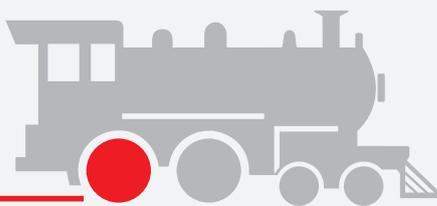


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«ТРАНСПОРТНЫЕ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Аверченков Е.О., Данько С.В., Ключников А.С., Батин Н.А.

«ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА И МОСКОВСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЬЦА»

Шайтура С.В.

«РАСПРЕДЕЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Охотников А.Л.

«ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ»

Буравцев А.В.

«ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Яковенко П.Г.

«АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ ОБЪЕКТОМ»

Духин С.В., Нуйкин А.В.

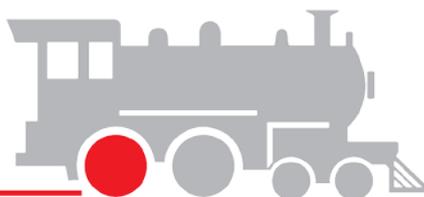
«ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ МЕТОДОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНО-ПУТЕВЫХ РАБОТ
НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

Дзюба Ю.В.

«ОТКРЫТЫЕ ИННОВАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

№ 3

Сентябрь 2017



Стратегия развития железных дорог

Лёвин Борис Алексеевич, Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич

Транспортные кибер-физические системы

3

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Аверченков Егор Олегович, Данько Сергей Васильевич,

Ключников Андрей Сергеевич, Батин Никита Александрович

Взаимодействие с подвижным составом в системах управления движением на примере автоматизации транспортных систем московского метрополитена и Московского центрального кольца

16

Шайтура Сергей Владимирович

Распределенное управление в транспортной сети

25

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Охотников Андрей Леонидович

Геоинформационный мониторинг транспортных объектов

35

Буравцев Алексей Владимирович

Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере

48

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Яковенко Павел Георгиевич

Алгоритм управления подвижным объектом

59

Духин Степан Владимирович, Нуйкин Алексей Викторович

Технология применения координатных методов при проведении ремонтно-путевых работ на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта

67

Дзюба Юрий Владимирович

Открытые инновации на железнодорожном транспорте

74

УДК: 656, 004.89, 656.052

ТРАНСПОРТНЫЕ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Лёвин Б.А.** д.т.н., профессор, ректор, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: tu@miit.ru, Москва, Россия
- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Генеральный директор, АО «НИИАС», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья описывает транспортные кибер-физические системы как новые системы управления транспортом. Они рассматриваются как новый этап развития интеллектуальных транспортных систем. Раскрывается содержание кибер-физических систем как основы для транспортных кибер-физических систем. Показаны основные принципы организации и функционирования этих систем. Раскрывается содержание киберфизического управления применяемого в транспортных киберфизических системах. Показано различие между авиационными и остальными транспортными кибер-физическими системами. Описаны проблемы разработки таких систем. Отмечены перспективные направления развития транспортных киберфизических систем.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, кибер-физические системы, транспортные кибер-физические системы, интеллектуальные транспортные системы, телематика, распределенные системы.

TRANSPORT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

- Levin B.A.** D.ofSci(Tech), Professor, Rector, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: tu@miit.ru, Moscow, Russia
- Rosenberg I.N.** DofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIIAS», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIIAS", E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes the transport of cyber-physical systems as new transport management systems. They are considered as a new stage in the development of intelligent transport systems. The article reveals the content of cyber-physical systems as the basis for transporting cyber-physical systems. The article describes the basic principles of organizing transport cyber-physical systems. Paper reveals the content of cyberphysical management used in transport cyberphysical systems. The article describes the difference between aviation and other transport cyber-physical systems. The article describes the problems of developing such systems. The article highlights the perspective directions of the development of transport cyberphysical systems.
- Keywords:** Transport, management, cyber-physical systems, transport cyber-physical systems, intelligent transport systems, telematics, distributed systems.

Введение.

Транспортные системы оказывают существенное влияние на экономику, окружающую среду и потребление энергии. Для создания новых транспортных систем необходимо решить ряд фундаментальных проблем организационного, технического и управленческого характера. Причем управление связано с интеллектуализацией, сложностью и когнитивными факторами. Транспортные: автомобильная, авиационная, морская и железнодорожная - системы взаимосвязаны друг с другом. Они образуют гетерогенную транспортную сеть со структурными компонентами. Это требует перехода от управления одним видом транспорта к комплексному управлению [1] связанными транспортными системами. Транспортные сети уязвимы для инцидентов, таких как: заторы, аварии, землетрясения, ураганы, наводнения и нападения. Это требует перехода от управления с одним критерием оптимальности к комплексному многокритериальному управлению [2]. В последние годы транспортные сети дополняются беспроводными сетями связи и спутниковыми системами [3]. Это требует комплексного управления с включением разных информационных ресурсов. Реальная ситуация, в которой находятся подвижные объекты и транспортная инфраструктура, и построенная на ее основе информационная ситуация [4] исключают применение простых автоматизированных систем и требуют перехода к интеллектуальному управлению [5, 6]. Это требует развития технологий и систем включающих интеллектуальные методы управления. Развитие современных распределенных систем привело к появлению распределенной технологии интернет вещей [7]. Это требует применения методов управления на основе распределенных моделей и систем. Одним из средств решения данных проблем являются кибер-физические системы [8, 9] и развиваемые на их основе транспортные кибер-физические системы [10, 11]. В транспортной кибер-физической системе (TCPS) дискретные вычислительные компоненты позволяют контролировать и управлять физическими устройствами в режиме реального времени

Ключевые принципы транспортных киберфизических систем.

Транспортные сети становятся все более сложными и большими, что исключает ранее применяемые методы моделирования и анализа. В последнее время много уделяется внимание «проблеме больших» [12] данных. При переносе этой проблемы в область транспорта эта проблема порождает дополнительную проблему «больших транспортных потоков» (рис.1).



Рис.1. Проблема больших транспортных потоков [13].

В данной области существует ряд специфических принципов и принятых понятий, которые надо принимать во внимание при проведении исследований и проектировании в данной области.

Вызовы для транспортных кибер-физических систем (Challenges for Transportation Cyber-Physical Systems). Этим термином обозначают ряд проблем, которые необходимо решать с помощью TCPS и ряд проблем связанных с разработкой и созданием TCPS. Известно, что требования к разработке сложных CPS возрастают, поэтому общая сложность системы резко возрастает. Это требует применения специальных методов, основным из которых является моделирование [14, 15].

Коммуникация типа V2V (Vehicular-to-Vehicular communications). Этим понятие обозначают принцип коммуникации между транспортными средствами на основе установленных датчиков. Принцип V2V является обязательным при создании TCPS. Это коммуникация преобразует разрозненные транспортные средства к единой распределенной динамической системе, к технологии интернет вещей и создает основу киберфизического управления. Эта коммуникация осуществляется без вмешательства человека за счет датчиков и сенсоров (рис.2).

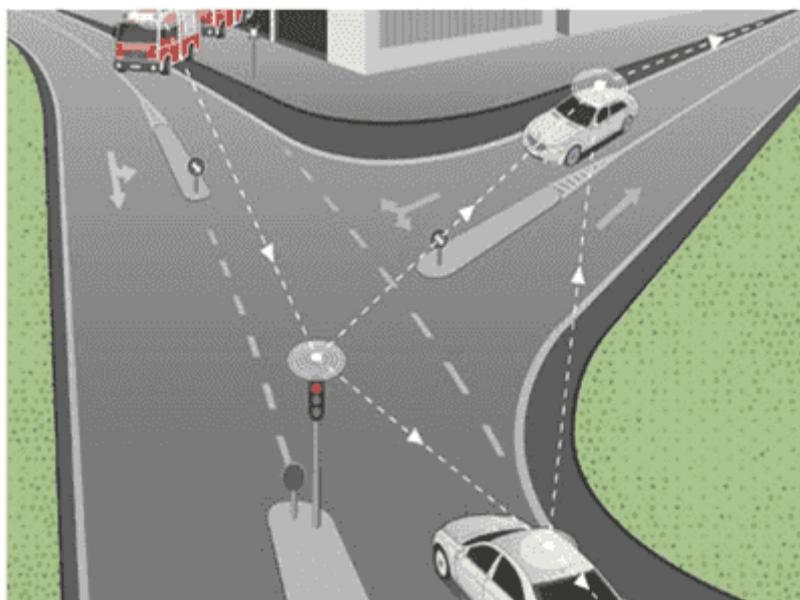


Рис.2. Коммуникация V2V [16]

Кибер-физические облачные вычисления (Cyber-Physical Cloud Computing). Технология, которая использует известные облачные вычисления [17]. Она стала возможной благодаря широкому применению беспроводного интернета в транспортных системах. Базис архитектуры Cyber-Physical Cloud Computing определяется как системная среда, которая может быстро создавать, модифицировать и предоставлять автоматические масштабируемые киберфизические системы, состоящие из набора датчиков на основе облачных вычислений, обработки, контроля и услуг передачи данных.

Сети VANET. Автомобильные сети, которые образованы транспортными средствами, обменивающимися информацией по беспроводной среде.

Интеграция CPS в VANET (CPS Integration in VANETs) Эта технология и принцип определяется как комбинация вычислительных и физических систем в реальном времени, так что физические системы действуют таким образом, чтобы обеспечить наилучшие преимущества для окружающей среды. Имеет сокращение как VCPS.

Распределенные приложения VCPS (Distributed VCPS Applications). Эти приложения основаны на широком применении VANET. Эта сеть играет большую роль в разработке широкого спектра приложений для решения задач транспорта. Она помогает водителям и пассажирам в аварийных ситуациях, таких как туманная ситуация, ледяная дорога, сильный дождь, опасное состояние дороги и т. д. Для улучшения безопасности распределенные приложения VCPS помогают водителям обеспечивать безопасное движение, безопасность на поворотах. Они помогают избежать опасных препятствий на дорогах вне зоны видимости, улучшают сигналы движения, используют адаптивные методы, перенаправляют трафик в часы пик и многое другое.

Эти технологии используют разнообразные наборы данных и геоданных [18] от разных датчиков и технологий. Они используют мобильные устройства, оснащенные беспроводной технологией, чтобы лучше локализовать местоположение транспортных средств. Они используют позиционирование с помощью дорожных навигаторов, технологии ГЛОНАСС/GPS, сотовые башни, триангуляцию Wi-Fi и другой. Кроме того, эти услуги предлагают сторонний API-интерфейс, который также может улучшить геолокацию транспортного средства.

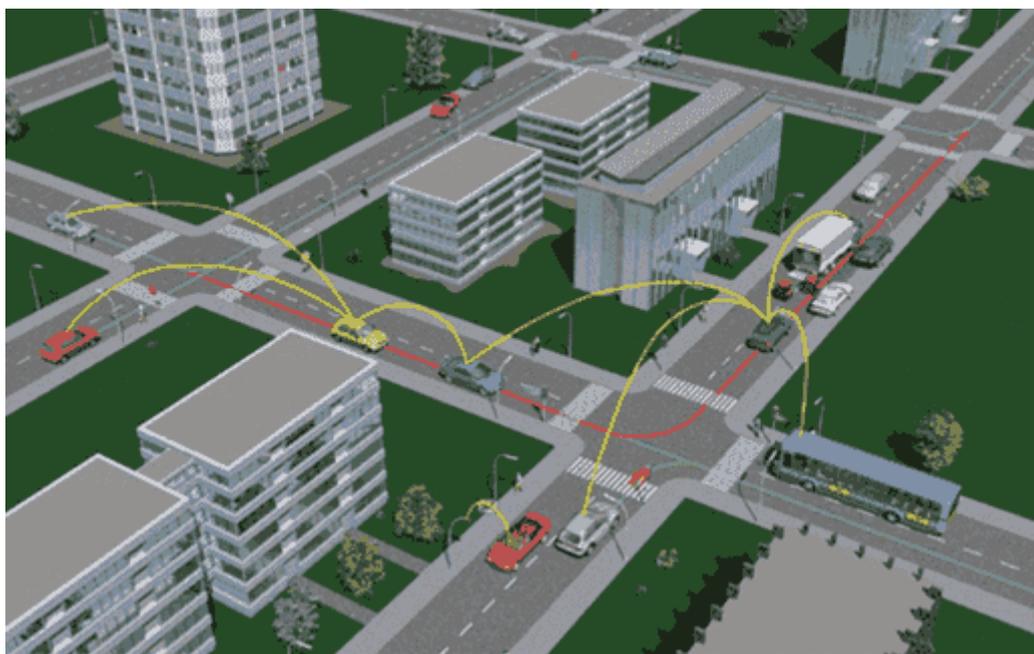


Рис.3. Приложения VCPS [19].

Транспортная облачная сеть (Vehicular Cloud Networking). Это специальная сеть, основанная на интеграции облачных вычислений [17] с информационно-ориентированной сетью, которая является общей формой коммуникационной архитектуры для обеспечения эффективного распространения контента в Интернете.

Авиационные киберфизические системы (Aviation Cyber-Physical Systems). Эти системы представляют собой разновидность TCPS для специализированных задач управления воздушными перевозками с использованием спутниковых технологий. Эта технология позволяет информировать пилотов о точном расположении других самолетов вокруг них. В целом она это позволяет большему количеству самолетов летать безопасно. Особенность этой системы состоит в трехмерном анализе данных и расчете трехмерных траекторий движения.

Для сравнения автомобильные, железнодорожные и морские транспортные подвижные объекты фактически перемещаются с использованием плановых координат, которые служат основой расчета траекторий движения [20].

Транспортные средства облачных вычислений (Vehicular Cloud Computing). Новая парадигма, в которой транспортные средства взаимодействуют и взаимодействуют, не только для коммуникации, но и для проведения совместных вычислений. Она позволяет лучше воспринимать окружающую среду, обрабатывать данные, распространять результаты и обмениваться ресурсами. По существу этот принцип и технология создают мобильный вычислительный кластер.

Carular Cloud. Этот принцип расшифровывается как «облако транспортных средств» и представляет собой группу автономных транспортных средств, которые могут координировать и динамически распределять корпоративные вычисления, средства связи и физические ресурсы авторизованным пользователям. Этот принцип реализует модель коллективного поведения.

Коммуникация типа V2I. Этим термином обозначают коммуникацию между транспортными средствами и инфраструктурой. Этот принцип является аналогом коммуникация типа V2V, но с дополнением других качеств информационного взаимодействия.

Интеллектуализация транспортной инфраструктуры (Vehicle Infrastructure Integration - VII) на основе концепции интеллектуальное движение. Этот принцип (рис.3) основан на интеграции технологий получения информации и интегративности системы управления. Он является развитием технологий интеллектуальных транспортных систем, дополненных большей широтой моделирования и учета окружающей среды и текущей информационной ситуации.



Рис.3. Интегрированная система интеллектуального движения [21].

Особенность данной системы интеллектуального движения в том, что она учитывает экологические факторы, метеорологические факторы и даже ресурсы топлива.

Интеллектуальная система дорожной безопасности COOPERS [22] (CO-OPERative System for intelligent road safety) (рис.4). Этот проект направлен на создание интегрированной системы

управления движением, применяющей инновации в области телематики для дорожной инфраструктуры [23]. Он основан на развитии методов телематики, ориентированных на функцию обеспечения безопасности движения. В этом проекте используются совместные системы, поддерживаемые беспроводными соединениями (V2V и V2I) для сбора полезной информации от транспортных средств (например, скорость, местоположение, время в пути, погодные условия, состояние подвижного объекта).

Особенностью данных систем является необходимость создания большой базы данных, совместно используемой операторами трафика и поставщиками услуг транспортных систем.

Принципы управления с применением транспортной кибер-физической системы.

Кибер-физические системы представляет собой сложные распределенные системы. Управление такими системами или с помощью таких систем основано на алгоритмах, тесно интегрированных с платформенной и сетевой средой. В CPS физические и программные компоненты тесно связаны. При этом роль программного обеспечения существенно возрастает в сравнении с транспортными системами менеджмента или АСУ транспорта. Это обусловлено переносом части системы в подвижные объекты и фактическим применением субсидиарного управления в таких системах.

Многие компоненты работают в разных пространственных и временных масштабах, что создает множество различных поведенческих модальностей и информационных взаимодействий, которые меняются в зависимости от контекста. Современные реализации CPS включают «умный грид», автономные автомобильные системы, экологический мониторинг, системы управления технологическими процессами, робототехнические системы и автоматическую пилотную авионику [24].

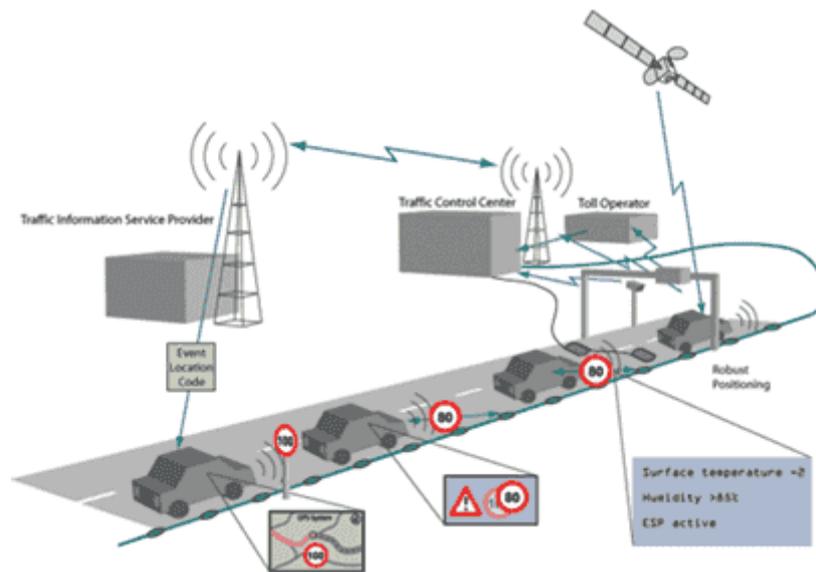


Рис.4. Интеллектуальная система дорожной безопасности [23]

CPS применяет трансдисциплинарные подходы, объединяя теорию кибернетики, мехатроники, проектирования и науки о процессах. Распределенные системы управления процессами движения часто называют встроенными системами (embedded systems) [25]. В этих системах акцент чаще всего делается на вычислительных элементах и меньше на интенсивной связи между вычислительными и физическими элементами. CPS похожа на технологию

«Интернет вещей» [7] (Internet of Things - IoT), использующие одну и ту же базовую архитектуру. Однако CPS представляет более высокую комбинацию и координацию между физическими и вычислительными элементами [26].

Отличительными особенностями CPS являются: цифровая интеграция, распределенная коммуникация, распределенные процессы, наличие регулирующих потоков, наличие распределенных вычислительных систем и др. На рис.5 приведен фрагмент CPS или TCPS [25]. Он включает три части: физическая среда, сетевая среда, платформенная среда.

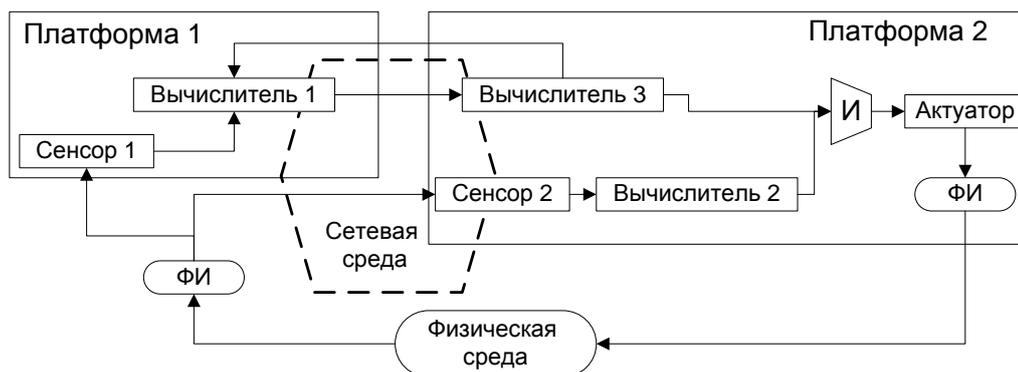


Рис.5. Фрагмент структуры кибер-физической системы.

Это дает основание рассматривать такую модель как тринитарную. На рис.5 показаны только две платформы. Физическая среда кибер-физической системы включает как основу компьютеры и цифровые сети. Однако, в отличие от многих сложных систем, она может включать не только механические части, но биологические, химические процессы и оператора человека. Каждая платформа содержит вычислители и сенсоры. На основе сенсоров и узлов-вычислителей получают данные, которые через интегратор (И) поступают на актуатор. Актуатор формирует управляющее воздействие. На схеме показан физический интерфейс (ФИ). Сетевая среда обеспечивает механизмы для взаимодействия компьютеров. Вместе, три среды образуют часть кибер-физической системы. Схема на рис.5 является ярко выраженной схемой субсидиарного управления с минимальным включением человеческого фактора. Это с одной стороны на порядки повышает скорость управления, с другой стороны создает непредсказуемость поведения системы при непредвиденных обстоятельствах.

Транспортные кибер-физические системы создают на основе моделирования с упором на совместное моделирование программного обеспечения и физической динамики. Это обусловлено тем, что из-за сложности существующих CPS не существует аналитических методов, достаточно адекватно описывающих поведение таких систем.

Модель CPS можно описать, как агрегацию алгоритмической и структурной компонент. При этом структурная составляющая может определяться структурой ориентированного графа, а алгоритмическая – динамикой с помощью сети Петри (СП). Подмножество состояний СП является важным показателем состояний кибер-физической системы. Как правило, кибер-физическая система может быть представлена множеством моделей, имеющих одинаковую структурную составляющую и разные алгоритмические реализации. Разработка методов оптимизации частных алгоритмических моделей CPS из общей структурной модели является важной задачей.

Как система управления CPS сформирована как распределенная субсидиарная [27] или сетевая [9] система. Она имеет несколько уровней управления и на каждом уровне масштаба управления появляются новые свойства, несводимые к свойствам простых уровней. В отличие от обычных встроенных систем полнофункциональные TCPS разрабатываются как сеть взаимодействующих элементов с вычислительными устройствами, а не как автономные устройства. Концепция TCPS тесно связана с концепциями робототехники, сенсорных сетей и распределенными вычислительными системами. Тринитарность (рис.5) [28] разработки кибер-физической системы для многоцелевого управления требует построения трех ее разных схем. На рис.6 приведена структура транспортной кибер-физической системы, акцентированная как фрагмент семантической сети [29].

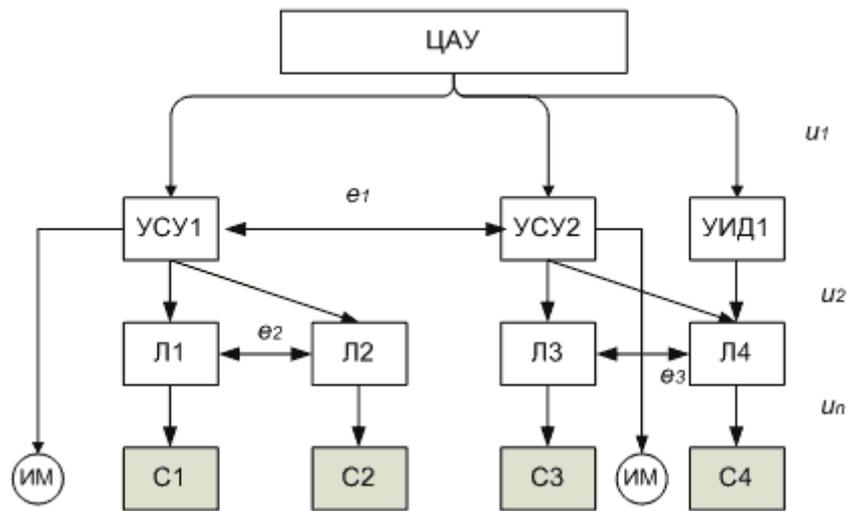


Рис.6. Структура транспортной кибер-физической системы в виде семантической сети

Напомним, что кибер-физическая система представляет собой ярко выраженную гетерогенную систему. На рис.1 имеются следующие обозначения. ЦАУ – главная система управления. УСУ – узел сетецентрического управления. ЛВ – локальный вычислитель. УИД – узел интеграции данных. С – сенсор. ИМ – исполнительный (физический) механизм. На схеме показаны отношения подчиненности (u) и эквивалентности (e).

Вторая структура транспортной кибер-физической системы является функциональной. Укрупнено она приведена на рис.7.

