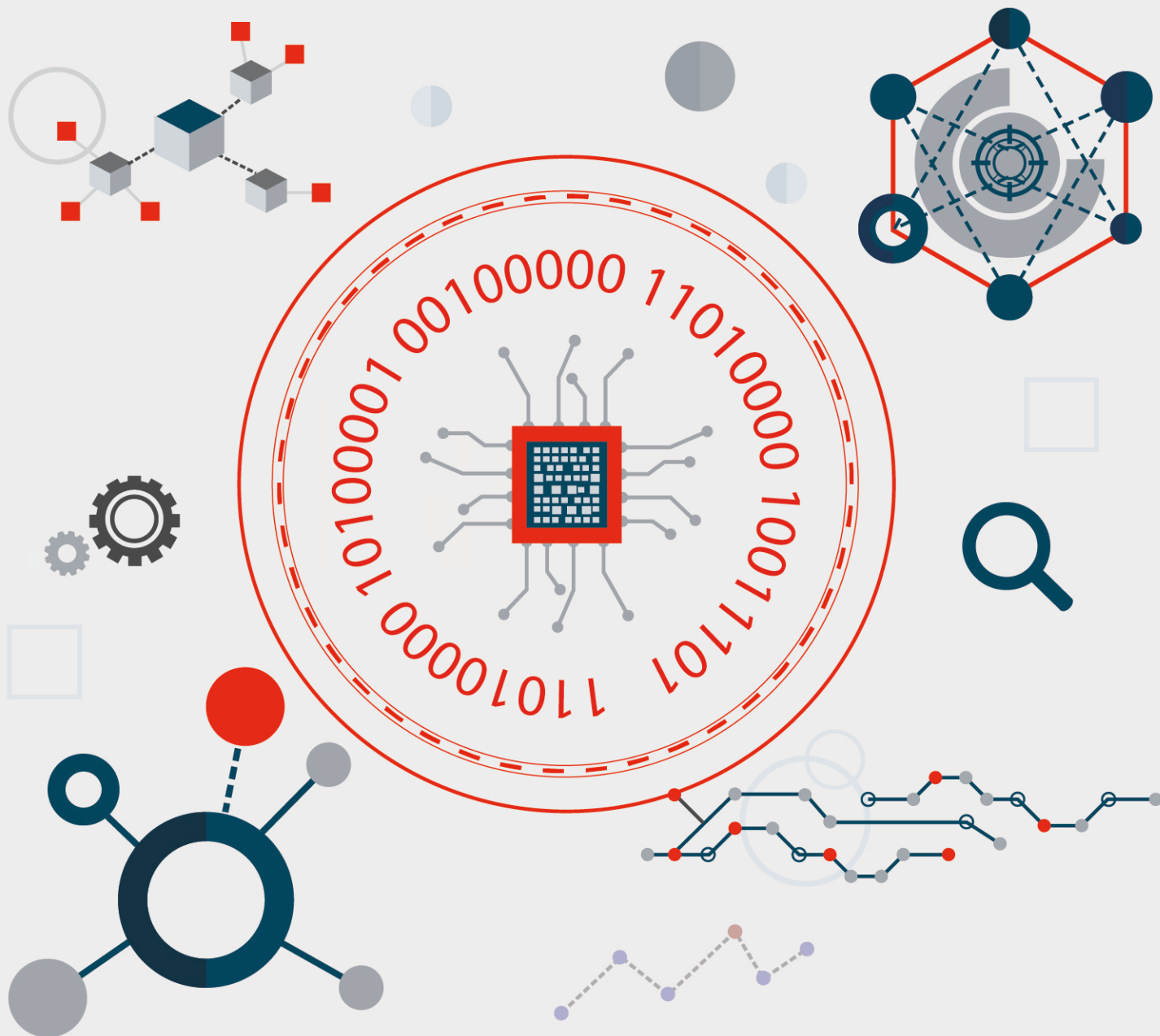


# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

4(32)

ДЕКАБРЬ 2024

Сетевой научно-методический журнал



**Цифровые методы  
на железнодорожном  
транспорте**

**Геоинформационные  
технологии и системы  
на транспорте**

**Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте**

**Стратегия развития  
железных дорог**

# 3 стр.

---

Материалы научно-технического совета АО «НИИАС»

О некоторых актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС», июнь-декабрь 2024 г.

Бочков А.В.

# 30 стр.

---

Геоинформационные технологии и системы на транспорте на транспорте

Дифференциальное и высокоточное позиционирование

Цветков В.Я., До Минь Туан

# 13 стр.

---

Стратегия развития железных дорог

Модели знаний в управлении транспортом

Курдюков Н.С.

# 37 стр.

---

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Информационные модели для систем технического зрения

Охотников А.Л.

# 19 стр.

---

Интеллектуальные системы и технологии

Опыт КНР в области оснащения технологической радиосвязью высокоскоростных железных дорог

Озеров А.В.

# 44 стр.

---

Экономика, организация работ и безопасность движения на транспорте

Основы анализа устойчивости современных систем интервального регулирования к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия

Комнатный Д.В.

# 25 стр.

---

Геоинформационные технологии и системы на транспорте на транспорте

Развитие геоинформатики транспорта

Павловский А.А.

УДК: 338.32; 347.763.4

## О НЕКОТОРЫХ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ И НАПРАВЛЕНИЯХ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АО «НИИАС», ИЮНЬ-ДЕКАБРЬ 2024 Г.

**Бочков А.В.**

д.т.н., учёный секретарь, АО «НИИАС», E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В работе обобщены ключевые вопросы, рассмотренные на заседаниях профильных секций научно-технического совета АО «НИИАС» во втором полугодии 2024 года. Проанализированы существующие проблемы и предложена постановка задач будущих исследований в ключевых направлениях научно-технологического развития института. В частности обсуждены вопросы мониторинга качества управления иерархическими системами на примере управления полигоном железнодорожного транспорта, текущее состояние и направления развития систем и средств радиосвязи для обеспечения технологических процессов для вождения поездов в режиме «виртуальная сцепка». Обсуждено текущее состояние и перспективы применения сетей LPWAN для задач диагностики инфраструктуры ОАО «РЖД», а также проблемы разработки ЧТП для систем DMR на ВСЖМ-1 в условиях ограничения частотного ресурса в выделенных полосах частот. Предложен метод обеспечения безопасности сложных систем в условиях воздействия неблагоприятных факторов и событий. Обозначены научно-практические проблемы нормативного регулирования в области функциональной безопасности и защите информации микропроцессорных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики в ОАО «НИИАС».

### Ключевые слова:

качество управления, системы и средства радиосвязи, «виртуальная сцепка», диагностика инфраструктуры, частотный ресурс, безопасность сложных систем.

## SOME CURRENT TASKS AND DIRECTIONS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF JSC «NIIAS», JUNE-DECEMBER 2024

**Bochkov A.V.**

Doc. of Sci. (Tech), Scientific Secretary, «NIIAS» JSC, E-mail: a.bochkov@vniias.ru, Moscow, Russia

### Annotation

The review summarises the key issues discussed at the meetings of the profile sections of the Scientific and Technical Council of JSC "NIIAS" in the second half of 2024. The existing problems were analysed and the tasks of future research in the key directions of scientific and technological development of the Institute were proposed. In particular, the issues of quality control of hierarchical systems management on the example of railway traffic polygon management, the current state and directions of development of radio communication systems and means of ensuring technological processes of train driving in the "virtual coupling" mode were discussed. The current state and prospects of application of LPWAN networks for tasks of diagnostics of infrastructure of JSC "Russian Railways", as well as problems of development of PSTP for DMR systems on VSZhM-1 in conditions of limitation of frequency resources in the allocated frequency bands are discussed. A method of ensuring the safety of complex systems under the influence of adverse factors and events is proposed. Scientific and practical problems of normative regulation in the field of functional safety and information protection of microprocessor devices and systems of railway automation and telemechanics in JSC "NIIAS" are outlined.

### Keywords:

control quality, radio communication systems and equipment, 'virtual coupling', infrastructure diagnostics, frequency resources, safety of complex systems

**1. Мониторинг качества управления иерархическими системами на примере управления полигоном железнодорожного транспорта**

Авторы: **Лецкий Э.К., Тютин И.А., Павлов А.Ю.** (РУТ, МИИТ). По материалам заседания постоянно действующего в рамках Секции 7. «Управление активами, надёжностью и рисками» семинара ИМАШ РАН-НИИАС (с участием МИИТ) 03.07.2024

Рассмотрена структура системы управления районном управлении железнодорожного транспорта, предложена методика оценки принятых решений, а также структура программного обеспечения для оценки принятых решений. Развитие цифровых технологий и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) в железнодорожной отрасли открыли новые горизонты для повышения качества управления и эффективности функционирования транспортных систем. В частности, в рамках АСУ появилась возможность создания аналитических

подсистем, предназначенных для оценки качества решений, принятых при управлении объектом, выявления и устранения факторов, обусловивших появление решений, отрицательно влияющих на показатели качества функционирования управляемого объекта.

Системы управления крупными железнодорожными объектами, такими как дороги, диспетчерские участки, обычно имеют иерархическую структуру. В этой структуре управление осуществляется на различных уровнях: от локальных диспетчеров, отвечающих за конкретные парки приема, формирования и отправления поездов на технических станциях; до центральных органов управления, координирующих работу всей сети. Каждый уровень иерархии выполняет свои функции и обладает определенными полномочиями. Подчинение нижестоящих уровней вышестоящим обеспечивает четкую цепочку команд и отчетности, что особенно важно для обеспечения безопасности на железной дороге. Однако

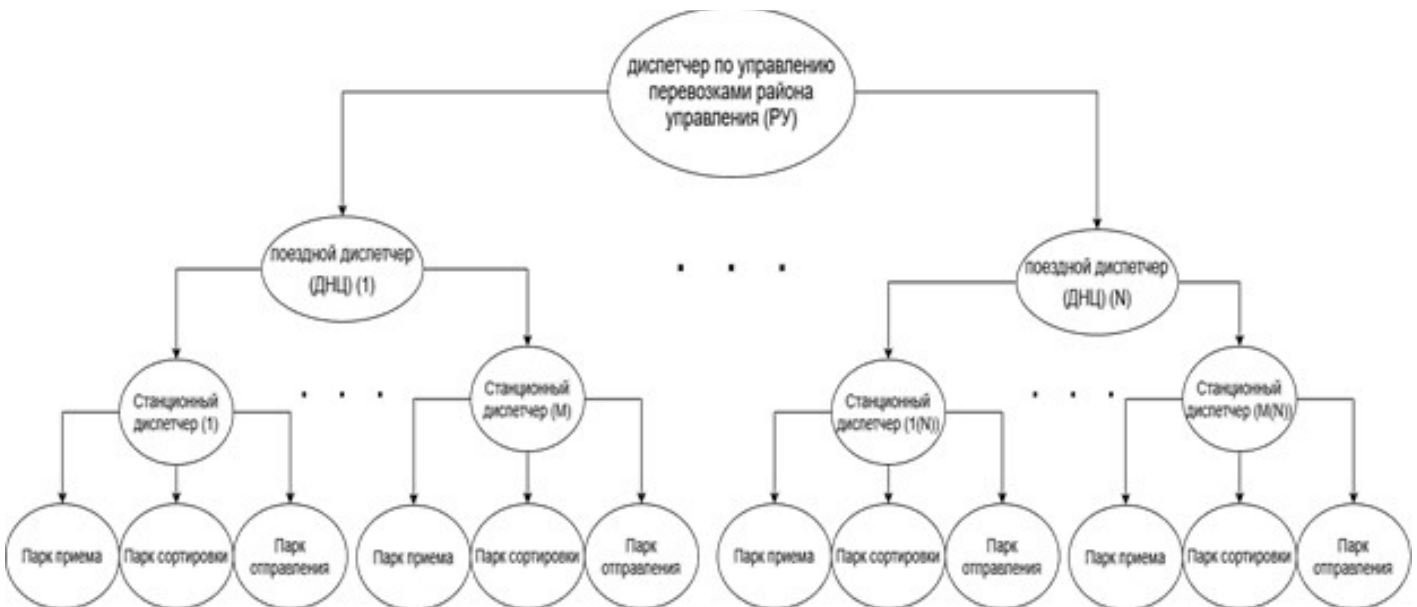


Рисунок 1.1 Структура системы управления районом управления на железнодорожном транспорте

в таких системах управляющие органы каждого уровня могут принимать самостоятельные решения, которые могут не всегда соответствовать общесистемным целям, таким как, например, минимизация задержек поездов.

В условиях сложной железнодорожной инфраструктуры выявление и устранение причин принятия неэффективных решений на любом уровне управления может существенно повысить качество функционирования всей транспортной системы.

В качестве объекта исследования рассматривался район управления (РУ). РУ — это основное производственное звено железной дороги, филиал дороги [1]. Основной целью функционирования РУ является удовлетворение общественных потребностей в железнодорожных перевозках в установленном регионе. Руководит районом управления диспетчер по управлению перевозками района управления (ДРУ). Основные задачи ДРУ: осуществление перевозок пассажиров, грузов, грузобагажа и багажа при безусловном

обеспечении безопасности движения поездов; организация движения поездов на участках, выполнение графика движения и планов формирования поездов; организация грузовой и коммерческой работы; содержание в исправном состоянии пути, сооружений, устройств электропитания, СЦБ и связи, подвижного состава и других технических средств; снабжение предприятий и организаций (структурных единиц) топливом, электроэнергией, смазочными и другими материалами; внедрение новых технических средств и технологий; обеспечение гарантированных и безопасных условий труда и мер социальной защиты своих работников; выполнение установленных РЖД и дорогой технологических, экономических и финансовых показателей и нормативов.

Структура системы управления районом управления представлена на рис. 1.1



РУ включает в себя несколько диспетчерских участков (ДУ). Каждый из ДУ управляется своим поездным диспетчером (ДНЦ). Поездной диспетчер – специалист железнодорожного транспорта, который осуществляет управление движением поездов на конкретном ДУ, В ДУ входит разное количество станций. Поездному диспетчеру (ДУ) подчиняются все станционные работники, связанные с перевозочным процессом, и локомотивные бригады, находящиеся на его участке.

Поездной диспетчер обеспечивает движение поездов и местную работу в соответствии с графиком движения поездов и планом перевозок при соблюдении всех норм безопасности.

В обязанности ДНЦ входит:

1. Текущее планирование движения подвижных единиц – создание плана пропуска поездов в соответствии с нормативными данными и их изменение;
2. Регулирование железнодорожных перевозок путем своевременной выдачи приказов для выполнения нормативного графика с учетом появляющихся изменений:
  - ускорение движения поезда по сравнению с графиком;
  - изменение мест обгона и скрещения поездов;
  - передвижение по неправильному пути.
3. Проведение анализа, который предусматривает сравнение полученного результата с планом.

В случае отставания поезда от показателей, установленных графиком, ДНЦ приходится решать вопрос о возвращении его передвижений по запланированной схеме. ДНЦ обменивается оперативной информацией с диспетчерами других участков о подходе поездов, передает информацию о вагонах и локомотивах. Также диспетчер организует своевременную доставку порожних вагонов на станцию, оперативный вывоз уже загруженных и сформированных составов. Занимается он и маневровой работой, передавая соответствующие указания станционным диспетчерам. Станционные диспетчера обмениваются оперативной информацией с другими станционными диспетчерами на участке. Также станционные диспетчера должны придерживаться плана, составленного ДНЦ и передавать информацию о своих решениях и текущей обстановке ДНЦ.

В основные обязанности станционного диспетчера входит:

1. Оперативное руководство и координация единой сменой станции;
2. Планирование и корректировка плана работы станции;
3. Руководство парками приема, сортировки и отправления.

Основная цель мониторинга качества решений - повышение качества функционирования объекта путем выявления «плохих» решений, выяснения и устранения причин «плохих» решений. При оценке качества решений необходимо соблюдать следующие требования:

Для получения оценки следует использовать один (или совокупность) показателей, характеризующей управляемый объект (район управле-

ния, если оценивается качество решения, принятого поездным диспетчером; диспетчерский участок, если оценивается решение станционного диспетчера);

Оценка определяется по установленному интервалу времени (смена, сутки и т.д.), на котором имеется  $n$  решений, связанных с управлением объектом, причем проверяемое решение является первым [2]. Интервал оценивания продемонстрирован на рис. 1.2.;

Оценка качества решения  $x_1$  не должна зависеть от других решений при управлении объектом, принятых на интервале оценивания.

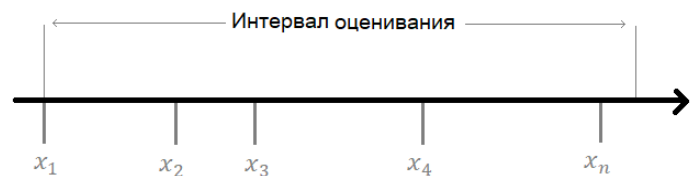


Рисунок 1.2 Интервал оценивания

Оценку качества решений станционных диспетчеров предложено осуществлять на основе следующего показателя: суммарная задержка  $Q$  отправления поездов с диспетчерского участка, к которому относится данная станция, на другие участки в течение интервала времени, выбранного для оценки решений. При этом задержка рассматривается по отношению к графику движения поездов, установленного поездным диспетчером. Величина суммарной задержки будет зависеть, в общем случае, от всех решений, т.е.  $Q(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Показатель  $W_1$  качества решения  $x_1^*$  введем следующим образом:

$$W_1 = \begin{cases} 1 - \frac{\Delta Q(x_1^*)}{C}, & \text{при } \Delta Q(x_1^*) < C \\ 0, & \text{при } \Delta Q(x_1^*) \geq C \end{cases}$$

В выражении (1)  $C$  — это максимально допустимая суммарная задержка отправления поездов с данного диспетчерского участка на другие участки в течение интервала времени, выбранного для оценки решений.

Величина  $\Delta Q(x_1^*)$  в (1) определяет потери качества функционирования объекта, обусловленные решением  $x_1^*$ :

$$\Delta Q(x_1^*) = \min_{x_2} Q(x_1^*, x_2, \dots, x_n) - \min_{x_1, x_2} Q(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Информация, необходимая для принятия решений в управлении железнодорожным транспортом, поступает от специализированных информационных систем, таких как Автоматизированная Система Управления Скоростью и Трафиком (АСУСТ), Единая модель данных перевозочного процесса (ЕМД ПП), а также ГИД и другие. Эти системы обеспечивают диспетчеров актуальными данными, необходимыми для формирования графиков движения поездов и управления работой станций. Однако, стоит отметить,

что данные, используемые для оценки качества принятых решений, могут отличаться от тех, на основе которых эти решения принимались. Оценка качества осуществляется в режиме off-line по завершении заданного интервала времени, что позволяет проанализировать эффективность работы диспетчерского участка и выявить возможные недостатки, в том числе, недостаточную достоверность данных, на основе которых принимались решения.

Для решения оптимизационных задач при вычислении величины  $\Delta Q(x_1^*)$  может быть использована имитационная модель диспетчерского участка, которая позволяет смоделировать различные сценарии движения поездов и взаимодействия между диспетчерами.

Для реализации рассмотренного метода оценки качества решений требуется специализированное программное обеспечение (ПО), структура которого представлена на рис. 1.3.

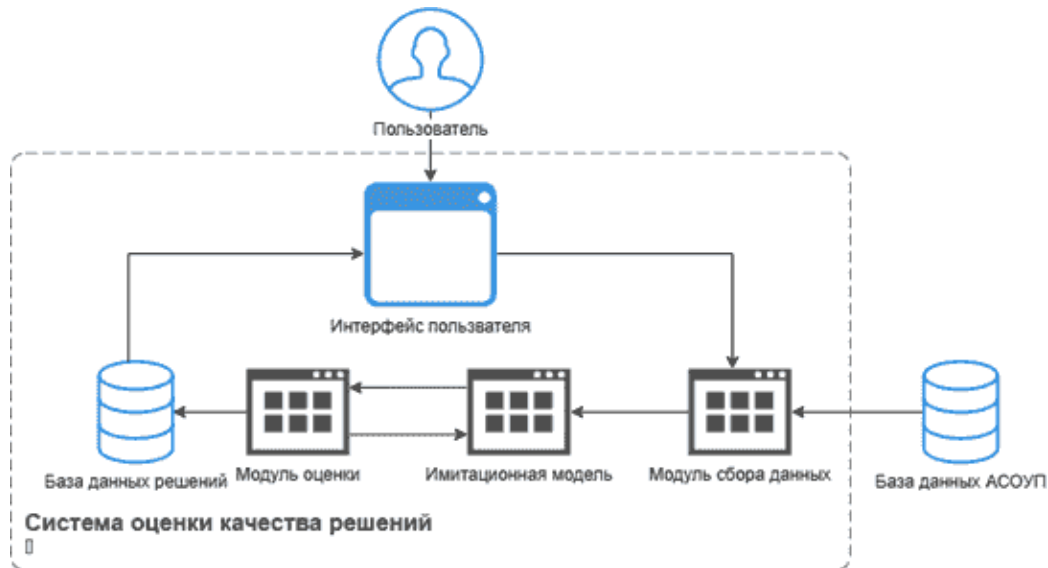


Рисунок 1.3. Структура программного обеспечения системы оценки качества решений при управлении диспетчерским участком

Для развертывания данного программного обеспечения требуется архитектура с «толстым» сервером и «тонким» клиентом. Это обусловлено тем, что информационная система (ИС) обрабатывает значительные объемы данных и предъявляет высокие требования к аппаратным ресурсам из-за интенсивных вычислений.

В данной системе пользователь через интерфейс выбирает решение, которое необходимо оценить. После этого активируется модуль сбора данных, который извлекает необходимые для анализа сведения из базы данных ЕМД ПП. Эта база данных содержит информацию о всех операциях, связанных с движением поездов, включая формирование, расформирование, проследование и остановку на станциях. Данные отбираются в зависимости от анализируемого участка железной дороги и заданного периода времени, поскольку база данных охватывает информацию по всем маршрутам ОАО РЖД за последние шесть месяцев.

После выбора данных подключается модуль имитационной модели. Этот модуль моделирует работу выбранного участка железной дороги, учитывая различные вариации рассматриваемого решения. На этом этапе проводятся многочисленные симуляции, результаты которых сохраняются для дальнейшего анализа. Имитационная модель используется при решении оптимизационных задач (см. (2)).

Затем вступает в действие модуль оценки ре-

шений. Он использует методику, основанную на формулах (1) и (2), для анализа влияния принятого решения на функционирование участка в целом. Модуль также рассматривает альтернативные варианты решений, которые могли бы быть приняты вместо рассматриваемого. Полученные результаты сохраняются в отдельной базе данных. В конечном итоге пользователь получает отчет, содержащий оценку рассматриваемого решения, а также сравнительный анализ альтернативных вариантов. Это позволяет глубже понять последствия принятых решений и выбрать оптимальный путь дальнейших действий.

