. Большинство работ, связанных с применением информационных единиц, описывает их как элементы моделей [2, 3]. Поскольку модели бывают разнообразными: объектов, процессов и ситуаций [4], то логично предположить, что информационные единицы тоже могут быть качественно разными. Это подтверждают работы анализа их качественного содержания. Информационные единицы могут быть плановыми как язык карт или язык графики [5]. Информационные единицы могут быть трехмерными как язык трехмерных моделей [6]. Информационные единицы могут быть логическими и инструментом логического анализа [7, 8]. Также говорят о философии информационных единиц [9].

Информационные единицы рассматривают не только как элементы моделей, но и как элементы сложных систем [10], и как средство в построении картины мира [11]. В отличие от символов языка информационные единицы обладают семантикой [12] и могут быть рассмотрены как семантические информационные единицы. Применение информационных единиц (ИЕ) многообразно, что не является странным, поскольку их часто применяют как языковое [14] или аналитическое средство. Информационные единицы применяют в управлении [14], при анализе инноваций [15], в логистике [16], в транспортных системах [17]. Следует отметить работу [18], в которой предпринята попытка систематизировать информационные единицы. Однако эта систематизация носила узкий характер, только по групповому функциональному признаку и только как части информационных моделей.

Пространственное моделирование ОТИ [19] решает задачи, не решаемые в плановых координатах с помощью электронных или бумажных карт. Мосты и тоннели [20], линии ЛЭП, развязки дорог – требуют пространственного моделирования. Пространственное моделирование ОТИ является более сложным в сравнении с плановым. Для снижения сложности модель представляют как совокупность простых. Простейшей моделью является ПИЕ. В тоже время не систематизированное применение ПИЕ с течением времени создает информационный хаос. Для его предотвращения необходима систематизация как самих ПИЕ, так и методов их применения.

#### **Особенности пространственного моделирования.**

Пространственное моделирование нельзя упрощенно сводить к трехмерному моделированию. Пространственное моделирование включает семантическое моделирование, когнитивное моделирование [21, 22], вероятностную логику, когнитивную логику [23, 24], качественный анализ, количественный анализ и сравнительный анализ [25, 26]. Трехмерное моделирование включает геометрический анализ и анализ сцен. Пространственное моделирование реализуется с помощью разных технологий: в первую очередь, это геоинформационные технологии, технологии автоматизированного проектирования [27], технологии математического моделирования, фотограмметрические технологии и технологии мобильного лазерного сканирования [28]. Во всех случаях пространственное моделирование включает комплекс более простых технологий.

Пространственное моделирование основано на геоинформационных технологиях [29], как на интегрирующей основе. Геоинформационное моделирование порождает геоинформационное проектирование [30]. Особенность пространственного моделирования в геоинформатике в том, что оно является также ситуационным [31-33]. Пространственное моделирование в САПР и при

математическом пространственном моделировании является объектным, поскольку объект рассматривается в абстрактном пространстве в отрыве от земной поверхности. Трехмерное моделирование в фотограмметрии также является ситуационным. Объединяющим фактором при пространственном моделировании объектов транспортной инфраструктуры является инфологическое моделирование [34, 35]. Трехмерное моделирование применяет информационные модели: модели объектов, модели рельефа, модели поверхности, модели информационных конструкций [36, 37], модели информационных ситуаций [32]. При моделировании сложных пространственных конструкций или пространственных ситуаций дополнительно применяют когнитивное моделирование [21, 22, 38] и когнитивную логику. Особенностью пространственного ситуационного моделирования является сложность ситуаций, которая порождает задачи, не решаемые методом прецедентов, методом инцидентов и стереотипным моделированием.

### **Поле, пространство, система.**

ОТИ есть объекты реального пространства. Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры происходит в информационном поле [39], пространственном поле или в геоинформационном пространстве [40]. Пространство есть оболочка и координатное описание. Для описания ОТИ используют информационное поле и координатное пространство. Модели пространственных объектов могут быть представлены в виде целостных пространственных систем. Пространственные объекты являются целостными образованиями. Любая система содержит части и элементы. Элементами пространственных систем в информационном поле являются ПИЕ или трехмерные информационные единицы [6]. Трехмерные информационные единицы являются, в первую очередь, геометрическими конструкциями. ПИЕ являются комплексной семантической и пространственной конструкцией.

В информатике необходимо построение новых моделей для изучения новой реальности и новых ситуаций реальности. Такой новой моделью является модель системы или модель параметрической системы. Обычно характеристику «параметрической» опускают. Но при сравнении систем в геоинформатике и информатике эта характеристика становится необходимой. При этом следует отметить, что система редко существует изолировано. Вокруг нее всегда есть некое окружение. Для моделирования такого окружения применяют модель информационной ситуации. Таким образом, в информационном поле объекты характеризуются информационной моделью системы и моделью информационной ситуации в некоторых случаях.

В пространственном анализе и в геоинформатике также необходимы новые модели для изучения пространства и объектов геоинформационного поля. Такой моделью, аналогом модели информационного поля, является модель пространственной системы или геоинформационная модель. При сравнении систем в геоинформатике и информатике, характеристики систем параметрической и пространственной являются необходимыми, поскольку показывают различие и принадлежность к определенному полю.

Пространственная система редко существует изолировано. Вокруг нее всегда есть пространственное и семантическое окружение. Для моделирования этого типа окружения применяют модель пространственной информационной ситуации. Таким образом, в геоинформационном поле объекты характеризуются геоинформационной моделью и, связанной с ней, моделью пространственной информационной ситуации. Многообразие качественного содержания ПИЕ относит их к разным категориям: (SIU) есть мельчайшие единицы

геоинформационного поля (GF), геоинформационные модели (GM) и пространственной информационной ситуации (SIS).

$$SIU1 \in GF \quad (1)$$

$$SIU2 \in GM \quad (2)$$

$$SIU3 \in SIS \quad (3)$$

Выражения (1-3) говорят, что существуют разные типы пространственных информационных единиц. Информационные единицы первого типа (1) - есть элементы геоинформационного поля. Информационные единицы второго типа (2) - есть элементы геоинформационной модели или пространственной информационной модели [41]. Информационные единицы третьего типа (3) - есть элементы пространственной информационной ситуации. Выражения (1-3) можно рассматривать как попытку категориальной систематики информационных единиц. Полевые свойства ПИЕ (1) дают возможность использовать их для извлечения неявных знаний [42]. Примером модели поля является фотоснимок или растровое изображение. Векторная модель исключает элементы поля и оставляет объекты. Растровая модель [43, 44] содержит объекты и растровое поле, которое с течением времени может стать источником информации. Это пример извлечения неявного знания.

#### **Типологизация, систематика, типизация, классификация.**

Многообразие ИЕ и ПИЕ требует их упорядочения и систематизации. Для этой цели применяют типологизацию, систематику, типизацию и классификацию. Типологизация, систематика, типизация, классификация близкие понятия и процедуры, связанные с упорядочением результатов научных исследований. Самым слабым среди перечисленных является типологизация. Она трактуется как эмпирический метод научного познания, используемый при разбиении совокупности моделей или объектов на упорядоченные группы с помощью эмпирического критерия.

Систематика является более сильной процедурой. Она включает качественный и сравнительный анализ. Ее трактуют в широком смысле как строгий метод упорядочения или структуризации совокупностей моделей или объектов на основе обоснованного научного критерия. Однако типологизация предшествует систематике и систематизации.

Типизация и классификация применяются только при наличии заранее созданной системы типов или системы классов и типов. Классификация является более сильной процедурой. Типизация [45] – процедура качественного отнесения объектов или моделей к известным типам. Она может быть сильной по большому числу типов и слабой по небольшому числу типов. Классификация – процедура качественного и количественного отнесения объектов или моделей к известным классам, подклассам, типам. На рис.1 дан типологический ряд механизмов перевода железнодорожных стрелок, выполненный как ПИЕ.



Рисунок 1. Двухканальная и одноканальная информационная единица

На рис.2 дан типологический ряд пространственных информационных единиц ОТИ для

сбора информации



Рисунок 2. Разнофункциональные информационные единицы

На рис.3 дан типологический ряд информационных единиц, отображающих молниеотводы сплошной конструкции. Они различаются стандартизованными размерами. Многие реальные единицы ОТИ не имеют произвольные размеры, а только стандартизованные в соответствие с нормативной документацией.



Рисунок 3. Информационные единицы, отображающие молниеотводы сплошной конструкции

На рис.4 дан типологический ряд подобны информационных единиц, отображающих молниеотводы перфорированной конструкции и составные.

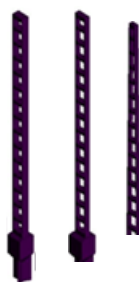


Рисунок 4. Информационные единицы, отображающие перфорированные молниеотводы

Запасная деталь конструкции также может быть рассмотрена как информационная единица. Таким образом типологические ряды можно строить на основе имеющихся объектов или информационных единиц. Построение типологических рядов позволяет решать последующие задачи систематизации и классификации.

#### **Систематика пространственного моделирования**

Пространственное моделирование в геоинформатике можно рассматривать как геоинформационное или информационное конструирование [36] реального объекта в пространстве. Такое моделирование ставит ряд последовательных задач:

- создание координатной основы моделирования;
- создание точечной пространственной модели (SPM);
- создание семантической связи между точками пространственной модели (SCon);
- создание каркасной модели по точечной пространственной модели (SFWM);
- создание пространственной модели с отражающими поверхностями (SMSO);
- создание анимационной пространственной модели (SAM).

Перечисленные задачи образуют комплексную проблему формирования ПИЕ более низкого уровня по сравнению с уровнем моделей (1-3).

$$SIU4 \in SPM \quad (4)$$

$$SIU5 \in Schon \quad (5)$$

$$SIU6 \in SFWM \quad (6)$$

$$SIU7 \in SMSO \quad (7)$$

$$SIU8 \in SAM \quad (8)$$

ПИЕ в выражениях (4-8) являются дополняющими  $SIU_i \cap SIU_k = \emptyset; k \neq i$ .

SPM определяет точность геометрических построений. SCon включает семантическое и когнитивное моделирование и позволяет перейти от разрозненных точек к связанной модели или системе. SCon соединяет точки, принадлежащие одной типологической группе. SMSO обычно завершает моделирование. при необходимости моделирования движения применяют SAM.

Моделирование объектов транспортной инфраструктуры является групповым. Моделируется совокупность объектов в общей пространственной ситуации. Для подвижных объектов дополнительно моделируется смена окружающей ситуации.

Пространственное моделирование с использованием информационных единиц основано на теоретико-множественных отношениях и пространственной логике. Оно является общим для моделирования пространственных моделей или пространственных систем на основе объединения ( $\cup$ ), вычитания ( $-$ ), и пересечения ( $\cap$ ). Пусть  $C$  конструируемый или моделируемый объект, а объекты  $A$  и  $B$  - основа для его построения. В этом случае:

$$C = A \cup B \rightarrow sui(c) = sui(a) \vee sui(b) \quad (9)$$

$$C = A - B \rightarrow sui(c) = sui(a) \wedge sui(b) \quad (10)$$

$$C = A \cap B \rightarrow sui(c) = sui(a) \wedge sui(b) \quad (11)$$

В выражениях (9-11) множество  $C$  – результат моделирования.  $A$  и  $B$  – исходные множества, которые участвуют в процессе моделирования. Справа в выражениях (9-11) стоит одинаковый типологический ряд, который упрощает моделирование с применением информационных единиц. Выражения (9-11) применимы ко всем типам пространственных объектов в геоинформатике: точечные, линейные, контурные, ареальные.