На схеме исключены ряд узлов, которые играют вспомогательную роль при определении функций. Ядром является главная система управления. Функции управления (Фу) реализуются через узлы субсидиарного управления (УСУ). Регулирующие функции (Фр) повышают оперативность управления. Функции контроля (Фк) управления реализованы через узел трансформации данных (УТД) и главный вычислительный узел (ГВУ). Исполнительные узлы (ИУ) в этой схеме являются вспомогательными и входят в состав блоков (число боков от 1 до N), которые, в свою очередь, входят в объект управления.

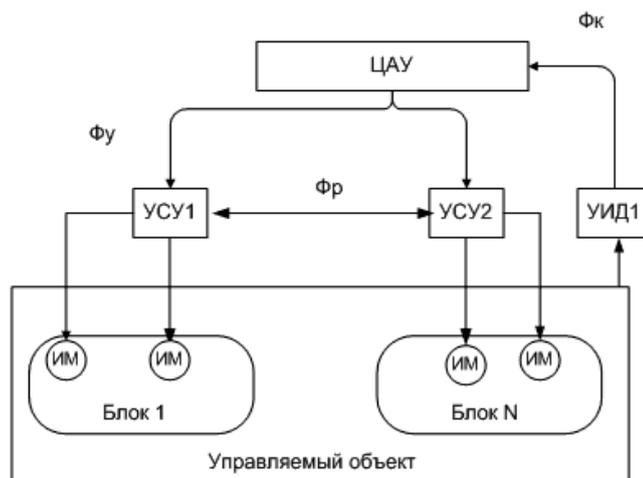


Рис.7. Увеличенная функциональная схема транспортной кибер-физической системы.

Центральный алгоритм управления является также многоцелевым [30] и многокритериальным алгоритмом. Наиболее сложной является алгоритмическая схема обработки. Она приведена на рис.8. Связь между схемой на рис.7 и рис. 8 показана через многокритериальный алгоритм управления и вычислительный кластер.

Связь между схемой на рис.6 и рис. 8 показана через УСУ и многокритериальный алгоритм управления. Таким образом, многокритериальный алгоритм управления является основой тринитарности кибер-физической системы и основой объединения трех схем.

На рис.8 не показаны локальные вычислительные узлы, которые формируют информации о состояниях. Если сравнивать схему транспортной кибер-физической системы на рис.8 с информационными системами управления, то общим является информация о состоянии: узла, блока, объекта управления. Различием является информация о состоянии: сети, сети информационных потоков. Это различие обуславливает дополнительные алгоритмические трудности при использовании кибер-физических систем.

Многокритериальный алгоритм управления решает две основные задачи: анализ информационной ситуации [4, 31], в которой находится объект управления и выработку набора управленческих решений для последующего их принятия в центре управления.

В качестве вспомогательных задач многокритериальный алгоритм управления решает задачи: оценки соответствия целям управления, оценки оперативности управления, оценки эффективности управления. Эти задачи существенно усложняют алгоритм обработки информации в кибер-физических системах. Решение задач предоставляется в главную систему управления.

Проектирование кибер-физической системы часто выполняют на основе архитектуры 5C (connection, conversion, cyber, cognition, configuration) (соединение, конверсия, кибер, познание, конфигурация) [32]. На уровне «Соединение» устройства могут быть сконструированы для самоподключения и самоконтроля для его поведения. На уровне «Конверсия» данные от устройств с автономным подключением и датчиков измеряют характеристики критических проблем с самосознанием, машины могут использовать самосознающую информацию для самоопределения своих потенциальных проблем.

На уровне «Кибер» каждая машина реплицирует свой «двойник», используя эти инструментальные функции, и далее характеризует шаблон здоровья машины, основанный на методологии «Time-Machine». Установленный «клон» в киберпространстве может выполнять самоанализ для одноранговой сети и для дальнейшего синтеза. На уровне «Познание» результаты самооценки и самооценки будут представлены пользователям на основе «инфографического» (infographic) значения, чтобы показать содержание и контекст потенциальных проблем.

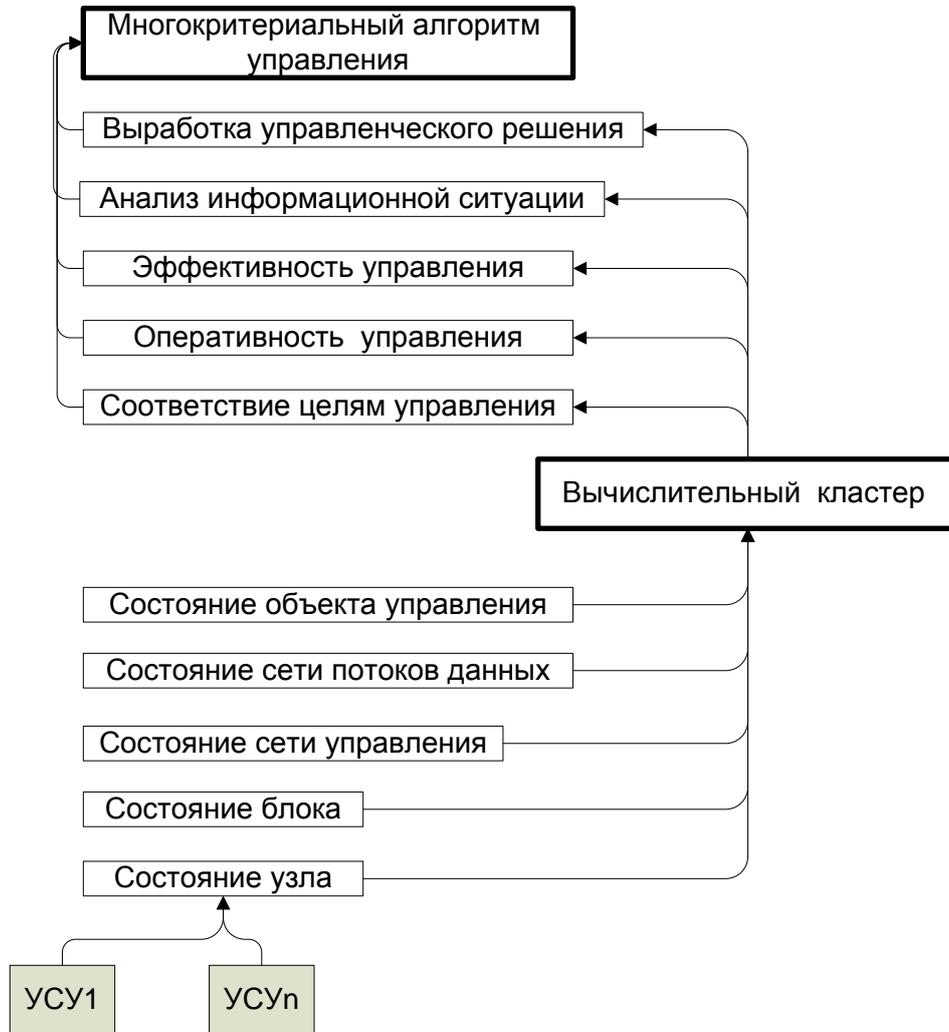


Рис.8. Схема алгоритмической обработки в TCPS

На уровне «Конфигурация» машина или производственная система могут быть переконфигурированы на основе критериев приоритета и риска для достижения отказоустойчивости [33].

Заключение.

Современные транспортные кибер-физические системы являются развитием интеллектуальных транспортных систем [34] и интеллектуального управления [35]. Их можно интерпретировать как распределенные интеллектуальные транспортные системы. Транспортные кибер-физические системы можно также интерпретировать как интегрированные распределенные робототехнические системы. Транспортные кибер-физические системы можно также интерпретировать как

распределенные интеллектуальные информационно-вычислительные сети. Это определяет TCPS как многоаспектные сложные распределенные системы. Главным препятствием создания и применения TCPS является сложность описания их поведения. Следует напомнить закон многообразия Эшби, который требует большего разнообразия от системы в сравнении с разнообразием ситуаций. Это влечет необходимость многообразия описания или многообразия моделирования. Пока описание таких систем представляет большую проблему и моделирование является основным инструментом построения TCPS.

Развитие связи между вычислительными и физическими элементами транспортных кибер-физических систем с помощью интеллектуальных алгоритмов является перспективным путем их улучшения. Однако еще одним недостатком TCPS является недостаточная вычислительная мощность узлов (вычислителей), что требует объединения их в кластер и применения алгоритмов коллективного поведения. То есть применения методов мультиагентных систем [35] для анализа и вычислений. Концепции CPS как систем управления и основы управления приняты в США, Европе, Японии, Индии, Китае [36]. По предварительным оценкам переход к TCPS приведет к удвоению ВВП [36]. В тоже время применение кибер-физических систем сопряжено с алгоритмическими трудностями и в обусловленных сетевыми проблемами. Проблемой в разработке транспортных кибер-физических систем является семантический разрыв в практике проектирования между различными инженерными дисциплинами, такими как программное обеспечение и машиностроение. В настоящее время не существует общего «языка» проектирования, который явился бы общим для всех задействованных направлений. В современных условиях проектирования TCPS специалисты разных дисциплин должны иметь возможность совместно строить информационные конструкции системы, интегрировать функциональное и программное обеспечение и анализировать конфликты между ними. Отдельные исследования [37] показывают, что пока только моделирование (имитационное и информационное) позволяет создавать TCPS.

Список литературы

1. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.14-21.
2. Зотов М. Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления. – М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2004.
3. Вишневский В. М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации -М.: Техносфера, 2005.
4. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166 - 2170.
5. Александров А.В. Интеллектуальное управление // Славянский форум, 2016. -1(11). – с.15-22.
6. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.275-282.
7. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
8. Цветков В.Я. Кибер-физические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-1. – с.64-65.

9. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетецентрическое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. -2(19). – с.86-92.
10. Liu X., He W., Zheng L. Transportation Cyber-Physical Systems: Reliability Modeling and Analysis Framework //National Workshop for Research on High-Confidence Transportation Cyber-Physical Systems: Automotive, Aviation and Rail. November. – С. 18-20.
11. <http://cyberphysicalsystems.org/>. Data view 20.06.2017.
12. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - с.7-11.
13. http://www.wired.com/autopia/2007/06/bigdollar_relief/ Data view 20.06.2017.
14. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.2-10.
15. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. – p. 40-44/
16. <http://theinformativereport.com/2010/08/06/building-the-car-of-the-future-a-zero-fatality-car.> Data view 20.06.2017.
17. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Чехарин Е.Е. Облачные платформы и сервисы. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 80с.
18. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - с.50-51.
19. <https://connectedvehicle.devpost.com/submissions/2892-connected-vehicle-intelligent-driver> Data view 20.06.2017.
20. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.31-38.
21. R. Kandarpa, M. Chenzaie, J. Anderson, J. Marousek, T. Weil, F. Perry, I. Schworer, J. Beal and C. Anderson, “Final report: vehicle infrastructure integration proof of concept results and findings-Infrastructure,” U.S. Department of Transportation, 2009.
22. <http://www.coopers-ip.eu/> Data view 20.06.2017.
23. EU-Kommission legt Frequenzen für Fahrzeugkommunikation fest,”. Available: <http://www.golem.de/0808/61546.html>. Accessed 15 May 2017.
24. Khaitan et al., "Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey", IEEE Systems Journal, 2014.
25. Lee, E.A., Seshia, S.A.: Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach. LeeSeshia.org, 2011.
26. Rad, Ciprian-Radu; Hancu, Olimpiu; Takacs, Ioana-Alexandra; Olteanu, Gheorghe (2015). "Smart Monitoring of Potato Crop: A Cyber-Physical System Architecture Model in the Field of Precision Agriculture". Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture. 6: 73–79.
27. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - с.40-43.
28. Цветков В.Я. Триада как интерпретирующая система. // Перспективы науки и образования. - 2015. - №6. - с.18-23.
29. John F. Sowa (1987). "Semantic Networks" In Stuart C Shapiro. Encyclopedia of Artificial Intellig.
30. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с65-68.

31. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181.
32. Цветков В.Я. Архитектура 5С // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-1. – С. 62-63.
33. Lee, Jay; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-An (January 2015). "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems". *ManufacturingLetters*. 3: 18–23. doi:10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
34. Mallik S. Intelligent Transportation System // *International Journal of Civil Engineering Research*. – 2014. – V. 5. – №. 4. – p.367-372.
35. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2012. - №6. – с.107-109.
36. Куприяновский В.П., Намнот Е.Д., Синягов С.А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // *International Journal of Open Information Technologies*. - 2016. – V.4, (2) . p. 18-25.
37. J .Fitzgerald, P.G. Larsen, M. Verhoef (Eds.): *Collaborative Design for Embedded Systems: Co-modelling and Co-simulation*. SpringerVerlag, 2014, ISBN 978-3-642-54118-6.

УДК: 629.423:656.25

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА И МОСКОВСКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОЛЬЦА

Аверченков Е.О. Начальник отдела, АО "НИИАС", E-mail: e.Averchenkov@vniias.ru, Москва, Россия

Данько С.В. главный специалист, АО "НИИАС", E-mail: s.danko@vniias.ru, Москва, Россия

Ключников А.С. специалист, ООО «ПрограмПарк», E-mail: kluchnikov@programpark.ru, Москва, Россия

Батин Н.А. специалист, ООО «ПрограмПарк», E-mail: batin@programpark.ru, Москва, Россия

Аннотация В рамках настоящей работы рассматриваются вопросы организации взаимодействия с подвижным составом в рамках построения комплекса систем управления движением в транспортных системах высокой интенсивности движения (на примере метрополитена и пригородного железнодорожного сообщения).

На основе опыта, полученного в процессе проектирования и реализации систем контроля и управления движением на Московском центральном кольце (комплекс ИСУЖТ МК МЖД), а также аналогичных по назначению научно-исследовательских работ, выполненных в интересах ГУП «Московский метрополитен», в настоящей статье:

- определяются основные проблемы управления движением в транспортных системах высокой интенсивности движения;
- формируется круг задач диспетчерского управления движением поездов, эффективность решения которых может быть существенно повышена за счет взаимодействия с подвижным составом;
- задаются основные требования к реализации механизмов взаимодействия с подвижным составом;
- определяются основные требования к процессу и методам решения указанных задач диспетчерского управления.

Результаты работ и полученный опыт могут быть использованы для развития и совершенствования систем диспетчерского контроля и управления движением в других рельсовых транспортных системах высокой интенсивности движения, таких как метрополитен и пригородное железнодорожное сообщение.

Ключевые слова: подвижной состав, взаимодействие с подвижным составом, управление движением

ROLLING STOCK INTERACTION TASKS IN HIGH INTENSITY TRAFFIC TRANSPORT SYSTEM

Averchenkov E.O. Head of Department, JSC "NIAS", E-mail: e.Averchenkov@vniias.ru Moscow, Russia

Dan'ko S. V. Chief Specialist, JSC "NIAS", E-mail: s.danko@vniias.ru, Moscow, Russia

Klyuchnikov A.S. Specialist, LLC "ProgramPark", E-mail: kluchnikov@programpark.ru, Moscow, Russia

Batin N.A. Specialist, LLC "ProgramPark", E-mail: batin@programpark.ru, Moscow, Russia

Annotation The issues of rolling stock interaction in traffic control tasks in high intensity traffic railway systems such as subway and suburban railway communication are considered.

Some rolling stock interaction tasks determined during the design and implementation of traffic control system on the Moscow Central Ring, as well as similar research assignments carried out in the interests of the Moscow Metro, were described in this article:

- main problems of traffic control in high intensity traffic railway transport systems are identified;
- the circle of tasks for train movement dispatching is formed, the effectiveness of which can be significantly improved implementing rolling stock interaction;
- basic implementation requirements for rolling stock interaction mechanisms are set;
- main requirements for the process and methods for executing specified dispatching tasks are determined.

The results of the work and the experience gained can be used to develop and improve traffic control in other high-traffic rail transport systems such as underground and suburban railways.

Keywords: rolling stock, rolling stock interaction, traffic control

Введение

Развитие систем массовых пассажирских перевозок является одним из важных условий успешного развития и функционирования такого современного мегаполиса, как Москва. Современные мегаполисы, как правило, имеют высокий уровень кластеризации офисных и производственных зданий, что обуславливает необходимость обеспечения межрайонных и пригородных пассажирских перевозок высокой интенсивности, особенно в утренние и вечерние часы.

Потребность в таких перевозках в настоящее время удовлетворяется в значительной степени за счет таких транспортных систем как метрополитен и пригородное железнодорожное сообщение.

Указанные виды транспортных систем обладают неоспоримыми достоинствами перед другими видами пассажирского транспорта, распространёнными в мегаполисах (трамвай, троллейбус, автобус и т.п.). Наиболее существенными из достоинств являются:

- высокая перевозочная способность (достигающая 60-70 тыс. чел./час в каждом направлении);
- независимость от состояния дорожного движения, что обуславливает возможность стабильно выдерживать график перевозок;
- высокая эксплуатационная скорость и меньшее, по сравнению с другими транспортными системами (трамвай, автобус и т.д.) время поездки на такое же расстояние;
- низкий уровень зависимости от погодных условий.

Вместе с тем, рельсовые транспортные системы высокой интенсивности движения обладают рядом особенностей, существенно влияющих на их эксплуатацию и, в частности, на управление движением подвижного состава. Указанные транспортные системы:

- Обладают высоким уровнем связности движения, что выражается в том, что сколь угодно значительные локальные изменения планового движения (вызванные, например, необходимостью устранения неисправности подвижного состава или напольной инфраструктуры) быстро распространяются на участок транспортной системы, вызывая значительное снижение ее эффективности (уменьшение количества поездов и увеличение интервалов движения, снижение скорости движения, внеплановые остановки, в том числе на перегонах или в тоннелях, и т.п.), а в случае непринятия своевременных мер – к «параличу» транспортной системы.

- Обладают высоким уровнем инерционности, выражающимся в невозможности оперативного изменения параметров движения «по запросу», особенно в сторону повышения перевозочной способности транспортной системы. Это связано с тем, что при достаточно высокой интенсивности движения и ограниченном количестве мест ввода подвижного состава на главные пути транспортной системы или его отставления, чрезвычайно сложно обеспечить изменение плана движения, не снижающее эффективности транспортной системы и удовлетворяющее условиям безопасности движения.

- Вследствие необходимости высокой интенсивности эксплуатации подвижного состава при соблюдении необходимого уровня безопасности движения, в таких системах реализуется регламент эксплуатации подвижного состава, основывающийся на концепции графика оборота составов, обеспечивающий своевременное техническое обслуживание и недопущение перепробега подвижного состава. Однако необходимость выполнения указанного регламента существенно усложняет задачу внесения оперативных изменений в план движения и возврата изменённого движения к плановому.

Состав задач контроля и управления движением поездов, требующих организации взаимодействия с подвижным составом

Как было показано ранее [1], одним из способов повысить качество и эффективность контроля и управления движением поездов (улучшить управляемость и, соответственно, эффективность транспортной системы) является создание каналов расширенного взаимодействия между напольной инфраструктурой и подвижным составом, между диспетчером, управляющим движением, и машинистами поездов.

Такой подход был реализован при создании нового пассажирского перевозочного контура г. Москвы – Московского центрального кольца (МЦК). Подвижной состав МЦК, электропоезда ЭС-2Г «Ласточка», оборудованы аппаратурой связи, обеспечивающей канал для организации информационного взаимодействия с напольной инфраструктурой. Указанный канал реализуется посредством выделенной подсистемы (комплекса) связи, которая является посредником между системой оперативного диспетчерского управления и подвижным составом.

В ходе разработки комплекса систем управления движением на МЦК и последующей его эксплуатации был определён перечень задач контроля и управления движением поездов, для которых создание подсистемы взаимодействия систем верхнего уровня с подвижным составом может существенно повысить качество и эффективность их решения.

Такие задачи включают:

- мониторинг местоположения подвижных единиц;
- управление движением подвижных единиц, включающее:
 - работу с расписанием движения подвижной единицы;
 - мониторинг исполнения расписания подвижной единицей;
- мониторинг состояния подвижных единиц и их систем;
- работу с предупреждениями;
- работу с диспетчерскими распоряжениями и диспетчерскими приказами.

В процессе выполнения работ по построению комплекса систем управления движением транспортной системы МЦК был также подтверждён тезис, что построение контура управления движением (включая взаимодействие с подвижным составом) должно строиться в рамках единого комплексного подхода, задающего и гармонизирующего требования, как к процессу управления движением в целом, так и к функциям, исполняемым отдельными подсистемами. Такой подход должен учитывать особенности движения в транспортной системе высокой интенсивности и характер решаемых диспетчером и машинистом задач, а также обеспечивать необходимый уровень надёжности и полноты информационного взаимодействия для решения задач оперативного управления движением.

В рамках разработанного комплекса систем управления движением на МЦК в рамках интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) решение задач взаимодействия с парком подвижного состава решаются с помощью выделенной подсистемы – коммуникационно - вычислительного комплекса связи (КВКС), а решение задач контроля и управления движением поездов обеспечивается системой оперативного диспетчерского управления (ПТК ИСУЖТ МК МЖД).

Далее описывается решение обозначенных задач контроля и управления движением поездов с использованием взаимодействия с подвижным составом подробнее с указанием требований к реализации, уточнённых в ходе построения комплекса систем управления движением на Московском центральном кольце.

Реализация механизмов взаимодействия с подвижным составом

Для решения задачи взаимодействия с парком подвижного состава в рамках комплекса систем реализуются соответствующие механизмы: бортовая подсистема, каналы связи, стационарный (напольный) комплекс взаимодействия с подвижным составом (КВКС).

Указанные механизмы должны обеспечивать необходимый уровень качества решения задач, решаемых в ходе процесса взаимодействия с подвижным составом, для чего были выдвинуты следующие основные требования:

- должен быть обеспечен охват всего парка контролируемого подвижного состава (электропоезда ЭС-2Г «Ласточка») с обязательной идентификацией подвижных единиц;
- должна обеспечиваться надёжная защита передаваемой информации, в т.ч. от искажений, возможности перехвата и т.д.;
- должно обеспечиваться резервирование комплекса технических средств, включая каналы передачи данных;
- должен производиться непрерывный контроль работоспособности канала связи с каждой подвижной единицей;
- должна быть обеспечена гарантированная доставка данных/сообщений;
- для поездов, находящихся на связи, должна обеспечиваться доставка за время, не превышающая заданное;

- должно обеспечиваться ведение истории взаимодействия, включая переданные и принятые с борта данные;
- должна быть обеспечена синхронизация времени между всеми элементами системы, включая напольные и бортовые компоненты;
- все данные должны маркироваться источником, породившим их, а также меткой времени возникновения данных;
- должна быть предусмотрена возможность адресной и широковещательной передачи информации из систем верхнего уровня на подвижной состав;
- используемые интерфейсы и протоколы должны обеспечивать возможность расширения в будущем.

Указанные требования были удовлетворены в ходе реализации механизмов взаимодействия с подвижным составом ЭС-2Г «Ласточка» на Московском центральном кольце.

Реализация задач контроля и управления движением поездов

Мониторинг местоположения подвижных единиц

Современное бортовое оборудование подвижных единиц включает высокоточную систему позиционирования подвижного состава относительно объектов напольной инфраструктуры, позволяющую обеспечить точное определение местонахождение в реальном времени. Информация о местоположении подвижного состава используется для решения задач как на составе (управление движением подвижной единицы, включая управление скоростью движения состава с учётом особенностей маршрута движения, прицельную остановку состава у края платформы и т.п.), так и задач оперативного диспетчерского управления движением (мониторинг поездного положения при помощи табло коллективного пользования и т.д.).

Традиционно в системах оперативного диспетчерского управления движением для ЖД транспорта задача мониторинга поездного положения решается на основе систем ЖАТ, транслирующих в системы верхнего уровня сигналы занятости элементов напольной инфраструктуры (рельсовых цепей или РЦ). Достоинством этого способа является высокая надёжность определения местоположения, продиктованная самим принципом, а недостатком – низкая точность определения положения, связанная с протяжённостью РЦ, а в системах с бесстыковыми РЦ еще и отсутствием чёткой границы между РЦ. Использование высокоточной системы позиционирования, которой оборудован современный подвижной состав, позволяет избавиться от недостатков традиционных методов контроля поездного положения.