В процессе работы программного обеспечения будут получены оценки исследуемых решений, и некоторые из них могут оказаться «неудовлетворительными». Выявление причин таких «неудач» должно стать одной из задач системы мониторинга качества решений. Следует отметить, что факторами, способствующими «плохим» решениям, могут быть:

1. Некорректные исходные данные;
2. Неадекватность математической модели (при поиске решений с помощью математической модели);
3. Неучтенные внешние факторы;
4. Влияние человеческого фактора:
  - субъективность решений (несоответствие критериям качества функционирования объекта);
  - недостатки в должностных инструкциях.

Таким образом, представлен подход к оцен-

ке качества решений в иерархических системах управления, предложен критерий для оценки решений, принимаемых станционными диспетчерами при управлении движением на диспетчерском участке, а также разработана технология оценивания и структура программного обеспечения системы оценки качества решений.

## **2. Текущее состояние и направления развития систем и средств радиосвязи для обеспечения технологических процессов для вождения поездов в режиме «Виртуальная сцепка»**

Авторы: **Вериго А.М., Шурдак А.В.** По материалам заочного заседания Секции 6. «Системы телекоммуникаций и передачи данных» НТС АО «НИИАС» от 29.07.2024.

На заседании отмечено, что в настоящее время на Восточном полигоне применяется технология вождения поездов в режиме «виртуальная сцепка» с использованием установленных на локомотивах радиомодемов «М-ЛИНК». Применяемое решение по радиоканалу имеет ограничения по допустимой удаленности поездов друг от друга, при которой передача данных осуществляется с требуемым качеством, отсутствует возможность автоматизированного назначения адресов локомотивам в составе ВСЦ при передаче информации.

При использовании радиосредств системы DMR взаимодействие поездов при движении по технологии «виртуальная сцепка» осуществляется через установленные на них локомотивные радиостанции передачи данных радиомодемы DMR и стационарные базовые станции цифровой системы технологической радиосвязи стандарта DMR (далее ЦСТР DMR).

Преимуществами применения системы DMR, помимо улучшенных условий по радиопокрытию, являются также возможность централизованного управления, применение единых унифицированных согласованных алгоритмов и протоколов передачи данных, единой архитектуры, использования единых конструктивных и аппаратно-программных решений, масштабируемость системы, производство оборудования несколькими производителями, интероперабельность оборудования различных производителей, возможность проведения удаленного мониторинга и администрирования оборудования.

Для реализации «Комплексного плана развития инфраструктуры связи, оснащения локомотивного парка и приобретения окончательного и абонентского оборудования беспроводных сетей передачи данных для внедрения технологии интервального регулирования движения поездов «виртуальная сцепка» на Восточном полигоне до 2025 года» разработано технико-экономическое обоснование, определяющее организацию ЦСТР DMR в границах четырех железных дорог (Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской и Дальневосточной).

Внедрение системы цифровой радиосвязи стандарта DMR не отрицает наличие радиоканала,

организованного на радиомодемах М-ЛИНК, а дополняет его. Радиомодемы М-ЛИНК после внедрения системы стандарта DMR не подлежат демонтажу. Наличие двух радиоканалов передачи данных значительно увеличивает надежность и является условием обеспечения устойчивой радиосвязи и безопасности движения поездов.

В настоящее время ведется доработка радиомодемов М-ЛИНК до функциональности, обеспечивающей его работу в режимах прямого взаимодействия локомотивов и в режиме взаимодействия локомотивов через систему DMR.

В качестве первоочередных вопросов отмечена необходимость обеспечить оперативный контроль за доработкой и проведением испытаний радиомодема М-ЛИНК в режиме взаимодействия через систему DMR и проработать вопрос реализации режима «виртуальная сцепка» с использованием системы LTE.

## **3. Применение сетей LPWAN для задач диагностики инфраструктуры. Текущее состояние и перспективы развития в ОАО «РЖД». Проблемы разработки ЧТП для систем DMR на ВСЖМ-1 в условиях ограничения частотного ресурса в полосах частот в диапазоне 151,725-154,000 и 155,000-156,000МГц**

Авторы: **Вериго А.М., Шурдак А.В.** По материалам заочного заседания Секции 6. «Системы телекоммуникаций и передачи данных» НТС АО «НИИАС» от 17.09.2024.

В части применения сетей LPWAN для задач диагностики инфраструктуры отмечено, что Ростовским филиалом АО «НИИАС» в течение 6 лет выполняется комплекс работ, направленных на реализацию промышленного интернета в интересах различных служб ОАО «РЖД».

Разработаны технические решения по вариантам организации радиоканалов, в частности, использованию технологии LoRa и выбору источников питания датчиков и радиомодемов, действующих в условиях железнодорожного транспорта и др.

Разработана архитектура и программное обеспечение, обеспечивающее реализацию управления и съема информации с большого числа датчиков различной принадлежности (SMART).

Реализованы сети промышленного интернета в интересах различных служб, включая:

- контроль прохода подвижного состава (колеса);
- контроль состояния технических средств в технологии «умный вокзал»;
- контроль пешеходных переходов и др.

Всего в эксплуатации в настоящее время находятся порядка 5000 датчиков.

Учитывая вышеизложенное признано целесообразным объединить полученные результаты в единый технологический комплекс, обеспечивающий интеграцию технологий промышленного интернета различных служб. В качестве объекта реализации может рассматриваться одна из крупных сортировочных станций и ВСЖМ1 с ориентацией на комплексное использование дан-

ной технологии с перспективной системой радиосвязи на основе LTE. Для обеспечения решения этих задач требуется подготовка и утверждение технических документов (например, технические требования, типовые материалы для проектирования) на систему промышленного интернета ОАО «РЖД».

В части проблем разработки ЧТП для систем DMR на ВСЖМ-1 в условиях ограничения частотного ресурса в полосах частот в диапазоне 151,725-154,000 и 155,000-156,000 МГц отмечена роль института «Гипротрансигналсвязь», который выполняет проектирование сетей радиосвязи для ВСМ.

Отмечена отрицательная для ОАО «РЖД» тенденция по вытеснению железнодорожного транспорта из частотного диапазона 160 МГц, широко используемого на станциях и для организации поездной радиосвязи, откуда следует, что учитывая, что ответственным за решение вопросов по использования частотных ресурсов в ОАО «РЖД» является ЦСС, целесообразно АО «НИИ-АС» следить за развитием событий по данному вопросу и стараться обеспечить необходимую поддержку ГТСС при проектировании ВСЖМ-1.

**4. Метод обеспечения безопасности сложных систем в условиях воздействия неблагоприятных факторов и событий**

Автор: **Филимонюк Л.Ю.** (ИПУ РАН). По материалам заседания постоянно действующего в рамках Секции 7. «Управление активами, надёжностью и рисками» семинара ИМАШ РАН-НИИАС (с участием МИИТ и ИПУ РАН) 18.10.2024

В ходе исследований проведен системный анализ проблемы обеспечения безопасности функционирования авиационных транспортных систем при управлении в условиях критических сочетаний событий на различных временных интервалах. Предложена классификация критических сочетаний событий в авиационных транспортных системах, необходимая для корректной структуризации и систематизации различных аспектов проблемы обеспечения безопасности авиационных систем. Разработаны математические методы и модели, позволяющие определить вероятности возникновения опасных сочетаний событий в процессе функционирования авиационных транспортных систем для различных классов критических ситуаций, а также прогнозировать его динамику.

Постоянное обеспечение, поддержание и неуклонное повышение уровня безопасности функционирования авиационных транспортных систем (АТС) играют огромную роль для воздушного транспорта, необходимого для устойчивого экономического и социального развития России и мира в целом. В авиационной отрасли, которая напрямую или опосредованно обеспечивает занятость более 56 миллионов человек, обеспечивает вклад около 2 триллионов долларов США в мировой валовой внутренний продукт и осуществляет перевозку более 2500 миллионов пассажиров и грузов общей стоимостью более 5 триллионов долларов США в год, поддержание безопасности полетов является одной из приоритетных задач (рис. 4.1).



Рисунок 4.1. Структура безопасности АТС



Глобальный план обеспечения безопасности полетов, предусматривает реализацию целей в области обеспечения безопасности полета на уровне государства и на уровне авиационно-транспортных систем. Это связано с тем обстоятельством, что отдельные компоненты АТС, в первую очередь воздушные суда, уже достигли такого уровня надежности и безопасности, что дальнейшее повышение безопасности полетов, главным образом, определяется на уровне сочетаний процессов в АТС и международных организаций регулирования и управления ими. Актуальной является в первую очередь задача обеспечения безопасности авиационных транспортных систем в целом, а не только безопасности воздушного судна (ВС).

Долгосрочная цель этих действий направлена на внедрение моделей и методов обеспечения безопасности, которые интегрированы в авиационные транспортные системы будущего. Постоянный рост международной авиационной транспортной системы требует создания более широких возможностей для обеспечения безопасности полетов, позволяющих учесть человеческий фактор, а также критические сочетания событий в АТС.

Причиной большинства аварий и катастроф являются сочетания разнородных неблагоприятных событий: воздействий среды, отказов техники, сбоев программного обеспечения, ошибок персонала. При этом по отдельности такие события, как правило, не приводят к авариям и могут не

выделяться из ряда устранимых отказов и неблагоприятных воздействий, обычно сопровождающих функционирование человеко-машинных систем. Однако в некоторых случаях эти события сочетаются таким образом, что парировать их не удается, что в конечном итоге приводит к авариям и катастрофам. Такие сочетания называются критическими сочетаниям событий (КСС). Возникновение таких сочетаний является проблемой, существенно снижающей безопасность авиационного транспорта. Решение этой проблемы требует математического обеспечения в виде моделей, методов и комплексов программ для анализа и предотвращения критических сочетаний событий.

Общая схема причинно-следственной связи [3], показывающая ее основные компоненты, изображена на рис. 4.2.

По итогам анализа теоретических и практических разработок систем обеспечения безопасности сложных систем можно сделать вывод о том, что в настоящее время практически отсутствуют автоматизированные комплексы, позволяющие определять вероятность критических сочетаний событий и рекомендации по их предотвращению в процессе функционирования АТС.

Неблагоприятные события могут быть как следствием внутрисистемных факторов, так и внешних воздействий, и образуют причинно-следственные цепочки, в общем виде схематично представленные в пространстве состояний на рис. 4.3 [4].

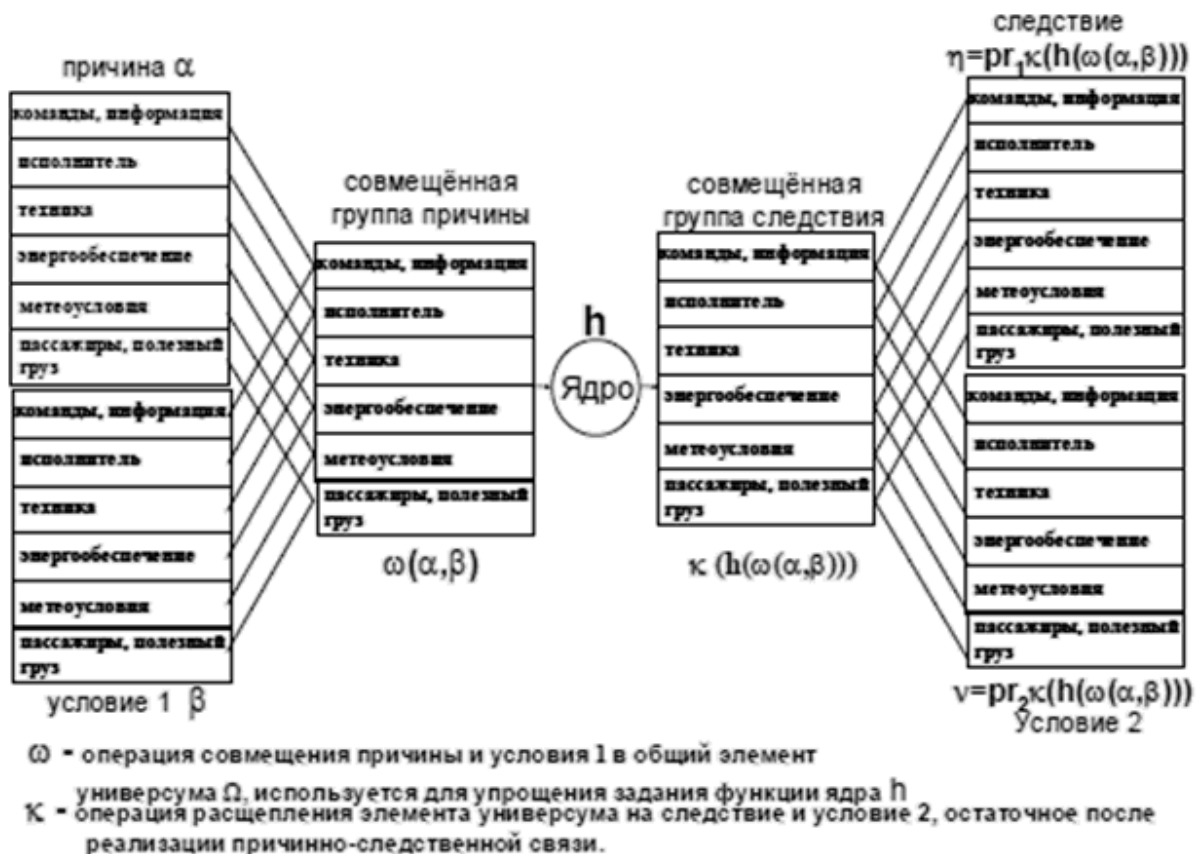


Рисунок 4.2. Схема интерпретации структуры причинно-следственной связи событий

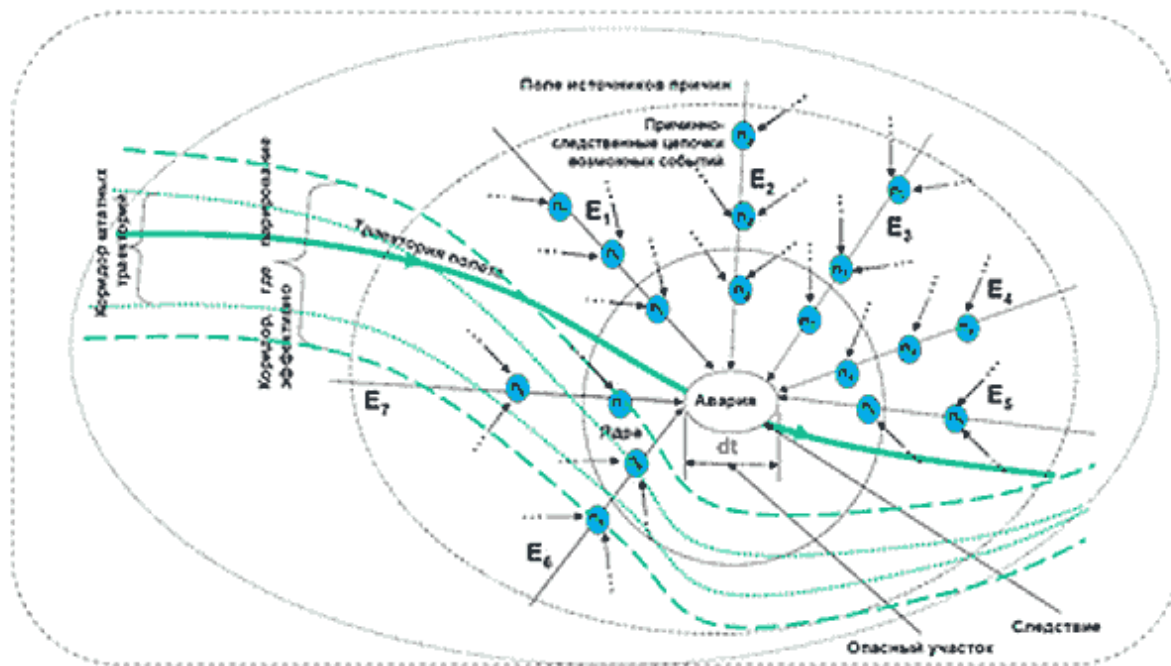


Рисунок 4.3. Критическое сочетание событий в АТС

Системы, рассматриваемые в научных публикациях и технической документации, позволяют получать совокупности сигналов об отдельных неблагоприятных событиях, как правило, без анализа общего эффекта возникновения этих событий. Подходы, в которых такой анализ частично присутствует, существуют, однако они ранее не применялись в авиационной отрасли на этапе функционирования сложных систем. Кроме этого, в большинстве случаев результатом применения таких подходов является статистическая оценка без численных рекомендаций по уменьшению вероятности возникновения критических ситуаций. Это обуславливает актуальность темы исследования, выбор целей и задач работы, а также новизну разработанного математического обеспечения, которое может быть использовано для создания перспективных систем с целью обеспечения безопасности АТС при управлении в условиях возникновения критических сочетаний событий [5].

Решение задачи обеспечения безопасности авиационных транспортных систем при управлении в условиях критических сочетаний событий имеет важнейшее значение и позволяет реализовать единый комплекс моделей, методов, алгоритмов и комплексов программ, применение которых позволяет обеспечить безопасность функционирования авиационных транспортных систем за счет предотвращения критических сочетаний событий.

Основные результаты работы, доложенные на семинаре:

1. Результаты системного анализа проблемы обеспечения безопасности функционирования авиационных транспортных систем, позволившие выполнить постановку задачи обеспечения безопасности авиационных транспортных систем в условиях критических сочетаний событий, разработаны методы и модели ее решения.

2. Результаты комплексного анализа проблемы человеческого фактора в авиационных транспортных системах, показавшие, что человеческий фактор является одной из основных причин возникновения аварий и катастроф.

3. Разработанные автором основные положения причинно-следственного описания критических сочетаний событий в авиационных транспортных системах, включая подход к формализации и классификация этих процессов функционирования авиационных транспортных систем.

4. Признаки критических сочетаний событий и их классы, использование которых позволяет облегчить анализ аварийных ситуаций в процессе функционирования авиационных транспортных систем, а также определить возможность возникновения маловероятных аварий и критических сочетаний событий.

5. Классификация критических сочетаний стечений событий в авиационных транспортных системах, необходимая для корректной структуризации и систематизации различных аспектов проблемы обеспечения безопасности авиационных транспортных систем.

6. Методы для формализации критических сочетаний событий с помощью ресурсного подхода, а также схема влияния недостатка ресурсов на безопасность авиационной транспортной системы, а также частные и комплексные условия безопасности функционирования авиационной транспортной системы.

7. Постановка задачи управления авиационной транспортной системой по предложенному и обоснованному критерию безопасности. Установлено, что для ее решения необходимо разработать математические модели, численные методы, алгоритмы и комплексы программ, позволяющие осуществить оптимизацию целевой функции, характеризующей безопасность авиационных транспортных систем на различных временных

интервалах.

8. Математические модели, позволяющие определить вероятности возникновения критических сочетаний событий в процессе функционирования авиационных транспортных систем с помощью решения систем дифференциальных уравнений для различных классов критических сочетаний событий, что позволяет обеспечить безопасность авиационных транспортных систем.

9. Информационно-логическая схема, позволяющая проиллюстрировать функционирование разработанных математических моделей и методов на различных временных интервалах.

10. Структура автоматизированной информационной управляющей системы, позволяющей оценивать степень угрозы для безопасности авиационных транспортных систем при возникновении событий нарушения функционирования отдельных их частей и вырабатывать корректирующие действия для предотвращения возникновения аварийных или катастрофических ситуаций в авиационных транспортных системах.

11. Комплекс математических моделей, позволяющих осуществлять прогнозирование значимых показателей авиационной безопасности на основе аппарата системной динамики с помощью которых можно выявить тенденции изменения значений показателей авиационной безопасности и использовать их при принятии управленческих решений.

12. Решение задачи обеспечения безопасности авиационной транспортной системы путем предотвращения критических сочетаний событий для ситуации пожара в двигателе воздушного судна, включая результаты численных экспериментов по определению необходимых интенсивностей устранения технических неисправностей и ошибок пилотов воздушного судна, составляющих критические сочетания событий.

Перспективы дальнейших исследований по данной теме, как отмечено автором, состоят в разработке, совершенствовании и внедрении моделей и методов для неуклонного повышения авиационной безопасности, которые будут интегрированы в перспективные авиационные транспортные системы. Новые методы рекомендуется использовать при создании моделей надежности и безопасности перспективных воздушных судов для подтверждения их соответствия требованиям по надежности и безопасности полетов.

Стоит также отметить, что несмотря на выбранную автором доклада авиационную область применения разработанных методов и алгоритмов, предлагаемые им подходы к классификации и оценке критических для функционирования выбранного объекта исследования событий применимы к анализу похожих по характеру проявления и природе событий на железнодорожном транспорте.

## **5. Научно-практические проблемы нормативного регулирования в области функциональной безопасности и защите информации микропроцессорных устройств и систем**

## **железнодорожной автоматики и телемеханики в ОАО «НИИАС»**

Автор: **Сабанов А.Г., Безродный Б.Ф., Бабаев Д. И.** По материалам заседания Секции 8. «Информационная и кибербезопасность» НТС АО «НИИАС» от 28.10.2024.

Заслушаны и обсуждены три доклада, посвященные определению соотношения требований, методов и средств функциональной и информационной безопасности АСУ ТП ЖТ в зависимости от актуальных моделей угроз:

- доклад «Обзор стандартов по функциональной безопасности и перспективы их развития» (докладчик Сабанов А. Г., д.т.н., главный эксперт НТК ТИО АО «НИИАС»), в котором приведен обзор стандартов по функциональной безопасности [6, 7], сделан акцент на отражение в стандартах последнего пятилетия соотношения требований функциональной безопасности и защиты информации для систем верхнего уровня управления технологическими процессами;

- доклад «Аспекты координации функциональной безопасности и информационной безопасности» (докладчик Бабаев Д. И., руководитель отдела по работе с корпоративными клиентами «Лаборатории Касперского»), в котором приведены аспекты высокоуровневой координации требований функциональной безопасности и защиты информации на основе анализа рисков и модели угроз (см. также [8]);

- доклад «Порядок оценки выполнения требований по защите информации микропроцессорных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики» (докладчик Безродный Б.Ф., д.т.н., заместитель начальника центра кибербезопасности - начальник отдела) [9, 10].

В результате дискуссии решено отметить общее понимание, что на низовом уровне управления, на котором производится управление движением поездов, приоритет отдается функциональной безопасности. Реализация мер по защите информации на низовом уровне управления не должна препятствовать выполнению функций безопасности.

На среднем уровне управления, на котором функционируют распределенные и разнесенные в пространстве системы управления движением поездов, приоритет в обеспечении безопасности систем определяется рисками нарушения функций безопасности и угрозами безопасности информации. При этом устанавливаемые системы защиты информации не должны снижать эффективность функций безопасности, в то же время функции безопасности не должны оказывать негативного влияния на выполнение требований защиты информации системы.