#### **Информационные единицы и визуальное моделирование.**

Одна из особенностей пространственного моделирования ОТИ состоит в визуальном представлении моделей этих объектов. Визуальное моделирование [46] включает моделирование восприятия с учетом цветопередачи и выбор ракурса и/или точки видения объекта. Визуальное моделирование в качественном аспекте решает когнитивные задачи, не

решаемые количественными методами. Визуальное пространственное моделирование обязательно в ландшафтном проектировании в сложных пространственных ситуациях. Выделяют два типа пространственных моделей. Модели на основе картографической основы, как трехмерные элементы карты, и модели в абстрактном геометрическом пространстве без привязки к земной поверхности. В силу этого ПИЕ разделяют на абстрактные и реальные. Абстрактные представляют собой элементарные геометрические фигуры, рис.5.

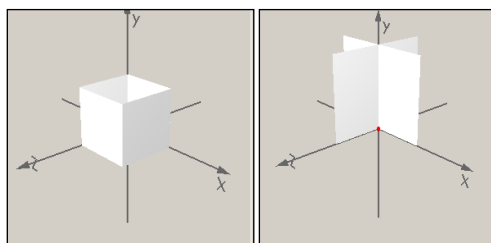


Рисунок 5. Абстрактные информационные единицы САПР

Абстрактные ПИЕ используются как основа или скелетизация конкретных ПИЕ. В процессе моделирования абстрактные ПИЕ детализируются и дополняются деталями. Реальные ПИЕ (рис.1-4) представляют собой пространственные масштабные копии элементов транспортной инфраструктуры. Однако их размеры и пропорции часто определены нормативами и не могут быть произвольными. Их масштаб и ориентация формируются по данным пространственной информационной ситуации, которая моделируется в процессе исследования. В САПР реальные ПИЕ эквивалентны моделям-блокам.

Основной информационный принцип построения ПИЕ состоит в обеспечении информационного соответствия [47] между ПИЕ и частью реального пространственного объекта. Систематизированные ПИЕ помещают в специальные 3D-библиотеки. Помещение ПИЕ в библиотеку означает, что они систематизированы и классифицированы. Библиотеки ПИЕ аналогичны базам данных и для них существует проблема обновления.

### **Заключение**

Построение пространственных систем или геоинформационных моделей транспортной инфраструктуры упрощается за счет применения ПИЕ. Пространственное моделирование объектов транспортной инфраструктуры основано на геоинформатике и геоинформационном моделировании. Пространственное моделирование ОТИ включает количественный (метрический) и качественный (семантический) анализ. Семантическое моделирование использует специальное кодирование. Моделирование с применением ПИЕ помогает и упрощает управление железной дорогой и решает задачи логистики. Результаты данной работы показывают, что информационные единицы можно рассматривать не только как части информационных моделей, но и как части систем, элементов логического анализа и элементов управления, что важно для ОТИ. Данное исследование показало, что информационные единицы имеют полевой, системный и модельный характер. То есть они могут относиться к разным категориям и качествам. Результаты данной работы показывают, что нельзя придумать единую систематику для разнообразия информационных единиц. Существуют разные систематики ПИЕ, подобно тому, как существуют разные библиотеки условных знаков и графических элементов САПР. ПИЕ следует рассматривать языковым средством, что дает применять к их



исследованию лингвистический подход. Перспективным исследованием следует считать исследование по применению информационных единиц в цифровых моделях и цифровом моделировании.

### Список литературы

1. Андреева О. А. Информационные единицы в моделировании транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – 1(13). – С.57-68.
2. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), P.57-64.
3. Павлов А. И. Информационные модели и информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №6. - С.12-17.
4. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. – 5(83). - С.4- 11.
5. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.32-39.
6. Дышленко С.Г. Трехмерные информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5. - С.15-19.
7. Tsvetkov V. Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – P.99-100.
8. Чехарин Е.Е. Информационные единицы в языке предикатов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6 (10). –С.15-21.
9. Болбаков Р.Г. Философия информационных единиц // Вестник МГТУ МИРЭА. - 2014 - № 4(5). - С.76-88.
10. Чехарин Е.Е. Информационные единицы в сложных системах // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.93-99.
11. Цветков В.Я. Информационные единицы как средство построения картины мира // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. - № 8 -4. – С. 36-40.
12. Tsvetkov V. Ya. Semantic environment of information units // European researcher. 2014, № 6-1 (76). P.1059-1065.
13. Иванников А.Д. Проблемы информационных языков и современное состояние информатики // Вестник МИРЭА. 2014. № 4(5). С.39-62.
14. Романов И.А. Применение информационных единиц в управлении // Перспективы науки и образования- 2014. - №3. – С.20-25.
15. Романов И.А. Применение информационных единиц при анализе инновационных проектов // Перспективы науки и образования- 2015. - №1. – С.45-49.
16. Markelov V.M. The Application of Information Units in Logistics// European Journal of Technology and Design, 2014, № 4(6), P.176-183.
17. I. N. Rozenberg. Information Construction and Information Units in the Management of Transport Systems // European Journal of Technology and Design, 2016, 2(12), PP.54-62.
18. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher. 2014, № 11/1 (86), PP.1894-1900.
19. Андреева О.А. Пространственное моделирование объектов транспортной

- инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.57-69.
20. Куприянов А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – С.57-65.
21. Tsvetkov V. Ya. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design. - 2015, 4 (10), PP.149-158.
22. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С.3-9.
23. Цветков В.Я. Когнитивная логика // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С.106-110.
24. Елсуков П. Ю. Когнитивная логика // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.87-95.
25. Кудж С.А. Методы сравнительного анализа // Славянский форум. -2019. – 3(25). - С.140-150.
26. Номоконова О. Ю. Дихотомический сравнительный анализ в медицинской диагностике // Славянский форум. -2020. – 1(27). - С.59-66.
27. Каган П. Б., Гудков П. К. Информационное моделирование зданий и традиционное проектирование с применением САПР //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2017. – №. 9.
28. Андреева О. А., Цветков В.В. Цифровое моделирование с применением мобильного лазерного сканирования // Науки о Земле. – 2019. - №2. – С.4-12.
29. Андреева О.А., Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геоинформационное массовое моделирование // Информация и космос. 2020. - №2. – С.106-112.
30. Андреева О.А. Геоинформационное проектирование объектов транспортной инфраструктуры// Науки о Земле. – 2020. - №1. – С.91-99.
31. Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). - С.210-228.
32. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
33. Савиных В.П. Пространственное ситуационное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1. С.92-104.
34. Раев В.К. Инфологические модели как инструмент исследования // Славянский форум. - 2020. – 3(29). - С.56-66.
35. Куприянов А. А. Инфологическое моделирование информационного взаимодействия автоматизированных систем //Автоматизация процессов управления. – 2010. – №. 1. – С.69-77.
36. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с.
37. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014. № 3(5). - P.147-152.
38. Palminteri S., Wyart V., Koechlin E. The importance of falsification in computational cognitive modeling //Trends in cognitive sciences. – 2017. – Т. 21. – №. 6. – С.425-433.
39. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). P.1416-1422.
40. Матчин В.Т. Интегрированное геоинформационное пространство // Славянский форум. - 2018. – 3(21). - С.21-27.
41. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС //

Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. - №2. - С.118-122.

42. Цветков В.Я. Неявное знание и его разновидности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 3. – С.199-205.

43. Гнатюк А. Б. Векторно-растровые модели оценки свойств территории //Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2011. – №. 3.

44. Григорьев С. Н. и др. Растровое представление геометрической модели //Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2012). – 2012. – С.47-50.

45. Майоров А. А. Типизация сложных систем // Славянский форум. - 2014. - 1(5). - С.131 - 137.

46. Булгаков С.В. Информационное визуальное моделирование // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014. - № 1 (2) - С.58-73.

47. Номоконова О. Ю. Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.44-49.

УДК: 001.895; 656.3

## О ПОДХОДАХ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

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

**Аннотация.** Описаны основные принципы и методические подходы к обеспечению функциональной безопасности и надежности железнодорожных систем управления. Проанализированы тренды развития, рассмотрены вызовы и пути решения вопросов обеспечения безопасности и надежности с учетом дальнейшей автоматизации и цифровизации железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** Интероперабельность, RAMS, ERTMS, автоматизация, стандартизация, формальные методы, имитационное моделирование, Data Science, Big Data, методы машинного обучения.

## APPROACHES TOWARDS FUNCTIONAL SAFETY AND DEPENDABILITY OF RAILWAY COMMAND AND CONTROL SYSTEMS

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

**Abstract.** This paper addresses the key principles and approaches towards ensuring functional safety and dependability of railway command and control systems. The paper analyzes developments trends and considers challenges and solutions for ensuring safety and dependability with ongoing railway automation and digitalization taken into account.

**Keywords:** Command and control systems, interoperability, RAMS, ERTMS, automation, standardization, formal methods, simulation, Data Science, Big Data, machine learning methods.

### Введение

Современное состояние развития микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов характеризуется высокими требованиями, предъявляемыми к надежности и функциональной безопасности данных систем в условиях, когда цифровая трансформация и задачи повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта настойчиво требуют перехода к новым парадигмам проектирования, тестирования, верификации, валидации и стандартизации для ускорения процесса разработки и внедрения.

При сохранении уровня надежности и безопасности, по крайней мере, не хуже текущего, должно быть обеспечено максимальное использование инновационных решений и цифровых инструментов, направленных на дальнейшую автоматизацию систем управления с целью повышения пропускной способности железных дорог и производительности систем, минимизации влияния человеческого фактора и сокращения числа отказов и простоев. Важнейшими факторами также являются обеспечение интероперабельности (технической и эксплуатационной совместимости) систем и технологической независимости железнодорожных операторов и владельцев инфраструктуры от разработчика/поставщика устройств и систем железнодорожной автоматики [1].

Для решения указанных задач в настоящее время все шире используются формальные методы и автоматизированные средства проектирования, диагностики и мониторинга на всех этапах жизненного цикла железнодорожных систем управления. Большую роль также играет

стандартизация архитектуры, интерфейсов, открытых программных средств разработки и тестирования систем, в том числе стандартизация подходов к удаленному лабораторному тестированию продуктов разных производителей для подтверждения безотказности работы на границах систем разных производителей.

Особое значение вопросы обеспечения функциональной безопасности приобретают в условиях внедрения автоматических систем управления поездом без участия машиниста. При повышении уровня автоматизации и переходе к полностью автоматическому режиму управления возникают дополнительные риски безопасности, требующие оценки и учета при формировании концепции функциональной безопасности данной сложной системы управления, объединяющей в своем составе большое количество подсистем, в которых используются методы машинного обучения с не до конца предсказуемым поведением. Это требует применения новых методов обеспечения функциональной безопасности и надежности, в том числе с использованием цифровых двойников [2,3].