Для эффективного решения задачи восстановления поездного положения реализация бортовой системы позиционирования, комплекса связи и стационарного комплекса должна удовлетворять ряду требований:

- бортовая система позиционирования должна:
 - o обеспечивать определение линейной координаты состава на пути с привязкой к нулевой позиции на полигоне управления;
 - o обеспечивать однозначность определения положения состава на путях в границах полигона управления, включая маневровые пути и пути отстоя станций и пути депо;
 - o привязка местоположения должна осуществляться для головы и хвоста состава;
 - o обеспечивать определение текущей скорости и направления движения состава;
- для восстановления поездного положения в рамках комплекса систем должна быть разработана карта трансляции передаваемой координаты в термины напольной инфраструктуры (РЦ, блок-участки);

– для решения задач мониторинга текущего поездного положения интервал фиксации и передачи данных позиционирования с борта в системы верхнего уровня не должен превышать 5 сек. (продиктовано интенсивным характером перевозок).

Управление движением подвижных единиц

Основной задачей системы диспетчерского управления (ПТК ИСУЖТ МК МЖД) является задача управления движением, которая при наличии взаимодействия с подвижным составом реализуется возможностью оперативного задания актуального расписания следования подвижной единицы (работа с расписанием следования подвижной единицы) и мониторинга его выполнения.

Работа с расписанием движения подвижной единицы

Управление движением в рамках полигона управления подразумевает согласованное управление напольной инфраструктурой, обеспечивающей проследование по маршруту подвижных единиц, так и движением отдельных подвижных единиц в соответствии с ранее сформированным графиком движения. Существует множество факторов, влияющих на выполнение графика, что может приводить к необходимости его оперативной корректировки (актуализации) с учётом текущей ситуации, складывающейся на полигоне управления, что является одной из функций системы диспетчерского управления движением. При отсутствии взаимодействия с бортом расписание следования формируется на основе планового графика движения и заранее доводится до машиниста (обычно в виде отдельных листов или книжки расписаний), что исключает возможность оперативной коррекции расписания при необходимости. Наличие современных средств автоматизации позволяет обеспечить оперативную передачу расписания следования подвижной единицы на борт для загрузки в бортовую систему автоведения и/или для информирования машиниста.

Расписание следования подвижной единицы формируется в терминах «поезда», задающего движение состава по маршруту следования. В рассматриваемых транспортных системах высокой интенсивности подвижная единица (состав) согласно графику движения за период своей работы на полигоне управления (от выхода до захода в депо/место отстоя) выполняет несколько проследований по полигону управления, каждое из которых идентифицируется как отдельный «поезд».

Основные требования к работе с расписанием следования подвижной единицы включают:

- расписание формируется для конкретной подвижной единицы на основании данных актуального графика движения (с учётом информации графика оборота составов);
- расписание для передачи на борт формируется для поезда целиком – от начальной до конечной станции маршрута проследования (для МЦК – это кольцевой маршрут, начинающийся и заканчивающийся, как правило, в одной и той же точке кольца);
- расписание для подвижной единицы формируется в терминах «поезд», «раздельный (остановочный) пункт», «плановое время прибытия/ отправления/ проследования раздельного пункта»;
- расписание не включает нерелевантные данные о следования по маршруту, такие, как номер пути проследования и т.п., поскольку управление маршрутом проследования состава осуществляется с помощью напольной инфраструктуры;
- времена прибытия, отправления и проследования должны задаваться в расписании с точностью до секунд, что диктуется интенсивным характером движения в рассматриваемых транспортных системах;

– расписание должно маркироваться версией, используемой при необходимости актуализации расписания.

Основные требования к процессу передачи расписания движения на подвижный состав включают:

- расписание передаётся адресно на подвижный состав как единый пакет данных;
- процедура передачи расписания на борт должна обеспечивать возможность контроля для систем верхнего уровня стадий обработки расписания на подвижном составе (передано, доставлено на борт, расписание подтверждено машинистом, принято системами борта к исполнению и т.п.);
- должна быть предусмотрена возможность оперативной корректировки (актуализации) расписания на борту путём передачи актуализированной версии расписания в процессе следования состава согласно выданному ему ранее расписанием движения;
- для обеспечения «непрерывности» управления подвижным составом должна обеспечиваться передача на борт и корректная обработка, как минимум, двух расписаний движения: следования текущим поездом и следующим по отношению к текущему поезду;
- со стороны системы диспетчерского управления должно быть предусмотрено задание номера поезда, которым должна следовать подвижная единица.

Мониторинг исполнения расписания подвижной единицей

В рамках мониторинга выполнения расписания подвижными единицами предусматривается функция фиксации бортом событий проследования, которые включают:

- событие прибытия на платформу остановочного пункта;
- события отправления от платформы остановочного пункта;
- событие проследования платформы без остановки;
- событие нештатной остановки на перегоне;
- событие начала движения после остановки на перегоне.

Детектирование указанных событий должно осуществляться бортовыми подсистемами с использованием алгоритмов, обеспечивающих необходимый уровень точности и достоверности:

- должна быть обеспечена необходимая точность определения местоположения состава в момент фиксации события.
- алгоритмы определения фактов прибытия/отправления на платформу остановочного пункта при выполнении пассажирских перевозок должны учитывать позиционирование состава относительно платформы для осуществления посадки/высадки пассажиров (определение остановки в пределах границ платформы, что необходимо для обеспечения возможности посадки/высадки пассажиров), выполнение соответствующих условий безопасности при посадке/высадке (фиксация состава тормозной системой, статус блокировки дверей и т.д.);

Зафиксированные на борту события передаются в системы верхнего уровня. Событие включает следующие данные: время события, тип события, место возникновения события (координата состава). При передаче данных должна быть исключена возможность потери данных, что может привести к искажениям при восстановлении исполненного расписания системами верхнего уровня.

Мониторинг состояния подвижных единиц

Необходимость мониторинга состояния подвижного состава системами верхнего уровня диктуется тем обстоятельством, что возникающие неисправности подвижного состава

оказывают непосредственное влияние на возможности осуществления пассажирских перевозок на полигоне управления и даже на возможности движения в целом. В отличие от транспортных систем дальнего сообщения, остановка состава на станции или на перегоне в условиях высокой интенсивности движения зачастую оказывает существенное влияние на движение в рамках всего полигона управления ввиду высокой «связности» движения.

Столь высокая «цена» неисправностей подвижного состава требует выявления потенциальных проблем как можно раньше для обеспечения возможности своевременного их парирования. Соответственно, необходимость развитых возможностей по диагностике состояния подвижного состава, в т.ч. дистанционной, является крайне насущной в транспортных системах высокой интенсивности движения.

Одной из задач, решаемых системами оперативного диспетчерского управления, является задача мониторинга состояния подвижных единиц на полигоне управления. В рамках решения указанной задачи необходимо обеспечить передачу с борта в системы верхнего уровня следующей информации:

- данных о работоспособности систем состава;
- диагностической информации о критических отказах, выводимых на монитор машиниста;
- информации о номере поезда, которым следует состав;
- информации о наличии и актуальности оперативной информации на составе (наличие актуального расписания следования, наличие и актуальность предупреждений);
- и иной информации в зависимости от специфики транспортной системы и используемого подвижного состава.

Работа с предупреждениями

Одним из важнейших способов обеспечения безопасности следования поездов является своевременное формирование предупреждений, связанных с состоянием инфраструктуры и условий проследования подвижного состава.

На Московском центральном кольце для управления процессом формирования предупреждений и доведения их до оперативного персонала диспетчерского участка используется разработанная ОАО «НИИАС» автоматизированная система выдачи и отмены предупреждений АСУВОП-2.

Использование механизма взаимодействия с подвижным составом позволяет существенно повысить эффективность работы с предупреждениями путём оперативной автоматизированной передачи информации на подвижный состав, где они могут использоваться как машинистом, так и бортовыми системами управления движением поезда.

При этом процесс доведения предупреждений и их отмены, реализуемый при помощи разработанных механизмов взаимодействия, должен удовлетворять следующим требованиям:

- должна обеспечиваться гарантированная доставка предупреждений на борт;
- должна обеспечиваться оперативная актуализация информации на борту;
- должно обеспечиваться подтверждение восприятия переданных предупреждений машинистом;
- должна предусматриваться возможность информирования машиниста только о предупреждениях непосредственно по маршруту проследования;
- должен обеспечиваться контроль актуальности информации на борту с информированием причастных лиц.

Работа с диспетчерскими сообщениями и распоряжениями

Помимо расписаний и предупреждений, в рамках решения задач управления движением организуется канал передачи диспетчерских сообщений и распоряжений на борт с целью доведения оперативной информации от диспетчера до машиниста. Реализация канала передачи сообщений «диспетчер-машинист» подразумевает:

- гарантированность доставки информации (сообщений) на борт;
- обязательную идентификацию сообщений, ведение истории сообщений и статусов их обработки;
- обязательность фиксации стадий обработки информации (включая передачу, доставку на борт, отображение машинисту, подтверждение восприятия машинистом) с возможностью контроля стадий обработки информации системами верхнего уровня;
- обязательность фиксации факта восприятия сообщений машинистом с передачей соответствующего статуса в систему верхнего уровня.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы реализации взаимодействия с подвижным составом, сформулированные с учётом опыта построения комплекса систем управления движением на транспортном комплексе Московского центрального кольца (ПТК ИСУЖТ МК МЖД).

Проведённые работы по проектированию и практической реализации комплекса систем управления движением Московского центрального кольца позволили:

- очертить круг задач диспетчерского контроля и управления движением, эффективность решения которых может быть существенно повышена за счет взаимодействия с подвижным составом;
- обеспечить повышение эффективности и качества диспетчерского контроля и управления подвижным составом;
- заложить основу для повышения перевозочной способности транспортной системы Московского центрального кольца;
- заложить основу для реализации принципов и механизмов обеспечения устойчивости перевозочного процесса и минимизации влияния нештатных ситуаций на Московском центральном кольце путём организации эффективного канала взаимодействия с подвижным составом.

В настоящее время комплекс ИСУЖТ МК МЖД находится в постоянной эксплуатации на Московской железной дороге и обеспечивает решение задач контроля и управления движением Московского центрального кольца.

Список литературы

1. Аверченков Е.О., Данько С.В. Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена. Сборник трудов конференции ИСУЖТ 2015 – М., 2015.

УДК: 517.977.1

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Шайтура С.В.

к.т.н., доцент, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, E-mail: swshaytura@gmail.com, Москва, Россия

Аннотация

Статья описывает распределенное управление в транспортной сети. Показано что такое управление включает два компонента. Первый компонент это управление сетью, включая инфраструктуру. Второй компонент - управление потоками или объектами в сети. Раскрыто содержание концептуальной модели распределенного управления, которые послужили основой формирования распределенного управления. Раскрыто содержание сетцентрического распределенного управления в транспортной сети. Показано различие между распределенной системой и распределенным управлением. Отмечено значение информационного соответствия как фактора управления в сети. Вводится и раскрывается понятие регулирующего информационного потока в сети.

Ключевые слова:

транспортная сеть, распределенное управление, распределенные системы, поток, информационное соответствие, сетцентрическое управление

DISTRIBUTED MANAGEMENT IN THE TRANSPORT NETWORK

Shaytura S.V.

Ph.D., Associate Professor, Russian Economic University. G.V. Plekhanov, E-mail: swshaytura@gmail.com, Moscow, Russia

Annotation

The article describes the distributed control in the transport network. The article describes two components of distributed management. The first component is network management, including infrastructure. The second component is the management of threads or objects on the network. The article reveals the content of the conceptual model of distributed control, which served as the basis for the formation of distributed control. The article reveals the content of network-centric distributed control in the transport network. The article shows the difference between a distributed system and distributed control. The article shows the importance of information compliance as a control factor in the network. The article introduces the concept of regulating information flow in a network.

Keywords:

Transport network, distributed control, distributed systems, flow, information compliance, network-centric control

Введение.

Транспорт — важная отрасль, в которой занято более 10 % работающего населения. Транспортная отрасль потребляет около 60 % мирового производства жидких нефтепродуктов, 20 % стали, 80 % свинца, 70 % синтетических каучуков, 40 % лакокрасочных изделий и др. [1]. Существуют связи между уровнем развития транспорта и структурой общества. Рост городов существенно связан с транспортной инфраструктурой. Основой развития транспорта являются транспортные сети.

В топологии транспортной сетью называют много связанный граф, имеющий одну точку

входа и одну точку выхода. Поэтому анализ транспортной сети осуществляется с использованием топологической теории графов. С позиций системного анализа транспортная сеть относится к распределенным системам [2-4]. Поэтому системный и функциональный анализ транспортной сети для определения потока транспортных средств или грузов осуществляется на основе теории распределенных систем. В логистике транспортной сетью называют реализацию пространственной сети, которая обеспечивает либо движение транспорта, либо поток какого-либо товара [5]. Транспортной сетью называют также полную систему маршрутов, относящихся ко всем транспортным средствам, доступным в определенной пространственной области. Существуют комплексные транспортные сети [6], объединяющие автодорожные, железнодорожные, воздушные и водные транспортные сети и связанную с ними инфраструктуру (рис.1).



Рис.1. Транспортная сеть как комплексное объединение автодорожных, железнодорожных, воздушных транспортных сетей и связанной с ними инфраструктуры.

Стоимость транспортных услуг влияет на стоимость перевозимых грузов, поэтому заказчик ищет возможности перевозки своих товаров более дешевым видом маршрута. Это определяет необходимость анализа сети. Национальная комплексная транспортная сеть тесно связана с единой транспортной системой [1], а ее эксплуатация связана с единой транспортной политикой [7, 8].

Реализация транспортных процессов в сетях в современном мире сопровождается большими информационными потоками. Это обуславливает необходимость применения информационных моделей и информационного моделирования при управлении транспортом [9, 10], а также при анализе транспортных сетей. Рост сложности транспортных сетей создает большие трудности для контроля и управления транспортом из-за невозможности быстрой передачи нужной информации. Еще одним фактором развития и управления транспортными сетями является применение пространственной информации вообще и геоинформатики в частности. Все это в комплексе создает особые проблемы управления транспортными сетями и делает актуальным исследования в этой области.

Особенности распределенного управления в транспортных сетях.

Функциональная схема управления в транспортной сети приведена на рис.2. Первые три уровня являются типовыми для многих видов управления и включают цель, стратегию и технологии, которые создают на основе стратегии и методов управления. Следующие уровни определяют специфику управления в сети. Они включают модель сети и модели объектов сети.

Кроме того, существует внешняя среда которая влияет и на объекты управления и на саму сеть. таким образом управление в транспортных сетях разделяется на управление сетью (включая инфраструктуру) и управление объектами (или потоками) которые перемещаются по сети.

Необходимо различать распределенную систему и распределенное управление. «Центральным элементом современной концептуализации управленческой эффективности выступают концепции распределенного познания, распределенного организационного знания и т.д.» [11].

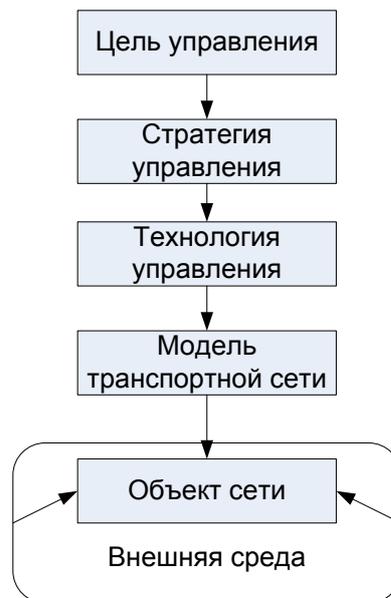


Рис.2. Функциональное управление в транспортной сети

Распределенные методы управления переводят управление из области иерархического информационного взаимодействия [12] в область сетевидного и субидиарного управления.[2]. Иерархическое или центрическое управление опирается на схему управления с единым центром управления. Схемы управления с дополнительными центрами управления называются распределенными. Общим для всех видов управления является понятие информационной управленческой ситуации [13].

Рост сложности информационных управленческих ситуаций и развитие сетевых и информационных технологий привели к необходимости киберфизического управления [14]. В технологиях управления появилась технологическая и методическая основа сетевой организации управления.

Технологией управления, которая позволяет повысить эффективность транспортных сетей является технология субидиарного [15-17] и сетевидного управления. Эти технологии близки, но между ними есть и различие. Обе технологии позволяют реализовать распределенное управление. Распределенные транспортные сети имеют следующие особенности:

- большой объем разнородной информации, ассоциированной с гетерогенностью сети и потоков в сети;
- территориальная распределенность компонентов транспортной сети;
- динамичность структуры информационного поля;

- организационная неоднородность элементов транспортной сети, ограничивающая применимость типовых методов и технологий, для всех узлов сети.

К основным управленческим особенностям транспортных сетей относят следующие факторы:

- чувствительность к воздействиям внешней среды в силу открытости транспортной системы;
- возможная динамика изменений в процессе перевозки;
- влияние факторов неопределенности и риска;
- изменение) критериев управления в силу сложности и неоднородности условий перевозки;
- недостаток информации о новых ситуациях.

Распределенное управление в транспортной сети включает два важных аспекта. Во-первых, это собственно обеспечение узлов управления сети адекватными информационными базами, а во-вторых — методическое обеспечение деятельности подсетей и интеграция этих подсетей в единую систему

Существует достаточно большой опыт управления в области распределенных систем, и недостаточный опыт в области распределенного управления. Различают распределенные информационные системы [18], распределенные информационно аналитические системы [19], распределенные интеллектуальные системы [20], распределенные системы поддержки принятия решений [21], распределенные базы данных (распределенные информационные системы хранения информации), асинхронные распределенные системы [22].

Как показывает анализ, распределенные информационные системы на самом деле в большинстве случаев являются сетевыми коммуникационными системами, основная функция которых не управление, а сетевой обмен.

Основная особенность распределенных технологий и систем – гетерогенность [18]. Гетерогенность требует обеспечение унифицированного доступа к семантически разнородным данным, хранящимся в различных технологически разнородных базах данных и информационных серверах. Унификация требует интеграции информационных ресурсов. Интеграция информационных ресурсов должна обеспечиваться не только на техническом уровне, но и на уровне их семантики. Другими словами должно обеспечиваться полное информационное соответствие [23] в системе. Информационное соответствие имеет различные виды. Важным для распределенного управления является структурное и семантическое информационное соответствие.

Информационное соответствие в распределенных системах и технологиях должно обеспечиваться не только на техническом уровне, но и на уровне их семантики. Информационное соответствие дает возможность сделать распределенные данные доступными для распределенной обработки и обеспечить возможность их корректной интерпретации. При этом существуют две проблемы, связанные с гетерогенностью систем и технологий — это структурная неоднородность и семантическая неоднородность [24].

Структурная неоднородность [25] имеет место, когда разные узлы информационной системы используют различные структурные информационные единицы для хранения или организации данных. В этом случае констатируют структурное несоответствие как частный вид информационного несоответствия.

Семантическая неоднородность означает информационное несоответствие или нарушение

информационного соответствия на уровне смыслового значения семантической информационной единицы [26]. В этом случае констатируют семантическое несоответствие как частный вид информационного несоответствия или нарушения семантического информационного соответствия.

Концептуальная модель распределенного управления в транспортной сети

В качестве основы технологий распределенного управления в транспортной сети предлагается концептуальная модель распределенного управления (КМРУ). КМРУ задается в виде теоретико-множественных моделей и объединяет в себе:

- множества объектов модели;
- отношения, задаваемые над множествами объектов модели;
- множества атрибутов объектов и отношений.

Объекты КМРУ образуют иерархию, что позволяет учитывать при управлении организационную подчиненность объектов транспортной сети. Для автоматизации поиска оптимальных решений и формирования эффективных структур управления могут применять мультиагентные системы, представляющие интересы естественных участников перевозочных процессов. Для обеспечения системного и структурного анализа и концептуальная модель содержит описания характеристик объектов сети и потоков сети. Схема концептуальной модели имеет вид:

$$KMPY = \langle OTN, CN, B, II, R, CPL \rangle, \quad (1)$$

КМРУ включает в себя следующие множества элементов: объекты транспортной сети — OTN, отдельные управленческие узлы транспортной сети — CN, из которых формируются подсети и сеть, проблемно-ориентированные управленческие узлы (блоки) — B (множества взаимосвязанных узлов, задействованных в реализации конкретного вида управления), информационные взаимодействия и воздействия — II, информационные ресурсы сети R, управленческие планы — CPL. Управленческие планы разделены на два класса — общие сетевые и детализированные подсетевые

Где N_0 — множество объектов транспортной сети. L — общее количество уровней иерархии. N_i — мощность соответствующих множеств для компонент модели. На множествах объектов модели задают информационные отношения [27], определяющие структуру информационной управляющей ситуации. H — отношение иерархии объектов, отражающее их организационные взаимоотношения:

Каждый объект сети описывается в КМРУ набором атрибутов:

$$OTN = \langle (Go), (RS), (S), \{AC\}, \{ST\}, (L) \rangle \quad (2)$$

где Go — дерево целей управления в транспортной сети; RS — множество сценариев развития информационной ситуации; S — множество управленческих стереотипов (нормативов), которыми располагает система управления; AC — множество действий; ST — множество стратегий управления, направленных на достижение соответствующих целей; L — язык коммуникации между объектами и системой управления.

Процессы представлены в концептуальной модели в виде графа, связывающего множества бизнес-функций, ресурсов, организационных .

В настоящее время в сетях широко применяют агенты и мультиагентные системы [28].

Агенты в КМРУ представляют интересы соответствующих участников сети, принадлежащих множеству OTN, и описываются следующим образом:

$$A = \{ \text{OTA}, \text{MR}, \text{STR}, \text{C} \}, \quad (3)$$

где OTA — множество транспортных объектов сети, интересы которых представляют агенты; MR — множество методов решений, которыми располагают агенты; STR — множество базовых структур сети, соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов и установившимся отношениям между ними; IF — внутренняя функция агента, определяющая его функциональное назначение.

Каждый метод решения MR описывается набором ключевых и второстепенных параметров. Управленческий план CPL описывается тремя компонентами: CPL1 — основная составляющая плана; CPL2 — ресурсная составляющая плана, CPL3 — нормативная составляющая плана. Каждая из составляющих определяется набором параметров.

Концептуальная модель распределенного управления (КМРУ) выполняет две основные функции: она является средством структуризации и формализованного представления знаний о транспортной сети и обеспечивает возможность системного анализа в процедурах управления объектами сети и анализа самой сети.

Сетецентрическое управление в транспортной сети.

Основой распределенного управления в транспортной сети является сетецентрическое управление [2, 14], показанное на рис.5. Схему на рис.5 можно рассматривать как совокупность концентрических окружностей, которые расположены в иерархической последовательности по мере удаления от центра управления. Сеть включает распределенные центры управления (РЦУ) и главный центр управления (ГЦУ)

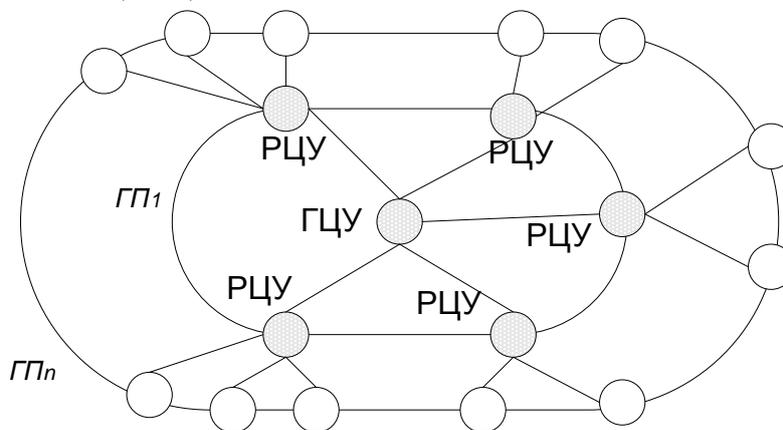


Рис.3. Структура распределенного сетецентрического управления.

Уровней управления может быть несколько от 1 до n. По концентрическим уровням протекают регулирующие квазигоризонтальные потоки от ГП1 до ГПn. Система управления на рис.3 является гетерогенной. Гетерогенность проявляется в различие полномочий, в различии содержания управления и технических различиях. Кроме того объекты управления также могут различаться. Все это накладывает дополнительные требования к согласованию управленческих и отчетных потоков. Все уровни от 1 до n-1 являются управляющими. Уровень n является операционным.

Существенное отличие данной схемы от иерархической схемы проявляется в замыкании уровней в концентрические конфигурации. Термин уровне в данной модели относят к концентрической окружности. Элементы нижнего уровня связаны, как элементы верхних уровней. Это позволяет осуществлять передачу ресурсов внутри уровня и повышает ресурсную обеспеченность сети в целом.