Соответственно, на верхнем уровне управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте системами АСУ ТП ЖТ приоритет в обеспечении безопасности систем должен отдаваться информационной безопасности. При этом, на верхнем уровне управления установленные и настроенные средства защиты информации не должны оказывать отрицательного влияния на

штатный режим функционирования автоматизированных систем управления.

Отмечено, что в случае обработки информации ограниченного доступа перечень рассматриваемых угроз безопасности АСУ ЖТ должен включать в себя угрозы утечки информации ограниченного доступа.

Предложено организовать сбор предложений от членов секции №8 НТС по развитию системы корпоративных стандартов СТО «РЖД» в части обеспечения безопасности функционирования АСУ ТП ЖТ. Обсуждение поступивших предложений запланировать к рассмотрению на одном из ближайших заседаний секции № 8 НТС АО «НИИАС». Прошедшие обсуждения предложения направить в департамент Технической политики ОАО «РЖД».

Также необходимо разработать предложения по нормативной оценке соответствия АСУ ТП ЖТ требованиям функциональной безопасности и организовать работу по созданию Органа системы добровольной сертификации на железнодорожном транспорте по требованиям функциональной

безопасности в соответствии с документами ТК 65. Контроль за выполнением указанных вопросов возложить на руководство секции № 1 НТС АО «НИИАС».

Одним из основных механизмов оценки соответствия требованиям защиты информации и отсутствия недеklarированных возможностей должна выступать созданная система добровольной сертификации ОАО «РЖД» с областью сертификации «Информационная безопасность» (СДС ИБ РЖД). Для этого целесообразно расширить область применения СДС ИБ РЖД с помощью разработки группы технических требований и стандартов, с применением которых проводить указанные оценки соответствия.

Участники заседания рекомендовали НТК ТИО совместно с Санкт-Петербургским филиалом подготовить концепцию системы обеспечения и оценивания безопасного функционирования АСУ ТП ЖТ с искусственным интеллектом, рассмотрение которой планируется на секциях № 1, № 7 и № 8 НТС АО «НИИАС» в первом полугодии 2025 г.

## Список литературы

1. Положение о диспетчерском управлении движением поездов в ОАО РЖД. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901972483>
2. Лецкий Э.К., Игнатов В.Е. Аналитика систем управления. – В сб. Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы. – Москва: 2021. с. 238-242.
3. Филимонюк, Л.Ю. Причинно-следственный подход к анализу критических ситуаций в сложных человеко-машинных системах / Л.Ю. Филимонюк // Материалы Всероссийской научной конференции с Международным участием «Проблемы критических ситуаций в точной механике и управлении». – Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2013. – С. 113 - 116.
4. Новожилов, Г.В. Проблема критических сочетаний событий в системе «экипаж – воздушное судно – диспетчер» / Г.В. Новожилов, А.Ф. Резчиков, М.С. Неймарк, Л.Г. Цесарский, А.С. Богомол, Л.Ю. Филимонюк // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2015. – №2. – С. 10-16.
5. Филимонюк Л.Ю. Системный анализ, модели и методы обеспечения безопасности авиационных транспортных систем при управлении в условиях критических сочетаний событий : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.01 / Филимонюк Леонид Юрьевич; [Место защиты: Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А.]. – Саратов, 2017. – 312 с.: ил.
6. Колчин А.Ф., Якимов О.С. Состояние и перспективы развития нормативного обеспечения в области функциональной безопасности // Надежность. 2017. №3. С. 58-62. DOI: 10.21683/1729-2646-2017-17-3-58-62.
7. Рязанов В. Ю. Анализ нормативной базы по подтверждению соответствия требованиям функциональной безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики // Автоматика на транспорте. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-normativnoy-bazy-podtverzheniyu-sootvetstviya-trebovaniyam-funktsionalnoy-bezopasnosti-mikroprotsessornyh-sistem> (дата обращения: 19.11.2024).
8. Скляр В. Функциональная безопасность – старшая сестра информационной безопасности, Часть 1 из 7. <https://habr.com/ru/articles/308634/> (дата обращения: 19.11.2024).
9. Горелик А. В., Неваров П. А., Тарадин Н. А. Методы анализа эксплуатационной надёжности и безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики // НиКа. 2009. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-ekspluatatsionnoy-nadyozhnosti-i-bezopasnosti-sistem-zheleznodorozhnoy-avtomatiki-i-telemehaniki> (дата обращения: 19.11.2024).
10. Тарадин, Николай Александрович. Методы оценки безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.08 / Тарадин Николай Александрович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. – Москва, 2010. – 209 с.: ил.



УДК: 656.2, 519.6

## МОДЕЛИ ЗНАНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ

**Курдюков Н.С.**

аспирант, РТУ МИРЭА, E-mail: nskurdyukov@gmail.com, Москва, Россия

### Аннотация

В статье исследуется новый вид управления транспортом с использованием моделей знаний. Применение моделей знаний приводит к использованию онтологий. Исследованы методы построения онтологий и факторы, связанные с их построением - это гетерогенность информации, применение сетевых пространственных структур и использование геоинформатики. Статья исследует опыт применения онтологий для решения задач из области транспорта. Онтологии целесообразно применять в тех случаях, когда имеются большие наборы данных и сложные ситуации движения. Применение онтологий для управления транспортом практикуется последние двадцать лет, но до сего времени не разработано общей методики их построения. Данная статья дает некоторые общие принципы построения транспортных онтологий. Особенно важно применение онтологий в условиях интеллектуализации транспорта, онтологическое управление необходимо для цифрового и беспилотного транспорта.

### Ключевые слова:

транспорт, онтологии, транспортные онтологии, гетерогенные данные, геоданные, модели знаний.

## KNOWLEDGE MODELS IN TRANSPORT MANAGEMENT

**Kurdyukov N.S.**

postgraduate student, RTU MIREA, E-mail: nskurdyukov@gmail.com, Moscow, Russia

### Annotation

The article studies a new type of transport management using knowledge models. The use of knowledge models leads to the use of ontologies. The methods of constructing ontologies and the factors associated with their construction are studied - this is the heterogeneity of information, the use of network spatial structures and the use of geoinformatics. The article explores the experience of using ontologies to solve problems in the field of transport. Ontologies are advisable to use in cases where there are large data sets and complex traffic situations. The use of ontologies for transport management has been practiced for the past twenty years, but until now no general methodology for their construction has been developed. This article provides some general principles for constructing transport ontologies. The use of ontologies is especially important in the context of transport intellectualization; ontological management is necessary for digital and unmanned transport.

### Keywords:

transport, ontologies, transport ontologies, heterogeneous data, geodata, knowledge models.

**Введение**

Современное управление транспортом все больше использует интеллектуальные технологии. Для интеллектуального управления необходимы знания. Модели знаний важны для управления цифровым [1, 2] и беспилотным транспортом [3]. Одной из моделей знаний является онтология [4]. Необходимо различать онтологию в философии и онтологию в информатике и искусственном интеллекте. В ИТ и в ИИ онтология связана с представлением знаний. Формальное представление задает формальные онтологии. Прикладное представление задает прикладные онтологии. Формальные онтологии определяют концепции. Прикладные онтологии задают понятия и отношения между ними в предметной области.

Транспортные онтологии можно рассматривать как вид прикладных онтологий. Применение онтологий для управления транспортом является актуальной проблемой. Транспортные онтологии применяют в интеллектуальном управлении и в кибер-физических системах [5]. Онтологии позволяют накапливать знаниевый опыт, который также можно определить как онтологический опыт. Онтологический опыт можно сравнить с решением, даваемым с помощью искусственной нейронной сети. Имеется множество входных связанных данных и имеется результат решения, но сам алгоритм неизвестен. Такой подход целесообразен в сложных ситуациях, а также для случаев, когда входные данные являются «большими данными» [6, 7]. Транспортные онтологии используют позитивистский и эвристический подходы для накопления опыта

В онтологическом управлении используют модели как вспомогательное средство управления. Для транспорта применяют пространственно-временные модели [8]. Модели управления делят на концептуальные, формальные и прикладные. Прикладные модели нуждаются в конкретной информации о состоянии объекта управления и ситуации движения.

Для обобщения модельного опыта применяют метамодели. В отличие от прикладной модели метамодель включает обобщенные характеристики и ближе к формальным моделям. Метамодели позволяют обобщать опыт применения моделей. На этой основе прикладные модели и модели управления совершенствуют.

Для построения мета моделей накапливают опыт использования прикладных моделей. Метамодели являются инструментом позитивизма. В свою очередь, метамодели помогают конструировать онтологии. Парадигма (1) показывает построение метамодели

$$И \rightarrow Д \rightarrow ПМ \rightarrow ММ \quad (1)$$

В формальном выражении (1) И — измерения; Д — данные; ПМ — прикладные модели; ММ — метамодели. Можно развить эту парадигму до он-

тологий.

$$\begin{aligned} & \text{Модельный опыт} \rightarrow \text{Обобщение опыта} \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Знание} \quad (2) \end{aligned}$$

Парадигма (2) содержательно отражает парадигму (1). Модельный опыт — это содержание прикладной модели. Обобщение опыта — это содержание метамодели. Знание есть содержание онтологии. Можно построить третью парадигму

$$\begin{aligned} & \text{Обобщение опыта} \rightarrow \text{Знание} \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Управление транспортом} \quad (3) \end{aligned}$$

Парадигма (3) показывает связь опыта и знаний с управлением транспорта. Для третьей парадигмы существует прикладная парадигма

$$\begin{aligned} & \text{Транспортная метамодель} \rightarrow \text{Транспортная} \\ & \text{онтология} \rightarrow \text{Управление транспортом} \quad (4) \end{aligned}$$

Парадигма (4) показывает связь транспортной онтологии с управлением транспорта. Использование онтологий в сфере транспорта многообразно. Одним из примеров является использование онтологий для повышения надежности грузоперевозок [9].

Особенность транспортной онтологии состоит в использовании пространственного знания и геознания. Транспортная онтология не только использует знание, но формирует новое знание, включая пространственное знание [10]. Наряду с прикладными онтологиями предметной области, помогающими решать проблемы предметной области, в сфере транспорта существуют частные онтологии для решения частных задач. Примером частной транспортной онтологии является онтология транспортных сетей (OTN) [11], которая формируется к обобщение связанных гео-данных. Примером другой частной онтологии является онтология транспортных сбоев [12]. Она создана как топологическая структура, в которая моделируют событий, сопряженные с поездками и допустимыми ситуациями.

**Общее развитие онтологий**

Как всякий научный метод транспортная онтология связана с развитием теории онтологий. Теория онтологий не стоит на месте и развивается на основе применения онтологий и выявления новых ситуаций в их применении. Основная историческая концепция онтологий состоит в попытке описать картину мира и существующий в ней порядок.

Исследования в области транспорта выявили важность структур знаний предметной области для различных целей: для оценки сцен движения в приложениях реального времени, для обеспе-

чения автоматической поддержки проектирования и анализа систем мониторинга производительности для систем общественного транспорта или для выведения знаний с целью помощи в управлении испытаниями подвижных объектов.

В прикладном аспекте разработка прикладной онтологии или онтологической модели сводится к формированию на начальном этапе глоссария терминов и понятий частной задачи или предметной области [13, 14]. Этой областью может быть киберпространство [15], станция, участок дороги.

Онтологический глоссарий отличается от обычных словарей связанностью и наличием отношений между понятиями. С позиций информатики его можно интерпретировать как систему онтологических информационных единиц (ОИЕ). ОИЕ представляет собой три компонента: термин, дефиниция, отношение дефиниции к другим терминам. Именно отношение отличает онтологический глоссарий от словарей.

ОИЕ транспортной онтологии отражают объекты реальности: физические и юридические лица, сооружения, подвижный состав, железнодорожные пути и прочее. В систему информационных единиц следует включать функциональные и атрибутивные понятия разных областей: организационные, технические экономические, управленческие, интеллектуальные, информационные [16], коммуникационные [17].

Второй этап построения онтологии заключается в нахождении оптимальных соответствий между понятием и дефиницией. Дефиниция должна отражать сущность. На третьем этапе создания онтологии формируют семантические отношения. Иногда для этой цели применяют также онтологический подход [9].

Транспортная онтология как онтология предметной области по существу является частью семантической сети. Это приводит к понятию связанных данных. Связанные данные в основном используют информационные или семантические отношения. аналогом является реляционная база данных, в которой связь между данными осуществляется на основе реляционных отношений.

Благодаря использованию информационно-измерительных систем [18] информация о сущностях транспортной инфраструктуры собирается автоматически. Транспортные онтологии, применяемые в беспилотном и интеллектуальном управлении, используют информацию, получаемую в режиме реального времени.

Каждый раз, когда случается нештатная ситуация, обнаруживаются опасные ситуации, и для того, чтобы с ними справиться, необходимы навыки машинистов. Для поддержки действий машиниста предложено [19] интегрировать онтологию в каждое транспортное средство, чтобы повысить оперативность принятия решений. Этот подход приносит пользу управлению движением в чрезвычайных ситуациях с помощью немедленных решений, где каждое транспортное средство является точкой принятия решений, реагирует с учетом соседних транспортных средств и сотрудничает с ними для достижения консенсуса в ре-

жиме реального времени.

Внедрение беспилотных транспортных средств [3] без постоянного человеческого надзора требует функционального системного описания, включая функциональные границы системы и всесторонний анализ безопасности. Эти входы в техническую разработку могут быть идентифицированы и проанализированы с помощью подхода, основанного на сценариях. Кроме того, для установления экономического процесса тестирования и выпуска необходимо определить большое количество сценариев для получения значимых результатов тестирования. Эксперты преуспевают в определении сценариев, с которыми трудно справиться или которые вряд ли произойдут. Однако эксперты вряд ли идентифицируют все возможные сценарии на основе имеющихся у них знаний. Экспертные знания, смоделированные для автоматизированной обработки, могут помочь в предоставлении широкого спектра сценариев. В этом вкладе рассматриваются онтологии как системы, основанные на знаниях, в области автоматизированных транспортных средств и предлагается генерация сцен [20] дорожного движения на естественном языке в качестве основы для создания сценария

Транспортные исследования в значительной степени опираются на различные данные. От датчиков до опросов, данные поддерживают ежедневные операции, а также долгосрочное планирование и принятие решений. Проблемы, возникающие из-за объема и разнообразия данных, которые встречаются в транспортных исследованиях, могут быть эффективно решены онтологиями. Однако на предварительном этапе для формирования онтологий необходима интеграция информации [21]. В настоящее время подобная интеграция выполняется через частные схемы, поскольку отсутствует общая методика интеграции.

Данные о транспорте разнообразны и сложны; они поступают от разных организаций, датчиков, опросов и других средств сбора данных. Это создает гетерогенность исходной информации. Гетерогенность обусловлена тем, что информация поступает от разных устройств, датчиков из разных технологий.

Проблема интеграции данных из нескольких не связанных между собой источников состоит в том, что семантика данных неточна, неоднозначна и перекрывается. Это особенно актуально в мире, где все больше и больше используемых данных открыто публикуются в Интернете.

Ранние успехи в интеграции данных основывались на предположении о независимости данных. В частности, не связанные между собой источники данных были идентифицированы исключительно на основе геопространственного [10] местоположения или уникального идентификатора человека или организации. Более сложные аналитические проекты, требующие объединения наборов данных с перекрывающейся семантикой, влекут за собой значительные усилия по преобразованию данных во что-то пригодное

для использования. Становится все более очевидным, что достижение взаимодействия между отдельными наборами данных требует внимания к семантике базовых атрибутов и их значений. Первоначальный обзор литературы выявляет ряд существующих транспортных онтологий, однако связь между ними неясна

Для формирования онтологий предлагают технологию «маркировки информации». Она включает процессы дополнения информации к первичным данным. С использованием метода маркировки предложен [9] подход создания глобальной онтологии (AGO) для автотранспорта. Этот подход включает создание графовых баз данных для моделирования семантики в автотранспортной области.

### **Онтологии в интеллектуальных транспортных системах**

В среде интеллектуальной транспортной системы (ИТС) компонент коммуникации имеет большое значение для поддержки взаимодействия между транспортными средствами и придорожной инфраструктурой. Многие исследования сосредоточены на физических возможностях и мощности коммуникационных технологий. Однако не менее важной является разработка эффективного семантического контента для передачи управленческой информации и накоплению опыта.

Онтология является одним из перспективных подходов к моделированию контекста в повсеместных вычислительных средах, и в транспортной области. Она может использоваться для моделирования контекста и семантического контента. В статье [21] рассматривается разработка онтологической модели, реализующей относительные геосемантические информационные сообщения для поддержки коммуникаций между транспортными средствами.

Следует отметить, что в транспортных и пространственных онтологиях часто появляется префикс «гео». Этим подчеркивается связь геоинформатики с транспортными онтологиями.

В транспортных онтологиях для ИТС появляется необходимость логического анализа и применения специальных логических моделей для подвижных объектов [22].

Транспортная модель онтологии содержит классы, объекты, их свойства/отношения, а также некоторые функции и шаблоны запросов для представления и обновления информации о динамических транспортных средствах, взаимодействиях между транспортными средствами и поведении. Модель [21] была разработана с помощью сценария, позволяющего оценивать подходы к разрешению конфликтов на дорогах путем реализации набора процессов принятия решений для интеллектуальных транспортных средств. Учитывая масштаб предлагаемого онтологического моделирования, оно показывает, как можно использовать транспортные коммуникации для обновления контекстной модели каждого транспортного средства. Эту работу можно легко расширить для более сложных взаимодействий

между транспортными средствами и инфраструктурой.

Важным аспектом транспортной онтологии является необходимость работы с сетевыми структурами, которые образует граф дорог. Дорожно-транспортные сети представляют собой системы, содержащие сложные взаимодействия между быстро движущимися транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, например, светофорами. Для повышения безопасности, мобильности и эффективности дорожного транспорта были разработаны различные подходы к пониманию и изучению того, как работают такие сложные системы. Одним из подходов к достижению вышеупомянутой цели является прямое вмешательство в транспортные системы путем внедрения транспортных средств и инфраструктуры, осознающих ситуацию, содержащих передовые информационные, коммуникационные и сенсорные технологии. Интеграция таких передовых технологий представляет собой разработку интеллектуальных транспортных систем.

В среде ИТС компонент коммуникации имеет большое значение для поддержки взаимодействия между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой. Стандарт выделенной ближней связи (DSRC) был разработан специально для поддержки ближней связи между быстро движущимися транспортными средствами и инфраструктурой. DSRC позволяет транспортным средствам и придорожным объектам отправлять и получать сообщения для решения потенциальных проблем, например, дорожно-транспортных происшествий или приоритета автомобилей экстренных служб.

Задачи транспортировки становятся все более сложными с годами, поэтому может возникнуть необходимость в общей системе, которая может моделировать множество вариантов задач транспортировки. Наша цель — представить такую систему на основе компонентов известной логистической модели задачи маршрутизации транспортных средств (vehicle Routing Problem - VRP). Базовая задача маршрутизации транспортных средств состоит из следующих элементов: клиенты, один склад, транспортные средства и требования клиентов. Транспортные средства перевозят продукцию со склада к клиентам, а затем возвращаются на склад. Целевая функция — минимизация длины маршрута, пройденного транспортными средствами. В базовой VRP можно сформулировать следующие ограничения: входящие и исходящие ребра каждого узла должны быть одинаковыми; каждый клиент должен быть посещен один раз; транспортные средства имеют ограничение по вместимости (которое одинаково для всех транспортных средств); количество посещений склада равно количеству транспортных средств.

Онтологии можно характеризовать как модели обобщения. При снятии ограничений в обобщенной онтология может выйти за пределы транспортной области. Поэтому при формировании транспортных онтологий необходимо вводить



ограничения на обобщение в виде обязательных ключевых терминов.

С топологической точки зрения транспортные онтологии имеют несколько топологических структур. Онтология как сетевая модель имеет формализованную информационную структуру. Транспортная онтология служит основой для структурирования и интеграции данных и информации для построения целостной управленческой ситуации, в которой находится подвижный объект. Эта онтология строится на сетевых пространственных моделях.

Набор онтологий в цифровой форме может служить инструментом для разработки приложений для управления. Эта онтология строится на цифровых пространственных моделях. Основой управленческих приложений являются сетевые модели: семантическая сеть терминов и связанные данные. Онтологии, разработанные на основе сетевых моделей полезны для специалистов технологического управления, для специалистов стратегического управления и для академических исследователей, работающих в области транспорта. В этой области существует проблема формирования систематики методов интеграции информации для построения онтологий.

Целью работ в области онтологий транспорта является: предоставление интеллектуального ресурса для сообщества исследователей транспорта, чтобы помочь в выборе среди существующих транспортных онтологий; определить теоретические исследования по разработке транспортных онтологий, путем выявления областей их эффективного применения.

### **Заключение**

Онтологии предоставляют средства представления знаний; они охватывают интересующую область, формально определяя соответствующие концепции в области и отношения между этими концепциями. Область транспорта может значительно выиграть от применения онтологий

Транспортные онтологии разработаны для разных приложений и рассматривают разные аспекты транспортной области. Существует опыт применения и идентификации онтологий и подонтологий [21] в транспортной области. Этот опыт дают основание на введение понятия «транспортная онтология». Транспортные исследования в значительной степени опираются на различные данные. От датчиков до опросов, данные поддерживают ежедневные операции, а также долгосрочное планирование и принятие решений. Проблемы, возникающие из-за объема и разнообразия данных, которые встречаются в транспортных исследованиях, могут быть эффективно решены онтологиями. Эта возможность уже была признана — существует ряд существующих транспортных онтологий, однако связь между ними неясна.

Развитие современной транспортной системы выдвигает обязательное требование применение транспортных онтологий. Развитие современного управления транспортом выдвигает обязательное

требование применение онтологического управления. Пока не создана методика построения транспортных онтологий. Проблема интеграции гетерогенной информации также не разработана. Еще одна проблема связана с онтологической неопределенностью, обусловленную информационную неопределенностью. Решение перечисленных проблем можно считать дальнейшей задачей развития транспортных онтологий.