### **Существующие подходы в области обеспечения надежности и функциональной безопасности**

Исторически так сложилось, что практически в каждой стране свои нормативные требования и правила эксплуатации железных дорог, а нередко и разная железнодорожная колея. Так, в Европе до образования Евросоюза функционировало более двадцати разных национальных железнодорожных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов, устанавливаемых как на инфраструктуре, так и на борту поезда, а также собственные системы сертификации и омологации. После образования Евросоюза и открытия трансъевропейских транспортных коридоров на первый план вышли вопросы интероперабельности (технической и эксплуатационной совместимости) железнодорожных систем и инфраструктуры и создания единой системы сертификации и омологации.

Впоследствии в ЕС были утверждены разработанные Европейским железнодорожным агентством (ERA) так называемые «Директивы интероперабельности» и «Технические спецификации интероперабельности (TSI)» для всех элементов железнодорожной системы, включая единую железнодорожную систему управления ERTMS). В директивах интероперабельность определяется как «способность железнодорожной системы обеспечивать безопасное движение поездов без замены или переключения оборудования на участках стыкования с достижением требуемых уровней эксплуатационных показателей».

Применительно к системам управления и обеспечения безопасности движения поездов разработана отдельная спецификация TSI CCS (TSI relating to Control-Command and Signalling). В данной спецификации нормируются требования совместимости бортового и наземного оборудования ERTMS, интерфейсы с внешними подсистемами и, в том числе, показатели безотказности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS). Требования совместимости опираются на корпус спецификаций функциональных требований к подсистемам и интерфейсам системы ERTMS, разрабатываемых промышленной группой UNISIG, объединяющей ведущих производителей оборудования железнодорожной автоматики, под эгидой ERA (так называемые Subsets).

Система ERTMS/ETCS имеет три варианта или уровня [4]. Уровень 1 представляет собой управление по светофорам и путевым приемопередатчикам (бализам), без использования радиоканала GSM-R и, соответственно, центра радиоблокировки RBC; уровень 2 – управление по радиоканалу GSM-R и, соответственно, с использованием центра радиоблокировки RBC, а также бализ в качестве реперных точек для целей навигации (это наиболее широко внедряемый вариант системы как в Европе, так и за ее пределами, – на данный момент оборудовано свыше 100 тыс. км железных дорог); уровень 3 предполагает дополнительное использование бортовых средств позиционирования и контроля целостности подвижного состава и реализацию принципа «подвижных блок-участков». Система ERTMS/ETCS уровень 3 до сих пор носит экспериментальный характер, разрабатывается и тестируется в виде гибридных решений с

использованием спутниковой навигации, виртуальных бализ и цифровой карты маршрута.

Кроме перечня обязательных технических спецификаций на подсистемы и интерфейсы системы ERTMS, TSI CCS содержит перечень обязательных стандартов, на соответствие требованиям которых должно сертифицироваться оборудование ERTMS, а именно:

1. EN 50126 «Железнодорожные применения. Спецификация и демонстрация безотказности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS)»;

2. EN 50128 «Железнодорожные применения. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение для систем управления и обеспечения безопасности на железных дорогах»;

3. EN 50129 «Железнодорожные применения. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Электронные системы сигнализации, связанные с безопасностью»;

4. EN 50159 «Железнодорожные применения. Системы связи, сигнализации и обработки данных».

Согласно стандартам CENELEC, проектирование, верификация/валидация и сертификация подсистем ERTMS/ETCS с точки зрения программного обеспечения должны обеспечиваться на трех уровнях: 1. Программный продукт общего назначения; 2 Программное обеспечение общего назначения; 3. Прикладная логика специального назначения.

В итоге нормативная пирамида системы ERTMS/ETCS в схематичном виде выглядит следующим образом (рис. 1).

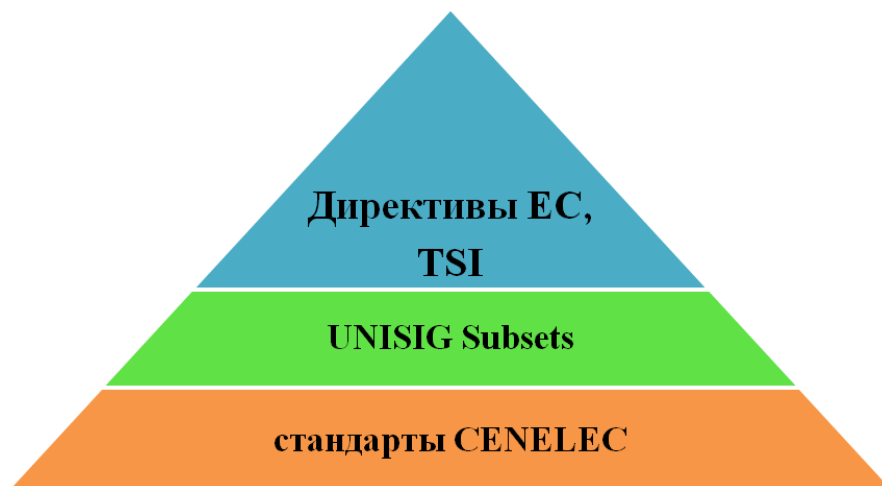


Рисунок 1. Нормативная пирамида системы ERTMS/ETCS

Для сохранения функциональной безопасности и надежности системы на этапах ее жизненного цикла должны определяться факторы, влияющие на показатели RAMS, анализироваться и оцениваться последствия их влияния, использоваться мероприятия по управлению ими, предусмотренные в стандартах.

Согласно EN 50126, характеристики RAMS железнодорожной системы подвержены тройному влиянию:

- ошибки и отказы, которые проявляют себя внутри системы на любом этапе жизненного цикла системы;
- мешающие влияния, которым подвергается система во время эксплуатации;
- ошибки, которым подвергается система во время работ по техническому обслуживанию.

При этом эти три источника влияния могут взаимодействовать между собой. Эффективное управление этими факторами позволяет сохранять показатели RAMS на заданном уровне. В упрощенном виде взаимосвязанность факторов, влияющих на надежность и безопасность, представлена на рис. 2.

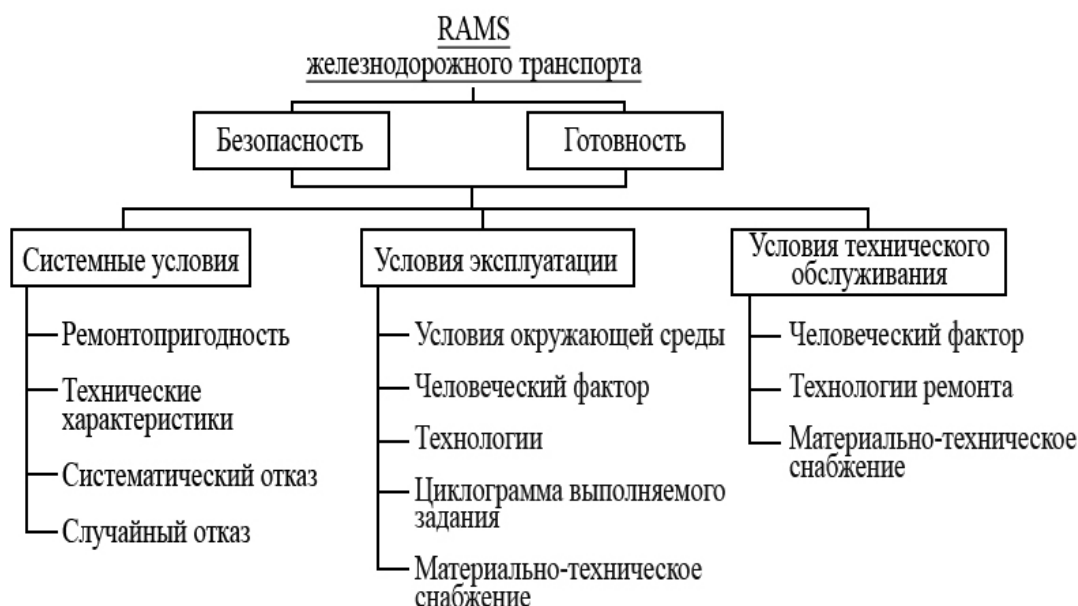


Рисунок 2. Факторы, влияющие на RAMS (упрощенная схема на основе EN 50126)

Стандарты, описывающие методологию RAMS, были разработаны еще во второй половине 90-х годов прошлого века Европейским комитетом электротехнической стандартизации CENELEC. Они используют комплексный подход к управлению показателями RAM (R-надежности, A-готовности, M-ремонтпригодности), которые имеют непосредственное отношение к надежности системы, и безопасности (S) объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков с учетом этапов жизненного цикла (V-образная модель).

Стандарты базируются на вероятностном подходе и используют как количественные показатели, так и рекомендации по обеспечению заданных показателей RAMS за счет применения апробированных методов (например, методы программирования, автоматизированного тестирования ПО и выявления ошибок и отказов). Изначально такой подход использовался в других отраслях промышленности – в атомной энергетике, авиации и космонавтике.

Эксплуатационные требования к системе управления и обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте специфичны для каждой системы и определяются по соглашению между производителем и владельцем инфраструктуры на этапе разработки системы.

План обеспечения RAM должен, как минимум, включать в себя комплекс мероприятий, определенных стандартами EN 50126 и EN 50129:

- системные условия и циклограмма выполняемого задания;
- периодические ревизии плана обеспечения RAM;
- моделирование, прогнозирование и пропорциональное распределение показателей безотказности;
- анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA);
- анализ безотказности программного обеспечения;
- анализ и верификация эксплуатационных показателей надежности;
- анализ превентивного технического обслуживания;
- анализ корректирующего технического обслуживания;
- планы по изолированию и поиску неисправностей;
- программа развития/повышения безотказности;

- предварительные тесты ремонтпригодности;
- демонстрационные тесты безотказности;
- демонстрационные тесты ремонтпригодности;
- система анализа отчетности об отказах и корректирующих воздействиях (FRACAS).

### **Новые подходы и требования**

Разумеется, важнейшим фактором, влияющим на показатели RAMS системы, является человеческий фактор – причем как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации. Поскольку человек может оказать большое влияние на RAMS, достижение заданных показателей RAMS железнодорожного транспорта требует более строгого учета человеческого фактора, чем в других отраслях. Этим также объясняются усилия, предпринимаемые железнодорожным сообществом по автоматизации как процесса эксплуатации и технического обслуживания, так и процессов проектирования, тестирования, верификации и валидации, особенно в контексте общего курса на цифровизацию и внедрения принципов Индустрии 4.0.

Как показывает анализ программных документов железнодорожных органов и ассоциаций ЕС и Международного союза железных дорог (МСЖД), главный мотивационный фактор поиска новых подходов и решений в железнодорожной отрасли в условиях цифровой трансформации – низкая скорость внедрения инноваций, обусловленная длительным периодом сертификации и омологации, который во многом связан с наличием проприетарных решений, отсутствием стандартизированных протоколов и интерфейсов, а также стандартизированных методов автоматизированного проектирования. Это влечет за собой высокие расходы на разработку и внедрение систем, их эксплуатацию и техническое обслуживание, быстрое устаревание систем, а также технологическую зависимость от поставщика. Кроме того, это влияет на надежность и безопасность систем управления.