Гетерогенность сети проявляется в наличии нескольких центров управления. Гетерогенность верхних уровней управления проявляется в применении регулирующих управленческих и ресурсных информационных потоков, которые в разной степени воздействуют на нисходящие или восходящие управленческие потоки. Этим существенно повышается оперативность управления.

Такие, схемы управления существенно усложняют функционирование сетей [29]. Адаптивное распределенное управление требует выполнения условия структурного изменения и возможности структурной перестройки [30]. Этим распределенное управление существенно отличается от эксплуатации сетевых систем, в которых структура сети неизменна и изменяются только потоки, их направление и их интенсивность. Распределенное управление по этой причине требует использования в качестве вспомогательной технологии относительно новую технологию – структурный менеджмент [25, 31].

Распределенное управление существенно увеличивает число объектов управления в сравнении с матричной схемой и тем более в сравнении с иерархической схемой. Это обусловлено сокращением времени принятия решений [17] и введением адаптивной декомпозиции управленческих задач вместо фиксированной декомпозиции. Фиксированная декомпозиция характеризуется заданием структуры управления (рис.2) и заданием числа и структуры задач. Однако с течением времени при росте сложности задач такие структуры могут оказаться не эффективными.

Например, если одна большая задача разделена на множество независимых подзадач, то может оказаться, что их количество больше, чем число доступных управляющих узлов и это снижает эффективность управления. Противоположная информационная ситуация возникает при декомпозиции задачи на подзадачи которых меньше, чем число управляющих узлов. В этом случае эффективность распределенной системы также падает. Из этого вытекает необходимость согласования разбиения задач и физических узлов в аспекте информационного соответствия [23] по структуре и по интенсивности информационных потоков.

В тоже время распределенное управление существенно увеличивает количество объектов управления и на порядки снижает требования к количеству ресурсов. Идеологически распределенные системы управления тесно связаны с сетевыми. Однако сетевые ориентированы на коммуникацию а распределенные системы управления на управление.

В аспекте взаимодействия с пользователем близкими к распределенным системам управления являются распределенные базы данных (РБД) [32]. Они имеют сходство в аспекте структуры и информационного взаимодействия. Физически РБД [32] представляет собой набор узлов, связанных между собою коммуникационной сетью, в которой каждый узел обладает своими собственными независимыми от других узлов ресурсами и своими локальными пользователями. Любой из узлов способен независимо обрабатывать запросы, однако для такой системы характерна однородность или тенденция к однородности.

Технологически РБД можно рассматривать как способ совместной работы отдельных локальных узлов (БД), расположенных в сети. Акцент информационного взаимодействия в

такой распределенной системе направлен из периферии в центр. Узлы в такой информационной системе стараются сделать однородными по программному обеспечению и по форматам данных. Распределенная система управления может быть рассмотрена также как способ совместной работы локальных узлов, расположенных в сети. Направление информационного взаимодействия в такой распределенной системе направлено из центра на периферию. Узлы в такой системе проектируют гетерогенными по полномочиям принятия решений, по задачам и по функциям обработки информации.

Заключение.

Транспортные сети нельзя рассматривать лишь как средство перемещения грузов или пассажиров. Они активно воздействует на все процессы экономического развития. Транспортные сети способствуют прогрессу общества и поэтому считаются одной из важнейших составляющих экономики. Транспортные сети относятся к отдельной сфере транспорта, однако объединяют в единое целое все отрасли экономики, являются радикальным средством, обеспечивающим циркуляцию продукции и товаров, что замыкает и продолжает процесс производства.

Однако управление в транспортных сетях имеет свои особенности. Прежде всего, это управление сетью и управление в сети.

Управление в сети в современных условиях является распределенным. Распределенное управление основано на принципе субсидиарности, в противном случае оно становится неэффективным. Распределенное управление требует введения новых категорий и требований к системе управления. Распределенное управление требует применения информационного соответствия по структуре и по интенсивности потоков. Для обеспечения информационного соответствия необходимо применять регулирующие информационные потоки. Это создает отличительную особенность распределенного управления - регулируемый параллелизм информационных потоков. В тоже время распределенное управление в транспортных сетях в отличие от вычислительных конвейеров или матричных параллельных вычислений [33] может быть реализовано на асинхронном принципе [22]. Такое управление не накладывает временных ограничений и обеспечивает работу в гетерогенной сети, к которой относятся транспортные сети.

Список литературы

1. Троицкая Н.А., Чубуков А.Б. Единая транспортная система. – М.: Издательский центр «Академия», 2014, - 240с
2. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. – М. : Янус-К, 2002.
3. Путилов В. А., Шишаев М. Г., Олейник А. Г. Технологии распределенных систем информационной поддержки инновационного развития региона //Труды Института системного анализа РАН: Прикладные проблемы управления макросистемами. – 2008. – Т. 39. – С. 40-63.
4. Цветков В.Я., Алпатов А. Н. Управление распределенными транспортными потоками // Государственный советник. – 2014. - №3. – с55-60.
5. Barthelemy, "Spatial Networks", 2011, Physics Reports 499:1-101 .
6. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.14-21.

7. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.244-250.
8. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.22-26.
9. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.60-75.
10. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.2-10.
11. Кудрявцева Е. И. Психология управленческой эффективности в условиях распределенного управления //Управленческое консультирование. – 2013. – №. 9 (57). – с.22-32.
12. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. Series A. 2013. № 11-1 (62). С. 2573-2577.
13. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181.
14. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -2 (19). – с.86-92.
15. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - с.40-43.
16. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.165-169.
17. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления // Государственный советник. – 2017. - №1. – с.10-15
18. Э. Таненбаум, М. ван Стеен.. Распределенные системы. Принципы и парадигмы — СПб.: Питер, 2003. — 877с.
19. Шокин Ю. И. и др. Распределенная информационно-аналитическая система для поиска, обработки и анализа пространственных данных //Вычислительные технологии. – 2007. – Т. 12. – №. S3.
20. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы. - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.
21. Ириков В. А., Тренев В. Н. Распределенные системы принятия решений. – М.: Наука, 1999.
22. Фирсов А. Н. Оптимизация на основе статистических данных асинхронной распределенной системы, устойчивой к произвольным отказам //Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2009): Труды международной научной конференции (Нижний Новгород, 30 марта–3 апреля 2009 г.).–Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – 2009. – С. 765-771.
23. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1 (часть 3) – с.454-455.
24. Смирнов А. В., Пашкин М. П., Шилов Н. Г., Девашова Т. В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации. Ч. 2 //Новости искусственного интеллекта. 2002. №2. С. 3–9.
25. Бутковский А. Г. Структурная теория распределенных систем. – М.: Наука, 1977.
26. Tsvetkov V. Ya. Semantic Information Units as L.Florodi's Ideas Development // European researcher. Series A. 2012. № 7 (25). С. 1036-1041.
27. V. Ya. Tsvetkov. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence, 2015, Vol.(8), Is. 4. – p.252-260. DOI: 10.13187/mai.2015.8.252 www.ejournal11.com

28. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – с.107-109.

29. Трахтенгерц Э. А. Методы генерации, оценки и согласования решений в распределенных системах поддержки принятия решений //Автоматика и телемеханика. – 1995. – №. 4. – С. 3-52.

30. Воронин А. А., Мишин С. П. Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы //Автоматика и телемеханика. – 2002. – №. 8. – С. 136-150.

31. Mishra A., Kar S., Singh V. P. Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield //Water Resources Management. – 2007. – V. 21. – №. 11. – p. 1899-1913

32. Демидов Л.Н., Кравцов А. В., Кравцов Н. В. Взгляд на создание распределенных баз данных для телекоммуникационных сетей связи // Информост. -2008. – 2(55). - с. 36-39

33. Кулагин В.П. Проблемы параллельных вычислений // Перспективы науки и образования. - 2016. - №1. - с.7-11.

УДК 528; 004.8

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

- Охотников А.Л.** Заместитель руководителя, Центр стратегического анализа и развития АО НИИАС, E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья анализирует применение геоинформационного мониторинга для контроля и управления транспортными системами. Показана эволюция мониторинга. Показано место геоинформационного мониторинга в системе технологий мониторинга. Раскрыто главное преимущество геоинформационного мониторинга – интеграция технологий и данных. Дана концептуальная схема геоинформационного мониторинга. Показана связь геоинформационного мониторинга с космическим мониторингом. Раскрывается содержание глобального мониторинга транспорта. Показано значение цифровых моделей при пространственном мониторинге транспорта.
- Ключевые слова:** транспорт, мониторинг, геоинформационный мониторинг, моделирование, подвижные объекты.

GEOINFORMATION MONITORING OF TRANSPORT FACILITIES

- Okhotnikov A.L.** deputy head of Center, JSC "NIIAS",
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes the application of geoinformation monitoring for the control and management of transport systems. The article briefly describes the evolution of monitoring. Paper shows the place of geoinformation monitoring in the monitoring technology system. The article describes the main advantage of geoinformation monitoring - the integration of technologies and data. The article describes the conceptual scheme of geoinformation monitoring. Paper shows the relationship of geoinformation monitoring with space monitoring. Paper discloses the content of global transport monitoring. Paper shows the value of digital models in the spatial monitoring of transport.
- Keywords:** Transport, monitoring, geo-information monitoring, modeling, mobile objects

Введение.

Развитие современного транспорта и современного управления невозможно без применения технологий мониторинга. Мониторинг применяют для оценки состояния земляного полотна при эксплуатации железных дорог [1]. Мониторинг применяют при управлении логистикой [2], при управлении транспортной инфраструктурой [3]. Особенность мониторинга на транспорте заключается в его многоаспектности и то, что большей частью он является пространственным мониторингом. Пространственный характер мониторинга на транспорте влечет необходимость применения технологий и систем, работающих с пространственной информацией. К таким технологиям и системам относятся геоинформационные системы и технологии [4]. Поэтому геоинформационный мониторинг является основой мониторинга транспортных объектов [5, 6]. Следует отметить, что применение разных технологий привело к обобщенному понятию

«геомониторинга» [7-9]. Геомониторинг - это мониторинг за объектами и явлениями на земной поверхности, который может включать космический мониторинг, геоинформационный мониторинг и иные технологии, например сейсмические или навигационные. Конкретные реализации геомониторинга могут существенно различаться. Но общие принципы сохраняются. Геомониторинг также используется при мониторинге транспорта в разных аспектах: состояние пути, состояние подвижного объекта, управление инфраструктурой. Современный геомониторинг включает функции не только наблюдения, но и управления. Последнее обстоятельство важно при управлении подвижными объектами [10] и при переходе к интеллектуальному управлению [11].

Геоинформационный мониторинг как концептуальная основа современного мониторинга.

Первоначально термин "мониторинг" (monitoring) интерпретировали в его прямом значении как контрольное наблюдение. Развитие понятия технологии мониторинга получило в трудах академика Ю.А. Израэля. Он дополнил функцию наблюдения двумя функциями: "*прогноз*" и "*управление состоянием окружающей среды*" [13]. В дальнейшем происходила дифференциация видов мониторинга. Одним из важных понятий мониторинга является понятие природно-технической системы, или геотехнической системы [1]. Контекстуально это понятие выделило геотехнический мониторинг как самостоятельный вид мониторинга.

Мониторинг, связанный с пространственной информацией называют пространственным мониторингом. Пространственный мониторинг базируется на геоинформационном мониторинге [6, 14]. В настоящее время существует интеграция методов дистанционного зондирования и геоинформатики [14]. Это обуславливает применение методов геоинформационного мониторинга в технологиях дистанционного зондирования. При этом концептуально геоинформационный мониторинг служит основой для разных видов мониторинга. На рис.1 приведена концептуальная схема геоинформационного мониторинга.

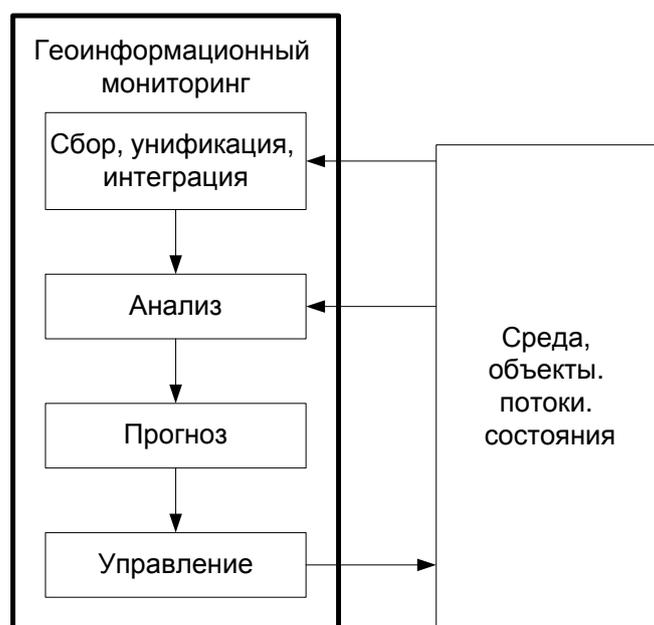


Рис.1. Концептуальная схема геоинформационного мониторинга транспортных объектов.

Концептуальной схема на рис.1 называется потому, что в ней не выделены пространственные аспекты. Это дает основание применять такую схему как основу для разных видов мониторинга. В ней выделены четыре основные функции мониторинга: сбор информации, анализ информации, прогноз и управление. Спецификой геоинформационного мониторинга является верхняя подсистема сбора, которая включает интеграцию и унификацию. Именно геоинформационный мониторинг обладает широчайшей возможностью интеграции разных видов информации в единую модель геоданных. В свою очередь модель геоданных служит универсальным ресурсом анализа и управления транспортными объектами

Многоаспектность применения мониторинга.

Мониторинг, связанный с транспортом, имеет прямое и косвенное применение. Косвенное применение мониторинга имеет множество аспектов, которые в разной степени связаны с транспортными системами. При этом следует говорить о транспорте в широком смысле. Это дает основание рассматривать кроме железнодорожного транспорта морской транспорт, автомобильный транспорт и трубопроводный транспорт.

Мониторинг загрязнения моря. Морской транспорт влияет на загрязнение морской поверхности, особенно в районах портов. Интегрированный подход мониторинга применен в работе [15], в которой рассмотрены вопросы интеграции методов геоинформатики и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при мониторинге загрязнения моря судами. Решается задача определения загрязнения морской поверхности на основе пространственного мониторинга. Отмечено, что основой технологии является геоинформационный подход. В качестве основной информации мониторинга используют радиолокационные изображения. Доказана [16] эффективность интегрированного подхода. Этот подход полностью применим при мониторинге транспортной инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Экологический мониторинг. Транспортная инфраструктура связана с экологией. В развитии этого подхода можно говорить о более широком направлении экологического мониторинга [17]. При экологическом мониторинге используют модели экосистемы и геотехнической системы. Реализацией этого мониторинга является геоинформационный мониторинг. Экологический мониторинг дает возможность эффективного контроля и управления экологическими процессами [18]. Его делят на три группы: наземный, воздушный и космический [19]. Можно также говорить об экологическом геоинформационном мониторинге, который решает задачи контроля экологии окружающей среды в разных масштабах. В работе [17] рассматривается разделение космического экологического мониторинга на 5 классов: экологический мониторинг естественных систем; мониторинг факторов, влияющих на экосистемы; мониторинг чрезвычайных ситуаций; природно-ресурсный мониторинг, прикладной мониторинг для решения хозяйственных и прикладных задач.

Мониторинг пожаров. Важным направлением мониторинга, который имеет большое значение и для транспорта, является мониторинг пожаров. Пожары разных видов причиняют серьезный ущерб экономике районов [20], с ростом плотности населения они становятся еще более опасным явлением. Борьба с пожарами становится государственной проблемой в России и в других государствах. Не своевременные меры по обнаружению пожара, способствуют распространению пожаров на большой площади и делают их опасными для жизни человека. Мониторинг пожаров наибольшую опасность представляет для трубопроводного транспорта.

При мониторинге пожаров применяют разнообразные математические методы и модели. Для простейших математических моделей, работающих по пороговым алгоритмам, большое

значение имеет многоканальная съемка в тепловых диапазонах. Дополнительными информативными признаками при многоканальной съемке являются радиационная температура в одном канале и разность температур разных каналов инфракрасных датчиков.

При анализе данных мониторинга сложных экосистем применяют сложные математические модели [20]. В рамках таких моделей можно определить поля плотности излучения над очагом лесного пожара в различные моменты времени, что в принципе позволяет создать новую методику обнаружения и диагностики лесных пожаров по данным аэрокосмического мониторинга. Эти модели должны создавать возможные сценарии возникновения и развития экстремальной обстановки и обосновать наиболее эффективные способы и меры борьбы с лесными и степными пожарами, что приведет к снижению масштабов их последствий.

Особенность применения таких моделей связана с информационным и пространственным [21, 22] моделированием. Рост усложнения моделей и рост объема информации все острее ставят задачу применения интеллектуальных методов обработки и интеллектуальных систем. При этом важное значение имеет место применения геоданных как основы обработки. Геоданные являются комплексным системным ресурсом [23], который позволяет проводить комплексную обработку данных и применять методы системного анализа.

Главным результатом математического моделирования при мониторинге лесных пожаров является определение предельных условий распространения лесных пожаров, при которых процесс горения прекращается. Разработанные к настоящему времени математические модели лесных пожаров позволяют правильно описывать механизмы их распространения и классифицировать основные режимы разжигания, моделировать развитие пожаров в зависимости от настоящей ситуации лесного фонда и видов действующих пожаров, с целью координации работы лесопожарных служб и подразделений Ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта, и назначения оптимального перечня мероприятий по тушению и устранению последствий пожаров.

Мониторинг земель. Земля является важнейшим природным ресурсом и объектом недвижимости. Возможности целевого и рационального использования земли, определяются состоянием земель и наличием информации об этом состоянии [24, 25]. Информация о состоянии земель играет важнейшую роль при ведении кадастра, включая кадастр транспорта.

Мониторинг земель создает условия для контроля за состоянием территорий и управлением объектами, которые находятся на этих территориях, включая транспортные объекты. Это отражает актуальность проблемы ведения государственного мониторинга земель. Ведение государственного мониторинга земель позволяет осуществлять анализ и прогноз происходящих изменений в состоянии и использовании земель в результате различных типов их использования, а также воздействия природных факторов.

Мониторинг деформаций. Мониторинг деформаций представляет собой разновидность пространственного мониторинга [26] и, безусловно, является важным фактором обеспечения транспортной безопасности на инфраструктуре железных дорог. В настоящее время он интегрирован с геоинформационным мониторингом. Мониторинг деформаций на железнодорожном транспорте имеет три основных направления: мониторинг деформаций железнодорожного полотна, мониторинг деформаций верхнего и нижнего строения пути, мониторинг деформаций сооружений.

Деформацией называют изменение взаимного расположения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними, в результате внешних воздействий. Деформация называется

упругой, если она исчезает после удаления воздействия, и пластической, если она полностью не исчезает. Наиболее простые виды деформации — растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Геоинформационный мониторинг деформаций основан на наблюдении за точками объектов и построении пространственной модели объекта. Такие наблюдения и построения осуществляют в разные периоды времени. На основе анализа отдельных точек и моделей, построенных на их основе, получают информацию о состоянии индивидуальных точек и групповом состоянии точек объекта. Именно информация о групповом поведении точек объекта отличает геоинформационный мониторинг от геодезического мониторинга деформаций.

На основе дискриминантного анализа осуществляют расчет смещения точек, расчет смещения группы точек. Эти смещения служат основой определения деформаций разных видов. Включение в расчеты информационных моделей и временных рядов позволяет осуществлять прогнозирование поведения объекта.

При проведении геоинформационного мониторинга деформаций [26] предварительно проводят обследование объекта и выделяют участки, подверженные наиболее активным деформационным процессам. На выделенных локальных участках проводят геоинформационный мониторинг для изучения и анализа происходящих негативных явлений. Конечной целью геоинформационного мониторинга является разработка предложений и мероприятий по устранению деформаций и защите объектов и инженерной инфраструктуры.

Глобальный мониторинг.

В связи с взаимодействием многих факторов в последние десятилетия рядом авторов выдвинуты концепции глобального описания окружающей среды и созданы модели различной сложности для параметризации динамики характеристик биосферы и окружающей среды. Использование большой информационной базы об этих характеристиках позволяет рассматривать и оценивать последствия возможной реализации различных сценариев развития ситуаций. Требования формирования глобальных моделей наблюдения приводят к необходимости применения глобального мониторинга [27-29]. Глобальный мониторинг основан на интеграции космического [30-33] и геоинформационного мониторинга.

Глобальный мониторинг является интеграцией геоинформационного мониторинга по функциям (рис.1) и космического мониторинга по масштабу наблюдений. Глобальный мониторинг включает наблюдение за объектом, наблюдение его взаимодействия с окружающей средой, оценку и прогноз взаимодействия объекта природопользования и среды, подготовка информации по выработке управляющих решений. Основные функции глобального мониторинга соответствуют функциям геоинформационного мониторинга на рис.1.

Можно определить глобальный мониторинг как интегрированный мониторинг окружающей среды, использующий полный набор данных, полный набор технологий сбора, различные методы анализа данных, методы контроля и выработки управляющих решений.

При использовании глобального геоинформационного мониторинга возможен сбор данных из разных источников. Это приводит к необходимости не только сбора информации, но и ее унификации. Применение глобального мониторинга требует пространственной локализации и последующей интеграции данных. Для этой цели должна быть создана единая координатная среда. Для глобального мониторинга эта среда может включать разные системы координат, что ставит задачу преобразования координат.

Современные большие информационные объемы данных в ряде случаев исключают анализ собранной информации непосредственно человеком. Поэтому для решения задач комплексного

анализа и обработки больших объемов информации в современном космическом мониторинге появилась новая функция аналитической или оперативно-аналитической обработки данных.

Современному глобальному мониторингу присуще не только наблюдение, но и прогноз. Главное, что основной целью глобального мониторинга является управление состоянием окружающей среды. Управление как функция не входит в состав глобального мониторинга. Главная цель этого мониторинга - подготовка информации для принятия управленческих решений.

Наряду с мониторингом объекта глобальный мониторинг включает мониторинг среды. Мониторинг среды - это, прежде всего, технология для обнаружения изменений окружающей среды на фоне ее естественных колебаний. В задачи такой системы мониторинга входят, во-первых, слежение за факторами воздействия на среду, ее состоянием и изменениями, во-вторых, оценка изменений этого состояния и его тенденций.

Глобальный мониторинг можно классифицировать по-разному, в зависимости от аспекта рассмотрения (рис.2). По отношению к Земле разделяют внешний и внутренний мониторинг. Внутренний мониторинг направлен на изучение поверхности Земли. Внешний мониторинг направлен в сторону противоположную к Земле [34]. По аспекту размера наблюдаемых территорий во внутреннем мониторинге выделяют следующую иерархию: общеземной, региональный и локальный уровни мониторинга.

Во внешнем мониторинге выделяют следующую иерархию: околоземной, гелиоцентрический, дальний космос [35]. Околоземной охватывает часть пространства в пределах Луны. Гелиоцентрический космос включает пространство Солнечной системы. Дальний космос распространяется за пределы солнечной системы.

Поскольку мониторинг должен выявлять причины явлений, то с этих позиций интерес представляет организация глобального мониторинга. На рис.3 приведена причинно-следственная диаграмма (рыбий скелет Исикавы) анализа наблюдаемого процесса с помощью геоинформационного глобального мониторинга.

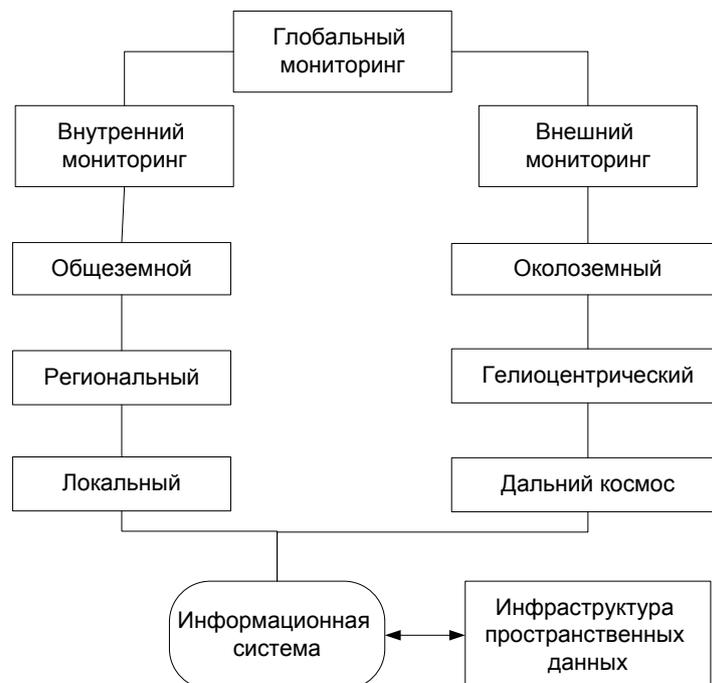


Рис.2. Классификация глобального мониторинга

В соответствии с геоинформационным подходом [15] все данные делятся на три группы «место» (пространственные данные и пространственные отношения), «время» (временные характеристики) и «тема» (факторы воздействия). В отличие от классической модели геоданных в группу «место» включены еще пространственные отношения, что обусловлено наблюдением не только за объектом, но за средой. Тематические характеристики представлены более определенной группой «факторы воздействия».