**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. 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.
3. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 50059.
4. Розенберг И.Н., Дулин С.К. Об онтологическом статусе изображения // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 1(13). – С.3-14.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
6. Urbietta I. et al. Design and implementation of an ontology for semantic labeling and testing: automotive global ontology (AGO) //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 17. – С. 7782.
7. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
8. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. - №8. – С. 48-51.
9. Dorofeev A. et al. Development of transportation management system with the use of ontological and architectural approaches to ensure trucking reliability //Sustainability. – 2020. – Т. 12. – №. 20. – С. 8504.
10. Кудж С.А., Курдюков Н.С. Онтологические геореференции // Информация и космос. -2024. №2. С.128- 131.
11. Lorenz, B.; Ohlbach, H.; Yang, L. Ontology of Traffic Networks (OTN). REWERSE Proj. Publ. 2005.
12. Corsar, D.; Markovic, M.; Edwards, P.; Nelson, J.D. The transport disruption ontology. In The Semantic Web—ISWC 2015. Lecture Notes in Computer Science; Arenas, M., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2015; Volume 9367, pp. 329–336.
13. Dietz, J.L.G. Enterprise Ontology; Springer: Berlin, Germany, 2006; pp. 16–83.
14. Negri, E.; Perotti, S.; Fumagalli, L.; Marchet, G.; Garetti, M. Modelling internal logistics systems through ontologies. Comput. Ind. 2017, 88, 19–34.
15. Цветков В.Я., Курдюков Н.С. Анализ развития киберпространства // Информатизация образования и науки. 2024. 4(64). С.6-15.
16. Leukel, J.; Kirn, S. A Supply Chain Management Approach to Logistics Ontologies in Information Systems. In Business Information Systems; Springer: Berlin, Germany, 2008; Volume 7, pp. 95–106.
17. Choi S. K. An ontological model to support communications of situation-aware vehicles // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – Т. 53. – С. 112-133.
18. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. – 94 с.
19. Bermejo A. J. et al. Ontology based road traffic management //Intelligent Distributed Computing VI: Proceedings of the 6th International Symposium on Intelligent Distributed Computing-IDC 2012, Calabria, Italy, September 2012. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 103-108.
20. Bagschik G., Menzel T., Maurer M. Ontology based scene creation for the development of automated vehicles //2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2018. – С. 1813-1820.
21. Katsumi M., Fox M. Ontologies for transportation research: A survey //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2018. – Т. 89. – С. 53-82.
22. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Logical model of mobile object control // Nexo Revista Científica. 2021. Т. 34. № 01. С. 504-513.

УДК: 001.895,621.396.931, 656.3

## ОПЫТ КНР В ОБЛАСТИ ОСНАЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**Озеров А.В.**

Начальник Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Москва, Россия

### Аннотация

Китай является лидером в области развития высокоскоростного железнодорожного сообщения и активно развивает системы технологической радиосвязи для оснащения высокоскоростных магистралей. В статье рассмотрены основные характеристики существующей технологической радиосвязи 450 МГц и GSM-R, указаны особенности построения китайской системы управления и обеспечения безопасности движения поездов CTCS, этапы миграции к широкополосной беспроводной связи на основе спецификаций FRMCS, приведены примеры применения 5G на железных дорогах Китая.

### Ключевые слова:

транспорт, Китай, BCM, CTCS, ETCS/ERTMS, GSM-R, FRMCS, 5G.

## CHINA EXPERIENCE IN IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGICAL RADIO

**Ozerov A.V.**

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

### Annotation

China is the leader in the development of high-speed railways and is actively developing technological radio communication systems to equip high-speed lines. The article discusses the main characteristics of the existing technological radio communication 450 MHz and GSM-R, identifies the features of the development of the Chinese Train Control System (CTCS), the stages of migration to broadband wireless communications based on FRMCS specifications, and provides examples of the use of 5G on Chinese railways.

### Keywords:

transport, transport cyberspace, information threats.

На сегодняшний день Китай является безусловным мировым лидером по протяженности и темпам строительства железнодорожной сети, которая на текущий момент составляет 160 тыс. км, из которых 46 тыс. км приходится на высокоскоростные магистрали (ВСМ). Согласно государственной программе развития железнодорожного транспорта КНР, к 2035 году общая протяженность железнодорожной сети страны должна достичь 200 000 км, включая 70 000 км ВСМ [1]. При этом большое внимание в программе уделяется развитию систем беспроводной связи, как важнейшего элемента системы управления и обеспечения безопасности движения поездов.

Для обеспечения высокоскоростного сообщения в Китае практически вся сеть охвачена беспроводной

системой диспетчерской связи 450 МГц и системой GSM-R с частотой 900 МГц. Беспроводная система диспетчерской связи, внедряемая в КНР с 1981 г., используется для голосовой связи и передачи приказов диспетчера. В период до 2015 г. система связи 450 МГц внедрялась быстрыми темпами и до сих пор функционирует на 50 тыс. км линий. В настоящее время Министерство промышленности и информатизации КНР прекратило выдачу согласований на ввод в эксплуатацию новых объектов данного вида связи. Систему планируется постепенно заменить на более современное решение. В стране разработан ряд национальных технических стандартов на беспроводную систему связи диапазона 450 МГц. Ее радиочастотные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1.

### Радиочастотные характеристики системы диапазона 450 МГц

Параметры	Технические характеристики
Диапазон частот (МГц)	457,2-458,650 (подвижная станция ->базовая станция) 467,2 – 468,650 (базовая станция ->подвижная станция)
Разнос каналов (кГц)	25
Допуск по частоте	$\leq 5 \times 10^{-6}$
Усиление антенны (дБи)	Стационарная радиостанция: 9 (всенаправленное), 12 (направленное) Бортовая станция: 0
Мощность передающего излучения (дБ на мВт)	Стационарная радиостанция: 34,7 – 37 (симплексная), 37 – 40 (дуплексная) Бортовая радиостанция: 37 (симплексная), 40 (дуплексная) Портативная станция: 34,7
Тип модуляции	Частотная
Мощность по соседнему каналу (соотношение) (дБ)	$\geq 65$
Ограничение модуляции (кГц)	$\leq 5$
Подавление внутриканальной помехи (дБ)	$\geq -8$

Связевую часть системы CTCSS высоких уровней составляет подсистема радиосвязи на базе технологии GSM-R. GSM-R была впервые внедрена в КНР на линии Цинхай – Тибет. С 2006 г. она внедрялась на всех новых железнодорожных линиях. Связь стандарта GSM-R функционирует в комплексе с системой управления движением CTCSS уровень 2 и 3, которыми в континентальном Китае оборудуются высокоскоростные поезда всех серий. GSM-R на железных дорогах КНР выполняет две функции [2]:

Передача голоса:

- голосовая связь между машинистом и диспетчером;

- голосовая связь между диспетчером и машинистом;  
- экстренная железнодорожная связь;  
- связь с работающими на путях;  
- публичный экстренный вызов и т.д.

Передача данных:

- связь для автоведения;  
- мониторинг и управление критически важной инфраструктурой;  
- обмен данными для маневровой работы и т.д.  
В КНР разработан ряд национальных технических стандартов в области GSM-R. Радиочастотные характеристики связи стандарта GSM-R в КНР



приведены в таблице 2.

Первая высокоскоростная линия в Китае была запущена в 2008 году. Поезда на новых линиях ВСМ курсируют с максимальной скоростью 350 км/ч. С целью обеспечения требуемого уровня безопасности перевозок при участии зарубежных компаний была создана национальная система управления движением поездов CTCS, которая основана на технологиях европейской системы ETCS/ERTMS. Технологии адаптированы к национальным условиям, включая применение рельсовых цепей как

одного из каналов передачи информации с пути на поезд (наряду с радиоканалом).

По аналогии с системой ETCS/ERTMS, система CTCS имеет несколько уровней. При скоростях движения 200-250 км/ч используется система CTCS-2, где рельсовые цепи применяются для контроля занятости участка и передачи информации на поезд, по аналогии с французской системой TVM, от которой в КНР были позаимствованы резонансные рельсовые цепи.

Таблица 2.

**Радиочастотные характеристики системы диапазона 900 МГц**

Параметры	Технические характеристики
Диапазон частот (МГц)	885,0 ~ 889,0 (подвижная станция -> базовая станция) 930,0 ~ 934,0 (базовая станция -> подвижная станция)
Разнос каналов (кГц)	200
Усиление антенны (дБи)	Базовая станция: 65° (ширина луча на уровне половинной мощности): 17 или 33° (ширина луча на уровне половинной мощности): 21 Подвижная станция: ≥0
Поляризация	Двойная поляризация
Мощность передающего излучения (дБ на мВт)	Частотная Портативная станция: 33 Бортовая станция: 39 Базовая станция: 46
Модуляция	Гауссова манипуляция с минимальным частотным сдвигом
Метод мультиплексирования	С разделением по времени
Чувствительность приемника (дБ на мВт)	Подвижная станция: ≤ -104 Базовая станция: ≤ -110

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

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

без его остановки [3].

На сети ВСМ Китая достигнута интероперабельность – техническая и эксплуатационная совместимость. Это означает, что поезда могут беспрепятственно переходить с линий, оборудованных CTCS уровня 2, на линии с CTCS уровня 3 и обратно. Также обеспечена эксплуатационная совместимость бортовых устройств, построенных на разных платформах, т.е. поезда, оснащенные бортовыми устройствами разных поставщиков, могут обращаться на линиях с центрами радиоблокировки разных изготовителей.

Еще один уровень системы CTCS (CTCS-4) находится в стадии разработки и рассматривается в качестве перспективного варианты системы нового поколения. Он предусматривает реализацию принципа подвижного блок-участка, использование интегрированного навигационного модуля на основе данных национальной спутниковой системы BeiDou и цифровой карты для задач высоко-

точного позиционирования, применение новых видов беспроводной связи типа LTE-R и 5G для двусторонней передачи ответственной информации между поездом и центром радиоблокировки RBC (рисунок 1).

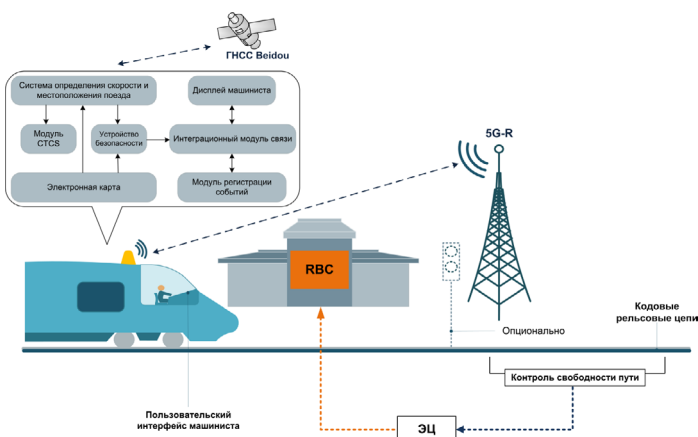


Рисунок 1. Архитектура перспективной китайской CTCS уровень 4

Как известно, стандарт GSM-R является устаревшей системой мобильной связи, не обеспечивающей новые требования к скорости и объему передаваемых данных. С 2015 года Китай ведет планомерную работу по разработке системы связи нового поколения на основе спецификаций FRMCS (Future Railway Mobile Communication System, система железнодорожной связи следующего поколения), разрабатываемых Международным союзом железных дорог [4]. В 2020 году Китайские железные дороги (КЖД) опубликовали «Заключение по внедрению и развитию технологии 5G в железнодорожной отрасли» и «Трехлетний план действий по научным и технологическим исследованиям по применению технологии 5G в железнодорожной отрасли». Было запланировано завершить ключевые технологические исследования и разработать основное оборудование для железнодорожной сети 5G к 2023 году.

Компания ZTE и Китайская академия железнодорожных наук (CARS) создали лабораторию для проведения испытаний железнодорожного оборудования связи пятого поколения. В перспективе все высокоскоростные поезда будут проходить тестирование на испытательном кольце перед началом опытной эксплуатации.

КЖД проводят активные изыскательские и инженерные работы по следующим направлениям развития железнодорожной широкополосной беспроводной связи пятого поколения 5G-R:

- частотные характеристики и электромагнитная совместимость;
- общие технические требования и ключевые технические решения;
- разработка оборудования;
- железнодорожное применение и ключевые службы;
- технология проверки напряженности поля и качества обслуживания;
- теория и метод построения высокоскоростной железнодорожной сети связи;
- стандартизация 5G-R;
- ключевые технические решения и планы ис-

пытания системы управления движением поезда с использованием сетей пятого поколения [5].

К числу основных задач, которые предполагается решать за счет применения широкополосной подвижной связи пятого поколения, относятся следующие:

- управление движением поезда, диспетчерская централизация, ремонт объектов инфраструктуры: диспетчерская связь, управление движением поезда, передача данных и видеoinформации в интересах диспетчерского управления;

- станционная работа: маневровая работа, контроль маневровых перемещений, автоматизация сортировочных станций, работа пассажирских станций, загрузка данных на бортовые устройства, технологические операции на основе интернета вещей на станциях и в парках;

- контроль состояния объектов инфраструктуры: зоны особого интереса на перегонах, мосты, туннели, контактная сеть, посты управления;

- поездные службы: контроль местоположения поезда, беспилотное вождение поездов, контроль состояния подвижного оборудования, умная диагностика, пассажирские услуги, видеонаблюдение в поездах.

В феврале 2019 г. Huawei и China Mobile внедрили сеть связи пятого поколения на станции Хонцяо в Шанхае. Это один из крупнейших объектов транспортной инфраструктуры в Азии с годичным пассажиропотоком в 60 млн. человек. Хонцяо стала первой железнодорожной станцией, на которой была внедрена цифровая система связи пятого поколения для помещений (5G Digital indoor system, DIS). На церемонии ввода системы в эксплуатацию была продемонстрирована пиковая скорость в 1,2 Гб/с [6].

В 2020 г. введена в эксплуатацию первая железнодорожная сеть связи 5G с полным покрытием на высокоскоростной магистрали Гуанчжоу – Шэньчжэнь – Гонконг протяженностью 142 км. По маршруту построено более 300 базовых станций, благодаря чему связь доступна на протяжении всей магистрали, в т.ч. в туннелях и на вокзалах. Для создания такой сети был организован альянс 5G-индустрии, в который вошли China Mobile, Huawei и др. В преддверии Зимних Олимпийских игр 2022 года была также запущена сеть 5G на ВСМ Пекин – Чжэньцзяо протяженностью 170 км, где было размещено около 400 базовых станций, что обеспечило стабильность сигнала в поезде Fuxing (Olympic Express) на скорости 350 км/ч.

В сентябре 2022 г., в ходе 9-го Всемирного железнодорожного форума Huawei (9th Huawei Global Rail Summit), который проводился на полях международной железнодорожной выставки InnoTrans в г. Берлине, компания Huawei представила разработанное ею техническое решение на основе спецификаций FRMCS. Система имеет следующие функциональные возможности:

- Службы беспроводной поездной связи в составе решений по управлению движением поезда, эксплуатации и содержанию пути, а также в области Интернета вещей;

- Контроль состояния локомотива;

- Контроль поездной обстановки;
- Визуализация управления работой ремонтных бригад.

Решение основано на разработанной в Huawei технологии «умного многоканального входа – многоканального выхода с 8 передатчиками и 8 приемниками» (8T8R Smart MIMO), которая при частоте 1900 МГц позволяет получить покрытие, аналогичное покрытию системы GSM-R на частоте 900 МГц, при условии использования высокоомощных устройств (например, бортовой радиостанции мощностью 31 дБ на мВт). Покрытие такого решения на 10 – 15% выше, чем у решений типа 4T4R. При этом обеспечивается резервирование основных электронных плат, сетевых компонентов и беспроводных сетей [7].

Начиная с 2020 г. компания ZTE совместно с China Mobile, Бюро городского транспорта Гуанчжоу, метрополитеном Гуанчжоу, Группой компаний КЖД-Гуанчжоу и др. принимает участие в комплексном демонстрационном проекте по широкому внедрению сетей пятого поколения в городе Гуанчжоу [8]. Проектом охвачены железнодорожный транспорт, метрополитен, автобусные маршруты, объекты инфраструктуры. Применительно к железнодорожному транспорту были внедрены следующие технические решения с использованием сетей связи пятого поколения:

- Система предупреждения об опасности впереди поезда. Система осуществляет мониторинг пути на глубину не менее 8 км впереди идущего поезда. При обнаружении опасности стационарная часть системы по каналам связи пятого поколения направляет на поезд соответствующее предупреждение.

- Сбор оперативной информации об эксплуатации подвижного состава. Система заменяет прежний порядок ручного копирования данных в депо, ускоряя процесс резервирования данных в 10 раз.

- Осмотр ходовой части подвижного состава. Система использует современные видеокамеры и интеллектуальные алгоритмы, за счет которых позволяет произвести осмотр за две минуты вместо двухчасовой инспекции традиционными способами.

На сортировочных станциях использование частной сети связи пятого поколения позволило сократить число оперативных сотрудников на 30% и увеличить перерабатывающую способность станции с 8 тыс. до 10 тыс. единиц подвижного состава при максимальном значении в 20 тыс. [9].

В настоящее время Китай занимает первое место в мире по темпам внедрения широкополосной беспроводной связи 5G, при этом развертывание системы беспроводной связи нового поколения на железных дорогах рассматривается как часть многолетней государственной программы по развитию железнодорожного транспорта страны, в реализацию которой вовлечены многочисленные научно-исследовательские организации, разработчики и производители железнодорожной техники и телекоммуникационного оборудования. О серьезной поддержке данного направления со стороны государства свидетельствует и то, что Китай опережает

другие страны в области патентования изобретений, связанных с широкополосной беспроводной связью и ее применением на железнодорожном транспорте.

**Список литературы**

1. Протяженность сети железных дорог Китая достигла 160 000 километров [Электронный ресурс] / URL: <https://zdmira.com/news/protyazhennost-seti-zheleznykh-dorog-kitaya-dostigla-160-000-kilometrov> (дата обращения 21.08.2024).
2. Current and future usage of railway radiocommunication systems between train and trackside. – Report ITU-R M.2442-0. – International Telecommunication Union. – 2018. – 142 p.
3. Озеров, А.В. Принципы построения систем управления движением поездов на высокоскоростных линиях зарубежных стран / Озеров А.В. // Москва: Наука и технологии железных дорог. – 2023. – № 3(27). – С. 3-7.
4. Озеров, А.В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А.В. Озеров, А.П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24.
5. Презентация «Research Progress of China Railway New Generation Mobile Communication System», Китайские железные дороги, 2022. – 21 с.
6. 5G-powered Rail Station in Shanghai. [Электронный ресурс] / URL: <https://carrier.huawei.com/en/success-stories/Industries-5G/Trainsc> (дата обращения: 16.11.2024).
7. Huawei Launches FRMCS Solution to Facilitate Digital Transformation of Railway. [Электронный ресурс] / URL: <https://e.huawei.com/en/news/ebg/2022/launches-frmcs-facilitate-digital-transformation> (дата обращения: 17.11.2024).
8. ZTE Technologies – Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) / China, No. 5 (Vol. 26). – 2024. – 44 p.
9. ZTE and its partners win second prize for Guangzhou 5G Smart Railway case at 2022 World 5G Convention. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.zte.com.cn/global/about/news/20220929e1.html> (дата обращения: 18.11.2024).



УДК: 523.21

## РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАТИКИ ТРАНСПОРТА

**Павловский А.А.**

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

### **Аннотация**

В статье исследуются особенности развития транспортной геоинформатики, в развитие геоинформатики и информатики. Ее корнями является география транспортных сетей. Дан анализ структуры транспортной геоинформатики. Выполнен лингвистический анализ понятий транспортной геоинформатики. Показано различие между транспортной категорией и дефиницией. Транспортная геоинформатика включает теорию управления и поэтому используется для управления транспортной инфраструктурой. Отмечены особенности транспортной геоинформатики которые отличают ее от обычной геоинформатики. Описаны методы пространственного мониторинга как основного инструмента получения пространственной информации о транспортной инфраструктуре. Показано значение геоинформационного моделирования для решения задач анализа и управления.

### **Ключевые слова:**

транспорт, транспортная геоинформатика, пространственное моделирование, геоинформационное моделирование, пространственный мониторинг.

## DEVELOPMENT OF TRANSPORT GEOINFORMATICS

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

### **Annotation**

The article examines the development features of transport geoinformatics, in the development of geoinformatics and informatics. Its roots are the geography of transport networks. The analysis of the structure of transport geoinformatics is given. A linguistic analysis of the concepts of transport geoinformatics is performed. The difference between a transport category and a definition is shown. Transport geoinformatics includes management theory and is therefore used to manage transport infrastructure. The features of transport geoinformatics that distinguish it from conventional geoinformatics are noted. The methods of spatial monitoring as the main tool for obtaining spatial information about transport infrastructure are described. The importance of geoinformation modeling for solving analysis and management problems is shown.

### **Keywords:**

transport, transport geoinformatics, spatial modeling, geoinformation modeling, spatial monitoring.

**Введение**

Развитие геоинформатики, как многих наук, включает ее интеграцию и ее дифференциацию. Ареал геоинформатики включает общую и прикладную геоинформатику. Общая геоинформатика вышла за рамки земных наук и развивается как наука о пространстве [1]. Отсюда транспортная геоинформатика развивается как наука о транспортном пространстве. Соответственно, это обуславливает применение моделей различных пространств в транспортной геоинформатике. Интеграция общей геоинформатики состоит в использовании методов других наук [2]. Дифференциация геоинформатики состоит в появлении специализированных геоинформатик.

Веткой геоинформатики является экологическая геоинформатика [4]. Экологическая геоинформатика решает задачи экологии и направлена на исследование окружающей среды. Она тесно связана с транспортной геоинформатикой. Применение геоинформатики в космических исследованиях привело к появлению космической геоинформатики. Как транспортное приложение развивается логистическая геоинформатика [5]. Применение геоинформатики в медицине привело к появлению медицинской геоинформатики [6]. Применение геоинформатики в экономике привело к появлению экономической геоинформатики [7]. Исследование динамических процессов привело к появлению динамической геоинформатики [8]. Применение геоинформатики в сфере транспорта приводит к логической целесообразности формирования геоинформатики транспорта [9]. Основой моделирования в транспортной геоинформатике является цифровое моделирование и геоинформационное моделирование [10]. Это особенно важно в условиях цифровой трансформации общества.

**Лингвистические аспекты транспортной геоинформатики**

Формальная определенность любой науки, включая геоинформатику, является одним из признаков ее завершенности. Данное свойство означает, что системное описание осуществляется через информационные единицы [11, 12] которые заложили основу формальной построения в данной предметной области. Информационные единицы являются одним из имманентных атрибутов геоинформатики. Одним из формальных видов информационных единиц в геоинформатике являются понятия. Понятия есть лингвистические информационные единицы. Большинство понятий в геоинформатике имеют дефиниции. Понятие выступает как результат научного обобщения. Оно не является жестко определенным, эволюционирует с развитием геоинформатики это выражается в коррекции дефиниций. Таку эволюцию понятия можно рассматривать как итеративное моделирование [13, 14].

Категории в геоинформатике можно рассматривать как наиболее общие понятия, которые также рубрицируют предметную область. При этом необходимо учитывать, что границы кате-

горий являются нечеткими и перекрываются. Категории в геоинформатике выступают средством систематизации накопленных знаний на текущем уровне развития геоинформатики. Изучая категории в геоинформатике, мы исследуем состояние и тенденции развития данной науки. Изучая категории в геоинформатике, мы исследуем также систему понятий, отражающих текущее состояние науки и проблемы, которые в ней существуют.