Для решения этих проблем в ЕС создано в 2014 г. и функционирует совместное предприятие Shift2Rail [5]. Это масштабная комплексная программа инновационного развития железнодорожного транспорта, объединяющая производителей железнодорожной техники, железнодорожных операторов и владельцев инфраструктуры. Ее основная цель заключается в разработке, интеграции, демонстрации и валидации инновационных цифровых технологий для железной дороги в целях повышения ее привлекательности для потребителей.

К основным целевым показателям программы Shift2Rail относятся следующие:

- сокращение стоимости жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта на 50%;
- увеличение пропускной способности существующей железнодорожной инфраструктуры в 2 раза;
- повышение надежности транспортных услуг и точности соблюдения графика на 50%.

В основе изменения подходов к заданию и подтверждению RAMS и, как следующий этап, к сертификации продукции лежат требования бизнеса, соображения, связанные с сокращением затрат на разработку, сертификацию и омологацию продукции, а также с сокращением времени от разработки продукции до вывода на рынок и времени ее внедрения на конкретном объекте железнодорожного транспорта. Не удивительно, что в рамках проектов программы Shift2Rail рассматриваются и изучаются различные методы автоматизации процесса разработки, верификации и валидации, тестирования, в том числе те, которые используются в других отраслях промышленности – в первую очередь, в авиационной и автомобильной промышленности.

На основе выбранных и стандартизированных в дальнейшем методов планируется даже переход к «виртуальной» сертификации. Под виртуальной сертификацией понимают максимально допустимое использование объективных свидетельств, получаемых путем имитационного моделирования и виртуального тестирования на основе формальных моделей, для подтверждения соответствия продукта заявленным требованиям в процессе сертификации и омологации. Цель – добиться существенного сокращения времени на стыковку с уже



установленными системами и проведение тестирования в полевых условиях за счет стандартизации интерфейсов, использования формальных методов проектирования, верификации и удаленного лабораторного тестирования.

Уже в стандарте EN 50128 рекомендовано использование полужформальных и формальных методов проектирования и автоматизированных средств тестирования, верификации и валидации, но реальная работа в этом направлении пока далека от завершения в плане выбора и стандартизации соответствующих методов и средств.

Подход к обеспечению качества разработки программного обеспечения, представленный в стандарте CENELEC, не может сам по себе гарантировать «корректность» работы микропроцессорной системы. Формальные методы как раз и стали применяться для того, чтобы повысить «качество разработки» и снизить стоимость жизненного цикла критически важных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики, в первую очередь, электрической централизации. Основное преимущество методов в том, что они позволяют дать исчерпывающий анализ всех возможных сценариев поведения программируемой системы и обеспечить консистентность между формализованным поведением модели и поведением встроенного в систему программного кода. В идеале применение формальных методов позволяет не только избежать небезопасных переходов системы, но и минимизировать число вносимых человеком ошибок, а, следовательно, и отказов системы, что непосредственно влияет на ее функциональную безопасность и надежность.

Наиболее часто в литературе упоминаются следующие автоматизированные системы проектирования: Simulink, NuSMV, AtelierB, Prover, ProB, SCADE, IBM Rational Software Architect, Polyspace, S3. Разработчики используют указанные или другие автоматизированные инструменты для следующих целей (рис. 3).

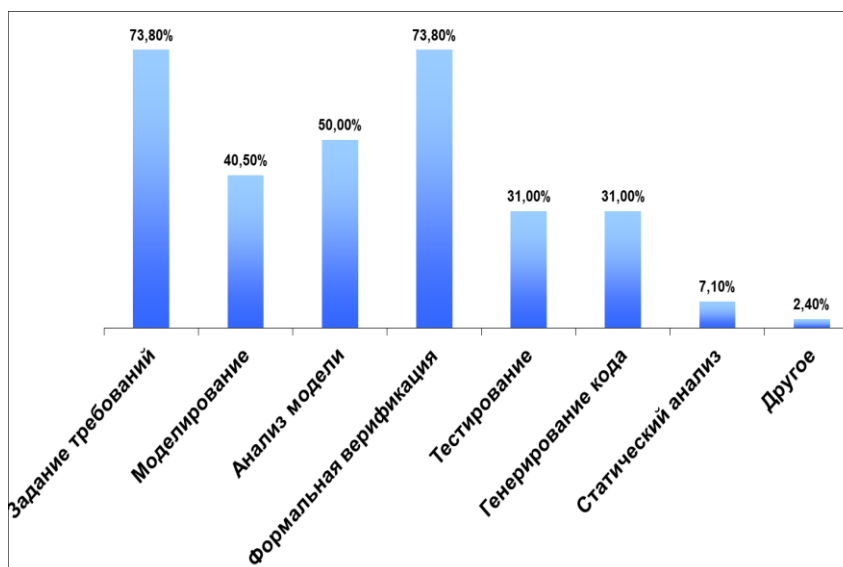


Рисунок 3. Применение формальных методов на этапах ЖЦ системы

История применения формальных методов в стандартизации систем железнодорожной сигнализации берет свое начало в 1997 году, когда МСЖД опубликовал подробный анализ правил функционирования систем электрической централизации. В проекте МСЖД EURO-INTERLOCKING (1998–2008) формализованные требования к системе электрической централизации были конвертированы в модель, визуализируемую с использованием компьютерной программы.

Работа была продолжена в рамках проекта EULYNX, в котором на основе моделей SysML ведется формализация описания интерфейсов напольных систем сигнализации разных

производителей, включая подсистемы ERTMS/ETCS, для сокращения времени разработки и программно-аппаратной стыковки между собой. В развитие данных подходов ассоциацией разработчиков EUG («Группа пользователей ERTMS») и консорциумом EULYNX был инициирован проект RCA (Reference CCS Architecture), направленный на разработку эталонной архитектуры системы ETCS нового поколения с интегрированными функциями автоведения (возможностью миграции к уровню GoA4), гармонизацию компонентов и стандартизацию интерфейсов и протоколов обмена на основе использования формальных методов.

Параллельно с проектом RCA по инициативе владельцев железнодорожной инфраструктуры ведущих европейских стран был создан консорциум OCORA (Open CCS Onboard Reference Architecture), который ставит перед собой задачи разработать и стандартизировать открытую модульную бортовую платформу ETCS нового поколения. Участники OCORA опираются на подходы EULYNX и RCA и ориентируются на требования новой версии TSI CCS, выход которой планируется в 2022 году.

Целью проекта OCORA является обеспечение технологической независимости от производителя (модульность, интероперабельность, заменяемость, модифицируемость компонентов системы, киберзащищенность, удобство эксплуатации) за счет создания новой открытой шины и стандартизации протоколов обмена всех модулей с максимальным использованием существующих промышленных стандартов.

### **Заключение**

Таким образом, в условиях цифровой трансформации развитие современных микропроцессорных систем на железнодорожном транспорте предполагает ускоренное внедрение целого ряда инновационных решений. К ним относятся:

- *широкое использование коммерческих продуктов (COTS)*, что в итоге делает системы более сложными и может влиять на показатели надежности. В целях сохранения этих показателей на заданном уровне и минимизации влияния человеческого фактора железнодорожное сообщество все шире использует на всех этапах жизненного цикла системы формальные методы и автоматизированные средства проектирования, диагностики и мониторинга;

- *стандартизация архитектуры, интерфейсов, открытых программных средств* разработки и тестирования систем, в том числе стандартизация подходов к удаленному лабораторному тестированию продуктов разных производителей для подтверждения безотказности работы на границах систем разных производителей. Возможное создание в перспективе единой открытой онтологии систем управления и обеспечения безопасности движения поездов и стандартизированных методов и средств разработки, тестирования и технического обслуживания на основе принципов интероперабельности и технологической независимости от производителя может обеспечить железнодорожному транспорту заметное конкурентное преимущество по сравнению с другими видами транспорта;

- *применение принципиально новых научных решений*, которые позволят правильно и достоверно прогнозировать риски в работе железнодорожных систем управления и на этой основе оперативно и гибко перестраивать эти системы для обеспечения требуемых уровней их функциональной безопасности и надежности. Данное направление развития железнодорожных систем, связанных с безопасностью, наименее изучено. Оно таит большие возможности именно в направлении цифровой трансформации этих систем. Имеется в виду, главным образом, применение искусственного интеллекта, а также цифровых двойников. При этом введение в состав системы цифрового двойника (или виртуальной модели) – совершенно новый и не апробированный подход к обеспечению безопасности системы, требующий дополнительных исследований и разработок [6].

Есть и другое перспективное направление исследований и практических работ, связанное с использованием цифровых датчиков и цифровых моделей, а также комплексных информационных систем для мониторинга и прогнозирования показателей надежности системы, определения предотказных состояний на основе формального описания и

имитационного моделирования возможных сценариев развития с применением технологии Data Science и Big Data [7,8].

Кроме того, для разработки и внедрения концепции цифрового двойника в системы управления на железнодорожном транспорте потребуются создание информационной модели и разработка единой онтологии с привлечением необходимого лингвистического аппарата, на которой должна базироваться такая модель. Данная работа также крайне важна для развития технологии создания и применения цифровых двойников на железнодорожном транспорте в решении целого спектра задач, включая задачи обеспечения функциональной безопасности и надежности.

### Список литературы

1. Озеров А.В. Вопросы надежности систем управления и обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте в контексте цифровизации // Надежность. 2020. № 2. С.54-64 <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2020-20-2-54-64>.
2. Озеров А.В., Ольшанский А.М. Подходы к оценке функциональной безопасности автоматической системы управления поездом без машиниста. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии». Самара, 24-27 мая 2021г. С. 504-509.
3. Озеров А.В., Ольшанский А.М. О построении модели безопасности сложной автоматической системы транспортного обслуживания // Надежность. 2021. № 2. С.31-37 <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-31-37>.
4. Озеров А.В. Эволюция европейской системы управления движением поездов // Железные дороги мира – 2018, №3. С. 64-73.
5. Официальный сайт европейской инициативы Shift2Rail [Электронный ресурс] // URL: <https://Shift2Rail.org/>.
6. Шубинский И.Б., Шебе Х., Розенберг Е.Н. О функциональной безопасности сложной технической системы управления с цифровыми двойниками // Надежность. 2021. №1. С.38-44 <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-1-38-44>.
7. Розенберг Е.Н., Лысиков М.Г., Озеров А.В., Ольшанский А.М. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2018. № 1 (41). С.32-37.
8. Озеров А.В., Ольшанский А.М., Куроптева А.П. Предиктивная аналитика с использованием Data Science на железнодорожном транспорте // Наука и технологии железных дорог. 2020. №4. С.63-76.

УДК: 004.05

## **ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОШИБОК В СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ РЖД СРЕДСТВАМИ ОТП СД. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК**

**Яшкичев И.В.** ведущий специалист, АО «НИИАС», E-mail: i.yashkichev@vniias.ru, Москва, Россия

**Немцов Э.Ф.** к.ф.-м.н., зам. руководителя НТК - начальник отделения, АО «НИИАС», E-mail: e.nemtsov@vniias.ru, Москва, Россия

**Леонтьев Б. П.** к.т.н., главный специалист, АО «НИИАС», E-mail: b.leontyev@vniias.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье приводится описание технологии выявления и исправления ошибок в нормативно-справочной информации, источниками которой являются автоматизированные системы ОАО «РЖД». Выявление ошибок производится средствами подсистемы «Обеспечение технологических процессов справочными данными» в составе Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте. Исправление ошибок производится как средствами ОТП СД, так и персоналом автоматизированных систем – источников нормативно-справочной информации.