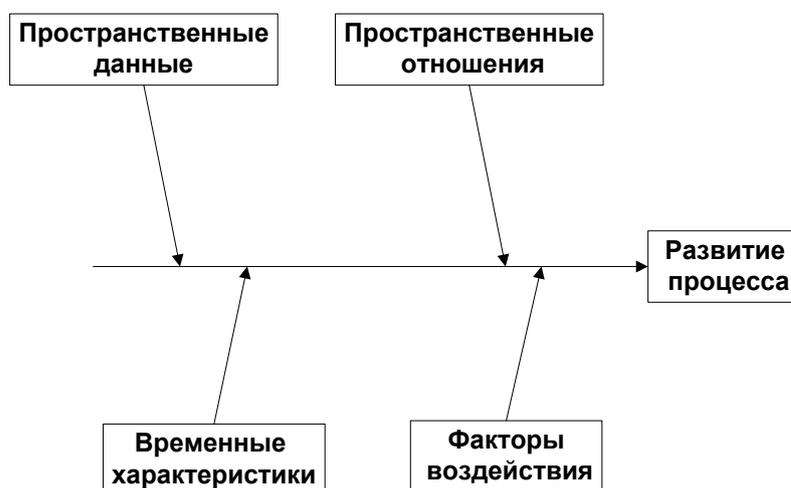


Рис.3 Причинно-следственная диаграмма анализа факторов при мониторинге

Мониторинг должен ответить на вопросы о причинах нежелательности или, наоборот, допустимости тех или иных изменений природы, нормах нагрузки на нее. Кроме основных функций (рис.1) выделяют четыре основных признака, характеризующих геоинформационный и глобальный мониторинг:

Целенаправленность - наличие целевой программы мониторинга;

Комплексность - многоаспектность наблюдений и методов анализа по заданной цели;

Системность - рассмотрение объекта мониторинга и среды, в которой он находится, как единой системы с заданным множеством связей и отношений;

Наличие информационной базы - хранение и обновление информации в некоей системе (базе данных или экспертной системе) [36].

Глобальный мониторинг основан на использовании информационных систем (ИС) и хранилищ данных. Назначение ИС мониторинга - упорядочение, обработка, накопление и хранение информации. Такая ИС должна включать в свой состав:

- средства приема информации контактных данных и дистанционного зондирования;
- информационно-вычислительный комплекс приема и обработки информации;
- комплекс накопления, хранения, тиражирования информации,
- интерфейс связи с распределенными или удаленными базами данных,
- интерфейс связи с системами аналитической обработки информации.

Глобальный мониторинг позволяет решать две качественно различных задачи: поисковое (исследовательское) и нормативное прогнозирование.

Поисковое прогнозирование - это анализ перспектив развития существующих тенденций

(рис.2). Нормативное прогнозирование заключается в ответе на вопрос: “Что можно или нужно сделать для того, чтобы достичь поставленных целей или решить поставленные задачи?”.

Предметом нормативного прогнозирования выступают субъективные факторы (идеи, гипотезы, предположения, этические нормы, социальные идеалы, программы развития.), которые, как показывает история, могут решающим образом изменить характер протекающих процессов, а также стать причиной появления качественно новых, непредсказуемых феноменов действительности.

В результате анализа данных мониторинга получают оперативные данные трех типов:

Констатирующие, измеренные параметры состояния обстановки в момент обследования.

Оценочные, результаты обработки измерений и получение на этой основе оценок экологической ситуации.

Прогнозные, прогнозирующие развитие обстановки на заданный период времени.

На уровне представления при глобальном мониторинге создают набор визуальных моделей.

Различают индикационный и аналитический мониторинг [34, 36]. Под индикационным МОНИТОРИНГОМ понимают мониторинг, который позволяет производить простой качественный анализ параметров на допустимые и недопустимые. Результаты такого мониторинга не могут быть использованы для прогнозирования.

Под аналитическим мониторингом понимают мониторинг, который по своей точности и периодичности позволяет не только производить анализ, но оценивать изменения параметров как функции времени. Вследствие этого результаты мониторинга могут быть использованы для раннего обнаружения нежелательных процессов и явлений и прогнозирования их развития. На основании такого контроля и прогнозирования процессов появляется возможность заранее принимать необходимые упреждающие меры.

Цифровое моделирование при мониторинге

Цифровое моделирование пространственных явлений является одной из основных геоинформационных технологий. Оно включает построение пространственных цифровых моделей и цифровых карт [37]. Использование цифрового моделирования позволяет обеспечить поддержку принятия решений не только на стадиях проектирования дорог, но и при мониторинге и управлении транспортными объектами. Мониторинг требует привлечения цифровых методов и цифрового моделирования [26, 38, 39]. Цифровое моделирование при мониторинге может быть организовано по-разному.

В частности, цифровое моделирование может быть реализовано с применением спутниковых навигационных технологий. Цифровое моделирование на протяженных участках дорог может быть реализовано с применением специальных геоинформационных технологий и методов [40]. Интеграция технологий и данных при цифровом моделировании позволяет решать сложные задачи, которые другими методами не решаются. Геоинформационный мониторинг по-новому использует цифровое моделирование. Основное отличие в применении модели геоданных [23] как нового информационного ресурса. Цифровая модель, построенная на основе геоданных, представляет собой системную модель, отвечающую системным требованиям, и может быть рассмотрена как целостная систем. Цифровую модель получают интегрированными технологиями, что и повышает качество обработки информации и управления.

Информационное обеспечение геоинформационного мониторинга транспорта.

Информационное обеспечение геоинформационного мониторинга транспорта включает координатное обеспечение и получение информационных характеристик.

Координатное обеспечение. Для решения проблемы мониторинга транспорта необходимо создание единого координатного пространства и системы получения координатно-временной информации [41]. При создании систем получения координатно-временной информации мониторинга необходимо решить следующие проблемы: обеспечение единства терминологического поля, обеспечение единства времени, обеспечение единства координат, реализацию координатной среды измерений [42-44], объединение наземных и спутниковых сетей [45]. Перечисленные факторы играют важную роль при получении координатно-временной информации.

Любая система координатного обеспечения системы мониторинга транспорта должна быть метрологически корректной и удовлетворять требованиям единства измерений в соответствии с отраслевыми, государственными и международными нормативными документами.

При этом различают научно-техническое и правовое направление. Научно-техническое направление обеспечения координатного единства основано на создании эталонов и методов измерений, методов оценки точности и т.п. Правовое направление основано на создании нормативных документов, отраслевых стандартов, общих правил и норм измерительной техники. Ведущую роль в этом направлении для задач ОАО «РЖД» выполняет АО «НИИАС».

Для поддержания единства измерений применяют специальное метрологическое обеспечение (МО). Под единством измерений понимают такое состояние измерений, при котором результаты измерений выражены в нормативных единицах, а погрешности известны с допустимой нормативами вероятностью. Этим обеспечивается сопоставимость результатов измерений и их анализ. Метрологическое обеспечение представляет собой совокупность научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Метрологическое обеспечение имеет техническую основу. Эта основа опирается на измерительную технику. Она содержит систему эталонов единиц физических величин, систему передачи размеров единиц всем средствам измерений, государственную систему приборов (ГСП), систему испытаний, систему метрологической сертификации и т.д.

Правовая основа метрологического обеспечения – государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). ГСИ – это комплекс нормативно-технической документации (НТД) Госстандарта РФ.

Метрическую основу координатной системы геоинформационного мониторинга образуют геодезические сети. Геодезические сети обеспечивают единство пространственных измерений в рамках государства. Дополнительно, сети позволяют работать в местных системах координат, не привязываясь к государственной координатной системе. Переход к единой системе координат осуществляется путем привязки к точке государственной сети. Это позволяет привести результаты измерений в геоцентрическую систему или в иную национальную систему

Получение информационных характеристик. Информационные характеристики мониторинга – это характеристики, которые задают ряд информационных моделей и факторов мониторинга. При геоинформационном мониторинге выделяют такие информационные факторы: цель мониторинга [30]; поле (информационное) мониторинга [30], объект мониторинга. После проведения мониторинга формируют модель объекта мониторинга. Объект мониторинга находится во внешней среде, которая воздействует на него случайным или закономерным образом. При геоинформационном мониторинге используют набор технологий, выбор которых зависит от цели мониторинга.

При информационном обеспечении геоинформационного мониторинга используют наборы качественно разных информационных моделей: информационную конструкцию (обобщенная модель объектов и процессов), информационную ситуацию; модель информационного взаимодействия; модель информационной позиции, модели информационных единиц.

Это определяет специфику и дифференциацию информационного обеспечения геоинформационного мониторинга. Информационное обеспечение включает не только фиксацию наблюдений, но и систематизацию данных, первичную обработку и интерпретацию.

При информационном обеспечении мониторинга возникает необходимость классификации мониторинга. В работах [3, 30] дана классификация космического мониторинга транспорта и инфраструктуры из которых выделим следующие аспекты: по виду мониторинга, по состоянию объекта мониторинга, по масштабу поля мониторинга, по целям мониторинга, по технологиям и так далее.

Важным для транспортного мониторинга является дифференциация объектов на следующие виды: состояние объекта, подвижный объект, стационарный объект, перевозимый груз, материальный поток, объект инфраструктуры, график движения.

По периодичности геоинформационный мониторинг разделяют на: оперативный мониторинг, периодический мониторинг, разовый мониторинг. Оперативный мониторинг означает, что мониторинг объекта осуществляется дополнительно к периодическому.

Заключение.

Ошибочно сводить понятия мониторинга, геоинформационного мониторинга, космического мониторинга и геомониторинга только к наблюдениям и фиксации параметров. Современные виды мониторинга включают четыре основные функции: наблюдение, обработка информации, прогнозирование и управление.

Мониторинг может быть комплексным [3], когда включает в единой системе разные технологии и функции, а также и дифференциальным, когда использует одну технологию или одну функцию. Примером дифференциального может служить индикационный мониторинг [6, 32], который, например, показывает движение объекта по графику или не по графику (отставание, опережение). Этот вид мониторинга используют для контроля перевозки отдельных особо важных грузов или объектов. Системы дифференциального мониторинга достаточно просты и оперативно предоставляют информацию, что является их преимуществом по возможности реализации и обслуживанию.

Комплексный мониторинг [3] включает много технологий и функций. По существу он является многоцелевым. Как правило, он включает наблюдение и анализ подвижного объекта и среды, в которой объект находится. Поэтому комплексный мониторинг является эффективным средством управления и контроля интермодальными перевозками. Современный мониторинг объектов транспорта и инфраструктуры использует разнообразные методы, геоинформационный мониторинг, космический мониторинг, методы космической геоинформатики и может быть рассмотрен как новое научное направление. Обобщающим понятием разных видов мониторинга может служить понятие геомониторинга. Оно рассматривает подвижные объекты как геотехнические объекты, а железную дорогу как геотехническую систему. Доминантой геомониторинга является геоинформационный мониторинг.

Геоинформационный мониторинг исследует не только отдельные объекты, но их инфраструктуру, среду и ситуацию движения, и потоки грузов. Геоинформационный

мониторинг контролирует и прогнозирует состояние авто и железных дорог, морских портов. Он осуществляет не только контроль перевозки особо важных грузов, но контроль эксплуатации вагонного парка, контроль перевозки особо важных грузов. Геоинформационный мониторинг использует разнообразные математические модели, что пока затрудняет создание общей теории мониторинга. Геоинформационный мониторинг транспорта является новым научным направлением и нуждается в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Ашпиз Е.С. Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог. - М.: Путь-пресс, 2002.
2. Markelov V.M. Application of Geoinformation Monitoring in Logistics // *European Researcher*, 2012, Vol.(31), № 10-1, p.1632- 1634.
3. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – 1(1). – с.14-21.
4. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. - 288с.
5. Павлов А. И. Геоинформационный мониторинг городских территорий // *Науки о Земле*. - №4-2012.- с.59-64.
6. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. - 2005.- №5. - с.151 -155.
7. Bernard R., Pacovsky J., Zemánek I. Geo-monitoring performed during the construction of the Valík highway tunnels // *Tunnelling and Underground Space Technology*. – 2006. – V. 21. – №. 3-4.
8. Sohn Y. K. et al. Geoheritages and geomonitoring with special reference to Jeju Island // *Journal of the Geological Society of Korea*. – 2009. – V. 45. – №. 6. – p.751-770.
9. Vostrikov V. I., Akinin A. A. System of remote geomonitoring of deformation-wave processes in a rock mass // *Journal of Mining Science*. – 2004. – V. 40. – №. 6. – p. 629-632.
10. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // *European Journal of Economic Studies*, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44.
12. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // *Славянский форум*, 2015. - 2(8) - с.275-282
13. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1984 -560 с.
14. Розенберг И. Н. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // *Науки о Земле*. - 2012.- №3. - с. 20-25.
15. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // *Информационные технологии*. - 1999. - №10. - с.36-40.
15. Затягалова В.В. Геоинформационный подход при мониторинге загрязнения моря по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // *Науки о Земле*. - 2-2012.- с.80-85.
16. Бармин И. В., Савиных В. П., Цветков В. Я., Затягалова В. В. Мониторинг загрязнений моря судами по данным дистанционного зондирования // *Морской сборник*. 2013. – т.1998. - №9. –с.41-49.
17. Савиных В.П. Применение геоинформационного мониторинга для решения экологических задач // *Перспективы науки и образования*. - 2015. - №4. - с.28-33.

18. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. – М.: Гаудеамус, 2007.
19. Ozorovich Y. R. et al. Geomonitoring shallow depth structure and groundwater by MARSSES TEM instrument // Proc. SEG Conf., Houston. – 1999.
20. Кужелев П.Д. Мониторинг пожаров // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.143 – 152.
21. Майоров А.А. Пространственное когнитивное моделирование // Перспективы науки и образования- 2014. - №1. – с33-37.
22. Павлов А.И. Цифровое моделирование пространственных объектов// Славянский форум, 2015. - 4(10) – с.275-282.
23. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.
24. Павлов А.И. Мониторинг в кадастре земель: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2016. -72 с.
25. Бахарева Н.А. Информационное взаимодействие в автоматизированных системах мониторинга и кадастра // Славянский форум. - 2012. – 1(1). - с.58-62.
26. Павлов А.И. Цифровое моделирование при мониторинге деформаций // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №4 (16). – с.98-106
27. Tsvetkov V. Ya. Global Monitoring // European researcher. Series A. 2012. № 11-1 (33). С. 1843-1851.
28. I.V. Barmin, V.P. Kulagin, V.P. Savinykh, V.Ya. Tsvetkov. Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // Solar System Research, 2014, Vol. 48, No. 7, pp. 531–535. DOI: 10.1134/S003809461407003X.
29. Бармин И.В., Лящук Б.А., Савиных В.П., Цветков В.Я. Принципы глобального космического мониторинга // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. - 2013. - № 4. - с.30-36.
30. Розенберг И.Н. Космический мониторинг // Славянский форум, 2016. -2(12). – с.216-222.
31. Романов И. А. Геоинформационный космический мониторинг // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №2 (10). – с.131-137.
32. Цветков В.Я. Космический мониторинг: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68с.
33. Бондур В.Г., Цветков В.Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта. // Перспективы науки и образования. - 2015. - №5. - с.130-135.
34. Кулагин В.П. Принципы создания системы мониторинга опасных небесных тел // Перспективы науки и образования. - 2015. - №5. - с.119-124.
35. Бармин И.В., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Околосферное космическое пространство как объект глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2013. - № 4. – с. 4-9.
36. Майоров А.А., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Дубов С. С., Шкуров Ф.Ф. Мониторинг инфраструктуры пространственных данных - М.:Изд-во МИИГАиК, 2012, 198с.
37. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №2. - с.147-155.
38. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.70-81.
39. Кулажский А.В. Цифровое и математическое моделирование рельефа местности в системах автоматизированного проектирования трасс железных дорог. Дис. К.т.н. 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог М. : МГУПС, 2011. -120с.

40. Омельченко А. С. Геоинформационная база данных транспортных объектов большой протяженности. Дис. К.т.н. Специальность 25.00.35 – Геоинформатика 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог – М. : МГУПС, 2006. -167с.

41. Савиных В.П. Система получения координатно-временной информации для решения задач мониторинга // Науки о Земле. Выпуск 03-2012.- с. 5-10.

42. Бармин И.В., Данхем Д.У., Кулагин В.П., Савиных В.П., Цветков В.Я. Координатное обеспечение системы глобального мониторинга // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2014. - № 3. – с. 109-115.

43. Егоров В.М., Цветков В.Я. Координатное обеспечение международной аэрокосмической системы глобального мониторинга // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. - 2012. - № 4. - с.34-37.

44. Максимова М.В. Координатное обеспечение геодезического мониторинга // Науки о Земле" № 1-2013 – с.49-54.

45. Маркузе Ю. И., Антипов А. В. Возможности улучшения алгоритма объединения спутниковых и наземных сетей // Геодезия и картография. — 2004. — №4. —С. 16–21.

УДК 656.052

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ

- Буравцев А.В.** Заместитель директора Института информационных технологий и автоматизированного проектирования МИРЭА,
E-mail: alexei.buravcev@gmail.com, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье рассмотрены принципы и технологии формирования сложной организационно технической системы. Раскрывается содержание этой системы. Статья дает несколько формальных моделей описания сложной организационно технической системы. Показано сходство и различие между сложной организационной системой и формальной сложной системой. Описано многоцелевое управление транспортными средствами. Описано применение метрики Холстеда для оценки сложности сложной организационно технической системы.
- Ключевые слова:** системный анализ, сложные системы, сложные организационно технические системы, формализация, многоцелевое управление, когнитивные факторы, интеллектуальное информационное управление, транспорт.

FUNCTIONING OF A COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM IN THE TRANSPORT SECTOR

- Buravtsev A.V.** Deputy Director of the Institute of Information Technologies and Computer-Aided Design of MIREA, E-mail: alexei.buravcev@gmail.com, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes the principles and technologies of the formation of a complex organizational and technical system. The article reveals the content of this system. The article describes several formal models describing a complex organizational and technical system. Paper shows the similarity and difference between a complex organizational system and a formal complex system. The article describes the multi-purpose management of vehicles. The article describes the application of the Halstead metric to assess the complexity of a complex organizational and technical system.
- Keywords:** System analysis, complex systems, complex organizational and technical systems, formalization, multipurpose management, cognitive factors, intellectual information management, transport.

Введение.

Современные системы управления и производства, особенно на транспорте, действуют в более сложных и динамичных ситуациях, чем ранее. Источником сложности ситуаций служит многообразие взаимосвязанных событий и объектов, а также увеличение скорости информационных и физических взаимодействий. Это мешает объективно связать причины и следствия и затрудняет предсказание последствий деятельности. Сложные организационно-технические системы (СОТС) являются этапом эволюции сложных систем [1-3]. Реализация их потенциала требует интеграции многих факторов из разных областей деятельности

деятельности. Некоторые из этих факторов нематериальны и с трудом поддаются количественной оценке. Например, как эффективно используются информационные ресурсы, насколько эффективно качественное управление, какова адаптивность организации, насколько когнитивной является система управления. Качественные факторы наряду с количественными факторами вносят существенный вклад в эффективное решение сложных задач. Эти качественные оценки часто осуществляют на основе когнитивных методов, что и предопределяет название таких систем как организационно-технические. В настоящее время сложные организационно-технические системы нуждаются в развитии. Как системы они занимают промежуточное состояние между автоматизированными системами и интеллектуальными системами. По масштабу они относятся к сложным и большим системам.

Особенности СОТС как сложной системы.

В силу специфики СОТС позволяют оперировать характеристиками, которые не применимы к другим системам управления. Многие сложные организационно-технические системы действуют в условиях конкуренции или противодействия. В этих условиях саморазвитие системы является важным фактором выживания и достижения цели. В этих условиях возникает необходимость введения и использования параметра информационное преимущество. Полное преимущество СОТС складывается из совокупности локальных преимуществ системы в различных сферах деятельности: материальной, энергетической и информационной. Достижение информационного преимущества [4] является важным фактором достижения общего преимущества. Впервые феномен информационного преимущества, проявившейся через увеличение оперативности и синергию действий был обнаружен военными. На наш взгляд, одной из причин не учета этой характеристики является отсутствие достаточно проработанной и обоснованной концепции управления сложной организационно-технической системой. Сложная организационно-техническая система является разновидностью сложной системы.

В широком смысле под сложной системой понимают множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом [5, 6]. В системе эти элементы образуют целостность, единство и обладают эмерджентностью [7]. Содержание элементов СОТС может изменяться в зависимости от области ее применения и целей. Необходимо отличать понятие «система», как технический объект, понятие система как информационная система и понятие «система» как формальный объект [8, 9]. Для «системы-объекта» характерно наличие: технических требований; технической и рабочей документации; ресурсного обеспечения, организационного обеспечения, технического обеспечения. Для информационной системы характерно наличие: информационного, процедурного, программного - обеспечения. Для формальной системы характерно наличие: информационно-лингвистического обеспечения, концептуального обоснования, логического обоснования. Разбиение СОТС на элементы осуществляется в зависимости от критерия делимости системы. Элементы могут объединяться в компоненты системы или в подсистемы.

Элемент системы – неделимая составляющая в соответствии с выбранным критерием.

Компонент системы – часть интегрированных элементов системы, вступающая в определенные отношения с другими ее частями.

Подсистема - это часть системы, включающая группу частей, объединяемых по одному или нескольким функциональным признакам. Подсистема выполняет (решает) самостоятельно частную группу задач.

Для формального описания СОТС (*COTS*) воспользуемся аппаратом теории систем. По мере усложнения формальное определение будет усложняться. В качестве первого описания рассмотрим систему *SYS* как модель

$$SYS = \langle E, C, R \rangle, \quad (1)$$

где *E* – множество элементов системы; *C* – множество связей между элементами; *R* – множество отношений между элементами. Это определение определял систему как совокупность элементов, взаимодействующих друг с другом и со средой. Второе описание включает структуру системы [10]

$$SYS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R \rangle, \quad (2)$$

где *Ps* – совокупность подсистем системы; *Pr* – совокупность частей системы; *Str* – структура системы; *E* – множество элементов системы; *C* – множество связей в системе; *R* – множество отношений между элементами, частями и подсистемами. Это определение указывает, что система состоит из разнородных частей и имеет структуру. Если переходит от абстрактной системе к конкретной системе, необходимо отметить наличие цели. В этом определении добавим к уже рассмотренному кортежу – множество целей *G*. Таким образом, СОТС представляет кортеж вида:

$$COTS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G \rangle, \quad (3)$$

Реальная система СОТС может иметь одну или несколько целей, т.е. являться одноцелевой или многоцелевой [11]. Эта модель системы является закрытой. Поэтому следующее определение системы основывается на кортеже вида

$$COTS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out \rangle, \quad (4)$$

где *int* - множество входов, *out* - множество выходов системы. Наличие входов и выходов системы отделяет систему от среды и позволяет моделировать информационное и физическое взаимодействие системы со средой. Границы взаимодействующей системы во многих случаях определить достаточно сложно. В качестве критерия, позволяющего определить эти границы, можно выбрать силу связей между элементами. Это позволяет выделить из системы элементы, определить граничные (входные и выходные) элементы, определить границы системы. Система существует только тогда, когда сила связей между элементами системы сильнее силы связей со средой. В ряде случаев используют понятия «закрытая» (3) и «открытая» (4) система, подразумевая наличие и отсутствие связей со средой. Закрытые системы можно рассматривать как некоторую абстракцию, применяемую для целей исследования.