Дефиниция в геоинформатике указывает на границы применения понятия с помощью лингвистической информационной конструкции, связывающей атрибуты и отношения. Научный процесс заимствования лексической единицы из одной области в другую представляет собой придание нового содержания новому термину и адекватное отражение новой подобласти, которая ранее была недоопределенной. Общие категории в геоинформатике указывают на подобласти геоинформатики. Такой общей категорией в геоинформатике является «геоинформатика транспорта». В отличие от работы Бронникова [5], которая в основном выполняет ретроспективный анализ, данная работа направлена на перспективу.

С лингвистической позицией геоинформатика транспорта или транспортная геоинформатика есть синонимы. Геоинформатика транспорта в настоящем есть новое научное направление, которое связано с геоинформатикой и искусственным интеллектом [16, 17]. Современная геоинформатика транспорта широко применяет пространственную логику, в частности для задач цифровой железной дороги, транспортных кибер-физических систем и для беспилотного управления [18].

**Структура транспортной геоинформатики**

В отличие от точки зрения в [15], где геоинформатику транспорта связывают с прикладной геоинформатикой, в данной работе выдвигается другая точка зрения. По мнению автора геоинформатика транспорта включает научную и теоретическую компоненту, а не только прикладную как в [15]. На рис.1 дана структура транспортной геоинформатики

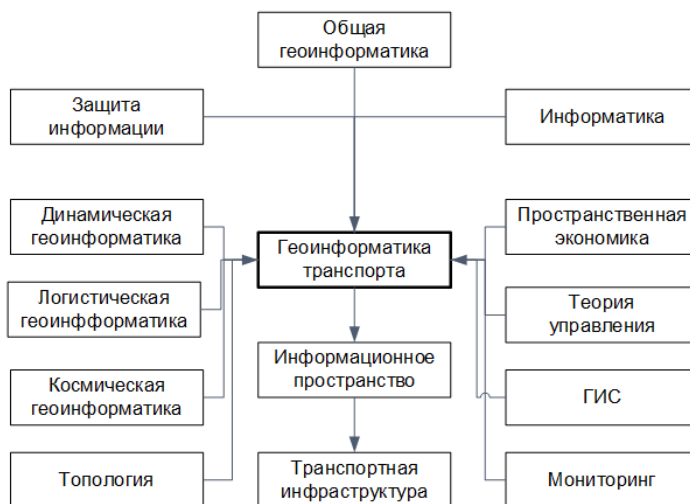


Рисунок 1. Компоненты транспортной геоинформатики

Транспортная геоинформатика развивалась на основе географии транспортных сетей. Поэтому топология является важным компонентом транспортной геоинформатики. Методической основой в обработке информации является информатика. Транспортная геоинформатика широко использует сети и коммуникации, которые являются открытыми системами. В связи с этим информационная безопасность, а также кибербезопасность являются составляющими геоинформатики транспорта.

В современной геоинформатике и транспортной геоинформатике сбор информации осуществляют информационно-измерительные системы [19]. В настоящее время большое количество информации поступает через визуальный канал. Это в основном контроль сбора информации. В современной геоинформатике этот фактор необходимо учитывать за счет технологий рецепции информации [20-22]. Фактор рецепции должен учитываться при управлении транспортным средством при помощи машиниста. Фактор рецепции информации должен приниматься во внимание при построении алгоритмов беспилотных систем.

Транспортная геоинформатика использует пространственную экономику для решения экономических задач. Динамическая геоинформатика в транспортной геоинформатике используется для анализа и управления движением. Основным объектом управления транспортной геоинформатики является транспортная инфраструктура. Космическая геоинформатика в транспортной геоинформатике используется для мониторинга транспорта и для управления. Современная транспортная геоинформатика широко использует методы искусственного интеллекта.

В транспортной геоинформатике большую роль играет управление. Поэтому теория управления входит в транспортную геоинформатику в большем объеме, чем в обычную геоинформатику. Современная транспортная геоинформатика включает методы цифровой трансформации транспорта [23]. В современной геоинформатике большое значение имеет геоинформационное пространство и геоинформационное поле [24]. В транспортной геоинформатике большое значение имеет моделирование. К числу новых видов относят ономазиологическое моделирование и семасиологическое моделирование.

### **Особенности транспортной геоинформатики**

В транспортной геоинформатике большое значение имеет мониторинг подвижных объектов. В этом мониторинге основным объектом наблюдения является пространственный комплекс, включающий объекты, ситуации, процессы, закономерности процессов и модели взаимодействий. Выделяют несколько типов информационных взаимодействий в транспортной геоинформатике. Они делятся на объектные, субъектные и ситуационные. Объектные взаимодействия имеют место между объектами, в основном между подвижными объектами, например, в рамках ЦЖД [25].

Объектные взаимодействия осуществляются при управлении в системе «машинист – транспортный объект», «диспетчер транспортный объект». Ситуационные информационные взаимодействия имеют место при беспилотном управлении транспортном [26]

Главным в мониторинге подвижных объектов для транспортной геоинформатики является выявление состояния подвижного объекта и закономерностей динамики его состояния. В целом геоинформационный мониторинг в транспортной геоинформатике исследует пространственный комплекс, включающий: объекты, ситуации, процессы, взаимодействия, а также связи и отношения между ними.

Результаты мониторинга помещают в обычные базы данных или в пространственные базы геоданных. При построении моделей используют семиотический подход. Он состоит в том, что учитывают в первую очередь семантику объекта и во вторую его морфологию при построении моделей.

Основным видом моделирования в транспортной геоинформатике является геоинформационное моделирование. В результате геоинформационного моделирования создают цифровые карты и цифровые модели транспортных сетей. Это является преимуществом геоинформатики транспорта.

Обязательным условием геоинформационного моделирования и мониторинга в транспортной геоинформатике является создание единой координатной системы. Единая координатная система позволяет сопоставлять результаты наблюдений, в том числе, получаемые в разные периоды времени. Это позволяет проводить ретроспективный анализ и строить временные ряды.

Особенностью транспортной геоинформатики является использование геоинформационного анализа для решения прикладных проблем. Геоинформационный анализ может проводиться с использованием различных теоретических методов и информационных систем. Основной информационной системой в транспортной геоинформатике является геоинформационная система (ГИС). В техническом плане ГИС упрощает взаимодействие атрибутов с пространственными данными. В когнитивном плане ГИС снимает нагрузку на пользователя при анализе множественных пространственных данных.

Особенностью транспортной геоинформатики является формирование моделей подвижных объектов. Пространственный анализ, который используется в ГИС, формирует пространственные модели подвижных объектов. Часто, геоинформационному анализу предшествует прикладная задача или научная задача. Это приводит к тому, что в процессе геоинформационного анализа решается научная задача, на основе которой получают набор знаний: декларативные знания; пространственные знания. геознания. Геоинформационный анализ позволяет также выявлять неявные знания и преобразовывать их в явные знания.

Особенностью транспортной геоинформатики является применение пространственного мониторинга, основой которого является геоинформационный мониторинг. Пространственный мониторинг включает наземный и космический мониторинг. Для отслеживания глобального перемещения грузов применяют космический мониторинг и дистанционное зондирование. Геоинформационный мониторинг в транспортной геоинформатике решает и частные задачи, например, для анализа состояния полосы отвода.

Особенностью транспортной геоинформатики является применение экологической геоинформатики [4]. Экологическую геоинформатику применяют для оценки риска влияния вредных загрязняющих веществ на окружающую среду, в которой функционирует транспорт. Экологическую оценку выполняют в трех вариантах. Первый вариант связан с оценкой влияния транспорта на загрязнение окружающей среды. Второй вариант применения экологической геоинформатики связан с оценкой воздействия промышленных загрязнителей на окружающую среду. Третий вариант применения экологической геоинформатики в транспортной геоинформатике связан с оценкой экологической полезности размещения жилого фонда и производственного фонда в городских территориях. Однако транспортная геоинформатика решает задачи размещения с использованием большего числа факторов, включая экологические.

Особенностью транспортной геоинформатики является применение геостатистики. Транспортная геоинформатика применяет комплексный пространственный анализ. Особенность пространственных статистических моделей заключается в том, что значения соседних атрибутов статистически более зависимы, чем значения удаленных атрибутов. Большое значение в транспортной геоинформатике имеет визуализация и визуальная обработка информации. Такая возможность появляется благодаря тому, что база данных ГИС имеет визуальное картографическое представление. Такая необходимость появляется при обработке космических снимков, аэрофотоснимков и снимков с БПЛА.

Особенностью транспортной геоинформатики является применение БПЛА для мониторинга железных дорог. При этом появляется направление использования интеллектуальных БПЛА.

### **Заключение**

Развитием применения геоинформатики на транспорте является создание и использовании транспортной геоинформатики как специализированной геоинформатики для решения транспортных задач. В свою очередь, развитие транспортной геоинформатики основано на новейших достижениях науки и техники применительно к решению задач транспорта. В настоящее время транспортная геоинформатика является основным инструментом анализа состояния и развития транспортной инфраструктуры. Развитие транспортной геоинформатики основано на интеграции

методов других наук для собственного развития. Транспортная геоинформатика делится на общую и прикладную. Общая транспортная геоинформатика решает задачи теории и интеграции с другими науками. Например, теория транспортных сетей входит в геоинформатику транспорта, но не входит в обычную геоинформатику. Прикладная транспортная геоинформатика решает практические задачи. Разнообразие задач мотивирует дифференциацию геоинформатики. Прикладная транспортная геоинформатика кроме решения задач накапливает опыт, который служит основой развития общей транспортной геоинформатики. основным инструментом получения информации о транспортных сетях служит геоинформационный и пространственный мониторинг, включая космический мониторинг. Геоинформационный мониторинг является ядром пространственного мониторинга. Геоинформатика транспорта есть основной инструмент исследования и управления транспортной инфраструктурой. Инструментом получения пространственных данных является геоинформационный мониторинг. Геоинформатика транспорта является поддержкой устойчивого развития транспортной системы. Она дает возможность выполнять количественную оценку пространственных процессов, взаимодействие объектов с внешней средой. В настоящее время она развивается в сторону использования информационных пространств, применения интеллектуальных систем и интеллектуальных методов анализа. Еще одним направлением транспортной геоинформатики является применение кибер-физических технологий и кибер-физических систем. Применение транспортной геоинформатики является обязательным компонентом развития транспорта.



**Список литературы**

1. Буравцев А. В. Геоинформатика наука о пространстве // Славянский форум. -2020. – 4(30). - С.161-170.
2. Максудова Л.Г., Савиных В.П., Цветков В.Я. Интеграция наук об окружающем мире в геоинформатике // Исследование Земли из космоса. - 2000. - №1. - с.46-50.
3. Awange J., Kiema J. B. Environmental geoinformatics //Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. – 2013. – Т. 10. – С.978-983.
4. Ndayishimiye Deo. Development of logistic geoinformatics // Славянский форум. 2023, 2(40). С. 419-433.
5. Bhunia G. S. et al. Introduction to geoinformatics in public health //Geospatial Analysis of Public Health. – 2019. – С. 1-27.
6. Ожерельева Т. А. Экономическая геоинформатика // Славянский форум. 2024, 1(43). С. 361-370.
7. Раев В.К. Динамическая геоинформатика // Славянский форум. 2022, 2(36). С. 195-205/
8. Ivan I. et al. (ed.). Geoinformatics for intelligent transportation. – Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2015. – С. XIX.
9. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). - С.15-23.
10. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), p.57-64
11. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher. 2014, № 11/1 (86), pp. 1894-1900.
12. Цветков В. Я., Мордвинов В. А. Подход к систематизации алгоритмов //Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7. – №. 4 (26). – С. 388-397.
13. Чехарин Е. Е. Инкрементное моделирование //Славянский форум. – 2018. – №. 4. – С. 78-84.
14. Бронников С.В. Геоинформатика транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2024. Т.8. №1 (29). – С.20-26.
15. Савиных В.П., Цветков В.Я. Развитие методов искусственного интеллекта в геоинформатике // Транспорт Российской Федерации. - 2010. -№ 5. - с.41-43
16. Бучкин Д.В. Состояние и развитие интеллектуальных ГИС // Информация и космос. 2020. - №3. – С .119-123.
17. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 50059.
18. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. – 94 с.
19. Алексеев М. А. и др. Генерация и рецепция информационной составляющей робастного управления социально-экономическими системами //Вестник НГУЭУ. – 2022. – №. 1. – С. 8-30.
20. Джорова С. М. Рецепция, перцепция и апперцепция при интерактивной обработке в геоинформационных системах //Славянский форум. – 2022. – №. 4 (38). – С. 25.
21. Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 1 (13). – С.121-129.
22. Тягунов А.М. Цифровая трансформация в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №2 (18). – С.13-21.
23. Бучкин В. А. Геоинформационное поле и геоинформационное пространство // Славянский форум. 2022, 4(38). С.466-476.
24. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.
25. Позняк И.И., Полянская А.С., Поклонская А.В., Шевченко И.А. Перспективные проекты беспилотного транспорта // Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.224-227.

УДК: 528.02; 528.06

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ И ВЫСОКОТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ



Цветков В.Я.

д.т.н., профессор, начальник Научного отдела, АО «НИИАС»,  
E-mail: cvj7@mail.ru, Москва, Россия

к.т.н, доцент, Хошиминский университет натуральных ресурсов и окружающей среды, E-mail: tuandm@hcmunre.edu.vn, Хошимин, Респ. Вьетнам

### Аннотация

Цель работы – исследование методов спутникового позиционирования применительно к определению местоположения подвижных объектов. Мотивацией написания статьи послужило терминологическое несоответствие, которое встречается в некоторых источниках литературы. В частности, ошибочно называют дифференциальное позиционирование высокоточным, а о высокоточном не говорят. Статья показывает различие между позиционированием технологии GPS, между позиционированием технологии DGPS и технологией precise point positioning - PPP. Раскрывается содержание каждой технологии и дается систематика реализации методов. Показано, что для задач транспорта целесообразно применять концепцию PPP в реальном времени (RT-PPP). Для вычисления поправок орбит и часов GNSS в реальном времени целесообразно использовать динамический и полудинамический метод.

### Ключевые слова:

транспорт, спутниковое позиционирование, дифференциальное позиционирование, высокоточное позиционирование.



До Минь Туан

## DIFFERENTIAL AND HIGH-PRECISION POSITIONING

Tsvetkov V.Ya.

D.ofSci.(Tech), Professor, Head of Scientific Department, JSC "NIIAS", E-mail:  
cvj7@mail.ru, Moscow, Russia

Do Minh Tuan

PhD(Tech), Associate Professor, Ho Chi Minh City University of Natural Resources  
and Environment, E-mail: tuandm@hcmunre.edu.vn, Ho Chi Minh City, Vietnam

### Annotation

The purpose of the work is to study the methods of satellite positioning as applied to determining the location of moving objects. The motivation for writing the article was the terminological inconsistency that occurs in some sources of literature. In particular, differential positioning is mistakenly called high-precision, and high-precision is not mentioned. The article shows the difference between GPS positioning, DGPS positioning and precise point positioning - PPP. The content of each technology is disclosed and a taxonomy of the implementation of methods is given. It is shown that for transport tasks it is advisable to apply the concept of PPP in real time (RT-PPP). To calculate corrections to GNSS orbits and clocks in real time, it is advisable to use the dynamic and semi-dynamic method.

### Keywords:

transport, satellite positioning, differential positioning, high-precision positioning

## Введение

В настоящее время для определения координат спутниковыми методами в российской литературе употребляют разные термины; дифференциальное позиционирование (dGPS), точное дифференциальное позиционирование (dGPS или PPP), точное позиционирование (PPP), точное точечное позиционирование (PPP). В скобках сокращенное обозначение технологии, соответствующее термину. Двойное обозначение в скобках означает что этот общий термин в отечественной литературе применяют для обозначения разных технологий.

В сфере РЖД употребляют термин «высокоточное позиционирование», который фактически во многих случаях соответствует дифференциальному позиционированию. Здесь имеет место несоответствие термина и технологии. Такое несогласованное применение терминологии делает актуальным анализ перечисленных понятий и содержания разных технологий позиционирования, а также систем позиционирования.

Дифференциальное позиционирование.

Дифференциальным позиционированием называют метод определения координат с помощью спутникового приемника и уточнения их по данным второго приемника. Второй приемник устанавливают на станции, координаты которой известны. Она называется базовой, опорной станцией, контрольно-корректирующей станцией или референц-станцией

Предшественником дифференциального позиционирования было абсолютное позиционирование. Система глобального позиционирования (GPS) изначально была разработана для достижения точности в пределах нескольких метров, используя кодовые измерения. В начале ее разработки разработчики не предвидели перспектив более высокой точности. Абсолютные GPS позиционирование предоставляет информацию о местоположении приемника на основе сигналов со спутников, но требует наличия базовой станции для коррекции координат.

Для спутникового позиционирования используют 24 спутника, из которых приёмник может наблюдать только 5-6. Для получения координат местоположения достаточно сигналов от 4-х спутников.

Возникновение погрешностей позиционирования обусловлено такими факторами:

- влажность;
- атмосферное давление;
- интерференция;
- температура воздуха;
- атмосфера и ионосфера.

Дифференциальный GPS (DGPS) повышает точность, получая поправки от близлежащей фиксированной станции, уменьшая ошибки, вызванные атмосферными помехами и расхождениями спутниковых часов. Дифференциальный GPS, имеет 2 способа исправления ошибок. В первом случае система корректирует координаты, а во втором – навигационные параметры

Использование измерений фазы, несущей GPS для достижения точности на уровне сантиметра было впервые исследовано Каунселманом [1].

Из-за своих коротких длин волн эти измерения фазы несущей  $\lambda_{\text{GPS}}$  обеспечивают более высокую точность, чем их кодовые аналоги. Например, длины волн, несущей для частот GPS L1 и L2, составляют около 19 см и 24 см соответственно. С другой стороны, длительность 1 бита в грубом/приемном (C/A) коде GPS составляет 1  $\mu\text{s}$ , что соответствует примерно 300 м, тогда как 1 бит в коде P1, который в 10 раз быстрее, соответствует примерно 30 м [2].

Целочисленная неоднозначность (IA) является важнейшей проблемой для использования точных измерений фазы, несущей GNSS. IA — это неизвестное начальное число полных циклов несущей на пути от спутника к приемнику. Достижение желаемой точности зависит от разрешения этой IA

В более широком смысле дифференциальная GPS (DGPS) или DGNSS была разработана для повышения производительности приемника GNSS, используя данные с одной или нескольких фиксированных опорных станций [3]. Основной принцип DGNSS заключается в том, что, когда длина базовой линии, определяемая как расстояние между приемником ровера и опорной станцией, достаточно коротка (например, менее 40 км), некоторые ошибки, включая атмосферные задержки, орбиту спутника и ошибки часов спутника, становятся пространственно коррелированными. Затем эти коррелированные ошибки можно эффективно устранить с помощью методов дифференциации. Кинематика в реальном времени (RTK) — это технология DGNSS на основе фазы несущей, которая обеспечивает точность позиционирования в реальном времени на уровне сантиметра [2]. Тем не менее, накладные расходы, связанные с настройкой опорной станции, и присущие ей ограничения по длине базовой линии подчеркивают ограничения DGNSS.

Министерство обороны США имело возможность влиять на точность GPS позиционирования объектов. В этой технологии существовал режим ограниченного доступа, обозначаемый S/A. Такой режим использовали в военных целях для защиты от противника. Для сокрытия местонахождения объектов, специалисты Министерства обороны США искусственно снижали точность работы системы GPS, но в мае 2000 года данный режим отменили.

При первом включении GPS-устройства загрузка занимает довольно много времени. Аналогичная ситуация наблюдается в том случае, если его давно не использовали. Это связано с отсутствием в памяти навигатора эфемериды или устареванием базы данных, которой требуется обновление. Такой запуск называют «холодным стартом». Перед началом работы навигатор должен выполнить следующие операции:

- обнаружить спутник и наладить с ним связь;
  - получить и сохранить пакет данных и эфемериды;
  - найти еще 3 спутника, на основании данных каждого из них выполнить перечисленные выше действия;
  - вычислить собственные координаты;
- Быстрый запуск GPS называют «горячим стар-

том». Он выполняется навигатором в том случае, если в памяти есть актуальные данные. Для эфемерид срок давности составляет 30 минут, а для пакета данных – 30 дней. Следовательно, если навигатор был выключен на короткое время, при повторном включении он сразу восстановит связь со спутником.

Дополнительно существует еще один вид старта устройства – «тёплый». Он занимает чуть больше времени, чем «горячий». «Теплый старт» происходит тогда, когда GPS навигатору нужно обновить эфемериды, а пакет данных по-прежнему актуален.

Подводя итог, следует отметить, что в дифференциальном методе позиционирования (DGPS, DGLONASS) используется не менее двух приемников, измеряющих только псевдодальности или псевдодальности и фазы несущей частоты. Один из приемников стационарно установлен в пункте с известным положением в общеземной системе координат WGS-84 или ПЗ-90. Стационарный приемник называют контрольно-корректирующей станцией (ККИ), опорной станцией (BS), коллективной базовой станцией. Второй приемник находится в

точке, координаты которой необходимо определить. Для этого приемника используются термины: «мобильная станция» (MS), «перемещаемый приемник», «удаленная станция», «потребитель», «транспортируемая аппаратура потребителя».

Суть дифференциального метода сводится к тому, что приемник БС, используя точные координаты фазового центра своей антенны, определяет из наблюдений спутников поправки для координат или псевдодальностей (или для фаз), которыми приемник МС исправляет свои соответствующие параметры и в результате получает точные координаты. В основе этого приема лежит положение о том, что влияние различных источников ошибок на результаты измерений одинаково как для базового, так и для мобильного приемника, то есть используются свойства коррелированных ошибок. На рис.1 дана Обобщенная структурная схема дифференциального позиционирования.

Контрольно-корректирующая станция обеспечивает контроль целостности навигационных сигналов и вычисление дифференциальной корректирующей информации для улучшения точности.