**Ключевые слова:** Транспорт, ОАО «РЖД», нормативно-справочная информация, качество справочных данных, дефектные данные.

## **BASIC METHODS FOR DETECTING ERRORS IN THE RZD REFERENCE DATA BY MEANS OF OTP SD. ERROR CORRECTION RESULTS**

**Yashkichev I. V.** leading specialist, JSC «NIIAS», E-mail: i.yashkichev@vniias.ru, Moscow, Russia

**Nemtsov E. F.** PhD, Deputy Head of STC - Head of Department, JSC «NIIAS», E-mail: e.nemtsov@vniias.ru, Moscow, Russia

**Leontyev B. P.** PhD, chief specialist, JSC «NIIAS», E-mail: b.leontyev@vniias.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The article describes a technology to discriminate and correct errors in regulatory and reference information, the sources of which are the automated systems of Russian Railways. Errors are discriminated via subsystem "Provisioning of reference data to technological processes" as a part of the Unified Intellectual System for Control and Automation of Technological Processes in Railway Transportation. Errors are corrected by this subsystem as well as by the personnel of the source automated systems.

**Keywords:** Transport, JSC "Russian Railways", regulatory and reference information, quality of reference data, defective data.

### **Введение**

Подсистема «Обеспечение технологических процессов справочными данными» (далее – ОТП СД) функционирует в составе Единой интеллектуальной системы управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (далее – ИСУЖТ). Для описания всех перевозочных процессов, которые управляются или наблюдаются

средствами ИСУЖТ, служит нормативно-справочная информация (далее - НСИ). В расчете на один полигон железных дорог требуется около 500 справочников и классификаторов с общим количеством записей более 1,8 миллионов. Полнота состава, непротиворечивость и актуальность НСИ является важнейшим условием обеспечения качества работы ИСУЖТ по планированию и управлению железнодорожным движением [1].

ОТП СД предназначена для поддержки единства НСИ как в ИСУЖТ, так и в смежных системах, являющихся поставщиками данных для ИСУЖТ, - учетной системе перевозочного процесса и производства АСОУП-2к и централизованной справочной системе АС ЦНСИ. Главными целями при создании ОТП СД являлись централизация и контроль качества справочных данных ИСУЖТ, служащие для повышения безопасности движения и экономической эффективности деятельности ОАО «РЖД». ОТП СД позволила исключить дублирование разработок по хранению НСИ и контролю качества НСИ в прочих подпроектах ИСУЖТ [2-3].

Основными функциями ОТП СД являются:

- организация единого порядка пакетного обновления НСИ в ИСУЖТ;
- контроль качества НСИ, поступающей из смежных для ИСУЖТ систем ОАО «РЖД» или из подсистем ИСУЖТ, отсева дефектной НСИ, уведомление администраторов смежных АС об обнаружении дефектной НСИ;
- поддержка версионности справочных данных.

Первая очередь ОТП СД 1, введенная в эксплуатацию в 2018 году, обрабатывает справочные данные задач управления тяговыми ресурсами - нормирования тяговых ресурсов, регулирования тяговых ресурсов, планирования подвязки тяговых ресурсов, которые входят в состав сквозного технологического процесса на Восточном полигоне, поступающие через подсистему ВИВСД.

В 2019-2020 годах состав НСИ, обрабатываемой в ОТП СД, расширен данными подсистемы ИСУЖ НС.

Программное и информационное обеспечение (далее – ПО) ОТП СД обеспечивает:

- гибкий механизм настройки операций импорта и экспорта данных с настраиваемыми правилами проверки качества данных;
- хранение данных в виде структуры классификаторов, справочников и реестров с поддержкой связей между элементами структуры;
- контроль качества НСИ;
- поддержку версионности и истории преобразования данных.

К основным способам выявления дефектных данных в ОТП СД относятся:

- проверка значений числовых полей на принадлежность заданному интервалу значений;
- проверка значений строковых полей с помощью регулярных выражений;
- выявление пустых полей таблицы, которые обязательны для заполнения;
- выявление дублей в значениях поля таблицы, которые объявлены уникальными по значению;
- проверка целостности связи между элементами структуры данных;
- проверка справочника на наличие всех необходимых описаний.

Проверка значений числовых и строковых полей выполняется правилами проверки качества данных, которые формируются средствами ПО администратора данных ОТП СД. Правила

проверки качества входят в состав метаданных таблиц ОТП СД и срабатывают при обновлении данных в таблицах, как при выполнении программной операции загрузки, так и при вводе с клавиатуры. Объявляются дефектными строки таблицы, в которых значение числового поля лежит вне пределов заданного интервала, или строковое поле содержит символы, не входящие в число допустимых. Проверка строковых полей обычно используется для обнаружения латинских символов, одинаковых по написанию с символами кириллицы. Наличие смеси символов латиницы и кириллицы в составе значения одного строкового поля существенно затрудняет поиск в справочных данных.

Объявление полей таблиц обязательными для заполнения или уникальными по значениям, формирование связей между значениями полей разных таблиц также производится средствами ПО администратора данных ОТП СД. Требования к полям и к связям хранятся в составе метаданных таблицы. При обновлении данных объявляются дефектными все строки таблицы, в которых отсутствует значение поля, объявленного обязательным, или повторяется значение поля, объявленного уникальным.

При проверке связей выявляются значения полей обновляемой таблицы, для которых не найдено соответствие среди значений указанного поля связанной таблицы. В таких случаях дефектным и подлежащим исправлению может быть как значение поля в обновляемой таблице, так и связанная таблица, в которую следует занести отсутствующее значение.

Проектирование проверок - трудоемкая и высококвалифицированная работа для специалистов по структурам данных и аналитиков НСИ для железнодорожного транспорта. Качество проверок, определяемое полнотой реализации всех возможных проверок и точностью критериев правильности справочных данных, определяет качество (отсутствие дефектов) справочных данных, прошедших обработку в ОТП СД.

Настройки программного обеспечения ОТП СД позволяют, как запретить загрузку записей, содержащих обнаруженные дефектные данные, так и загрузить эти записи в таблицы ОТП СД. При этом дефектные записи будут помечены, при их просмотре средствами интерфейса ОТП СД будет отображаться сообщение о выявленной ошибке. Дефектные данные впоследствии могут быть отсеяны при экспорте в хранилище данных ИСУЖТ.

При выполнении всех операций загрузки данных в ОТП СД, как запускаемых регулярно, так и выполняемых при необходимости, проводится проверка данных в соответствии с вышеуказанными способами. Состав способов проверки для каждой операции определяется в соответствии с назначением и форматом загружаемых данных. ПО ОТП СД автоматически формирует протоколы загрузки и уведомления о результатах выполнения операций, в которых содержится сигнальная информация об обнаружении ошибок в данных. При получении сообщения об ошибках администраторы ОТП СД анализируют протоколы загрузки данных и связей данных. Эти протоколы формируются как xls-файлы и содержат подробные сведения о загрузке каждой записи таблицы, включая информацию об обнаруженных ошибках. По результатам анализа протокола администратор ОТП СД сообщает администраторам АС-источника данных о необходимости исправления обнаруженных дефектных данных. Администраторы ОТП СД ведут архив обнаруженных дефектов. По мере обнаружения дефектов в обновляемых данных и исправления дефектов персоналом АС-источников формируются и рассылаются отчеты о результатах работы по обнаружению и исправлению дефектных данных.

За 2019 и 2020 года было разослано шесть промежуточных отчетов и итоговые годовое

отчеты за 2019 и 2020 года. Учитывая ограничения на трудовые ресурсы, которые могут быть выделены для исправления данных, в первую очередь, в заявки включались сведения о дефектах, позволяющих оперативное исправление без существенных трудовых затрат. На рис. 1 изображен график изменения количества заявленных дефектов на момент выпуска отчетов.

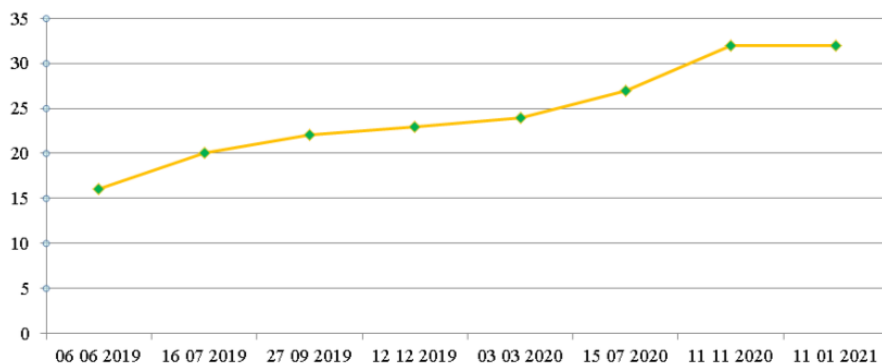


Рисунок 1. Количество заявленных дефектов на даты выпуска отчетов

В отчетах было заявлено следующее (см. рис. 2):

- 24 случая нарушения ссылочной целостности в таблицах;
- 10 случаев нарушения связности таблиц при отсутствии обязательных описаний;
- 10 случаев нарушения форматов данных;
- 3 случая выхода значений данных за установленный интервал;
- 2 случая отсутствия обязательных значений данных в исходных таблицах;
- 2 случая аналитических ошибок в данных.

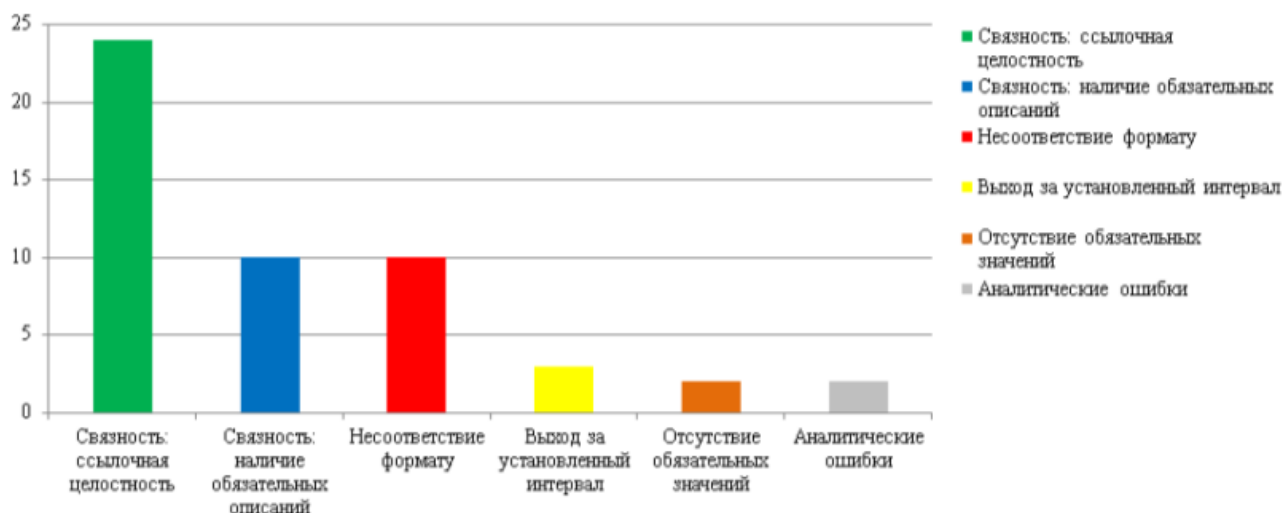


Рисунок 2. Распределение видов обнаруженных дефектов

Из рис. 2 следует вывод, что большинство обнаруженных дефектов относится к нарушению связности данных. Это может означать недостаточную согласованность действий персонала систем-поставщиков при формировании таблиц данных.