В ряде случаев необходимо учитывать, что функционирование системы происходит в пределах некоторого интервала времени – интервала жизненного цикла системы (ΔT) [12]. В этом случае рассматриваются процессы, происходящие в системе и в среде, учитывается динамика функционирования системы. Тогда вышеприведенное определение должно быть дополнено параметром ΔT - *жизненного цикла системы*:

$$COTS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T \rangle, \quad (5)$$

Вне интервала $[0-\Delta T]$ выражение (5) лежит вне области истинности. Важной характеристикой COTS является включение когнитивных факторов [13, 14] в ее функционирование. Включение когнитивного фактора *Cog* в систему формирует полную COTS, которая может быть описана как

$$COTS = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T, Cog \rangle, \quad (6)$$

Выражение (6) описывает модель COTS и показывает, что COTS является эволюцией и усложнением сложной системы (выражения 1-5). В качестве COTS часто рассматривают сложные объекты, такие как фирма, орган государственной власти, государственный фонд и др.

Исходя из того, что COTS обладает качеством эмерджентности, ее нельзя исследовать, только на основе анализа ее частей или элементов. Исследование системы только методом декомпозиции, т. е. методом разложения целого на части, является недостаточным, так как оно сводится к исследованию лишь ее отдельных частей. Исследование будет полным в том случае, когда будет применен метод интеграции, позволяющий синтезировать целое из элементов системы. При таком подходе обеспечивается формирование целостного представления о системе и ее полноценный системный анализ. На рис.1. приведена структурная схема COTS.

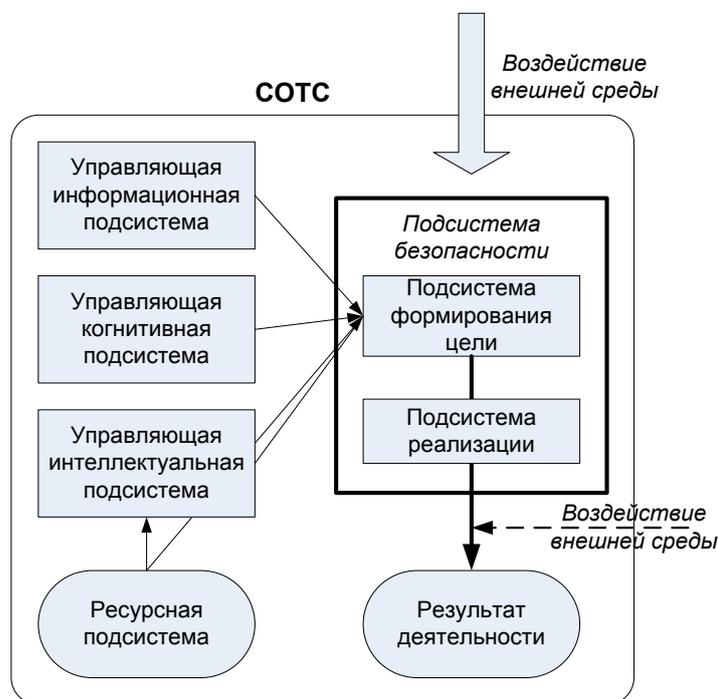


Рис.1. Структурная схема COTS.

Обращает на себя внимание двукратное воздействие внешней среды. Часть воздействия снимает подсистема безопасности. Но часть воздействия не снимается и она влияет на

реализацию деятельности СОТС. Важным свойством СОТС является ее связь с информационными и интеллектуальными системами. Эта связь отражается в особом виде управления, которое называют информационным интеллектуальным управлением [15].

Оценка сравнительных характеристик СОТС.

Представляет интерес получение сравнительных оценок СОТС для сопоставления друг с другом и внутреннего сопоставления. СОТС представляет собой и программу, и техническую систему. Рассматривая СОТС как программу можно сделать попытку оценить ее сложность на основе метода Холстеда.

Стоит отдельно отметить наиболее известные методы: метрика Холстеда [16], метрика Джилба [17], цикломатическая сложность МакКейба [17]. Данные характеристики основаны на количественном подсчете лексем рассматриваемого языка, а также оценке сложности графа потока управления. Согласно точки зрения Холстеда лексическая программа представляет собой набор, подразделяющийся на операторы и операнды. То есть можно рассматривать СОТС как совокупность операторов и связанных с ними операндов. Метрики Холстеда основаны на подсчете этих совокупностей. Основная проблема анализа - что считать «оператором», а что «операндом»? Авторы работы [18] предлагают считать операндами переменные, параметры и константы, а синтаксические элементы языка, названия атрибутов этих элементов считать операторами. При переносе этих идей в информационное поле [19, 20] операндами становятся декларативные информационные единицы. Соответственно, прескриптивные [21] информационные единицы можно считать операторами. Входными данными метода Холстеда являются следующие характеристики:

n_1 - количество уникальных операторов, описывающих формальную модель СОТС, включая имена функций, знаки операций, а также имена элементов, атрибутов и части значений некоторых атрибутов.

n_2 - количество уникальных операндов, описывающих формальную модель СОТС.

N_1 - общее количество встречающихся в исходном коде операторов.

N_2 - общее количество встречающихся в исходном коде операндов.

Все остальные характеристики рассчитываются на основе этих параметров выше значениях. Длина (N) СОТС как программы P рассчитывается по формуле:

$$N = N_1 + N_2$$

Длина дескриптора СОТС определяется как

$$.n = n_1 + n_2$$

Информационная длина программы рассчитывается по формуле

$$N' = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2$$

Позже было разработано выражение [22], дающее более точные оценочные характеристики на примере некоторых языков. Формула информационной длины программы по Дженсену имеет вид:

$$N' = (\log_2 n_1)! + (\log_2 n_2)!$$

Объём (V) программы (в нашем случае СОТС) определяется Холстедом в своей книге [23] как: Подходящая метрика размера любой реализации любого процесса; количество возможных вариантов реализации процесса. Параметр V вычисляется по следующей формуле:

$$V = N \log_2 n$$

Характеристика «уровень качества программы» может быть трансформирована как «уровень качества СОТС» L_p . Она показывает, насколько эффективно выполнен программный код или процедурная формализация. Вычисляется этот показатель следующим образом.

$$L_p = (2 n_2) / (n_1 N_2)$$

Критерий L_p отражает уровень эффективности реализации формального процесса. Известно, что один и тот же формальный процесс или алгоритм можно реализовать различными способами. Поэтому данная характеристика применима для сравнения между двумя одинаковыми алгоритмами, выполненными на одном и том же формальном языке с помощью разных подходов. Значение L_p находится на интервале $[0; 1]$. Если считать, что формализованные процессы являются эталонными (для одного случая это допустимо) то для этого случая $L_p = 1$. Принятие единичного уровня СОТС не противоречит понятиям метрик Холстеда.

Сложность СОТС, согласно Холстеду, D обратно пропорциональна её уровню:

$$D = 1 / L_p$$

Для эталонной сложной организационно-технической системы сложность равна 1. Характеристика «информационное содержание программы» I позволяет оценить интеллектуальную сложность формализованного процесса вне зависимости от используемого языка формализации. Она имеет вид

$$I = V L_p$$

Использование СОТС для многоцелевого управления транспортными объектами. Управление с выбором цели является сложным видом управления, который возникает при управлении транспортными объектами. Примером является появление ситуации в процессе перевозки грузов, когда возникает необходимость изменения маршрута доставки груза или перегрузки с одного вида транспорта на другой. Многоцелевое управление является многокритериальным. Множества критериев часто по-разному организованы, что приводит к многовариантности выбора целей.

Многоцелевым управлением называют управление [24] при котором существует несколько возможных целей и выбор конкретной цели осуществляют исходя из оперативной информационной ситуации [25-27]. Выбор цели означает решение задачи доставки груза от точки погрузки до точки разгрузки, при переменном критерии оптимизация [24]. Например, при перевозке груза могут возникать ситуации с разными условиями оптимальности.

Ситуация 1. Оптимальность — минимальное расстояние от точки погрузки до точки разгрузки.

Ситуация 2. Оптимальность — минимальное время доставки.

Ситуация 3. Оптимальность — минимальная стоимость доставки.

Ситуация 4. Оптимальность — минимизация затрат на стоимость аренды склада.

Ситуация 5. Оптимальность — минимизация риска перевозки груза.

Поясним некоторые критерии. Случай 2 соответствует перевозке в городских условиях, например, когда множество светофоров или факторов, сдерживающих движение замедляют перевозку и повышают затраты на простой транспорта. Случай 4 относится к тому, когда на одном из складов истекают запасы и возможны убытки из-за отсутствия товаров на складе и, соответственно, их не поступление в торговые точки.

Случай 5 относится к нештатной ситуации, при которой, например, из-за аварии на пути, приходится существенно менять маршрут перевозки и заново решать задачу оптимизации.

Таким образом, ситуации 1-5 являются примером для необходимости применения многоцелевого управления. При этом возможно множество вариантов и комбинаций ситуаций, которые также требуют многоцелевого управления. Внешняя среда оказывает воздействия на объект управления. В аспекте изменения цели можно оценить воздействия внешней среды или внешних факторов по двум альтернативным критериям: существенным или несущественным по выбору цели [25].

Существенным по выбору цели называют воздействие на объект, которое требует изменения цели управления. Несущественным по выбору цели называют воздействие на объект, которое не требует изменения цели. В качественном плане выбор управления и выбор цели осуществляется с учетом двух групп воздействий: обусловленными изменением внешней среды объекта управления и обусловленными изменением состояния объекта управления.

Следует также подчеркнуть различие между вектором многих целей и вектором цели. Вектор многих целей – это вектор, компонентами которого являются параметры разных целей. Вектор цели – это вектор, компонентами которого являются ключевые показатели одной цели. Основные виды многоцелевого управления можно разделить на три группы: векторные, матричные, многомерные.

Векторное многоцелевое управление означает, что существует вектор выбора цели с компонентами (C_i) и вектор целей с компонентами (T_i) , между которыми существует однозначное соответствие. Такая ситуация означает тому, что вектору условий $|(C_i)\rangle$ соответствует вектор целей $|(T_i)\rangle$. Эта группа многоцелевого управления описывается с помощью правил Ru выбора целей и называется нормативной.

$$Ru: \quad \text{if}(C_i) \text{ then } (T_i)$$

или

$$Ru: \quad Op1 | C_i \rangle \rightarrow | T_i \rangle$$

Здесь оба вектора имеют одинаковую вариантность, то есть они являются ковариантными (оба являются векторами-столбцами). $Op1$ – оператор линейного преобразования. Где $i=1, n$; n – число целей. Из перечисленных выше ситуаций с 1 по 5 входят в эту группу, при условии выбора цели до начала перевозки. Этот вид управления наиболее простой.

Матричное многоцелевое управление означает, что существует множество условий выбора цели (C_i) и множество целей (T) , множество факторов изменения условий выбора целей (W_k) . Такая ситуация приводит к тому, что набору условий (C_i) и множеству факторов изменения

условий выбора целей (W_k) соответствует матрица целей (T_{ik}). Матрица целей формируется как результат векторного произведения ковариантного вектора C_i (вектора столбца) на контрвариантный вектор W_k (вектор строку). То есть

$$[T_{ik}] = | C_i \rangle \langle W_k |$$

Напомним, что векторное произведение некоммутативно и перемножение этих векторов в обратном порядке понижает ранг и приводит к получению некоей скалярной величины, то есть

$$\Phi = \langle C_i | W_i \rangle$$

Матричное многоцелевое управление описывается с помощью другого правила выбора целей *Rum*.

$$\begin{aligned} \text{Rum} \quad & \text{if}(C_i) \text{ and } (W_k) \text{ then } (T_{ik}) \text{ или} \\ & (C_i) \wedge (W_k) \rightarrow (T_{ik}) \end{aligned}$$

Вторая группа правил выбора есть нестационарная матрица. Примерами такого управления является доставка груза транспортными средствами с учетом многих факторов. В процессе доставки значение факторов меняются. Такие факторы в процессе перемещения груза не являются стационарными. Например, при увеличении скорости движения транспортного средства, начиная с некоторого значения, существенно увеличивается расход топлива. Это увеличивает затраты при перевозке. Изменение затрат может привести к изменению оптимальности перевозки, что в итоге может привести к изменению целей.

При длительной перевозке или повышении мощности двигателя, а также при высокой температуре окружающей среды - возрастает риск перегрева и износа двигателя. Перегрев двигателя может привести к простоям и к дополнительным затратам на ремонт и т.д. Эти факторы также могут привести к изменению целей.

Поэтому во многих случаях при перевозке грузов необходимо учитывать все связанные факторы в комплексе, что возможно только при использовании предварительного коррелятивного анализа [28, 29]. Учет коррелятивных факторов, в том числе и латентного характера, позволяет учитывать динамику критериев оптимальности и выбирать правильную цель при изменении ситуации.

Другими словами, ключевые факторы вектора цели, которые при первичном решении задачи считают стационарными и независимыми, при изменении состояния объекта или изменении внешней среды могут влиять друг на друга и становиться зависимыми и нестационарными.

Нестационарность не описывается непрерывной функцией, а включает элемент скачкообразности (дискретности). Дискретность критериев оптимальности влечет дискретное изменение оптимальности решения задачи управления и необходимость перехода от одного типа решения к другому. Взаимосвязанные факторы, влияющие на выбор цели, связаны с организацией цепочки доставки и управления этой цепочкой. Однако в классических логистических задачах они не рассматриваются и логистические задачи решаются большей частью при стационарных условиях и выборе одной цели.

Рассматривая управление с автоматическим выбором цели, следует отметить, что управление согласно правилам Ru требует решения задач первого рода. Управление согласно правилам Rum требует решения задач второго рода [30, 31]. Решение задач второго рода при управлении транспортом возможно только при применении СОТС. Одними из примеров СОТС являются ситуационные комнаты.

Многомерное многоцелевое управление означает, что существует множество условий выбора цели (C_i) и множество целей (T), множество групп J факторов изменения условий выбора целей (WJ_k). Величина J задает размерность управления. При $J=1$ имеем матричное управление, при $J=2$ имеем куб, при $J>2$ имеем гиперкуб. Такая ситуация приводит к тому, что вектору условий (C_i) и множеству факторов изменения условий выбора целей (W_k) соответствует многомерный куб целей ($T_{ikl(j)}$). Многомерный куб целей или полиразмерная матрица формируется как результат многомерного векторного произведения. Эта группа многоцелевого управления описывается с помощью правил выбора целей $Ru3$.

$$Ru3 \quad \text{if}(C_i) \text{ and } (W0_k) \text{ and } (W0_l) \text{ then } (T_{ikl}) \text{ или} \\ (C_i) \wedge (W0_k) \wedge (W0_l) \rightarrow (T_{ikl})$$

Здесь для простоты приведен пример трехмерного куба, то есть трех групп параметров, влияющих на управление и приводящих к изменению цели. Внутри каждой группы параметры альтернативные, но в разных группах они дополняют друг друга и увеличивают размерность анализа и принятия решений.

Заключение.

Сложные организационно-технические системы являются одними из наиболее развитых сложных систем. Они позволяют решать задачи при управлении транспортом, не доступные для других систем [32]. Проведенный анализ показал, что сложная организационно-техническая система является самоорганизующейся, динамической системой, предназначенной для решения сложных задач с учетом выбора нескольких целей. СОТС характеризуются допустимой изменчивостью структуры и выполняемых функций, а также использованием человеко-машинных комплексов. Элементы СОТС являются самоуправляемыми в пределах заданной системы правил. Можно выделить основные направления развития применения СОТС в сфере транспорта. Часть их отражена в работе [33]. Первое направление связано с проблемой качественного анализа СОТС. Совокупность качественных и количественных оценок составит основу для оценки эффективности СОТС. Развитие СОТС сопряжено с изучением и использованием закономерностей информационного поля [20]. Важным направлением является развитие методов когнитивного управления в технологиях СОТС. Существенным является проблема обработки больших данных, больших графов и больших процессов. Необходимым фактором развития СОТС является проблема изучения закономерностей информационного взаимодействия особенно в процессе «человек – машина». Как когнитивная система, СОТС требует исследования вопроса трансформации неявных знаний. Основой развития СОТС является исследование и применение модели информационной ситуации и сопряженных с ней моделей информационного преимущества и информационной позиции. Важным направлением развития СОТС является применение метода прецедентов и эвристического управления [34] для анализа и управления. В особенности это направление важно для управления транспортом при многоцелевом управлении. Развитие СОТС связано с системным анализом и развитием теории сложных систем.

Список литературы

1. Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Соловьёв И. В., Цветков В.Я. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. - М.: МаксПресс, 2010.-228с.
2. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой- М.: МаксПресс, 2010.-136с.
3. Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №2. – с.44-50
4. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp.1901-1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901
5. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. - 2014. - 1(5). - с.252 -257.
6. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. - М. Мысль, 1978 -272 с.
7. Цветков В.Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
8. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Перспективы науки и образования- 2014. - №1. – с38-43
9. Цветков В.Я. Решение проблем с использованием системного анализа// Перспективы науки и образования- 2015. - №1. – с.50-55
10. Воронин А.А., Мишин С.П. Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы //Автоматика и телемеханика. – 2002. – №. 8. – С. 136-150.
- 11.. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с65-68.
12. V. Ya. Tsvetkov, Resource Method of Information System Life Cycle Estimation // European Journal of Technology and Design . – 2014. - Vol.(4), № 2, pp.86-91 DOI: 10.13187/ejtd.2014.4.92.
13. Номоконов И.Б. Когнитивные методы при лучевой диагностике. Монография - М.: МАКС Пресс , 2016. - 60с.
14. Александров А.В. Когнитивные информационные конструкции // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №4 (16). – с.92-98
15. Tsvetkov V.Ya. Informational Intelligent Management // Modeling of Artificial Intelligence, 2017, 4(1). – p. 46-54. DOI: 10.13187/mai.2017.1.46 www.ejournal11.com
16. Magel K., Kluczny R. M., Harrison W. A., Dekock A. R. Applying software complexity metrics to program maintenance. — 1982.
17. Gilb T., Finzi S. Principles of software engineering management. Vol. 11. —Addison-Wesley Reading, MA, 1988.
17. McCabe T. J. A complexity measure // IEEE Transactions on software Engineering.— 1976. — No. 4. — pp. 308–320.
18. Karus S., Dumas M. Predicting the maintainability of XSL transformations // Science of Computer Programming. — 2011. — Vol. 76, no. 12. — Pp. 1161–1176.
19. Цветков В. Я. Естественное и искусственное информационное поле// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2014. - №5, ч.2. – с.178 -180.
20. Кудж С.А. Информационное поле: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с. ISBN 978-5-317-05530-1

21. Цветков В.Я. Дескриптивные и прескриптивные информационные модели // Дистанционное и виртуальное обучение– 2015. - №7. - с.48- 54.
22. Singh G., Singh D., Singh V. A study of software metrics // IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management. — 2011. — Vol. 11. —Pr. 22–27.
23. Halstead M. H. Elements of software science. Vol. 7. — Elsevier New York, 1977
24. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
25. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций// Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - с.4- 11
26. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181
27. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – с.39-44.
28. Tsvetkov V.Y. Correlative analysis and opposition variables // European Journal Of Natural History, №1 2014, с.48-52
29. Tsvetkov V. Ya. Framework of Correlative Analysis // European researcher. Series A. 2012. № 6-1 (23). С. 839-844
30. V.Ya. Tsvetkov. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia, November 2014. Vol. 11(Spl. Edn.), p. 177-180. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1458>
31. Цветков В.Я. Решение задач второго рода с использованием информационного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. - №11. (часть2) – с.191-195
32. Коваленко Н.И. Учёт неопределённости при управлении транспортным комплексом // Государственный советник. – 2014. - №3. – с50-54
33. Розенберг И.Н., Соловьев И.В., Цветков В.Я. Комплексные инновации в управлении сложными организационно-техническими системами. /под ред. В.И. Якунина - М.: Феория, 2010 - 248с
34. Ожерельева Т. А. Организационное эвристическое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с69-75.

УДК: 623.827

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ ОБЪЕКТОМ

- Яковенко П.Г.** д.т.н., вед.н.с. Института системной интеграции и безопасности, ТУСУР, E-mail: pgj75@yandex.ru, Томск, Россия
- Аннотация** Метод последовательного синтеза оптимальных управлений, основанный на многократном решении уравнений, динамическом программировании и имитационном моделировании, принципах «перемены цели» и «ведущего слабого звена» применен для составления алгоритмов управления подвижными объектами. Законы управления составляются во время переходных процессов из управлений, найденных для малых шагов с учетом ограничений рывка, ускорения и координат объекта, полученных на предыдущих шагах. Переход с одной скорости на другую осуществляется в соответствии с заданной траекторией движения. Перемещения выполняются с заданной точностью при строгом выполнении ограничений.
- Ключевые слова:** алгоритм, управление, моделирование, метод, синтез, микропроцессоры, подвижные объекты.

MOBILE OBJECT CONTROL ALGORITHM

- Yakovenko P.G.** D.ofSci.(Tech.), Leading Research Associate, Institute for System Integration and Security of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, E-mail: pgj75@yandex.ru, Tomsk, Russia
- Annotation** The method of sequential synthesis of optimal controls, based on multiple solution of equations, dynamic programming and simulation modeling, the principles of "target change" and "leading weak link" is applied to the compilation of control algorithms for mobile objects. The control laws are compiled during transients from controls found for small steps, taking into account the jerk, acceleration and object coordinates obtained in the previous steps. The transition from one speed to another is carried out in accordance with a given trajectory of motion. Moves are performed with the specified accuracy with strict restrictions.
- Keywords:** algorithm, control, modeling, method, synthesis, microprocessors, mobile objects

Введение

Перемещение подвижного объекта с предельным быстродействием по заданной траектории требует ограничения скорости в функции текущего положения объекта L_p . На разных участках траектории движения объект может двигаться с различными ограничениями скорости. Предельная скорость движения объекта изменяется ступенчато после достижения объектом

положения L_z . Для плавного перехода с одной скорости V на другую необходимо, в переходном процессе ограничивать предельные значения ускорения $\frac{dV}{dt}$ и рывка $\frac{d^2V}{dt^2}$.

Выбор ограничений следует осуществлять экспериментально или методом имитационного моделирования с учетом динамических характеристик объекта. Объект должен двигаться на любом участке траектории с предельной скоростью, однако допускается и движение в переходном процессе со скоростью меньше или больше допустимой, если произошло увеличение или уменьшение предельного значения скорости при достижении объектом положения L_z .

Переход с меньшей скорости движения объекта на большую скорость с ограничениями рывка и ускорения по оптимальной по быстродействию траектории начинается после достижения заданного положения L_z .

Если произошло уменьшение максимального значения скорости при достижении объектом положения L_z , приходится решать задачу обеспечения предельно длительного движения объекта на большей скорости. Одновременно необходимо определять момента начала изменения, с предельными динамическими возможностями скорости объекта до меньшей максимальной скорости с целью выхода в заданное положение L_z на новой предельной скорости движения объекта.

Совершенствование алгоритмического обеспечения систем управления переходными процессами возможно, при использовании новых методов прикладной математики. Наиболее перспективным является определение оптимального управления последовательно для малых шагов во время переходного процесса. Следует применять новые нестандартные подходы, в которых требуется хорошее знание технической задачи. Предложен метод [1] последовательного многошагового синтеза оптимальных по быстродействию управлений линейными и нелинейными системами, с ограничением координат, основанный на многократном численном решении дифференциальных уравнений, динамическом программировании [2] и имитационном моделировании, принципах «перемены цели» и «ведущего слабого звена» [3]. Оптимальный закон составляется во время переходного процесса из управлений, найденных для малых шагов. Метод позволяет синтезировать по простым алгоритмам оптимальное управление подвижным объектом в переходном процессе. В отличие от других методов решения многошаговых задач, в которых приходится анализировать на каждом шаге все возможные варианты управления, используются промежуточные критерии, позволяющих сразу отсеять заведомо неприемлемые управления и тем самым сократить объем вычислений.

Алгоритм разгона объекта до максимальной скорости перемещения

Если начальная скорость движения объекта V_1 меньше новой заданной скорости V_2 , то после достижения на скорости V_1 положения L_z необходимо с предельным быстродействием начать переход без перерегулирования на скорость V_2 .

Поскольку начальная скорость движения объекта V_1 может иметь различные значения, управление объектом проще формировать путем суммирования управления, обеспечивающего движение на скорости V_1 и управления, полученного при оптимальном по быстродействию переходе с нулевой скорости до скорости V_m , равной разности скоростей V_2 и V_1 .