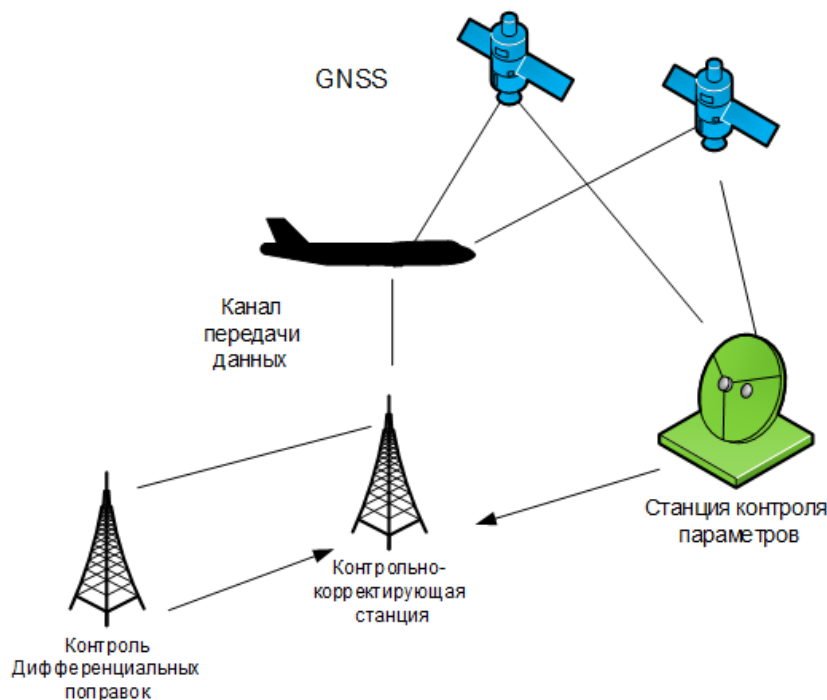


Рисунок 1. Обобщенная структурная схема дифференциального позиционирования

Дифференциальные поправки от базовой станции к полевому приемнику могут передаваться при постобработке или в реальном масштабе времени. В первом случае после выполнения наблюдений файлы с результатами измерений переводятся на один компьютер, где и происходит их обработка специальным программным обеспечением. Во втором случае поправки от базовой станции передаются полевому приемнику через радиомодем или другими способами беспроводной связи. Это дает возможность получать координаты МС на участке работ через несколько секунд после очередного измерения.

Точность определения местоположения с помощью GPS обычно составляет от 2 до 10 м [4]. Этого недостаточно для проведения специальных

измерительных работ и мониторинга транспорта. Радикальным направлением повышения точности навигационных определений является дифференциальный режим. Его сущность заключается в устранении некоторых погрешностей навигационного поля системы, сильно коррелированных в локальных районах (до 2000 км). Система DGPS предназначена для повышения точности определения координат от 1 метра до нескольких сантиметров в зависимости от метода. Именно этот метод в РЖД называют высокоточным.

Все наземные системы DGPS по назначению разделяются на навигационные (обеспечение навигационных задач) и геодезические (обеспечение задач геодезии). Навигационные системы обеспечивают метровую (1 – 5 метров в



зоне действия дифференциальной системы), геодезические — дециметровую и сантиметровую. Первые выполняют работу как правило в географической (сферической) системе координат. Вторые в прямоугольной метрической и местной. Космические системы позволяют решать навигационные задачи с геодезической точностью.

Существенным недостатком во всех методах дифференциальной коррекции являются координаты опорного пункта. Погрешности координат этого пункта полностью входят в координаты определяемых точек, то есть вся развиваемая система оказывается смещенной [5].

Точность навигационной задачи позиционирования зависит от следующих факторов

- геометрия расположения используемых навигационных космических аппаратов (НКА) [5];
- погрешности бортовых шкал времени (ШВ) НКА вызванное асинхронностью бортовых часов НКА
- плохой корреляцией времени между часами приемника и часами спутника.
- влияние погрешностей эфемерид НКА, эфемериды, загруженные с земли и транслируемые спутником, могут терять соответствие. Несоответствие возможно при изменении орбиты, о которых пользователь заранее не предупрежден, а также после ухода спутника в тени Земли
- погрешности, обусловленные прохождением радиосигналов в атмосфере (ионосферные и тропосферные погрешности).
- аппаратные погрешности НКА;
- релятивистские эффекты.

По охватываемому пространству различают пять типов систем.

Мобильные, которые имеют дальность действия от ККС до 10 км. Они включают одну ККС, аппаратуру управления и контроля (без контроля целостности), а также средства передачи данных.

Локальные — имеют максимальные дальности действия от ККС до 200 км. Они включают одну ККС, аппаратуру управления и контроля (в том числе и контроля целостности), а также средства передачи данных.

Региональные станции имеют дальность действия от 200 до 2000 км. DGPS включают несколько служебных (собирающих информацию) и одну центральную ККС, а также средства передачи корректирующей информации и сигналов целостности.

Широко зонные или NDGPS (nationwide DGPS) — общенациональная DGPS) зоны от 2000 до 6000 км. NDGPS включает сеть контрольных станций, информация от которых передается на главные станции для совместной обработки с целью выработки поправок и сигналов целостности.

Выработанные корректирующая информация и сигналы целостности загружаются через наземные станции загрузки на геостационарный КА (спутники связи), для последующей ретрансляции потребителям. Спутники связи можно также используются в качестве дополнительных навигационных точек для дальномерных измерений.

Основными методами контроля целостности при этом являются методы анализа разностей между измеренными и прогнозируемыми значениями пространственных данных, а для повышения точности используется избыточность измерений.

Глобальные или GDGPS (global DGPS) — с охватом по всему земному шару.

В обобщенную структурную схему построения систем DGPS входят следующие основные элементы: контрольно-корректирующая станция; станция мониторинга дифференциальных поправок; станция передачи дифференциальных поправок и сигналов предупреждения.

### **Метод точного позиционирования (PPP)**

Точное позиционирование точки (precise point positioning - PPP) показало себя мощным инструментом в геодезических и геодинамических приложениях. Хотя его точность почти сопоставима с сетевыми решениями, восточная составляющая результатов PPP все еще нуждается в улучшении путем исправления целочисленной неоднозначности, что до сих пор предотвращается наличием некалиброванных фазовых задержек (UPD), возникающих в приемниках и спутниках

Представленный в 1997 году метод точного позиционирования точки (PPP) представляет собой метод, который обеспечивает точную и аккуратную оценку глобального положения пользователя с использованием одного приемника GNSS [6]. PPP определяет абсолютное положение приемника, полагаясь исключительно на измерения GNSS приемника ровера и глобальный спектр данных точной коррекции. Поскольку PPP должен учитывать все источники ошибок, игнорируемые в DGNSS, его основной проблемой остается время сходимости, необходимое для разрешения IA для достижения точности на уровне сантиметра [7]. Однако способность PPP предоставлять глобально применимое решение с помощью одного приемника вызвала значительный интерес в исследовательском сообществе, что привело к постоянным усилиям по преодолению его ограничений [8].

PPP может применяться во многих аспектах нашей повседневной жизни. Например, в [9] PPP был интегрирован с высокопроизводительными инерциальными датчиками для автономной навигации наземных транспортных средств на уровне полосы движения на автомагистралях. В других работах исследовалась интеграция PPP с недорогими инерциальными датчиками для навигации наземных транспортных средств в сложных условиях GNSS [10]. PPP также применялся для точного земледелия [11] и мониторинга атмосферы [12]. В [13] PPP с продуктами BeiDou B2b использовался для мониторинга землетрясений. Для PPP можно использовать несколько программных инструментов с открытым исходным кодом, таких как RTKLIV [14].

Для достижения точности на уровне сантиметра в PPP необходимо устранить или значительно уменьшить погрешности дальности. Многие из этих ошибок, такие как эффект Саньяка (связанный с вращением Земли), эффекты релятивистских часов, ошибки орбиты и часов спутников, а также

ный с вращением Земли), эффекты релятивистских часов, ошибки орбиты и часов спутников, а также атмосферные задержки, также распространены в стандартном позиционировании точек (SPP), что приводит к точности порядка нескольких метров.

PPP используется с 1997 года на основе точной информации об орбите и времени спутника, предоставляемой некоторыми службами, такими как IGS [6]. Чтобы получить эти точные продукты, требуется время для обработки вычислений. Чем больше задержка, тем выше точность. Первоначально IGS предлагала только конечные продукты. То есть пользователи могут использовать PPP только через 12-18 дней после измерения. Позже необходимость использовать PPP с минимально возможной задержкой привела к тому, что IGS предоставила другие продукты с меньшим запаздыванием, такие как Ultra-quick (3-9 часов), Rapid (17-41 час). В апреле 2013 года, IGS предоставила эти поправки в режиме реального времени [15]. Отсюда и родилась концепция PPP в реальном времени (RT-PPP).

PPP в реальном времени является технологией, которая может предоставлять результаты однократного позиционирования в реальном времени, если точные спутниковые времена и данные об орбите доступны в реальном времени. Для обеспечения PPP в реальном времени в настоящее время существуют два типа услуг, которые могут предоставлять точные спутниковые времена и информацию об орбите.

Как и системы GPS технологии PPP включают пять типов систем (см выше) или служб. Рассмотрим две из них.

Глобальные службы: глобальные PPP используют информацию, предоставляемую глобальной службой, такой как IGS. Центры управления этих служб вычисляют точные поправки к орбитам и часам на основе информации, полученных из глобальной сети станций слежений спутников. В этом случае вся орбита спутника будет хорошо отслежена, а точность оценок орбиты и часов не будет зависеть от положения. В настоящее время IGS предоставляет пользователям в режиме реального времени поправки через Интернет, используя протокол, называемый NTRIP (сетевой транспорт RTCM через Интернет-протокол).

Локальная служба: возникла как альтернатива глобальной служб, которая имеет ограничение по времени и стоимости. Работа с глобальной сетью станций слежений может быть сложной и дорогостоящей для местного поставщика. Чтобы преодолеть эту трудность, локальная служба PPP должна иметь возможность рассчитывать поправки к орбитам и часам, используя локальную сеть станций слежений.

В этом случае точность орбиты и часов может немного снизиться, но это снижение точности в основном происходит за пределами зоны действия сети станций.

Внутри локальной области комбинация орбитальных и часовых устройств обеспечивает хорошие характеристики позиционирования. При этом

операции позиционирования могут быть выполнены в той же степени, что и в глобальной сети, но с меньшими затратами и меньшими временными потерями. Такая услуга может дополнить RTK в районах, удаленных от базовой станции. Можно видеть, что результаты PPP, основанные на локальной сети, даже для небольших территорий, столь же точны, как и результаты позиционирования с использованием глобальной сети. Это открывает новые способы предоставления услуг локального точного определения местоположения [16].

К местным услугам, доступные сегодня, можно перечислить спутниковую систему расширения (SBAS), как и WAAS (Wide Area Augmentation System) в Северной Америке, EGNOS (Европейская геостационарная навигационная система покрытия) и Европе, MSAS (спутниковая система MTSAT) в Корее и Японии, GAGAN (Индийская навигационная система GPS и GEO) в регионе Индии.

Чтобы определить правильную траекторию спутника, обычно используют следующие три метода: [17]

- Динамические методы
- Геометрические методы
- Полудинамические методы

Динамические методы основаны на интегральных уравнениях движения

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (1)$$

В выражении (1)  $F_i$  означает все возмущения, влияющие на движения спутника, такие как гравитационные возмущения, приливные возмущения и т. д. При непрерывном слежении спутника имеем

$$y = Hx + \varepsilon, \quad (2)$$

При анализе матрицы состояния можно улучшить параметры орбиты спутника. Самая большая проблема с динамическими методами - время, необходимое для вычислений. Вычисление поправок к эфемеридам занимает много времени, поэтому они в принципе не подходят для операций в реальном времени. С другой стороны, они позволяют рассчитывать точные прогнозы.

После того, как поправки к эфемериде вычислены, можно легко вычислить поправки к часам. Чтобы делать эти, за спутником необходимо одновременно наблюдать с не менее 2 опорных станций (рис.1).

Геометрические методы не используют никакой информации, полученной из слежений орбиты. Их также можно назвать обратной задачей GPS. Положение опорных станций точно известно, поэтому, если одновременно с 4 или более 4 станций выполняется наблюдения, можно определить ошибку часов и положение этого спутника. Чтобы

но, поэтому, если одновременно с 4 или более 4 станций выполняется наблюдения, можно определить ошибку часов и положение этого спутника. Чтобы применить этот метод, часы станций должны быть синхронизированы. Эти методы не предназначены для предоставления фактических значений коррекции эфемериды. Они предоставляют действительные поправки для интересующей области, поэтому экстраполяция поправок на другие регионы может быть ненадежной.

Полу динамические методы есть комбинация двух методов, описанных выше. Они объединяют динамическую информацию с геометрической информацией, полученной в результате измерений. Эти методы могут обеспечить более точные корректировки, чем динамические или геометрические методы, но поскольку они используют относительно простые динамические модели, они не могут обеспечить точные прогнозы траектории.

Существуют методы коррекции WAAS [18]. Полный алгоритм WAAS содержит три фильтра Калмана: один для определения траектории, второй для вычисления поправок за ионосферы и третий для быстрой коррекции. Фильтр быстрой коррекции — это фильтр Калмана для исследования состояний часов земных станций слежения, спутников GPS и геостационарных спутников. Векторы положения и скорости спутника в системе координат с центром в центре Земли (ECI), а  $C_b$  - смещение часов спутника, соответствующее синхронизированным часам станций слежений.

Дифференциальные уравнения описывают скорость изменения вектора положения и скорости спутника, они являются функцией переменных в компоненте оцененного вектора состояния. Подробности метода описаны в ряде источников. В данном случае следует показать, что высокоточное позиционирование это PPP, а не GPS или DGPS.

### Заключение

Термин «высокоточные геодезические измерения», применяемый в некоторых публикациях РЖД, на самом деле соответствует DGPS и в редких случаях PPP.

В дифференциальном методе на опорном пункте по результатам наблюдений находят поправки к параметрам наблюдений для неизвестного пункта или к его координатам. Эти наблюдения обрабатывают отдельно. Этот метод обеспечивает мгновенные решения, по отношению к опорной станции [5]. Таким образом дифференциальный метод коррекции заключается в определении поправок от опорных станций DGNSS с заранее определёнными координатам. Поскольку координаты базовой (контрольно-корректирующей станции) известны с определённой точностью, до 1 метра для целей навигации, до 20 см для целей геодезии и навигации с использованием систем дифференциальной коррекции, и локальные решения с точностью до 3 см для целей геодезии. То их, координаты, можно использовать для вычисления поправок для вновь определяемых параметров позиционирования. Принципиально существует два метода передачи поправок напрямую через радиоканал (систему

емых параметров позиционирования. Принципиально существует два метода передачи поправок напрямую через радиоканал (систему наземных ретрансляторов) или через спутник связи. Таким образом все системы дифференциальной коррекции делятся на наземные и спутниковые.

Основной совокупностью приёмов и методов получения плановых координат и высот точек местности по средствам получения поправок с базовой станции, принимаемых аппаратурой пользователя в реальном времени является Real Time

Для вычисления поправок орбит и часов GNSS в реальном времени часто использовать динамический и полудинамический метод. В частности:

- Метод полудинамический позволяет предоставлять поправочные числа с меньшим временем задержки, но с меньшей точностью, и поэтому подходит для систем расширения SBAS, где требуемая точность позиционирования находится на уровне дм-м. Чтобы можно было применить этот метод, часы опорных станций в локальной сети должны быть синхронизированы друг с другом. Это позволяет фильтрам Калмана уменьшить количество переменных в векторе состояния и, следовательно, вычислительный объем и время.

- Динамический метод требует использования фильтра Калмана с большим вектором состояния, который включает множество динамических параметров, связанных с орбитой спутника. Таким образом, он может обеспечить лучшую точность прогнозирования поправочных чисел в реальном времени, что приводит к точности PPP, которая может быть достигнута в см для 24-часового статического измерения и в дм для динамического измерения. Однако из-за более длительного времени вычислений задержка также увеличивается. Результаты позиционирования рассматриваются почти в реальном времени.

Чтобы уменьшить вычислительную нагрузку динамических методов, некоторые аналитические центры IGS разделяют определение орбиты и часы спутников на 2 отдельные фильтры Калмана: 1 фильтр для генерации сверхбыстрых эфемерид спутников и поправок орбиты. А второй фильтр Калмана берет орбитальную информацию из первого фильтра и служит для расчета поправок часов.

**Список литературы**

1. Counselman, C.C.; Gourevitch, S.A. Miniature interferometer terminals for earth surveying: Ambiguity and multipath with global positioning system. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 1981, GE-19, 244–252.
2. (4) El-Rabbany, A. *Introduction to GPS: The Global Positioning System*; Artech House: Norwood, MA, USA, 2002.
3. (5) Kaplan, E.; Hegarty, C. *Understanding GPS: Principles and Applications*; Artech House: Norwood, MA, USA, 2006.
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Differential\\_GPS](https://ru.wikipedia.org/wiki/Differential_GPS).
5. Антонович К.М. Спутниковые методы определений координат // использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. — Москва: ФГУП «Картгеоцентр», 2006. - Т. 2. - 311 с.
6. Zumberge, J.; Heflin, M.; Jefferson, D.; Watkins, M.; Webb, F.H. Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 1997, 102, 5005–5017.
7. Kouba, J.; Lahaye, F.; Tétreault, P. Precise Point Positioning. In *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*; Teunissen, P.J., Montenbruck, O., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017; Chapter 25; pp. 723–751.
8. Bisnath, S.; Gao, Y. *Precise Point Positioning: A Powerful Technique with a Promising Future*; GPS World: Cleveland, OH, USA, 2009; pp. 43–50.
9. Elsheikh, M.; Noureldin, A.; Korenberg, M. Integration of GNSS Precise Point Positioning and reduced inertial sensor system for lane-level car navigation. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2022, 23, 2246–2261.
10. Vana, S.; Bisnath, S. Low-Cost, Triple-Frequency, Multi-GNSS PPP and MEMS IMU Integration for Continuous Navigation in Simulated Urban Environments. *J. Inst. Navig.* 2023, 70, navi.578. [Google Scholar] [CrossRef].
11. An, X.; Meng, X.; Jiang, W. Multi-constellation GNSS Precise Point Positioning with multi-frequency raw observations and dual-frequency observations of ionospheric-free linear combination. *Satell. Navig.* 2020, 1, 7.
12. Kalinnikov, V.; Ustinov, A.; Zagretdinov, R.; Tertyshnikov, A.; Kosarev, N. The Precise Point Positioning Method (PPP) in environmental monitoring applications. In *Proceedings of the 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*, SPIE, Novosibirsk, Russia, 18 December 2019; Volume 11208, pp. 1444–1448.
13. Fang, R.; Lv, H.; Hu, Z.; Wang, G.; Zheng, J.; Zhou, R.; Xiao, K.; Li, M.; Liu, J. GPS/BDS Precise Point Positioning with B2b products for high-rate seismogeodesy: Application to the 2021 Mw 7.4 Maduo earthquake. *Geophys. J. Int.* 2022, 231, 2079–2090.
14. Takasu, T.; Yasuda, A. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In *Proceedings of the International Symposium on GPS/GNSS*, International Convention Center, Jeju, Republic of Korea, 22–25 September 2009; Volume 1, pp. 1–6.
15. Tomasz Hadas and Jaroslaw Bosy, IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time, 2015. *GPS Solution* 19: 93-105.
16. María D, Laínez Samper, Miguel M Romay Merino, Álvaro Mozo García, Ricardo Píriz Nuñez, Tsering Tashi, Multisystem real time precise-point-positioning, *Coordinates FEB* 2011. – T7. - №2.
17. Romay-Merino M. M. et al. Real-time ephemeris and clock corrections for GPS and GLONASS satellites // *Space Flight Dynamics*. – 1997. – Т. 403. – С. 85.
18. Mohider S. Greval, Lawrence R. Weill, and Augus P. Andrews, *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*, Wiley-Interscience Second Edition, 2007. 525 pp.



УДК: 656

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

**Охотников А.Л.**

Заместитель начальника Департамента информационных технологий - начальник Отдела стратегического развития, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье исследуются информационные модели, которые применяются в системах технического зрения. Раскрывается содержание систем технического зрения в аспекте их принадлежности к области информационных технологий. Описаны основные информационные модели, применяемые в системах технического зрения. Это модели информационной ситуации четырех типов. Системы технического зрения применяют как средство для поддержки принятия решений машинистом и как средство управления беспилотным транспортом. Исследованы типы датчиков, применяемые в системах технического зрения. Отмечена целесообразность применения искусственной нейронной сети для ситуационного анализа. Показано различие между стационарными, мобильными и бортовыми системами технического зрения. Раскрыты основные функции бортовой системы технического зрения.

### Ключевые слова:

транспорт, система технического зрения, бортовые системы, информационные ситуации, сенсоры.

## INFORMATION MODELS FOR MACHINE VISION SYSTEMS

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

### Annotation

The article examines the information models used in machine vision systems. The content of machine vision systems is disclosed in terms of their belonging to the field of information technology. Two main subsystems are described. The main information models used in machine vision systems are described. These are models of the information situation of four types. Machine vision systems are used as a means of supporting the actions of the driver and as a means of controlling unmanned transport. The types of sensors used in machine vision systems are studied. The feasibility of using an artificial neural network for situational analysis is noted. The difference between stationary, mobile and on-board machine vision systems is shown. The main functions of the on-board machine vision system are described.

### Keywords:

transport, machine vision systems, on-board systems, information situations, sensors.

### Введение

Современные информационные системы технического зрения (СТЗ) представляют собой сложный программно аппаратный комплекс, как правило включающий две подсистемы. Первая подсистема (сенсорная) содержит датчики различной физической природы. Вторая подсистема (управленческая) содержит вычислитель со специальным программным обеспечением (ПО).

Первая подсистема СТЗ сканирует окружающее пространство по ходу движения транспортного объекта (ТО) для анализа информационной ситуации [1, 2], влияющей на его движение, определяет объекты, которые видны в зоне прямой видимости.

Вторая подсистема включает специальное ПО, часто искусственную нейронную сеть (ИНС). Она обрабатывает сигналы, полученные от датчиков, образующих информационно-измерительные системы [3] для формирования модели информационной ситуации на пути движения ТО. Эта информация также служит основой формирования информационной модели сценария движения и формирования информационной модели решения для управления ТО.

Полученные модели решений и модели сценариев управляющих воздействий используются для информационной поддержки действий машиниста (при ручном управлении) или оператора (при дистанционном управлении). При беспилотном движении [4] модели используют для субсидиарного [5] (самостоятельного) реагирования на ситуацию и автоматического изменения режима движения ТО.

Таким образом, СТЗ используют не информацию как некое информационное множество, а различные информационные модели для анализа и принятия решений. СТЗ на транспорте применяется в первую очередь для анализа и последующего принятия решений, а не для простой фиксации событий и фактов. Интегральное применение информационных технологий [6] привело к созданию и применению специальных информационных моделей для управления транспортом. Это дает основание утверждать, что современное управление транспортом является модельным, то есть основано на применении различных информационных моделей.

### Модели в транспортных системах

Развитие интеллектуальных транспортных систем характеризуется динамикой изменений ситуации и неопределённостью. Динамика обусловлена ростом скоростей и наличием множества внешних факторов. Неопределённость вызвана большим количеством ситуаций, которые не всегда явно можно определить. Если переходить к беспилотному движению и управлению с машинистом, то следует отметить что в обоих случаях применяют СТЗ, состоящие из различных сенсоров (видеокамеры, тепловизоры, ультразвуковые датчики и лидары), набор которых, их количество и характеристики выбираются исходя из поставленных перед подвижным составом

(ПС) задач.