По большинству дефектов, заявленных в отчетах, были получены ответы. Большинство ответов было получено оперативно - в течение месяца после рассылки отчета или до рассылки следующего отчета - см. рис. 3.



Рисунок 3. Время получения ответов на отчеты по дефектам

Из рис. 3 следует, что ответы на большую часть сделанных заявок были получены с удовлетворительной оперативностью - до рассылки следующего отчета о результатах работы ОТП СД.

По содержанию ответы могут быть классифицированы следующим образом (см. рис. 4):

- данные признаны дефектными и подлежат исправлению в 23 случаях;
- дефектные данные являются устаревшими и не подлежат загрузке в онтологию ИСУЖТ - 3 случая;
- данные, отнесенные к дефектным, являются намеренно созданными технологическими данными и не подлежат исправлению – 1 случай;
- дефекты будут исправлены в таблицах вновь создаваемой системы АСОУП-3 – 2 случая.

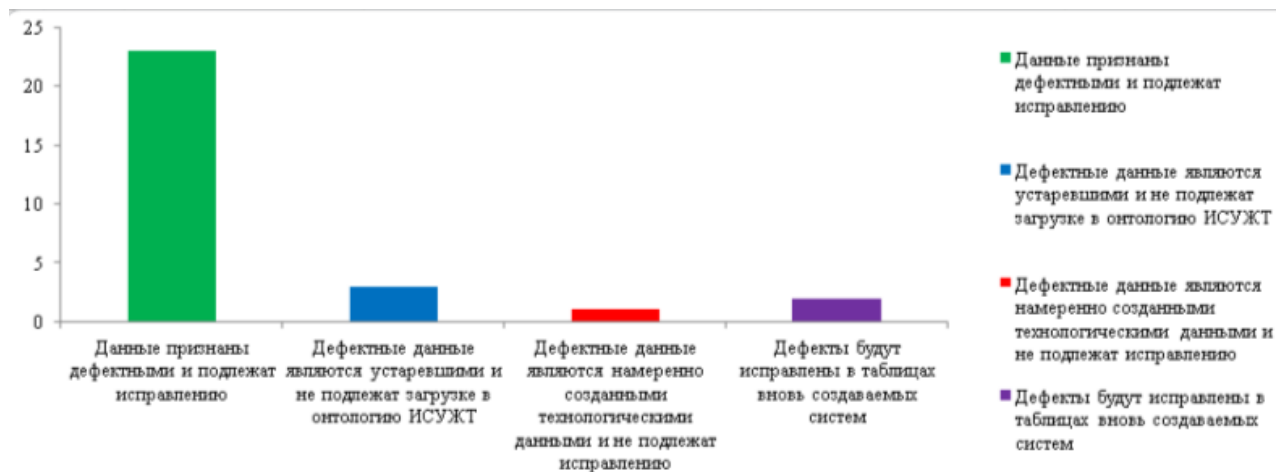


Рисунок 4. Основные типы ответов на сообщения о дефектах в данных

Из рис. 4 следует, что в подавляющем большинстве случаев указанные в заявках дефектные данные были признаны подлежащими исправлению.

В соответствии с полученными ответами, не все заявленные данные были исправлены. Некоторые дефекты были исправлены частично, например некорректные коды ЕСР были исправлены во многих записях, но в значительном количестве записей они являлись технологическими данными и не были изменены. Распределение сроков исправления данных приведено на рис. 5.



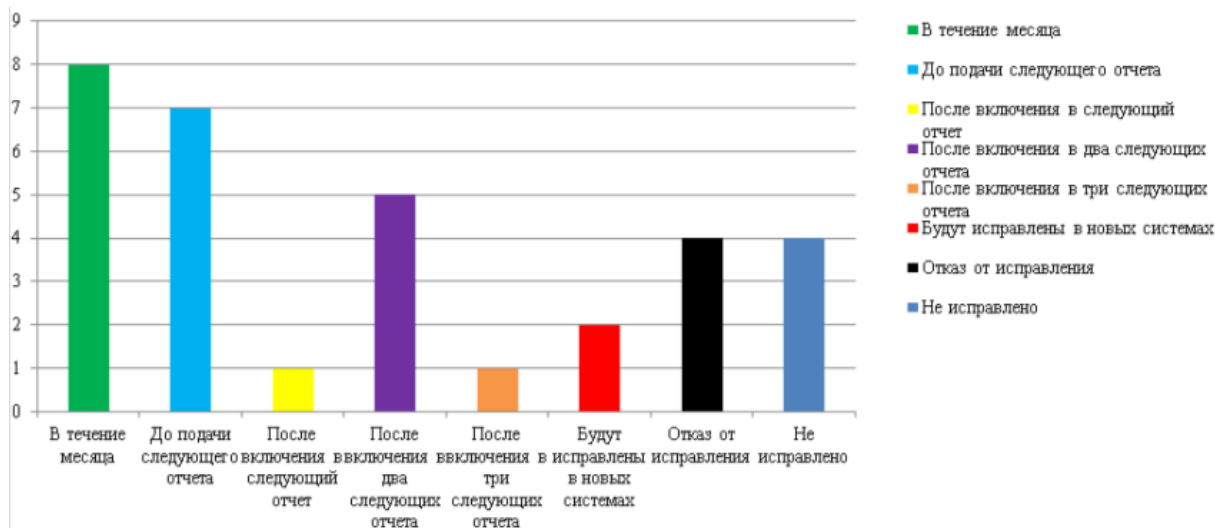


Рисунок 5. Распределение сроков исправления дефектов данных, заявленных в отчетах

Приведенное на рис. 5 распределение свидетельствует о том, что большая часть заявок на исправление данных была выполнена персоналом АС-источников до подачи следующего отчета о результатах работы ОТП СД. Такая оперативность выполнения заявок является удовлетворительной.

ПО ОТП СД дает возможность классифицировать дефекты данных по критичности. Высокая критичность назначается таким дефектам данных, которые делают невозможным использование данных на практике, например ошибочное отнесение станции к несоответствующей железной дороге. Средняя критичность позволяет ограниченное использование данных, например отсутствие имени и отчества в данных работников железной дороги. Низкая критичность назначается в случаях затруднения работы с данными, например, при замене букв кириллицы на одинаковые по написанию латинские буквы.

В результате во всех загружавшихся в ОТП СД таблицах было исправлено 22683 записи, из них 10232 записи данных с дефектом высокой критичности, 1888 записей данных с дефектом средней критичности и 10563 записи данных с дефектом низкой критичности. На рис. 6 приведено распределение долей обнаруженных дефектных данных в таблицах в соответствии с их критичностью.

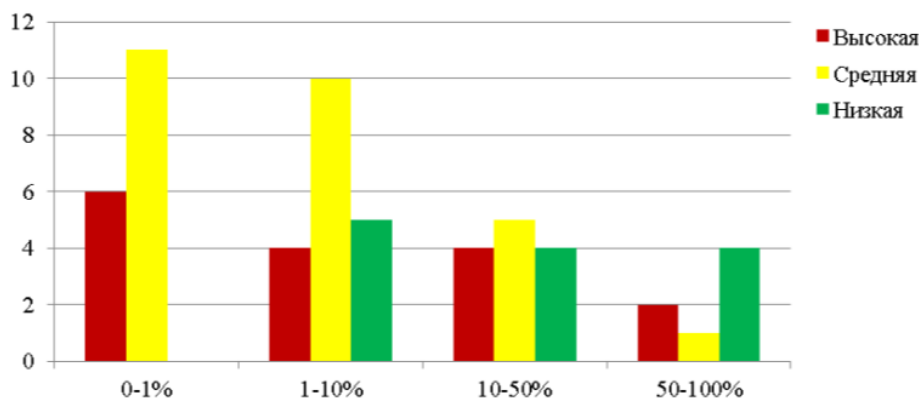


Рисунок 6. Распределение долей обнаруженных дефектных данных в таблицах в соответствии с их критичностью

Из рис. 6 следует, что большая часть обнаруженных дефектов имеет среднюю критичность,

количество обнаруженных дефектов с высокой критичностью также является значительным.

В хранилище ОТП СД таблицы разбиты на модели – группы таблиц, данные которых близки тематически, т.е. относятся к сходным аспектам функционирования ОАО «РЖД». К основным моделям относятся:

- локомотивная;
- бригадная;
- железнодорожной сети;
- организационно-управленческая;
- вагонная;
- поездная.

Результаты работы по обнаружению и исправлению дефектных данных в соответствии с моделями приведены на рис. 7.

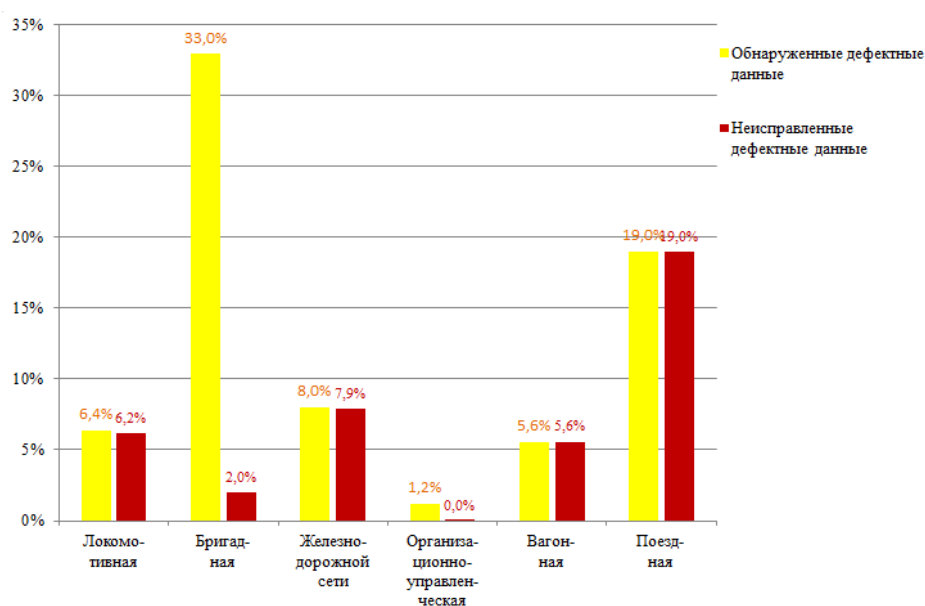


Рисунок 7. Доля обнаруженных дефектных справочных данных и неисправленных дефектных справочных данных в соответствии с моделями

На рис. 7 отражены:

- обнаруженные дефектные данные – доля строк, содержащих дефектные данные, в общем количестве строк тех таблиц, где были обнаружены дефектные данные.
- неисправленные дефектные данные – доля строк, в которых обнаруженные дефектные данные не были исправлены персоналом систем-поставщиков, в общем количестве строк тех таблиц, где были обнаружены дефектные данные.