Разгон объекта до заданной скорости при наличии ограничений на рывок и ускорение в общем случае состоит из участка нарастания ускорения, участка движения с предельным ускорением и участка уменьшения ускорения. Участок движения с предельным ускорением может отсутствовать, если уменьшение ускорения начинается раньше, чем система достигнет предельного темпа разгона. На участке разгона объекта предусматривается расчет двух пробных шагов с различными ускорениями и последующими переводами системы в установившиеся состояния. Рывок изменяется по релейной зависимости. Для достижения объектом заданного значения скорости за минимальное время на каждом шаге обеспечивается максимальное приращение скорости с учетом ограничений рывка и ускорения. Уменьшение ускорения начинается до достижения заданной скорости с целью обеспечения ограничения по скорости. Используется информация о координатах системы, получаемых в результате расчета пробных шагов на предыдущих тактах управления.

При синтезе управления с постоянным шагом интегрирования Δt об ускорении ΔV и рывке $\Delta(\Delta V)$ можно судить по приращениям скорости V за шаг. Ограничения ускорения и рывка определяются величинами: ΔV_m – максимальное приращение скорости за шаг интегрирования, соответствующее максимальному ускорению, ΔV_{don} – максимальное приращение к приращению скорости за шаг интегрирования, соответствующее максимальному рывку.

На основе метода последовательного многошагового синтеза разработан алгоритм расчета закона управления на участке разгона объекта до положительной скорости с учетом принятых ограничений. Предполагается отличие ΔV_{don} и ΔV_m в целое число раз. Анализ координат системы в результате расчета пробных шагов позволяет выбрать управление объектом для очередного шага. Задаются начальные, реальные значения скорости $V_{(i-1)}$, ускорения $\Delta V_{(i-1)}$ и прогнозируемого установившегося значения скорости $V'_{(i-1)}$. В алгоритме предусмотрена потенциальная возможность разгона объекта до скорости V_m . Вычисляется величина ΔV_r , соответствующая требуемому приращению скорости на очередном шаге для достижения объектом заданной скорости за один шаг

$$\Delta V_r = V_m - V_{(i-1)}. \quad (1)$$

Найденное приращение скорости ΔV_r сравнивается со значением ΔV_{don} . Ускорение на предыдущем такте управления принимается равно $\Delta V_{(i-1)}$, если ΔV_r больше предельного значения рывка. В противном случае это ускорение принимается равно ΔV_r . Затем анализируется необходимость выполнения очередного шага с предельными динамическими возможностями объекта. Для этого оценивается целесообразность выполнения очередного шага с прежним ускорением $\Delta V_{(i-1)}$.

Если $\Delta V_{(i-1)} = 0$, то следует сразу проводить расчеты по выражению (2) для пробного шага с ускорением ΔV_k , которое больше значения ускорения с предыдущего шага $\Delta V_{(i-1)}$ на величину допустимого рывка ΔV_{don}

$$\Delta V_k = \Delta V_{(i-1)} + \Delta V_{don}. \quad (2)$$

В противном случае ΔV_k принимается равно ускорению объекта на предыдущем шаге $\Delta V_k = \Delta V_{(i-1)}$.

Рассчитывается прогнозируемая установившаяся скорость объекта V' после выполнения пробного шага с выбранным ускорением

$$V' = V'_{(i-1)} + \Delta V_k.$$

Осуществляется проверка возможности выполнения аналогичного шага в реальной системе с учетом ограничения V' на уровне V_m . Если прогнозируемая установившаяся скорость объекта V' окажется больше V_m , то сразу вычисляется ускорение объекта для очередного реального шага $\Delta V_i = \Delta V_k - \Delta V_{don}$. Нарушение ограничения запрещает выполнение шага, аналогичного пробному шагу, с принятым ускорением ΔV_k , поэтому прогнозируемая установившаяся скорость объекта $V'_{(i)}$ не изменяется. Если прогнозируемая скорость V' не превышает V_m и возможно выполнение аналогичного пробному шагу реального шага объектом, то оценивается необходимость расчета с большим ускорением еще одного пробного шага. Ускорение для второго пробного шага рассчитывается по выражению (2), если ΔV_k не равно ΔV_m и ΔV_k равно $\Delta V_{(i-1)}$. Далее выполняются действия по ранее описанной методике, начиная с оценки $\Delta V_{(i-1)} = 0$, как и при расчете первого пробного шага.

Если после расчета первого или второго пробных шагов ΔV_k окажется равно ΔV_m или ΔV_k не равно $\Delta V_{(i-1)}$, то ускорение объекта на реальном шаге ΔV_i принимает значение ΔV_k . В приведенном алгоритме возможен расчет не более двух пробных шагов. Скорость реального объекта на очередном шаге V_i определяется с учетом найденного ускорения ΔV_i по выражению $V_i = V_{(i-1)} + \Delta V_i$. Затем анализируется величина требуемого приращения скорости на последнем шаге ΔV_r с целью косвенного определения достижения объектом скорости V_m . Если ΔV_r окажется меньше ΔV_{don} , то заданная скорость достигнута $V_i = V_m$, ускорение объекта $\Delta V_{(i-1)}$ принимается равным нулю для расчета последующих пробных шагов. Управление реальным объектом на очередном шаге пропорционально сумме найденного значения V_i и начальной скорости движения объекта V_1 .

Для следующего реального шага синтез оптимального управления с учетом ограничений на рывок и ускорение выполняется по аналогичной методике, начиная с выражения (1). Алгоритм обеспечивает оптимальный по быстродействию разгон до заданного значения скорости объекта V_2 при релейном изменении значения рывка на участках увеличения и уменьшения ускорения, кроме, возможно, последнего шага.

Изменение в широком диапазоне ограничений на рывок и ускорение не нарушает работоспособности алгоритма. Движение объекта с предельным ускорением меньше максимального значения возможно на нескольких тактах управления, что устраняет длительный режим при выходе на заданную скорость. При изменении по произвольной зависимости задания по скорости в любой момент времени алгоритмом синтезируется

оптимальное по быстродействию управление с учетом ограничений на рывок и ускорение. Испытания алгоритма показали его высокую эффективность. Возможен синтез микропроцессорными средствами в реальном масштабе времени с учетом ограничений оптимальных управлений несколькими подвижными объектами.

Алгоритм торможения объекта до допустимой скорости перемещения

Если начальная скорость движения объекта V_1 больше новой заданной скорости V_2 , то для прохождения положения L_z на скорости V_2 следует начать торможение с учетом ограничений и реально пройденного перемещения L_p еще до достижения L_z . Для этого на предварительном этапе необходимо определить перемещение L_T объекта, которое позволит начать торможение в нужный момент. После того как остаток перемещения, равный разности перемещений L_z и L_p станет меньше L_T , следует начать торможение в функции текущего значения скорости и остатка перемещения. Значение L_T определяется суммой перемещения L_{T1} и перемещения L_{T2} .

Перемещение L_{T1} рассчитывается при оптимальном по быстродействию разгоне объекта с учетом дискретности управления и ограничений с нулевой скорости до скорости V_m , равной разности скоростей V_1 и V_2 . Одновременно определяется время T_1 оптимального разгона объекта с нулевой скорости до скорости V_m .

Поскольку объект не может идеально воспроизводить заданную траекторию движения, с учетом этого необходима коррекция управления на участке торможения от скорости V_1 до скорости V_2 . Предполагаемое время торможения T_2 выбирается в два раза больше времени T_1 . Определяется перемещение L_{T2} , которое пройдет объект со скоростью V_2 за время L_{T2} на участке торможения. Закон торможения формируется последовательно по шагам со скорости V_m до нуля, с учетом ограничений в предположении равнозамедленного движения в функции остатка перемещения, равного разности L_z и суммы перемещений L_p и L_{T2} . После выполнения очередного шага торможения из перемещения L_{T2} вычитается перемещение за один шаг на скорости V_2 .

Управление объектом на очередном шаге торможения пропорционально сумме скорости, полученной при торможении со скорости V_m до нуля и новой максимальной скорости движения объекта V_2 . Таким способом удастся полностью компенсировать ошибку по положению из-за начала торможения еще до достижения объектом положения L_z на скорости V_1 . Количество шагов движения на скорости V_2 до положения L_z незначительно. Обеспечивается выполнение главного условия – достижение заданного положения L_z на скорости V_2 при максимальной длительности движения на скорости V_1 .

Составление алгоритмов синтеза оптимального управления подвижными объектами значительно упрощается, если представить координаты системы скорость V , ускорение $\Delta V / \Delta t$ и рывок $\Delta V / \Delta t / \Delta t$ при постоянном шаге Δt в единицах одной размерности, например, в перемещениях

$$L_V = V \cdot \Delta t; \quad \Delta L_V = \Delta V \cdot \Delta t; \quad \Delta(\Delta L_V) = \Delta(\Delta V) \cdot \Delta t,$$

где L_V – скорость движения объекта на очередном шаге;

ΔL_V – приращение скорости за шаг, соответствующее ускорению;

$\Delta(\Delta L_V)$ – приращение к приращению скорости за шаг, соответствующее рывку.

Ограничения на скорость, ускорение и рывок определяются через максимальные значения перемещений за шаг

$$L_{VM} = V_M \cdot \Delta t; \quad \Delta L_{VM} = \Delta V_M \cdot \Delta t; \quad \Delta L_{\text{дон}} = \Delta(\Delta V)_M \cdot \Delta t,$$

где V_M – максимальная скорость движения объекта; ΔV_M – максимальное приращение скорости за шаг интегрирования, соответствующее максимальному ускорению; $\Delta(\Delta V)_M$ – максимальное приращение к приращению скорости за шаг интегрирования, соответствующее максимальному рывку.

В алгоритме управления подвижным объектом на первом этапе определяется значение скорости V_M и по простым аналитическим выражениям [4] с учетом ограничений на рывок и ускорение вычисляется путь разгона L_{T1} объекта с нулевой скорости до скорости V_M . Затем определяется остаток перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ как разность перемещений L_z и L_p для достижения объектом положения L_z .

До тех пор, пока остаток перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ больше перемещения L_T , формируется управление, соответствующее движению объекта на скорости V_1 . Когда остаток перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ станет меньше перемещения L_T , из остатка перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ вычитается ранее определенное значение перемещения L_{T2} . Затем из ранее определенного значения перемещения L_{T2} вычитается перемещение объекта за один шаг при движении на скорости V_2 .

Алгоритмом [5] синтезируется управление для торможения объекта до скорости V_2 . В качестве начальной скорости в начале торможения принимается значение скорости V_M . На участке торможения предполагается равномерное замедление движения объекта исходя из остатка перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ и функционально убывающего запаса в пути торможения. На заключительном участке темп торможения изменяется в функции остатка перемещения $\Delta L_{\text{ост}}$ и текущего значения скорости объекта по нелинейной зависимости. Торможение выполняется с переменным ускорением таким образом, чтобы выход на скорость V_2 осуществлялся без перерегулирования при ускорении, не более $\Delta L_{\text{дон}}$. При формировании закона торможения нет необходимости ограничивать ускорение, так как присутствует запас в пути торможения.

Прежде чем начать торможение с найденным ускорением проверяется, не нарушено ли ограничение на рывок на уровне $\Delta L_{\text{дон}}$. Для этого вычисляется требуемое значение рывка на очередном шаге как разность только что рассчитанного ускорения и ускорения объекта на предыдущем шаге. Найденное значение рывка ограничивается с соответствующим знаком при необходимости на уровне допустимого значения рывка. Затем вычисляется реальное ускорение объекта на очередном шаге торможения как сумма ускорения объекта на предыдущем шаге управления, и только что найденного значения рывка. Далее определяется скорость движения объекта на очередном шаге при переходе со скорости V_M до остановки как сумма скорости объекта на предыдущем шаге, и только что найденного ускорения.

Полученное значение скорости при торможении со скорости V_M до нуля анализируется.

Если оно больше ограничения на максимальный рывок, то формируется управление движением объекта на очередном шаге, пропорциональное сумме полученного значения скорости и V_2 . Следующий шаг управления рассчитывается с начала алгоритма. Если найденное значение скорости на очередном шаге не превышает $\Delta L_{доп}$ или остаток перемещения $\Delta L_{ост}$ меньше функционально убывающего запаса в пути торможения, то выполняется анализ значения остатка перемещения $\Delta L_{ост}$. Если $\Delta L_{ост}$ окажется больше максимального ограничения на рывок, то скорость объекта на очередном шаге пропорциональна сумме скорости V_2 и максимального ограничения на рывок. Объект движется с такой скоростью до тех пор, пока остаток перемещения $\Delta L_{ост}$ превышает максимальное ограничение на рывок. Если $\Delta L_{ост}$ окажется меньше или равным максимальному ограничению на рывок, то сравнивается остаток перемещения $\Delta L_{ост}$ с минимальной скоростью $L_{мин}$, обеспечивающей торможение объекта до скорости V_2 за один шаг с заданной точностью. Эта скорость $L_{мин}$ всегда меньше предельного ограничения на рывок. Если $\Delta L_{ост}$ окажется больше $L_{мин}$, то управление объектом на очередном шаге L_V пропорционально сумме $L_{мин}$ и новой заданной скорости V_2 . Если остаток перемещения $\Delta L_{ост}$ окажется меньше или равным $L_{мин}$, то скорость объекта на очередном шаге L_V принимает значение $\Delta L_{ост}$. Следующий шаг управления рассчитывается с начала алгоритма. Изменение в широких пределах ограничений и заданий не нарушают работоспособности алгоритма. Испытания алгоритма при незначительных ступенчатых изменениях заданий по скорости показали, что формирование законов управления подвижным объектом может осуществляться без вступления в действие ограничений.

В таблице 1 представлены данные формирования управления L_V подвижным объектом и пройденные перемещения L_p на 42 шагах № и параметрах $\Delta L_{VM} = 9$ единиц, $\Delta L_{доп} = 3$ единицы, $L_{мин} = 0.9$ единицы. Начальная скорость движения объекта равнялась 100 единицам, переход осуществлялся на новую предельную скорость движения объекта в 10 единиц, ступенчатое изменение скорости задавалось при положении объекта L_z в 2000 единиц.

Таблица 1.

Управление подвижным объектом и пройденные перемещения по шагам.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
L_V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	91
L_p	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1097	1188

№	13	14	15	16	17	18	19	20	21
L_V	84,3	77,8	71,4	65,3	59,4	53,7	48,3	43,2	38,4
L_p	1272,3	1350,1	1421,6	1486,9	1546,2	1599,9	1648,2	1691,4	1729,8

№	22	23	24	25	26	27	28	29	30
L_V	34	30	26,5	23,3	20,6	18,4	16,5	15	13,9
L_p	1763,8	1793,8	1820,3	1843,6	1864,2	1882,6	1899	1914,2	1928,1

№	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
L_v	13	13	13	10,9	10,9	10,9	10,2	10	10	10
L_p	1941,1	1954,1	1967,1	1978	1988	1999,8	2010	2020	2030	2040

№	41	42
L_v	10	10
L_p	2050	2060

Заключение

Метод последовательного многошагового синтеза оптимальных по быстродействию управлений позволяет формировать управление подвижными объектами по простым алгоритмам с учетом ограничений на рывок и ускорение при произвольном изменении моментов задания по скорости. Представление координат системы и ограничений в единицах одной размерности значительно упрощает синтез управления. Возможно определение, в реальном масштабе времени микропроцессорными средствами оптимального управления несколькими подвижными объектами при строгом выполнении ограничений.

Список литературы

1. Корилов А.М., Яковенко П.Г. Методика синтеза оптимальных по быстродействию управлений детерминированными системами // Доклады ТУСУР. Автоматизированные системы обработки информации, управление и проектирование. Том 6. Томск: ТУСУР, 2001. С. 153-162.
2. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Изд-во. иностран. лит-ра, 1960. – 400 с.
3. Мясников В.А., Игнатьев М.Б., Покровский А.М. Программное управление оборудованием. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1974. – 243 с.
4. Яковенко П.Г. Последовательный многошаговый синтез управления позиционным электроприводом // Известия ТПУ, №4, Том 321, Энергетика. Томск: ТПУ, 2012. С. 127-131.
5. Яковенко П.Г. Алгоритм торможения позиционного электропривода // Материалы XVI Международной научно-технической конференции «Прогрессивная техника, технология и инженерное образование». Одесса: ОГПУ, 2015. С. 240-242.

УДК: 656.052.1:656.224/.225

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНО-ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.

- Духин С.В.** руководитель НТК геоинформационных систем и спутниковых технологий АО «НИИАС», E-mail: s.duhin@vniias.ru, Москва, Россия
- Нуйкин А.В.** руководитель Центра инновационных спутниковых технологий АО «НИИАС», E-mail: a.nuykin@vniias.ru Москва, Россия
- Аннотация** Описана инновационная технология, связанная с усовершенствованием процесса проведения ремонта железнодорожного пути, повышения эффективности ремонтных работ и снижения производственных затрат. Инновационная технология опирается на координатные или абсолютные методы описания геометрии пути. Координатные методы выправки железнодорожного пути обеспечивают проектную, то есть наилучшую при заданных ограничениях, геометрию пути в пространстве, устранение и недопущение длинных неровностей пути в плане и профиле, появляющихся вследствие погрешностей относительных измерений
- Ключевые слова:** высокоточная координатная система, координатные методы проведения ремонтно-путевых работ.

THE TECHNOLOGY OF APPLICATION OF COORDINATE METHODS WHEN CARRYING OUT REPAIR AND TRAVEL WORKS ON THE OBJECTS OF THE RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE.

- Duhin S.V.** Head of Department of Geoinformation systems and satellite technologies, JSC "NIIAS", E-mail: s.duhin@vniias.ru Moscow, Russia
- Nuykin A.V.** Head of Department of Innovative satellite technologies, JSC "NIIAS", E-mail: a.nuykin@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation** An innovative technology is described, related to improving the process of repairing the railway track, improving the efficiency of repair work and reducing production costs. Innovative technology is based on coordinate or absolute methods for describing the geometry of the path. Coordinate methods of railroad track alignment provide the design, that is, the best for given constraints, the geometry of the path in space, the elimination and avoidance of long uneven paths in the plan and profile that appear due to relative measurement errors
- Keywords:** high-precision coordinate system, coordinate methods of conducting repair and travel works.

Введение.

Начиная с 2010 года АО «НИИАС» развивает уникальную инновационную технологию, связанную с усовершенствованием процесса проведения ремонта железнодорожного пути, повышения эффективности ремонтных работ и снижения производственных затрат. Работы

были начаты в связи внедрением в производственный процесс ОАО «РЖД» спутниковых технологий [1]. В 2013 году достигнутые к тому моменту результаты были продемонстрированы на выездном Правлении ОАО «РЖД» на станции Кузьминка высокоскоростного участка Октябрьской железной дороги. Инновационная технология опирается на координатные или абсолютные методы описания геометрии пути, в отличие от относительных методов, широко используемых в процессах ремонтов пути из-за существенной разницы трудоемкости применения: относительные методы реализуются машиной от собственной базы и на основании собственных измерений, а для абсолютных методов необходимо применение геодезических изысканий, которые выполняют специалисты. Кроме того, используемые на железных дорогах России путевые машины в большинстве не рассчитаны на применение координатных методов выправки пути [2].

Использование относительных методов выправки пути эффективно при незначительных расстройствах пути в плане, а также при необходимости привести сильно расстроенный путь в положение, отвечающее заданным параметрам движения (допустимой скорости, нормативу величины непогашенного ускорения и скорости его нарастания). После длительной эксплуатации пути, во время выполнения модернизации пути, когда путь снимается и укладывается заново, и необходимо ставить его в проектное положение в плане и профиле, сделать это с использованием относительных методов крайне затруднительно, поскольку параметры проекта и параметры пути (при съёмке стрелой машины) находятся в разных системах координат. Ни организовать работу по выправке в плане и профиле согласно проекту, ни проконтролировать результат на соответствие проекту, невозможно. Несоответствующий проекту путь имеет длинные неровности в плане и профиле, не обнаруживаемые применяемыми путеизмерительными средствами, и, кроме того, несоответствующие требованиям элементы продольного профиля. Из-за этого, даже при хорошей бальности пути, возникают значительные неконтролируемые непогашенные ускорения, приводящие к ускоренному расстройству пути, поломкам подвижного состава, дискомфорту пассажиров.

Разработанная АО «НИИАС» совместно с кафедрой Геодезии, геоинформатики и навигации МИИТ инновационная технология включает в себя следующие этапы.

1. Экспертиза проектирования геометрии железнодорожного пути для реализации выправки пути в плане и профиле координатными методами.

Основные требования к проектам, выполненным в координатной форме:

- проектное положение пути должно быть наилучшим с точки зрения параметров движения с учетом заданных ограничений (требование оптимальности);
- проект не должен содержать нереализуемые элементы, либо элементы, наличие которых не позволяет реализовать заданные параметры движения (требования реализуемости); в частности, должно предусматриваться наличие переходных кривых в плане для кривых любых радиусов.

2. Построение и использование высокоточных координатных систем для проектирования, строительства, ремонта (модернизации) пути.

Современные требования к геометрии пути основаны на необходимости выполнения условий организации движения поездов на участках, а именно: повышенных скоростей в целом для всех видов движения или только для пассажирского движения, повышенных нагрузках на ось подвижного состава, увеличенных длин составов и т.п. Для применения координатных методов ремонта и реконструкции железнодорожного пути, при которых параметры пути соответствовали бы заданным, необходимо создания на участках ремонта на основе

высокоточной координатной системы (ВКС) специальной геодезической сети (разбивочной сети), существенно более точной, чем сети, используемые до сих пор, и при этом стоимость ее создания и время выполнения работ не должны превышать существующие нормативы. Специалистами АО «НИИАС» совместно с кафедрой Геодезии, геоинформатики и навигации МИИТ разработаны методики проведения измерений при создании таких сетей, а также при измерениях натурального положения пути на основе этих сетей, обеспечивающие необходимую точность [3,4].

Разбивочная сеть в составе системы высокоточного координатного обеспечения служит основой для съемочных работ при сборе предпроектной информации о положении пути и инфраструктуры, для проектирования пути, при производстве работ по реконструкции и ремонту пути, при оценке соответствия положения пути после ремонта проекту.

Пункты разбивочной сети закладываются попарно в опоры контактной сети (на двухпутных участках) или в подпорных стенках, с обеспечением видимости пунктов с проектируемого первого пути. Пункты закрепляются парами; на прямых участках - на расстоянии 80-120 м (через створ опор), на участках с наличием кривых через 40-60 м (в каждом створе опор). При выполнении измерений используются призматические отражатели повышенной точности, жестко фиксируемые на репер, дающие погрешность при измерении не более 1 мм.

Среднеквадратическое отклонение (СКО) взаимного положения смежных пунктов в плане и по высоте должно быть не хуже 2 мм. СКО оценки определения положения стоянки тахеометра относительно пунктов разбивочной сети также должна быть не хуже 2 мм.

Технологическая схема проведения съемочных работ приведена на рисунке 1. На рисунке точки с цифрами - пункты сети сгущения, точки с обозначениями Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 – пункты стояния тахеометра.

На рисунке 2 показана установка отражателя на репер с фиксацией для случаев на опоре контактной сети и на подпорной стенке.

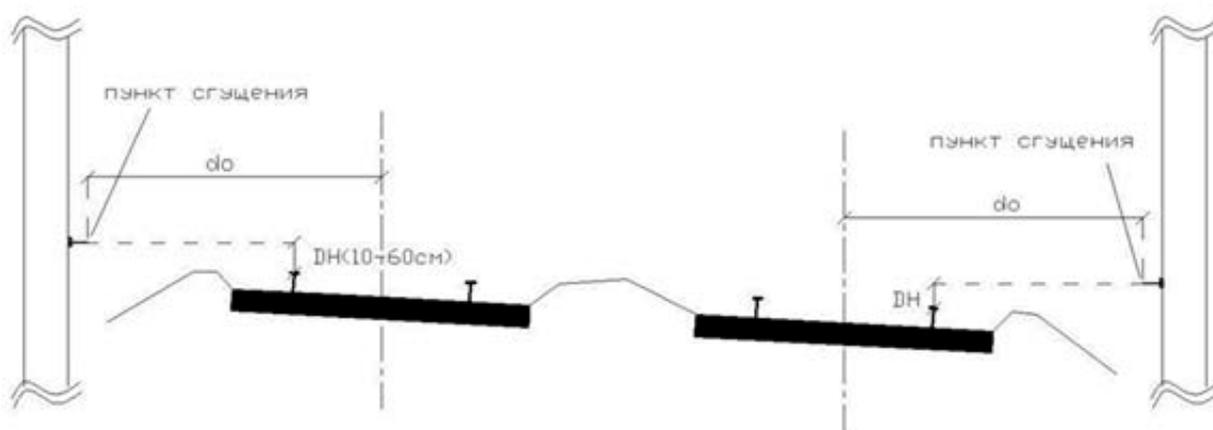


Рис. 1. Схема закладки парных рабочих реперов в опоры контактной сети.