Видеокамеры позволяют полученное динамическое оптическое изображение преобразовать в цифровой поток видеоданных, после обработки и коррекции которого путем обработки с помощью различных программных средств и методов улучшения и преобразования изображений можно получить точную визуализацию объектов как на больших расстояниях, так и при не самых благоприятных погодных условиях. Основными показателями функционирования видеокамер по стандарту EMVA1288 [7] являются разрешение матрицы, размер пикселя, динамический диапазон, яркость, резкость, квантовая эффективность, шум и соотношение сигнал/шум.

Тепловизор или инфракрасная камера служит для определения спектра температуры исследуемого объекта, тепловое излучение которого отображается разными цветами (от красного, желтого и оранжевого цветов при высокой температуре до синего и черного при низкой). Такая система дает возможность обнаруживать объекты даже в условиях плохой видимости за счет их теплоотдачи. К основным показателям работы тепловизора относятся разрешение матрицы, ее чувствительность, оптические параметры (фокусное расстояние и угол зрения), точность измерения и спектральный диапазон.

Лидары способны обнаруживать и определять расстояние до объекта с помощью отраженной световой волны – пучка света (лазера). В них применяется технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах (рис.1). Это активные дальнометры оптического диапазона, основными характеристиками которых являются дальность обнаружения при разной отражательной способности воздуха, диапазон точности определения объекта и угловых координат, а также длина волны лазерного излучения. На рис.1. приведен пример снимка, полученного с помощью лидара, в виде облака точек.

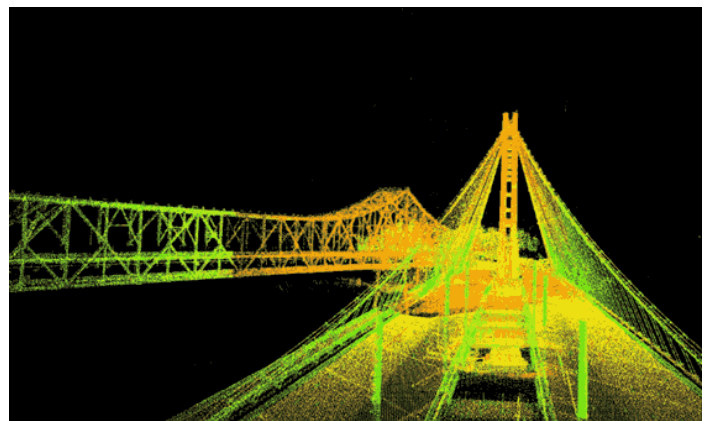


Рисунок 1. Облако точек лидара

Принцип работы лидара основан на фиксации отражения оптической волны от поверхности объекта. При известной скорости света он позволяет определить точное расстояние (до 0,01 м) и

направление на объект. Датчик оценивается по дальности обнаружения, углу зрения, длине волны излучения и разрешению.

При управлении поездом, на котором нет СТЗ, машинист осуществляет рецепцию информации за счет восприятия существующей ситуации [8]. Визуализируя параметры внешней ситуации из кабины локомотива, он принимает управляющие решения, используя свои когнитивные способности [9]. Зрительный аппарат человека определяет яркость, форму, цвет, удаленность, объемность, качество, а также размеры объектов. На небольших расстояниях, как правило, ему это удается делать лучше, чем существующим техническим системам. Однако эти способности сильно зависят от его физического и эмоционального состояния, влияния внешней среды. При возрастании скоростей и необходимости решения многокритериальных задач, особенно при неблагоприятных погодных условиях, нагрузка на машиниста резко увеличивается, что может негативно сказываться на физическом состоянии человека и в конечном

итоге на безопасности движения поезда [9].

У СТЗ когнитивных проблем обычно не возникает – она действует эффективней человека в условиях плохой видимости (снег, туман, дождь), когда человеческий глаз не способен что-либо разглядеть. Система, снабженная датчиками, не устает, не отвлекается и постоянно контролирует окружающее пространство (информационную ситуацию) вокруг ТО при его движении [10]. Однако и для нее фактор оптической прозрачности играет роль.

Информационная интеллектуальная система на базе специального вычислителя позволяет обрабатывать большой объем данных от аппаратных средств и с помощью математических моделей. Интеллектуальная система использует обучаемую нейронную сеть и дает необходимую информацию для поддержки принятия решения в любое время суток о всех объектах, которые она идентифицировала.

Общий алгоритм работы СТЗ приведен на рис.2.

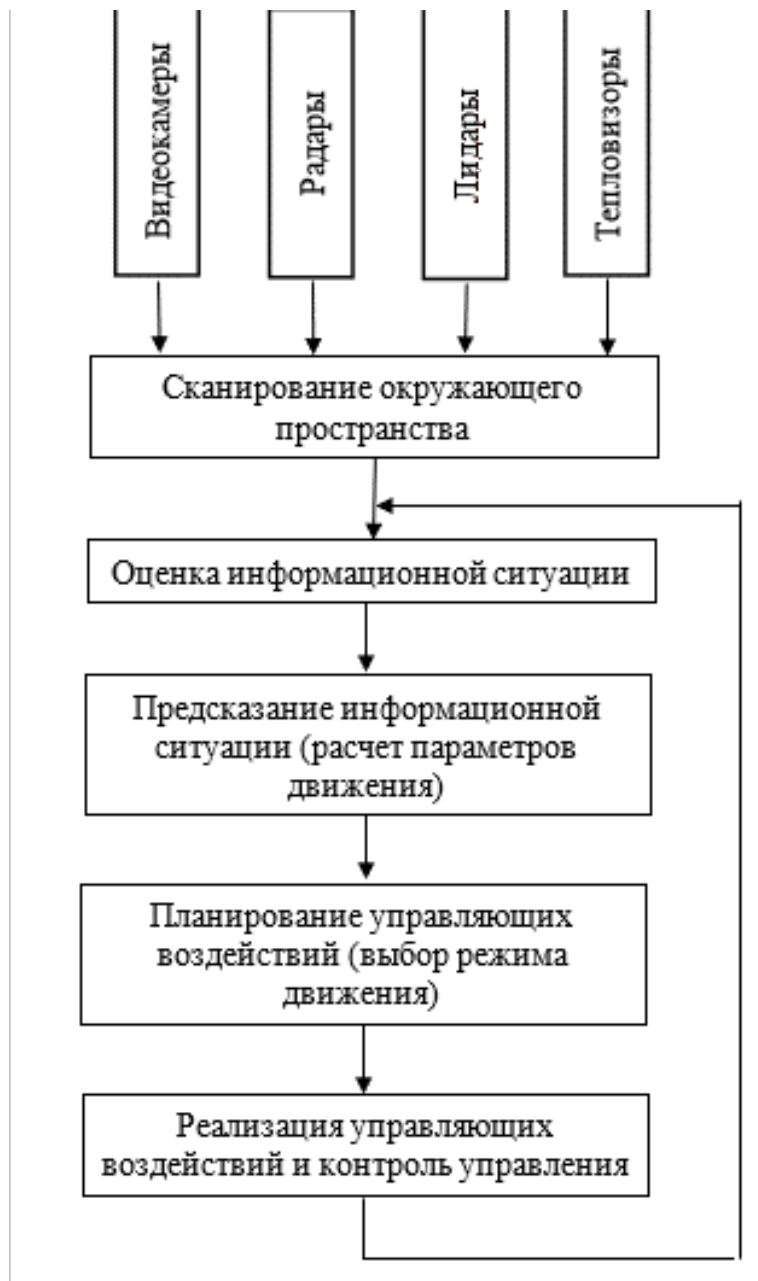


Рисунок 2. Алгоритм работы СТЗ

Необходимо различать инфраструктурные (стационарные, платформенные и мобильные) СТЗ и бортовые СТЗ. Стационарная СТЗ находится на инфраструктуре и может быть закреплена на неподвижном объекте (мачте, столбе), платформенные расположены на остановочных пунктах, мобильные СТЗ являются перемещаемыми автономными системами, например, на базе беспилотного летательного аппарата. Бортовые СТЗ являются частью системы наблюдения и управления ТО.

Бортовая СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на борту локомотива (электропоезда) для обеспечения безопасного движения поезда как в автоматизированном, так и автоматическом режиме управления за счет снижения человеческого фактора и повышения качества обнаружения объектов-препятствий в любых погодных условиях на участках пути с достаточной видимостью (наблюдаемостью).

Основные функции бортовой системы технического зрения:

- обнаружение пути следования;
- обнаружение препятствий в габарите подвижного состава (красная зона);
- обнаружение и распознавание объектов, представляющих потенциальную угрозу (желтая зона);
- обнаружение видимых сигналов (огни светофоров, сигнальные знаки, диски, щиты, ручные сигналы работников железнодорожного транспорта и т.д.).

Передача информации об обнаруженных препятствиях или сигналах в микропроцессорную систему управления и диагностики (МПСУИД) [11], систему безопасности БЛОК и центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) для принятия мер по снижению скорости (служебное или аварийное торможение), остановке или выполнению иных требований видимых сигналов и/или решений машиниста-оператора ЦДКУ.

Обнаружение препятствий должно осуществляться на дистанции, превышающей тормозной путь поезда при его текущей скорости движения на участке пути. Бортовая СТЗ должна включать в себя несколько зон обнаружения препятствий, определяемых дальностью работы датчиков СТЗ. Для различных типов ПС эти зоны имеют различные расстояния, исходя из условий эксплуатации и скорости данного типа ПС.

Рассмотрим расположение датчиков и секторы обнаружения препятствий на примере бортовой системы технического зрения (БСТЗ) электропоезда «Ласточка».

БСТЗ устанавливается непосредственно на подвижной состав (в каждый головной вагон электропоезда) и осуществляет контроль свободности пути перед подвижным составом на дистанции не менее 600 метров (рис.3).

В состав бортовой системы технического зрения входит следующее оборудование:

- камеры визуального спектра (видеокамеры – моно и/или стерео);
- камеры инфракрасного спектра (тепловизио-

ры);

- лазерные сканеры (лидары);
- ультразвуковые датчики;
- вычислитель.



Рисунок 3. Система технического зрения для БОП на ЭС2Г-136

БСТЗ имеет модульную архитектуру и уникальное программное обеспечение. Система в конечном исполнении будет включать в себя 4 УЗ-датчика, 2 лидара, 2 тепловизора, 8 видеокамер. СТЗ должна работать в любых погодных условиях (дождь, снегопад, туман, в ночное время) при диапазоне температур от  $-40$  до  $+50$  °С. Сенсоры бортовой СТЗ контролируют разные зоны по дальности действия датчиков (рис.4).

Дальняя зона (не менее 600 м) контроля реализуется за счет монокулярной камеры со 100 мм объективом и стереокамеры, построенной на базе двух камер с объективом 50 мм.

Средняя зона (не менее 300 м) контролируется стереокамерой на базе двух камер с 25 мм объективом.

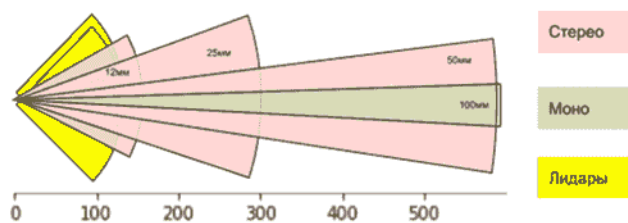


Рисунок 4. Дальность датчиков БСТЗ электропоезда и секторы обнаружения препятствий для каждого вида датчиков

Ближняя зона (до 150-200 м) контролируется стереокамерой на базе двух камер с 12 мм объективом и двумя лидарами. Тепловизор обычно используется на средней дистанции для определения препятствий в плохих погодных условиях



(на рисунке не указан). Для надежности работы реализовано взаимное перекрытие между ближней и средней зонами, средней и дальней зонами. Обработка данных с сенсоров технического

зрения осуществляется в специальном вычислителе. На рис.5 дана Блок-схема работы бортовой СТЗ для обнаружения препятствий.

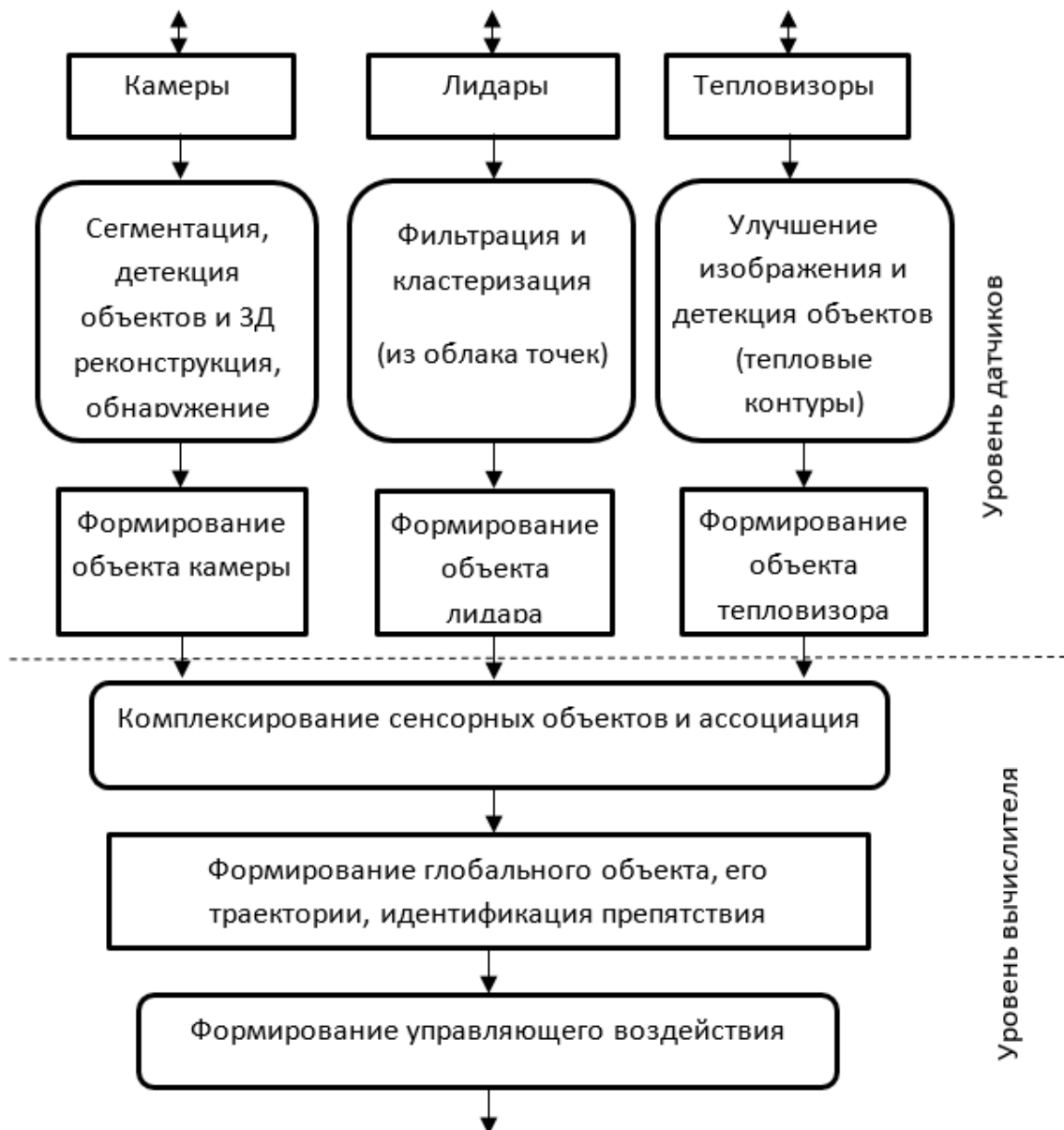


Рисунок 5. Блок-схема работы бортовой СТЗ для обнаружения препятствий

Алгоритм работы бортовой СТЗ можно описать следующим образом. В процессе функционирования система технического зрения электропоезда осуществляет контроль всех объектов, находящихся в ее поле зрения. При этом для СТЗ определены три зоны для обнаружения объектов-препятствий:

- охранная зона (соответствует габариту подвижного состава с заранее определенным допуском в большую сторону 3,0-3,5 м) – красная зона;
- зона бдительности (находится в непосредственной близости от рельсового пути, но за пределами охранной зоны +2,5-3 м, определяется исходя из средней путевой скорости движения по данному участку) – оранжевая зона;
- зона безопасности (за пределами зоны бдительности) – желтая зона.

Информация об обнаруженных объектах пе-

редается по интерфейсу Ethernet в систему управления электропоезда МПСУиД, в бортовое устройство радиосвязи, которое преобразует информацию и передает ее в устройство безопасности через CAN-шину. Кроме того, указанная информация передается в модуль связи, синхронизации и дистанционного управления (МССДУ) для передачи по беспроводному каналу связи в ЦДКУ.

МПСУиД на основании полученной информации осуществляет непосредственное воздействие на органы управления электропоезда в случае обнаружения объекта-препятствия:

- в охранной зоне – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также прицельную остановку электропоезда перед препятствием;
- в зоне бдительности – осуществляет подачу

звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также снижение скорости и проследование головным вагоном препятствия с уменьшенной скоростью;

- в зоне безопасности – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) сигналов без снижения скорости.

Если СТЗ поезда определяет видимые сигналы (знаки, светофоры) – осуществляет выполнение требований указанных сигналов (например, опускание токоприемника, снижение скорости, остановка, подача звукового сигнала и т.д.).

Устройство безопасности БЛОК осуществляет контроль за соблюдением МПСУиД скорости на основе данных, полученной от бортовой электронной карты и информации от СТЗ. В случае, если МПСУиД после получения информации о наличии препятствия не принимает никаких мер по снижению скорости, устройство безопасности БЛОК применяет автостопное торможение.

В случае автоматического управления переданные в ЦДКУ данные об обнаруженном препятствии направляются машинисту-оператору, ответственному за управление данного электропоезда на участке, где обнаружено препятствие. На основании полученной информации машинист-оператор может:

- перевести электропоезд на режим дистанционного управления и осуществлять ведение поезда вручную;

- дать разрешение системе управления на продолжение движения в автоматическом режиме (в случае, если обнаруженное препятствие было ложным или было устранено после остановки электропоезда);

- направить на место остановки электропоезда оперативный ремонтный персонал или сотрудников транспортной безопасности.

Описанный алгоритм работы бортовой СТЗ лег в основу патента № 042033 ОАО «РЖД» [12].

### **Ситуационное моделирование**

Датчики и сенсоры СТЗ формируют модель информационной ситуации [13], которая служит основой управления. Модель информационной ситуации является аналогом лидарного снимка (рис.1) в пространстве параметров.

Важными факторами информационной ситуации являются модели информационных отношений [14]. Модели информационных отношений создают баланс между объектами информационной ситуации. Реальная информация о ситуации всегда содержит неопределенность, которая зависит от условий движения и внешней среды. Транспортные потоки бывают гетерогенны. Снижение гетерогенности транспортных потоков осуществляют за счет модели информационной ситуации.

Для управления с использованием модели информационной ситуации применяют ситуационный анализ [15]. Его особенностью является использование пространственной информационной ситуации [16]. При управлении используют еще

одну модель параметрической информационной ситуации [17].

Для управления движением ПС необходимо использовать разные типы информационной ситуации.

Первый тип информационной ситуации – начальное стационарное окружение неподвижного объекта.

Второй тип информационной ситуации – это скользящее окружение объекта при его движении. Первый и второй тип являются локальными ситуациями.

Третий тип информационной ситуации – это линейный объект, или маршрут.

Четвертый тип ситуации – это маршрут плюс окружающие подвижные объекты. Такая ситуация характерна для транспортных кибер-физических систем (ТКФС) и/или объектов «Цифровой железной дороги» [18]. Этот тип можно отнести к комплексной информационной ситуации. Управлением ТО в такой ситуации занимается вычислитель и искусственный интеллект.

### **Заключение**

Для решения задач управления в автономном режиме железнодорожным ПС целесообразно использовать совместно бортовую и инфраструктурную СТЗ, состоящую из видеочамер, тепловизоров, лидаров, УЗ-радаров и вычислителя.

Для инфраструктурной СТЗ (стационарной и платформенной) целесообразно дополнительное использование извещателей, которые предупреждают об опасности не только машиниста путем подачи звукового и светового сигнала на опасном участке (платформе), но и информируют таким образом человека или животное о приближении поезда. Такое решение снижает вероятность наезда поезда на нарушителя, который оказался на путях или в непосредственной близости к ним.

Предложенная структура и состав бортовой СТЗ позволяет решать задачи определения, сопровождения и идентификации объектов-препятствий с помощью различных датчиков СТЗ и специального вычислителя с помощью алгоритма комплексирования сенсорных данных от всех датчиков, а также может обеспечивать решение навигационной задачи для ТО.

В алгоритме комплексирования признаки препятствий определяются на уровне каждого сенсора СТЗ в отдельности и по ним принимается итоговое решение на основе анализа истории признаков с разных сенсоров. Такой подход видится наиболее точным поскольку каждая камера в отдельности может распознавать и колею, и объекты, после чего сопоставить одни с другими, что будет достаточно точным для определения и идентификации препятствий. Объекты с лидара бортовой СТЗ сопоставляются с колеей на цифровой модели пути.

Определено, что для дальнейшего внедрения технологии управления беспилотными поездами необходимо формирование нормативной базы, в которой важно указать требования к системам технического зрения и высокоточного позици-

онирования, методикам тестирования, доказательству уровня функциональной безопасности, а также к процедурам допуска к эксплуатации беспилотных поездов с использованием технологий технического зрения и высокоточного позиционирования.

## Список литературы

1. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
2. Титов Е.К. Многоаспектность информационной ситуации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). - С.101-106.
3. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 94 с.
4. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 50059.
5. Лёвин Б. А, Цветков В. Я., Дзюба Ю. В. Субсидиарное управление на железной дороге // Мир транспорта. - 2019. - Т. 17. - №4 (83). - С.22-35.
6. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.50-54.
7. Стандарт EMVA1288 // URL:/https://www.emva.org/wp-content/uploads/EMVA1288-3.0.pdf (Дата обращения 25.02.2024).
8. Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. - 2016. - 1 (13). - С.121-129.
9. Попов, П. А. Сопоставление возможностей человека и машины в восприятии окружающего мира / П. А. Попов, В. Л. Дашонок // Железнодорожный транспорт. - 2019. - № 8. - С. 44-46.
10. Попов, П.А. На пути к беспилотному движению // Автоматика, связь, информатика. - 2017. - № 10. - С. 16-17.
11. Патент на полезную модель № 95295 U1 Российская Федерация, МПК В60L 15/38. микро-процессорная система управления и диагностики тепловозов с функцией автоведения: № 2009148125/22: заявл. 16.02.2010: опубл. 27.06.2010 / М. В. Федотов, С. И. Ким, А. А. Пронин, Л. М. Воронкова; заявитель ОАО «РЖД».
12. Патент № 042033. Бортовая система технического зрения локомотива для определения и идентификации препятствий: заявл. 04.02.2021: опубл. 29.12.2022 / А.Л. Охотников, И. Н. Королев, И. А. Дейлид [и др.]; заявитель ОАО «РЖД».
13. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). - С.39-44.
14. Tsvetkov V. Ya. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence. 2015. № 4(8). - p.252-260.
15. Титов Е. К. Ситуационный анализ транспортных кибер-физических систем //Наука и технологии железных дорог. - 2022. - Т. 6. - №. 2 (22). - С. 23.
16. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -4(14). - С.198-203.
17. Плотников С.Б. Параметрическая и пространственная информационная ситуация // ИТ – Стандарт. 2021. 3(28). С.40-45.
18. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.