В долях неисправленных дефектных данных учитываются как дефектные данные, уже заявленные в отчетах, но еще не исправленные, так и дефектные данные, которые еще не были отражены в отчетах.

Общие итоги работы по выявлению и исправлению дефектных данных за 2018-2020 года приведены в таблице 1 и на рис. 8.

Таблица 1.

## Итоги работы по выявлению и исправлению дефектных данных за 2018-2020 года

	Бригадная		Организа- ционно- управлен- ческая		Локомотивная		Железно- дорожной сети		Вагонная		Поездная		Все модели	
	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020	2018	2020
Исследованные записи данных без дефектов (тысячи)	14,5	42,4	74,9	152,3	439,9	423,6	62,1	117,0	35,3	35,3	0,4	0,4	627,1	771,0
Исправленные дефектные данные (тысячи)	0,0	19,5	0,0	1,8	0,0	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2
Неисправленные дефектные данные (тысячи)	1,2	1,3	1,7	0,0	51,5	28,1	15,6	10,1	2,1	2,1	0,1	0,1	72,1	41,6

Из таблицы 1 и рис. 8 следуют выводы:

- для моделей бригадной, организационно-управленческой и железнодорожной сети в 2019-2020 годах средствами ОТП СД выявлено порядка 150 тысяч дефектных записей данных (уменьшение выявленного количества дефектных данных для локомотивной модели объясняется изменением состава информации модели);

- большое количество дефектных данных исправлено в таблицах бригадной модели, существенное количество исправлено в таблицах организационно-управленческой модели;

- в модели железнодорожной сети, в поездной, локомотивной и вагонной моделях остается значительное количество неисправленных дефектных данных.

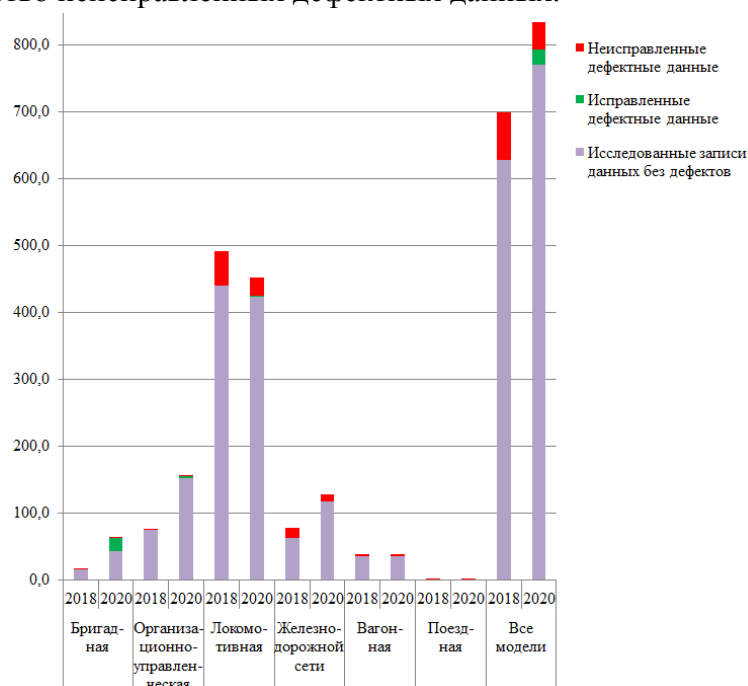


Рисунок 8. Итоги работы по выявлению и исправлению дефектных данных за 2018-2020 года

### Заключение

Приведенные в статье диаграммы свидетельствуют об эффективности применения ОТП СД для проверки справочных данных. По результатам работы ОТП СД обнаружено порядка 64-х тысяч дефектных записей из 835-ти тысяч записей в 28 таблицах. Большинство обнаруженных дефектов относится к нарушению связности данных. Проведено исправление 22,6 тысяч дефектных записей, из них более 10-ти тысяч дефектов с высокой критичностью, которые могли привести к ошибкам в планировании и управлении движением по железной дороге.

В настоящее время порядка 40 тысяч выявленных, но неисправленных дефектных данных остается в таблицах модели железнодорожной сети, поездной, локомотивной и вагонной моделей. Значительное количество таблиц справочных данных систем-поставщиков подлежит исследованию средствами ОТП СД.

В таблицах АС-источников постоянно выявляются дефектные данные, которые в подавляющем большинстве случаев признаются поставщиками, как подлежащие исправлению. Высокая оперативность получения ответов на заявки и исправления дефектов данных являются признаком актуальности работы ОТП СД для поставщиков справочных данных ИСУЖТ.

От пользователей ИСУЖТ не поступает рекламаций к качеству данных, загруженных в ИСУЖТ после обработки в ОТП СД. Это означает, что применяемые способы обнаружения ошибок в справочных данных средствами ОТП СД являются эффективными.

### Список литературы

1. Матюхин В.Г., Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. «Информационная поддержка оперативного управления тяговыми ресурсами на Восточном полигоне». Локомотив, 2017, № 1(721), С. 8-9.
2. Шабунин А.Б., Немцов Э.Ф. Нормативно-справочные данные – опорные данные ИСУЖТ// Сборник трудов шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2017, С.37-39.
3. Немцов Э.Ф. ИСУЖТ и нормативно-справочные данные // Сборник трудов шестой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2017)» – М. – Изд-во ОАО «НИИАС», 2017, С.37-39.

УДК: 378.147: 625.17

## **АТТЕСТАЦИЯ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ДИСЦИПЛИН С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА НОРМАЛИЗАЦИИ**

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

**Аннотация.** Для закрепления изученного материала наиболее эффективным способом является индивидуальная подготовка реферата по темам, представляемым ведущим преподавателем. Применение метода нормализации оценки по любому критерию состоит в том, что наибольшую оценку получает тот аттестуемый, который предложил самую привлекательную трактовку. Поскольку написание реферата затрагивает только какую-то часть изученного материала, то в дискуссии будут рассматриваться только те вопросы (для данного студента), которые не вошли в его реферат.

**Ключевые слова:** Дистанционные образовательные технологии; индивидуальная подготовка реферата; пирамида мотивации Абрахама Маслоу; процесс самооценки и самоконтроля; метод нормализации оценки.

## **CERTIFICATION FOR DISTANCE LEARNING OF RAILWAY DISCIPLINES USING THE NORMALIZATION METHOD**

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

**Annotation.** To consolidate the studied material, the most effective way is to individually prepare an essay on the topics presented by the leading teacher. The application of the method of normalizing the assessment by any criterion is that the attested person who offered the most attractive interpretation gets the highest mark. Since the writing of the abstract affects only some part of the material studied, only those issues (for this student) that are not included in his abstract will be considered in the discussion.

**Keywords:** Distance educational technologies; individual preparation of the abstract; Abraham Maslow's pyramid of motivation; the process of self-assessment and self-control; evaluation normalization method.

### **Введение.**

Наиболее эффективным методом подготовки обучающегося является написание конспекта по предложенным для изучения темам. Эффективность такой работы, как и при традиционных методах обучения, состоит в том, что такой подход позволяет обучаемому выделять главное и сконцентрироваться на основных положениях предлагаемой темы.

При образовательной деятельности с использованием технологий, позволяющих обеспечить взаимодействие обучающихся и педагогических работников опосредованно (на расстоянии), в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий возникает ряд особенностей, как технического, так и организационного характера [1, 2, 3 и др.].

В качестве аттестации, при наличии конспекта, для закрепления изученного материала в условиях дистанционного образовательного процесса наиболее эффективным способом является индивидуальная подготовка реферата по темам, представляемым ведущим преподавателем [4 и др.]. Оценка качества и полноты выполненного реферата, прежде всего, возлагается на ведущего преподавателя. Для обеспечения заинтересованности и повышения качества подготовки рефератов каждый студент вовлекается в процесс обсуждения выполняемой работы под контролем старосты группы под наблюдением ведущего преподавателя. Поэтому всем студентам необходимо ответственно и добросовестно относиться к этому процессу и к старосте, в первую очередь.

Наиболее наглядно процесс самообразования, как наиболее эффективный вариант обучения, можно проследить на примере американского исследователя Абрахама Маслоу [5], представленного на рисунке в виде «пирамиды мотивации», отражающей одну из самых популярных и известных теорий «Пирамиды знаний», рис.1.

Наиболее важным элементом в обучении согласно, данной теории, является «Групповое обучение». На наш взгляд, его особенность в условиях дистанционного обучения, состоит в разработке организации процесса самооценки и выработке критериев оценки.

### Применение метода нормализации с весами критериев

В случае выбора оценочных средств на основе определения разных критериев [6], которые имеют различную значимость, часть из них являются натуральными (например, один критерий оценивается в баллах, другой – в показателях, третий – в экспертных баллах и так далее). Для их сравнения и расчета функции полезности для каждого участника на равных условиях применим один из методов нормализации [7]. Под нормализацией критериев принимается последовательность действий, с помощью которых все критерии приводятся к единому, безразмерному параметру.



Рисунок 1. Пирамида мотивации американского психолога Маслоу Абрахама.

Имеется  $n$  альтернатив и  $k$  критериев. Обозначим  $EV_{ij}$  – оценку (*Evaluation*)  $i$ -й альтернативы по  $j$ -му критерию. Принимается, что оценки альтернатив по критериям имеют различные весовые значения. Вводится обозначение  $\widehat{EV}_j = \max_i (EV_{ij})$  максимальное значение  $j$ -го критерия

по каждой  $i$ -й альтернативе, а  $\bar{E}V_j = \min_i (EV_{ij})$  – минимальное значение  $j$ -го критерия по  $i$ -м альтернативам. Тогда вводятся нормализованные оценки альтернатив для всех параметров, предполагаемых для самооценки.

В случае максимизации критериев (чем больше показатель, тем лучше) из каждого элемента строки матрицы  $ev_{ij}$  вычитается минимальный элемент данной строки и результат делится на разницу между максимальным и минимальным элементами этой строки (1):

$$Max (ev_{ij}) = \frac{EV_{ij} - \bar{E}V_j}{E\bar{V}_j - \bar{E}V_j} \quad (1)$$

В случае минимизации критериев (чем меньше показатель, тем лучше), нормализованные оценки равны (2):

$$Min (ev_{ij}) = \frac{\bar{E}V_j - EV_{ij}}{E\bar{V}_j - \bar{E}V_j} \quad (2)$$

Таким образом, из максимального элемента каждой строки матрицы  $ev_{ij}$  вычитается каждый элемент этой строки и результат делится на разницу между максимальным и минимальным элементами строки.