УДК: 656.256.3(075.8)

## ОСНОВЫ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСАМ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Комнатный Д.В.**

к.т.н, доцент, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ),  
E-mail: toe4031@gstu.by, Гомель, Республика Беларусь

### Аннотация

В статье рассматривается научно-техническая проблема обеспечения устойчивости современных микропроцессорных многоуровневых систем интервального регулирования движения поездов к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия (ЭИПВ). В статье рассмотрено проникновение таких импульсов через паразитные антенны – неоднородности корпусов аппаратуры систем интервального регулирования. Описаны модели преднамеренных электромагнитных воздействий. Проанализирована возможность использования для моделирования ЭИПВ импульсов с линейно-частотной модуляцией и атомарных функций. Предлагается использовать усовершенствованный аналитический метод расчета дифракции через отверстия, основанный на применении вектора Герца.

### Ключевые слова:

транспорт, системы интервального регулирования, электромагнитные импульсы преднамеренного воздействия, паразитные антенны, модели сверхширокополосных импульсных помех, аналитический метод расчета дифракции, вектор Герца.

## FUNDAMENTALS OF STABILITY ANALYSIS OF MODERN INTERVAL CONTROL SYSTEMS TO ELECTROMAGNETIC PULSES OF DELIBERATE IMPACT

**Komnatny D.V.** PhD, Associate Professor, Belarusian State University of Transport (BelSUT),  
E-mail: toe4031@gstu.by, Gomel, Belarus Republic

### Annotation

The scientific-technical problem of modern microprocessor multilevel interval control of train movement systems immunity securing for electromagnetic pulses of intentional impact is considered. Penetration of these pulses through parasitic antennas – discontinuities of such systems apparatus cabinets is considered. The models of intentional electromagnetic impacts are described. The opportunity of electromagnetic pulses modeling by linear-frequency modulated impulses and by monatomic functions is analyzed. The improved analytical method for diffraction calculation, based on Hertz vector usage, is proposed for usage.

### Keywords:

transport, interval control of train movement systems, electromagnetic pulses of intentional impact, parasitic antennas, ultrahigh bandwidth electromagnetic impulses models, analytical method of diffraction calculation, Hertz vector.



## Введение

Для современных перспективных систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП) имеются те же тенденции в проблеме электромагнитной совместимости, что и для телекоммуникационных систем.

Так, в настоящее время при разработке СИРДП используется большое количество коммерчески доступной микропроцессорной аппаратуры, элементная база которой чувствительна к электромагнитным помехам. Также СИРДП строятся на базе известных сетевых технологий. Увеличение мощности применяемых передатчиков информации, расширение применяемого спектра частот ухудшает электромагнитную обстановку (ЭМО) в местах эксплуатации СИРДП также, как и для телекоммуникационных систем. На железных дорогах дополнительной причиной ухудшения ЭМО является увеличение интенсивности движения поездов, внедрение нового тягового подвижного состава [1, 2].

Наблюдается растущая концентрация аппаратуры СИРДП в зданиях управления станциями, отделениями дорог и железными дорогами в целом. В децентрализованных системах микропроцессорной автоблокировки аппаратура размещалась в шкафах сигнальных точек на перегонах. Аппаратура микропроцессорной централизованной автоблокировки в значительной степени размещается на промежуточных станциях [3]. В перспективных СИРДП, первые образцы которых внедряются в Российской Федерации (в частности система управления высокоскоростной железнодорожной магистралью Москва – Санкт-Петербург), имеется многоуровневое расположение оборудования [4, 5, 6]. В этих СИРДП реализуются высокоточные координатные технологии, которые предполагают концентрацию управления в центрах управления движением.

Передача информации на борт поезда осуществляется по радиоканалам систем DHR, TETRA, GSM-R. Система имеет существенные информационные и коммуникационные функции: управленческая поддержка, информационное обеспечение, коммуникационное обеспечение [5]. Поэтому перспективные СИРДП обладают сложной топологией и большим количеством микропроцессорного коммутационного оборудования, и это сближает их с телекоммуникационными системами [1, 4].

Описанные особенности развития современных СИРДП повышают возможность осуществления электромагнитных атак на центры управления движением поездов с помощью электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия (ЭИПВ), так как при увеличении концентрации оборудования и усложнении топологии системы воздействие ЭИПВ может повлиять на условия безопасности движения поездов.

Следовательно, возникает новая для специалистов по железнодорожной автоматике и телемеханике проблема – обеспечение устойчивости СИРДП к ЭИПВ. Новизна этой проблемы подтверждается тем, что в публикациях по электро-

магнитной совместимости на железнодорожном транспорте [7 – 9] эта проблема не поставлена. Вместе с тем ограниченно опубликованы результаты работы консорциума SECRET, созданного в Евросоюзе для исследования возможных воздействий ЭИПВ на системы управления движением поездов, разработки способов выявления электромагнитных атак и защиты от них [10].

Анализ этих материалов показывает, что внимание исследователей консорциума было сконцентрировано на помехах в каналах передачи данных. Эти преднамеренно созданные помехи воздействуют на бализы, антенны GPS, петлевые антенны индуктивной связи с поездами, радары поездов, и эти помехи подавляют полезный сигнал. В консорциуме разработаны методы защиты от подавления полезного сигнала и предложена система мониторинга ЭМО с целью выявления внешних электромагнитных воздействий. Можно заметить, что при этом рассматривались только воздействия на штатные антенны оборудования СИРДП.

Таким образом, из трех путей воздействия ЭИПВ на системы ЖАТ, указанных в [4], а именно: повреждение электронной элементной базы, создание помех приему/передаче сигналов, искажение обрабатываемой информации, в консорциуме изучены только второй и, частично, третий пути.

Воздействие ЭИПВ, направленное на отказы и сбои элементной базы, в открытых источниках консорциума не отражено. Поэтому целью настоящей статьи является обсуждение способов анализа и, в дальнейшем, прогнозирования устойчивости СИРДП к таким воздействиям. Актуальность этой проблемы для Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации со всей очевидностью следует из сложного политического положения вокруг Союзного государства и в глобальном масштабе.

## Методология и результаты исследования

Проблема устойчивости современных и перспективных СИРДП к ЭИПВ имеет в своем составе три соподчиненных задачи: выявление каналов проникновения помех, выбор моделей импульсов преднамеренного воздействия, выбор и обоснование методов расчетного анализа воздействия ЭИПВ на микропроцессорную аппаратуру СИРДП.

ЭИПВ могут воздействовать,

- во-первых, на штатные антенны аппаратуры СИРДП, а также на антенны систем мониторинга ЭМО. При этом происходят отказы входных цепей указанных технических средств.

- во-вторых, ЭИПВ могут проникать внутрь корпусов аппаратуры СИРДП через паразитные антенны, которыми являются отверстия и щели корпуса [11]. Такой сценарий реализуется при электромагнитной атаке на помещения, в которых размещены аппаратура интервального регулирования и передачи информации. Поэтому, число каналов проникновения ЭИПВ значительно больше, чем каналов воздействия на штатные антенны СИРДП с целью подавления полезного

сигнала.

Для анализа воздействия ЭИПВ, особенно на паразитные антенны, необходимо использовать модели импульсов с непрерывным спектром в широкой полосе частот. Тогда проникновение помех через такие антенны анализируется более точно, с учетом неизвестных и непредусмотренных частотно-избирательных свойств антенны. В этом состоит отличие ЭИПВ от излучений, подавляющих полезный сигнал. В материалах консорциума SECRET в качестве моделей подавляющих излучений выбраны сигналы с дискретным спектром [12]: монохроматический синусоидальный, амплитудно-модулированный, частотно-модулированный. При этом рассматривались только два импульсных сигнала: в виде биэкспоненты а также в виде затухающей синусоиды [10].

На основании стандарта МЭК-61000-2-13, а также монографии [13] для анализа воздействия ЭИПВ, кроме биэкспоненциального импульса и импульса в виде затухающей синусоиды, могут быть предложены гауссов импульс, радиоимпульс с прямоугольной огибающей, косинусный и косинускубический импульсы. При этом следует учитывать, что гауссов импульс наиболее часто используется при анализе работы радиотехнических и радиолокационных систем. Следовательно, этот импульс может использоваться при исследовании устойчивости СИРДП к воздействию мощных радиотехнических систем, при работе последних в штатном режиме или при использовании как источника ЭИПВ [14]. На практике такой случай воздействия встречается сравнительно редко, поэтому модель в виде гауссова импульса имеет меньшее значение по сравнению с другими импульсами, перечисленными выше.

Спектры импульсов, используемых в качестве моделей ЭИПВ, являются неравномерными с ярко выраженными максимумами. Многие импульсы имеют в спектре частоты, на которых спектральная плотность равняется нулю [15]. С другой стороны, в технике радиоэлектронной борьбы находят применение импульсы с линейно-частотной внутриимпульсной модуляцией [11, 12] вида:

$$u(t) = A \cos\left(\omega_0 t + \frac{\gamma t^2}{2}\right), |t| \leq \frac{\tau_{\text{ИМП}}}{2}, \omega \in \left[\omega_0 - \frac{\gamma \tau_{\text{ИМП}}}{2}; \omega_0 + \frac{\gamma \tau_{\text{ИМП}}}{2}\right], \quad (1)$$

где  $\omega_0$  — круговая частота импульса, рад/с;  $\gamma$  — параметр модуляции, рад/с<sup>2</sup>;  $\tau_{\text{ИМП}}$  — длительность импульса, с;  $\omega$  — круговая частота спектра, рад/с.

Импульсы с линейно-частотной модуляцией (1) обладают равномерной спектральной функцией

$$|S(\omega)| = A \sqrt{\frac{\pi}{2\gamma}} \text{ при } \frac{\gamma \tau_{\text{ИМП}}^2}{2\pi} > 100.$$

Также известны импульсы вида [16]

$$u(t) = \frac{S_0 \omega_B \sin \omega_B (t - t_0)}{\pi \omega_B (t - t_0)}, \quad (2)$$

где  $S_0 = \frac{A\pi}{\omega_B}$ ,  $A$  — амплитуда импульса, В;

$\omega_B$  — верхняя круговая частота спектра, рад/с;  $t$  — время, с;  $t_0$  — временной параметр импульса,

с. У импульса (2) спектральная плотность  $S(\omega) = S_0$ ;

В спектрах импульсов (1) и (2) отсутствуют частоты с минимумами концентрации энергии, следовательно, на всех частотах в паразитную антенну поступает одинаковая энергия. Это позволяет выявить чувствительность аппаратуры СИРДП к преднамеренным помехам на каждой частоте без исключения.

Но ЭИПВ на базе импульсов вида (1) и (2) должны иметь значительную полную энергию. Особенно это затруднение видно для импульса

$$(2), \text{ так как для него } S(\omega) = S_0 \sim \frac{1}{\omega_B}.$$

Поэтому рассмотренные импульсы (1) и (2) имеют преимущества перед традиционными [15] по распределению энергии в спектре, но полностью проигрывают им по полной величине энергии импульса, необходимой для того, чтобы импульс представлял реальную опасность. Преднамеренное генерирование таких импульсов требует весьма мощных специальных генераторов большой сложности и высокой стоимости.

Для моделирования импульсных электромагнитных полей в последнее время предложены атомарные функции, которые являются бесконечно дифференцируемыми функциями, отличными от нуля в ограниченных областях [13]. Например, экспоненциально затухающая атомарная функция  $\text{sep}(t)$  имеет вид:

$$\text{sep}(t) = \frac{2A}{\alpha_2} e^{-C_0 \left( \frac{t - \tau_{\text{ИМП}}}{\alpha_2} \right)} h_{\alpha_2} \left( \frac{2 \frac{t}{\tau_{\text{ИМП}}} - 1}{\alpha_2 - 1} \right), \quad C_0 = \frac{\alpha_2 \ln 2}{\tau_{\text{ИМП}} (\alpha_2 - 1)}$$

$$h_{\alpha_2} = \frac{\alpha_2}{2} \text{ при } \left( 2 \frac{t}{\tau_{\text{ИМП}}} \right) \leq \frac{\alpha_2 - 1}{\alpha_2 (\alpha_2 - 1)}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  — параметры функции.

Спектральная функция  $\text{Sep}(\omega)$  атомарной функции (3) выражается суммой двух быстроходящихся бесконечных рядов, причем каждый член ряда содержит бесконечное произведение функций вида [13]:

$$f_{n,k} = \frac{\sin \left[ \left( \tau_{\text{имп}} - \frac{\tau_{\text{имп}}}{\alpha_2} \right) \left( \frac{\tau_{\text{имп}}}{\alpha_2} \right)^{n-1} \frac{\pi k}{\tau_{\text{имп}}^n} \right]}{\left( \tau_{\text{имп}} - \frac{\tau_{\text{имп}}}{\alpha_2} \right) \left( \frac{\tau_{\text{имп}}}{\alpha_2} \right)^{n-1} \frac{\pi k}{\tau_{\text{имп}}^n}}, \quad (4)$$

Использование такой спектральной функции при анализе устойчивости СИРДП к импульсным помехам вызывает значительные затруднения. Поэтому, в настоящее время, использование атомарных функций не имеет очевидных преимуществ перед традиционным представлением импульсных помех.

Таким образом, импульсы с непрерывным спектром остаются основными моделями ЭИПВ, применение которых оправдано для анализа воздействия на микроэлектронную аппаратуру современных многоуровневых СИРДП.

Расчет воздействия ЭИПВ на штатные антенны не представляет значительных трудностей, так как электродинамические свойства этих антенн хорошо изучены. С другой стороны, паразитные антенны в составе сложного аппаратного комплекса СИРДП достаточно многочисленны, а их электродинамические характеристики формируются случайно в зависимости от особенностей конструкции корпуса. Паразитные антенны являются переизлучающими. Принятая электромагнитная энергия излучается внутрь корпуса технического средства СИРДП и воздействует на входные контуры электронных узлов, имеющие свои многочисленные резонансные частоты.

Следовательно, при прогнозировании воздействия ЭИПВ на аппаратуру СИРДП через паразитные антенны необходимо описание процесса возбуждения паразитных антенн корпусов электромагнитными импульсами и распространения помехового электромагнитного поля внутри корпуса.

Получить такое описание позволяют, в частности, интегральные уравнения теории дифракции, решение которых удобно получать численно [17].

Аналитические методы также могут найти применение для решения рассматриваемой задачи. Преимуществами аналитических методов является сравнительно простой математический аппарат, вычислительная эффективность, несложная реализация, отсутствие вычислительных трудностей. Применение аналитических методов оправдано там, где требуется высокая скорость вычислений и быстрое получение результата, не в ущерб адекватности моделирования [18]. Представляется, что такая ситуация возникает при проектировании многоуровневых СИРДП с большим количеством рассредоточенной аппаратуры.

Среди аналитических методов известна группа методов приближенного решения задач дифракции, основанных на принципе Гюйгенса-Кирхгофа и методе Кирхгофа. Однако, эти методы имеют те или иные ограничения, приближения и недостатки [17, 19]. В [19] обоснован подход к

решению задач дифракции, основанный на методе Кирхгофа, не имеющий значительных ограничений при его использовании на практике. Основной идеей метода [19] является применение для решения дифракционных задач вектора Герца. Исходными данными для расчета является распределение плоской линейно-поляризованной волны на апертуре, не возмущенное краями апертуры. Принимается, что апертура расположена на плоской бесконечной проводящей поверхности. Распределение поля может быть задано как в плоскости падения излучения (она же плоскость с апертурой), так и перпендикулярно этой плоскости. В этой работе приведены результаты решения дифракционных задач для бесконечной узкой щели, прямоугольного и круглого отверстий. Результаты представлены в виде замкнутых выражений для электрической составляющей электромагнитного поля, излучаемого апертурой в область за плоскостью. Все это позволяет использовать метод вектора Герца из [19] для решения задач анализа воздействия ЭИПВ на аппаратуру СИРДП через паразитные антенны в виде неоднородностей корпусов этой аппаратуры.

Если известны характеристики помехового электромагнитного поля, излучаемого неоднородностью корпуса в его внутреннюю область, то наведенные во входных цепях узлов микроэлектронной аппаратуры СИРДП помехи можно рассчитать с помощью известных соотношений для антенн, образованных линиями связи в узлах [20].

### Заключение

Изложенные в статье соображения позволяют сделать вывод, что полученные в рамках работы консорциума SECRET (судя по информации из открытых источников [4, 10]) результаты по исследованию воздействия ЭИПВ на аппаратуру современных многоуровневых СИРДП не охватывают всех аспектов проблемы преднамеренных электромагнитных воздействий на указанные технические средства. Следует рассматривать воздействие мощных ЭИПВ, направленное на создание отказов и сбоев микроэлектронной аппаратуры СИРДП.

Необходимо учитывать воздействие ЭИПВ не только на штатные антенны оборудования передачи информации, но и на паразитные антенны корпусов аппаратуры СИРДП, а также на резонансные контуры во входных цепях указанной аппаратуры. Эти антенны являются важнейшим каналом проникновения электромагнитных помех. Следует использовать модели ЭИПВ с непрерывным спектром в широкой полосе частот, главным образом, биэкспоненциальный импульс, импульс в виде затухающей синусоиды, косинусный и косинускубические импульсы, прямоугольный радиоимпульс.

Среди разработанных к настоящему времени методов вычислительной электродинамики имеются апробированные численные и аналитические методы, позволяющие анализировать про-

никновение помеховых электромагнитных полей ЭИПВ в корпуса технических средств СИРДП через паразитные антенны.

Обобщая результаты рассмотрения всех выделенных в статье задач, можно заключить, что проблема анализа устойчивости современных и перспективных цифровых многоуровневых СИРДП к ЭИПВ может быть решена путем расчета переизлучения паразитной антенной ЭИПВ, моделируемых импульсами с непрерывным спектром. Инженерный расчет осуществляется усовершенствованным

аналитическим методом Кирхгофа. Это позволит прогнозировать и предотвращать отказы и сбои микропроцессорных многоуровневых СИРДП, вызванные повреждениями элементной базы с помощью ЭИПВ, поскольку исключение этого пути воздействия ЭИПВ также имеет большое значение для безопасности функционирования СИРДП.

Представленные в работе результаты публикуются впервые.

## Список литературы

1. Соколов, С. А. Воздействие внешних электромагнитных полей на оптические кабели связи и гибридные линии / С. А. Соколов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2018. – 214 с.
2. Кечиев, Л. Н. Электромагнитная несовместимость: опасности, катастрофы, риски. / Л. Н. Кечиев. – М.: Грифон, 2022. – 344 с.
3. Системы управления движением поездов на перегонах: учебник для вузов ж-д. трансп. в 3х частях / В. М. Лисенков [и др.], под ред. В. М. Лисенкова. – М. : Учебно-метод. центр по образованию на ж-д. трансп., 2009. – Ч. 1 : Функциональные схемы систем. – 159 с.
4. Комплексная технология интервального регулирования движение поездов / С. А. Кобзев [и др.], под ред С. А. Кобзева и Е. Н. Розенберга. – М. : Акц. о-во 8Т Издательские технологии, 2022. – 288 с.
5. Розенберг, Е. Н. Развитие сигнализации на железной дороге / Е. Н. Розенберг, В. Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог – 2024. – № 2(30). – С. 17 – 22.
6. Хромушин, К. Д. Инновационные решения для ВСЖМ / К. Д. Хромушин [и др.] // Автоматика, связь, информатика – 2024. – № 5. – С. 12–14.
7. Ognusola, A. Electromagnetic Compatibility in Railways / A. Ognusola, A. Mariscotti. – Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 2013. – 544 p.
8. Bucker, D. G. Electromagnetic compatibility: analysis and case studies in transportation / D. G. Bucker. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. – 400 p.
9. Macdiguran, M. Electrostatic discharge: Understand, Simulate and Fix ESD Problems / M. Macdiguram. – 3rd ed. – N. Y.: Wiley-IEEE Press, 2009. – 312 p.
10. Filippini, C. White paper Secret / C. Filippini. – Paris, VIC-ETF, 2015. – 32 p.
11. Радиоэлектронная борьба. Силовое подавление радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин [и др.], под ред. А. И. Куприянова. – М. : Вузовская книга, 2007. – 468 с.
12. Иванов, М. Б. Радиотехнические цепи и сигналы / М. Б. Иванов, А. Б. Сергиенко, В. Н. Ушаков. – СПб. : Питер, 2014. – 226 с.
13. Ерофеенко, В. Т. Задачи экранирования электромагнитных полей экранами из композитных материалов / В. Т. Ерофеенко. – Минск : Изд. центр БГУ, 2023. – 271 с.
14. Бакулев, П. А. Радиолокационные системы / П. А. Бакулев. М. : Радиотехника, 2015. – 440 с.
15. Хохлов, Н. С. Типовые модели деструктивных широкополосных и сверхширокополосных сигналов, воздействующих на системы связи специального назначения / Н. С. Хохлов, С. В. Канавин, И. В. Гилев // Вестник Воронежского института МВД России – 2019. – № 1. – С. 91–101.
16. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. – М. : Высшая школа, 2003. – 462 с.
17. Ваганов, Р. Б. Основы теории дифракции / Р. Б. Ваганов, Б. З. Кацеленбаум. – М. : Наука, 1982. – 272 с.
18. Газизов, Т. Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях / Т. Р. Газизов. – Томск : Изд-во НТЛ, 2003. – 167 с.
19. Назьев, В. Г. Дипольно-волновая теория дифракции электромагнитного излучения / В. Г. Назьев // Успехи физических наук – 2022. – Том 172, № 5. – С. 601– 607.
20. Кравченко, В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств / В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.



## КОНТАКТЫ

---

### **Редакция**

+7 (916) 433-60-72  
journal@vniias.ru

### **Контакты**

АО «НИИАС» Россия, Москва, 109029,  
Нижегородская ул., д. 27, стр.1

+7 (495) 967-77-06  
info@vniias.ru