Так как критерии и технические требования определены для различных случаев оценки самоанализа, максимальные и минимальные значения не всегда позволяют определить лучшее значение для аттестации для всех участников. Поэтому необходимо ввести расчет близкого к целевому значению  $Targ_j$  критерия (чем ближе показатель к целевому значению, тем он лучше). Причем, для критериев, которые отвечают требованию «не менее» определение нормализованной оценки рассчитывается в выражении:

Если  $A_{ij} \geq Targ_{ij}$ , то

$$EV_{ij} = \frac{A_{ij}}{Targ_{ij}} \quad (3)$$

Если критерий для требований к оценке самоанализа для аттестации отвечает требованию «не более», его определение нормализованной оценки рассчитывается больше среднего значения всех критериев строки. В этом случае нормализованная оценка элемента строки вычисляется путем минимизации критериев, то есть из максимального элемента каждой строки  $A_{ij}$  матрицы  $EV_{ij}$  вычитают каждый такой элемент строки, а результат делится на разницу между максимальным и средним значением элементов строки.

Если  $A_{ij} \leq Targ_{ij}$ , то:

$$EV_{ij} = \frac{Targ_{ij}}{A_{ij}} \quad (4)$$

Если элемент фактора оценки не отвечает критерию, который определен в качестве исходного с требованиями, предъявляемыми к аттестации для использования в различных подходах к оценке, то в этом случае матрица должна быть приравнена нулю (5):

$$EV_{ij} = 0 \quad (5)$$

В результате нормализации альтернатива, имеющая наилучший для ЛПР (лица принимающего решение) показатель привлекательности по любому критерию, получает наибольшую оценку, наименее привлекательная имеет оценку «ноль», а остальные альтернативы имеют промежуточные оценки от «ноля» до максимальной пропорционально их привлекательности между показателями наилучшего и наихудшего уровня подготовленности

[8].

Расчет функции полезности [9] каждой альтернативы  $F_i$  вычисляются по формуле (6) с учетом нормализованного показателя привлекательности:

$$F_i = \sum_{j=1}^k EV_{ij} \times W_j \quad (6)$$

где  $W_j$  - вес критерия, определяемый экспертно, в зависимости от задач, которые ставятся перед аттестуемым, для каждого вида аттестации.

В результате наилучшее решение для выбора альтернативы определяется по максимальному значению функции полезности [10, 11]. Ответы, которые по значению функции полезности занимают вторые и третьи места, также принимаются для рассмотрения уровня подготовленности по подтверждению их знаний и характеристик в обучении.

В качестве примера организации процесса самооценки предложен следующий вариант. Каждый реферат проходит процедуру обсуждения, которая выполняется односторонними группами. Группа для обсуждения формируется из 3-5 человек (на усмотрение старосты группы). Можно и больше, на усмотрение аттестуемых. Менее трёх человек группа не формируется. Списки групп и ответственных планируются старостой и представляются ведущему преподавателю.

Критерии оценки: например, написание реферата (в простой традиционной форме) – 30 баллов. При использовании слайдов и анимации плюс 5 баллов. При включении видеосюжетов и видеороликов плюс 10 баллов.

При обсуждении реферата возможен следующий вариант оценки. При обсуждении реферата оппоненту за каждый заданный (простой) вопрос – 1 балл. За вопрос, требующий осмысления – 2 балла. За оригинальный вопрос – 3 балла.

За каждый ответ докладчика (автора реферата) на простой вопрос – 2 балла. За ответ на вопрос, требующий осмысления – 4 балла. За оригинальный ответ – 6 баллов.

Важнейшей стадией самоконтроля является проведение дискуссии, которая нацелена на перекрёстное обсуждение изученного материала. Поскольку написание реферата затрагивает только какую-то часть изученного материала, то в дискуссии будут рассматриваться только те вопросы (для данного студента), которые не вошли в его реферат.

Оценка дискуссии. В дискуссии оппоненту за каждый заданный (простой) вопрос – 2 балла. За вопрос, требующий осмысления – 4 балла. За оригинальный вопрос – 6 баллов.

За каждый ответ докладчика (автора реферата) на простой вопрос – 3 балла. За ответ на вопрос, требующий осмысления – 5 баллов. За оригинальный ответ – 8 баллов.

При количестве набранных баллов 100 и более результирующая оценка будет «отлично». От 85 до 99 баллов – «хорошо». От 70 до 84 баллов «удовлетворительно». Менее 70 баллов аттестационной оценки не будет. Студент будет писать новый реферат и вся группа будет контролировать его работу.

Контроль проведения такой самоаттестации возлагается на старосту группы под наблюдением ведущего преподавателя. Задача старосты группы состоит в составлении общего протокола по обсуждению рефератов и дискуссии по каждому студенту.

Итоговая стадия состоит в оценке качества проведенной работы каждым студентом (весомость выполненного реферата, качество вопросов и ответов по реферату и по обсуждению, полнота написанного конспекта лекций). Основная роль возлагается на ведущего преподавателя. Обсуждения и корректировки допустимы.

Лучшим вариантом взаимодействия студентов между собой и ведущим преподавателем будет электронная почта. В личный кабинет будут передаваться итоговые материалы. Это



вызвано всё большей загруженностью портала личного кабинета и, зачастую, его сбоями и занятостью.

Мы считаем, что таким образом возможно получить объективный результат подготовленности студента в условиях применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

### Пример постановки задачи самоаттестации студенту после написания конспекта лекций и подготовки реферата.

После написания конспекта и подготовки реферата, следующий этап подготовки будет таким. С участием старосты группы подбираются 3-5 человек одгруппников и проводится с ними «беседа». Они задают вопросы по Вашему реферату, Вы отвечаете. Всё это протоколируется. Чем больше вопросов, тем выше общий результат. Затем наступает Ваша очередь, Вы задаёте вопросы по их рефератам, а они Вам отвечают. Вся эта деятельность протоколируется (рис. 2). Следующий этап — дискуссия, когда и Вы и Вам задаются вопросы по всему циклу обучения по данному разделу или теме. Вот здесь и потребуются Ваши конспекты. Можно договориться проводить эту работу на время. Человек хорошо подготовлен, быстро и правильно отвечает — выше балл. Вся эта деятельность протоколируется, то есть фиксируется. И передаются эти протоколы старосте группы. Он суммирует всё и пересылает ведущему преподавателю. И вместе со старостой обсуждается оценка за Вашу подготовку и передаются сведения в деканат.

Протокол 1 по реферату (Каюкова Л.Ю.)					Протокол 2 по курсу (дискуссия) (Каюкова Л.Ю.)				
Автор вопроса	Вопрос	Ответ на вопрос	Балл за ответ	Балл за вопрос	Автор вопроса	Вопрос	Ответ	Балл за ответ	Балл за вопрос
Екатерина Селезнева	Как правильно устанавливаются сигналы и сигнальные знаки (на каком расстоянии и т.д.)?	Сигнальные знаки устанавливаются владельцем инфраструктуры, владельцем железнодорожного пути необщего пользования с правой стороны по направлению движения, а путевые - с правой стороны по счету километров на расстоянии не менее 3100 мм от оси крайнего железнодорожного пути.	2	1	Екатерина Селезнева	Какие действия предпринимает сигнализатор при поражении электрическим током?	При поражении электрическим током необходимо немедленно прекратить действие электрического тока на пострадавшего. Для этого отключают ток выключателем, поворотом рубильника, вывинчиванием пробок и т. д. Нельзя прикасаться к пострадавшему голыми руками, пока он находится под действием тока. После этого нужно тщательно обследовать пострадавшего. При тяжелых поражениях, которые сопровождаются остановкой дыхания и состоянием «мнимой смерти» немедленно провести искусственное дыхание.	3	2

Что делает обходчик искусственных сооружений, монтер пути, назначаемый для осмотра после того, как пропустил поезд?	Пропустив поезд, поворачивается в сторону уходящего поезда для продолжения его осмотра и показывает соответствующий сигнал. Пропустив поезд и убедившись в отсутствии встречного поезда, возвращается к своей прежней работе.	2	1		Какие требования безопасности по окончании работы на пути?	По окончании работ монтер пути должен: очистить от грязи инструменты, инвентарь, приспособления и сложить их в специально предназначенные места и кладовые; снять спецодежду и другие средства индивидуальной защиты и убрать в шкаф. После работы вымыть загрязненные участки тела теплой водой с мылом или принять душ. О всех неисправностях и недостатках необходимо сообщить мастеру.	3	2
Что должен сделать сигналист в первую очередь при остановке хозяйственного поезда при неблагоприятных условиях (в данном случае в грозу)?	С приближением грозы железнодорожный путь в месте проведения работ следует привести в состояние, обеспечивающее безопасный пропуск поездов, после чего все работники должны уйти с пути.	2	2	Валерия Шиленкова	Как подается сигнал днем и ночью «тише»?	Днем – медленными движениями вверх и вниз развернутого желтого флага, а ночью – медленными движениями вверх и вниз ручного фонаря с прозрачно-белым огнем или двумя короткими	3	2

Рисунок 2. Протокол самооценки подготовки студентов по обучению рабочей профессии «Сигналист» в 2020 году

### Заключение.

Предложенный метод аттестации был успешно апробирован в группе студентов. Его одобрили и оценили сами студенты. Вот цитата старосты группы после завершения аттестации по данной методике: «Добрый вечер. От лица всей нашей группы, мы хотели бы, в первую очередь, сказать спасибо Вам, за Ваше отношение и нам было интересно с Вами работать!».

Таким образом, предложенная методика аттестации, построенная на самооценке качества и полноты выполненного реферата каждым студентом под контролем старосты группы под наблюдением ведущего преподавателя направлена на необходимость ответственного и добросовестного отношения к своим сокурсникам и к старосте, в том числе. Результаты проведенной самоаттестации обучающихся свидетельствуют о достаточно высоком качестве полученных знаний обучаемых. Предлагаемая методика может быть рекомендована при применении дистанционных образовательных технологий.

### Список литературы

1. Прошина А.Н. Использование интерактивных технологий в высшей школе как условие интенсификации образовательного процесса. Труды Санкт-Петербургского государственного института культуры. СПб. 2013.
2. Комиссарова Т.С., Каминская Н.Д., Эртман Е.В. Развитие социокультурной активности студентов: творческие практики в образовательном пространстве вузов. Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. СПб. 2018.
3. Байков Д.В., Десяев С.С. Проблема самообразования студентов технических вузов. Труды ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева». Россия, Саранск. 2018.
4. Коваленко В.И., Соколова О.А., Маматова С.И. Методика и технологии интерактивного обучения: проблема классификации и сущностных отличий. Труды Белгородского государственного института искусств и культуры. Белгород. 2018.
5. <https://nevi.ru/piramida-maslou-7-urovnej-s-primerami>
6. Охотников А.Л. Алгоритм выбора оборудования для систем технического зрения на железнодорожном транспорте/ Наука и технологии железных дорог. – 2021.Т.1.– (17). – С.65-75.
7. Грубов Е.О. Метод нелинейной нормализации критериев в многокритериальной задаче принятия решений // В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (Бенардосовские чтения). Материалы Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции. –2019. – С.236-239.
8. Коваленко Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
9. Горелов В.И., Ледащева Т.Н. Ранжирование альтернативных вариантов развития системы и построение функции полезности в многофакторном анализе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. –2003. –№ 9. –С.20-26.
10. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.275-282.
11. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.