Рис. 2. Установка отражателя на репер с фиксацией:
а) на опоре контактной сети, б) на подпорной стенке

На первой стоянке используется наведение на 2 пункта опорной геодезической сети (ОГС) ВКС. Согласно нормативам, СКО пунктов ОГС составляет 8 мм. Тахеометрические измерения со свободной стоянки также производятся с использованием призматических отражателей (рисунок 3).

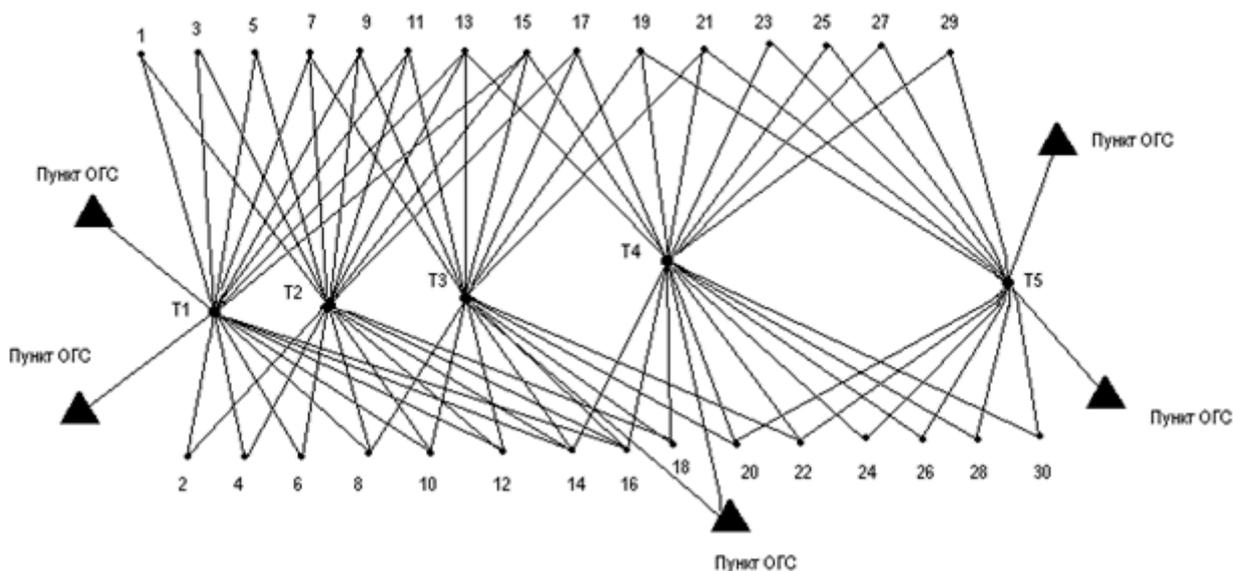


Рис.3. Схема проведения съёмочных работ при формировании высокоточной сети сгущения

Координирование пунктов сгущения сети выполняется методом свободных стоянок. Точки T1, T2, T3, T4, T5 являются произвольными стоянками электронного тахеометра, с которых выполняются измерения углов и расстояний наведение тахеометра-робота на пункты сгущения тремя полными приемами. Измерения по координированию каждого пункта сгущения выполняется не менее чем с 2-х стоянок, рисунок 4. Соседние стоянки тахеометра ходом не связываются. При измерениях выполняется привязка к пунктам опорной геодезической сети без установки прибора на пунктах ОГС, также со свободной стоянки тахеометра путем измерения углов и расстояний.

Пути измерительная тележка позволяет выполнить съемку геометрии пути в плане с использованием спутникового приемника, работающего с использованием дифференциальных поправок от постоянно действующей или временной референцной станции. Погрешность определения координат при этом составляет 1-1,5 см, что достаточно для формирования задания на постановку пути в проектное положение в плане. Съемка с использованием спутникового приемника обеспечивает высокую производительность, однако не годится из-за недостаточной точности для чистовой выправки пути, особенно по высоте.

Более точным способом съемки является измерение геометрии пути с использованием тахеометра. Тахеометр-робот устанавливается в непосредственной близости от железнодорожного пути и по возможности фиксируется так, чтобы механическое воздействие проходящих поездов было минимальным, например, на опоре контактной сети (рисунок 6).



Рис. 6. Способ крепления тахеометра при проведении измерений

Пути измерительной тележкой с установленным на ней призматическим отражателем производится съемка существующего положения пути в режиме сравнения натурального положения пути с проектным с определением величин отклонения натурной оси пути от проектной и привязкой к линейным координатам, а также к абсолютным координатам, в системе координат ВКС.

На основании полученных величин отклонений формируется задание на выправку для постановки пути в проектное положение в плане и профиле.

Результатом работы машины является перемещение пути в плане и профиле к проектному положению. При значительных отклонениях от проекта, которые невозможно реализовать из-за технических возможностей машины за один проход, необходимо планировать дополнительные проходы машины.

После окончания выправочных работ с использованием координатных методов положение пути в плане и профиле отличается от проекта с СКО не более 10 мм в любом месте на всем участке ремонта. В этом случае гарантируется выполнение требований к параметрам движения, заложенных в проекте, в том числе: максимально допустимых скоростей для грузового и пассажирского движения, величин непогашенного ускорения и скорости его нарастания в кривых участках пути.

4. Контроль реализации проектных параметров

Контроль реализации проектных параметров производится путем съемки выправленного пути путеизмерительной тележкой или измерением расстояний и превышений до реперов разбивочной сети с формированием ведомости отклонений.

Выводы

Таким образом, координатные методы выправки железнодорожного пути обеспечивают проектную, то есть наилучшую при заданных ограничениях, геометрию пути в пространстве, устранение и недопущение длинных неровностей пути в плане и профиле, появляющихся вследствие погрешностей относительных измерений. Кроме того, использование координатных методов позволяют устранить отводы при сопряжении ремонтируемого участка с неремонтируемым, а также с непременными элементами пути (начало и окончание ремонта, стрелки, искусственные сооружения и т.п.) при безусловном выполнении полного комплекса работ, предусмотренного проектом.

Список литературы

1. Духин С.В., Нуйкин А.В. Комплексная технология проведения ремонтов и реконструкции верхнего строения пути на основе координатных методов. // 8-я Международная научно-практическая конференция «Геопространственные технологии и сферы их применения». Материалы конференции. – М.: Информационное агентство «ГРОМ», 2012.
2. Путьевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта/А.В.Атаманюк, В.Б.Бредюк, В.М.Бугаенко и др.; Под ред. М.В.Поповича, В.М.Бугаенко. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008.
3. Духин С.В., Нуйкин А.В., Куприянов А.О., Бекчанова Е.С. Разработка высокоточной координатной системы высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург – Бусловская. // Известия высших учебных заведений. Раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», №2, М.:МИИГАИК – 2013.
4. Духин С.В., Нуйкин А.В. Координатно – временное обеспечение процессов ремонта и реконструкции пути. // 7-я Международная научно-практическая конференция «Геопространственные технологии и сферы их применения». Материалы конференции. – М.: Информационное агентство «ГРОМ», 2011.
5. Борецкий А.А., Пименов И.Я., Духин С.В., Нуйкин А.В., Ермаков В.М. Особенности новой технологии модернизации пути. // Железнодорожный транспорт, вып. 11, 2015.

УДК: 001.895:656.2

ОТКРЫТЫЕ ИННОВАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

- Дзюба Ю.В.** Руководитель Центра стратегического анализа и развития, АО "НИИАС", E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья анализирует открытые инновации на железнодорожном транспорте. Раскрывается сущность открытой инновации. Показаны ее отличия от закрытой инновации. Описана инновационная среда железнодорожного транспорта. Показано, что деятельность ОАО НИИАС осуществляется в русле открытой инновации. Описаны специфические особенности открытой инновации на железнодорожном транспорте. Описаны перспективы развития в этом направлении.
- Ключевые слова:** транспорт, инновация, открытая инновация, сетевая система, геотехническая система, мультиграф

OPEN INNOVATIONS ON RAILWAY TRANSPORT

- Dzuba Yu.V.** Head of Center of Strategic analysis and development center, JSC "NIAS", E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes open innovations in rail transport. Paper reveals the essence of open innovation. It shows its differences from a closed innovation. Paper describes the innovative environment of rail transport. The paper shows that the activity of OAO NIAS is carried out in line with an open innovation. Paper describes the specific features of an open innovation in rail transport. Paper describes the prospects for the development of open innovation in transport.
- Keywords:** Transport, innovation, open innovation, network system, geotechnical system, multigraph.

Введение.

В настоящее время развитие общества подходит к шестому технологическому укладу [1, 2], который характеризуется ключевыми направлениями: космические технологии управления транспортом [3], робототехника [4, 5], искусственный интеллект [6], глобальные информационные сети [7], интегрированные высокоскоростные транспортные системы [8-10], кибер-физические системы [11], технологии интернет вещей [12], применение геоинформационных технологий [13] и т.д. Все эти направления относятся к инновационным разработкам, что дает основание говорить об инновационном развитии транспортной системы. Сложность этой системы и ее многообразие приводит к необходимости применения открытых инноваций для реализации отмеченных направлений.

Особенности и принципы открытой инновации.

Открытая инновация - парадигма, которая предполагает, что фирмы могут и должны использовать внешние и внутренние идеи, а также внутренние и внешние пути к рынку, для продвижения своих технологий [14]. Границы между отраслью и окружающей среды объектов

ее управления становятся все более проницаемыми; инновации могут легко переноситься внутрь и наружу. Основная идея открытых инноваций является то, что вследствие широкого распространения знаний и ограниченности собственных интеллектуальных и технологических ресурсов, компании не могут позволить себе полагаться исключительно на свои собственные исследования. Экономически целесообразно купить лицензию, технологию, программу или патенты другими компаниями. Кроме того, внутренние изобретения, которые не используются в бизнесе фирмы, должны быть приняты за пределами компании, например, путем лицензирования, создания совместных предприятий технологии спин-офф (spin-offs) [15]. Технологии спин-офф-характеризуют закрытые инновации. Открытые инновации характеризуются технологиями спин-аут (spin-outs) [16]. Сущность открытой инновации в интеграции усилий разных организаций для развития, внедрения и управления инновацией.

Ряд компаний, таких как Deutsche Telekom создают специальные инструменты для того чтобы открыть доступ к своей инновационной системе. Разумеется это не означает полную технологическую открытость, а только корпоративное сотрудничество в рамках выполнения общего проекта приносящего дивиденды всем участникам проекта [16]. Такие инструменты включают в себя корпоративные фонды венчурного капитала, дистанционные семинары и вебинары, форумы и спин-выходы [16].

Открытая инновация использует концепцию рассмотрения инновации как сложной системы [17]. Однако этот системный подход опирается на концепцию открытой системы, а не закрытой системы к которой принадлежит закрытая инновация. Таким образом, ключевыми факторами открытой инновации являются: интеграция, кооперация и открытый код доступа к программным продуктам и информационным моделям и ресурсам - для участников проекта открытой инновации.

Компания должна генерировать и управлять своими собственными идеями, а также осуществлять инновационное производство, маркетинг, дистрибуцию. В настоящее время многие технологические компании не обладают полностью необходимыми ресурсами для эффективной реализации своих идей, в первую очередь, в области научной проработки и основания. Поэтому целесообразно подключение научных ресурсов сторонних организацией к развитию открытой инновации. Можно принять во внимание факт, что за последние 70 лет вклад в науку в развитых странах мира занимает первое место по эффективности среди всех других направлений деятельности.

С другой стороны существовали процессы ограничивающие развитие закрытых инноваций. На протяжении многих лет несколько факторов, постепенно подрывали парадигму закрытой инновации. Это следующие факторы:

1. Необходимость повышения доступности и мобильности для квалифицированных работников
2. Рост на рынке венчурного капитала, что создает привлекательность для открытой инновационной деятельности
3. Необходимость создания внешних опций для идей, лежащих на полке конкретной фирмы и не используемых за счет внутренних ресурсов
4. Необходимость увеличения возможностей внешних поставщиков

Эти четыре фактора привели к новому рынку знаний, на котором знания компании не больше собственностью компании. В итоге инновационная деятельность сместилась от закрытых инноваций к открытым инновациям. Открытым инновациям предшествовало

открытие исходного кода. Хотя открытый исходный код и открытые инновации могут конфликтовать по патентным вопросам, они не являются взаимоисключающими.

Компании могут пожертвовать свои патенты на независимую организацию совместной деятельности, поставить их в общий ресурс или предоставить неограниченную лицензию на использование любому. Следовательно, некоторые разработки с открытым исходным кодом можно объединить с открытыми инновациями. Например, для IBM с Eclipse платформой IBM, которая выступает в качестве примера открытых инноваций, конкурирующие компании приглашаются к сотрудничеству внутри открытой инновационной сети. [18].

Железная дорога как геотехническая система.

Железная дорога представляет собой геотехническую систему (ГТС) [19], имеющую внутреннюю структуру и инфраструктуру, активно взаимодействующую с внешней средой и решающую важные экономические и социальные задачи страны. Информационная обеспеченность всех уровней управления геотехническими системами – от регионального до локального, в настоящий момент недостаточна. Возникают критические ситуации [20], ликвидация ущерба от последствий которых имеет экстремальный характер и неоправданно большую стоимость, чего можно было бы избежать при своевременной системной оценке взаимодействия природных и техногенных факторов.

Одним из эффективных способов получения оперативной информации о состоянии дороги, грузопотоков на ней и окружающей среды является космическое зондирование. Для управляющих органов необходим регулярный мониторинг геотехнических систем (ГТС), обеспечивающий оперативное получение и обобщение данных на разных уровнях [21].

В соответствии с современными представлениями о ГТС, исследование взаимодействия природных факторов и инженерных сооружений на всех стадиях их создания и эксплуатации, должно обеспечиваться интегрированным подходом, формирующим информационную основу разработки управленческих мероприятий по экологической и технической безопасности природы и общества и оптимизации транспортных потоков.

Представляется весьма актуальной задача разработки структуры и содержания специального информационного обеспечения для управления ГТС с оценкой её состояния и динамики, прогнозом критических ситуаций и рекомендациями по инженерной защите как составной части системы комплексного управления транспортными сетями страны. В данной разработке даны следующие решения [2, 22]:

- решение «задачи формирования единого информационного пространства транспортного комплекса России»;
- решение «задачи формирования телекоммуникационной среды транспортного комплекса России»;
- решение «задачи обеспечения информационной безопасности единого информационного пространства транспортного комплекса России»;
- решение «задачи интегрированного управления транспортным комплексом России»;
- концепция «создание автоматизированной системы управления транспортным комплексом России (АСУ ТК).

Стратегия открытой инновационной деятельности.

Основные стратегические цели инвестиционного проекта показаны на рис.1. Одной из причин выполнения проекта в виде открытой инновационной разработки послужило то, что вследствие ограниченности собственных интеллектуальных и технологических ресурсов,

многие подразделения ОАО РЖД не могут полагаться исключительно на свои собственные ресурсы. Экономически целесообразней купить лицензию, технологию, программу или патенты другими компаниями, а также интегрировать свои усилия со специалистами других организаций, работающими в данном направлении.

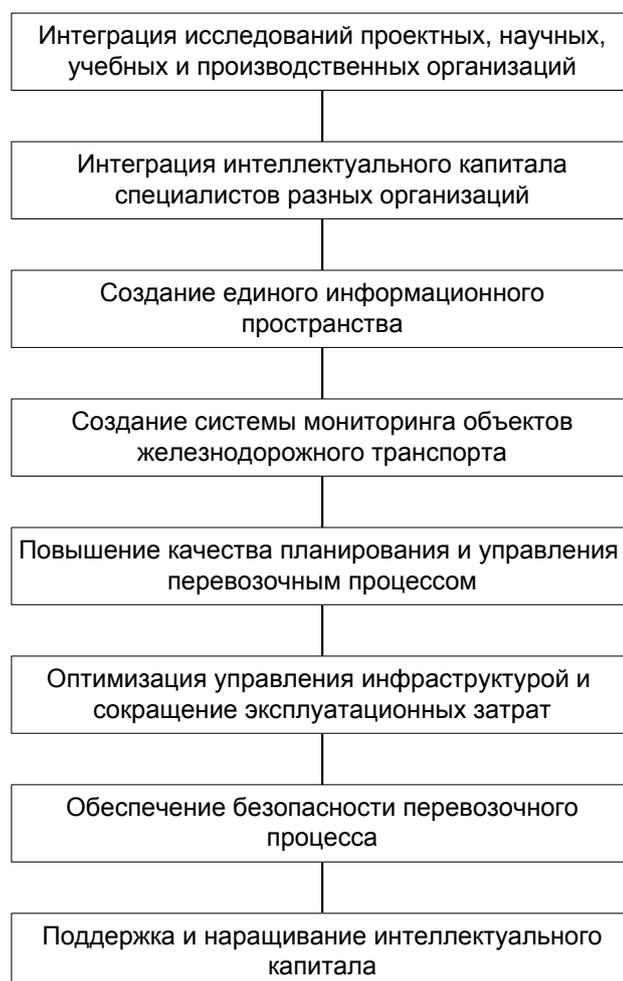


Рис.1. Основные стратегические цели открытой инновации

Кроме того, необходимо принять во внимание расширение технологий аутсорсинга, широкое распространение знаний. Все больше проявляется тенденция к открытым разработкам (открытый программный код, свободное программное обеспечение и пр.).

Учитывалось и то обстоятельство, что на местах, накапливался позитивный опыт диспетчеризации и управления, который требовал использования и широкого внедрения, выходящего за рамки участков железной дороги. Все это нашло отражение в двух первых целях.

Железная дорога представляет собой сложную распределенную систему. В этой системе необходимо управление не только отдельными объектами, но потоками [23, 24], что представляет собой более сложную задачу.

Оперативное управление распределенной системой в современных условиях возможно только на основе единого информационного пространства. Это определило третью цель – создание единого информационного пространства [25]. Это пространство объединило

различные информационные потоки: оперативную информацию диспетчерских служб, электронный документооборот, ситуационный анализ в ситуационных комнатах, информационные потоки спутниковых навигационных систем и др. Телекоммуникационные системы служат основой создания информационного пространства и управленческой информационной среды.

В совокупности эти компоненты дают возможность интеграции данных в единую систему и тем самым обеспечивают возможность комплексного использования всей информации. Использование космических технологий определило четвертую цель проекта - создание информационного подпространства оперативного мониторинга подвижных объектов на основе спутниковых технологий.

Интеграция различных информационных потоков и систем данных позволило создать интегрированную информационную основу единого информационного пространства. Эта основа создала возможность нового комплексного анализа информации, что в свою очередь создало возможность повышения качества и планирования перевозочным процессом. Применительно к реальным транспортным сетям, которые являются пространственным и распределенным объектом, важным фактором интеграции управления и анализа являются геоданные как системный информационный ресурс [26].

Разработка и использование новых информационных моделей включающих динамические и статические составляющие позволило поставить и реализовать шестую цель проекта – оптимизация управления инфраструктурой железнодорожного транспорта и снижение на этой основе эксплуатационных затрат [27].

Обеспечение безопасности перевозочного процесса определило седьмую цель проекта. Интеграция данных и новых информационных моделей по существу создало возможность применения технологии spin-off, что выразилось в получении дополнительного эффекта обеспечения безопасности перевозочного процесса [28, 29].

Информационная поддержка процесса управления определяется не только качеством и количеством программно-технологических средств, но кадровой подготовкой специалистов. В более широком аспекте это выражается в необходимости поддержания и наращивания человеческого и интеллектуального капитала. Это определило восьмую цель проекта. В совокупности все цели определило направленность инновационной разработки.

В настоящее время общепризнанным является положение, что управление и эксплуатация геотехнических систем (включая железные дороги) базируется на своевременном и всестороннем изучении прямых и обратных связей во взаимодействии природных компонентов и инженерных сооружений на всех стадиях и этапах их создания и эксплуатации [30].

Поэтому достижение стратегических целей основано на интеллектуальных и геоинформационных технологиях, которые в методологическом плане представляют наиболее интегрированные технологии при изучении природной среды и пространственных объектов.

Используя концепции открытой инновации, при реализации проекта целесообразно применять не каскадное проектирование, а итеративное проектирование с использованием метода встречных информационных потоков. На рис.2 приведена структурная схема инновации, которая послужила основой решения стратегических задач.

На первом этапе проводились комплексные аналитические исследования, включая теоретические, патентные и технологические. На основе поведенных исследований был

сформулирован ряд концептуальных решений, которые являются объектами интеллектуальной собственности авторского коллектива и служат основой получения положительного эффекта и повышения эффективности.

Далее формировались и накапливались объекты интеллектуальной собственности и создавалась интегрированная информационная система управления. В качестве опоры такой системы использовалась интегрированная геоинформационная среда.

Геоинформационный подход [31] продиктован целым рядом фактором. Одним из основных является выявление и использование пространственных отношений, что можно сделать только методами геоинформатики. Другой причиной является то, что геоинформационные технологии обеспечивают максимальную степень сбора и интеграции разнообразных данных в сравнении с другими информационными технологиями. Геоинформационные технологии позволяют использовать визуальные модели ситуаций, что существенно повышает оперативность анализа и принятие управленческих решений.



Рис.2. Структурная схема инновации

Соответственно геоинформационный мониторинг самый емкий в аспекте качественного и количественного использования информации. Геоинформационные технологии позволяют без особых проблем интегрировать космические технологии спутниковой навигации и космического позиционирования подвижных объектов в единое информационное пространство и управленческую среду.

В совокупности новые технологические и теоретические решения позволили создать «Интегрированную систему управления», основой которой является «Интегрированная геоинформационная среда» и система комплексного мониторинга. Комплексный мониторинг основан на применении спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Интегрированная геоинформационная среда основана на новой модели геоданных, ядром которых являются данные спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS [3]. Геоданные и среда включают кроме пространственных данных временные характеристики и экономические и данные о потоках и перемещении грузов. В совокупности новый подход привел к появлению синергетического эффекта и создания нового качества организации и управления железной дорогой. Это качество обусловило появление новой технологии управления железной дорогой и новому средству организации движения.

Геоинформационные технологии (ГТ) реализуют сбор, обработку и представление пространственной и временной информации. Управленческие технологии выполняют функции учета, анализа, координации, планирования, согласования, оценки, преобразования управляющих решений в форму компьютерных моделей. Они используют комплексный подход, основанный на возможности использования информации из всех возможных источников. Особенность и важность геоинформационного подхода обусловлена следующими факторами.

1. Цифровые модели и цифровые карты обладают интегрирующей функцией, объединяя ссылками разнородные информационные ресурсы.

2. Интегрирующая функция ГИС и ГТ, объединяя ссылками разнородные информационные ресурсы, дает возможность создания гипертекстовой структуры, скрывающая за графическим изображением обширное информационное пространство, включая множество отношений между пространственными объектами и их атрибутами.

3. Временной интервал сбора информации приводит к избыточности данных. Данный фактор обуславливает включение в состав ГИС подсистему хранилища данных, задачей которой является управление переопределенной информацией значительного объема.

4. Канал восприятия потока зрительной информации человека имеет большую пропускную способность по сравнению с анализом цифровой информации.

В ходе работ была применена информационная модель оценки эффективности проекта [32]. Экономическая эффективность - комплексная категория, отражающая экономичность (оптимальность потребления ресурсов) функционирования хозяйствующего субъекта (железной дороги – ЖД) и его результативность (степень достижения поставленных целей).

При построении модели были выделены две взаимодополняющих характеристик качества функционирования ЖД – внешняя и внутренняя эффективность. На основе интеграции результатов оценки внешней и внутренней эффективности возможно определение итогового уровня эффективности деятельности ЖД. Модель эффективности учитывает результативность работы ЖД в разрезе трех основных направлений деятельности: текущей, финансовой и инвестиционной. Оценка эффективности присутствует на всех этапах процесса принятия управленческого решения. Особенность методического подхода [2] заключается в совокупности следующих концепций.

1 Категория «эффективность» рассматривается как с позиций оптимальности потребления ресурсов, так и степени достижения поставленных целей с учетом воздействия внешней среды на ЖД.

2 Необходимо комплексно использовать как финансовые, так и нефинансовые показатели.

3 ЖД рассматривается как открытая система, следовательно, показатели, характеризующие ее внутреннюю структуру как внешнюю среду - взаимосвязаны.

4 ЖД — динамически развивающаяся и адаптируемая к условиям внешней среды система. Следовательно, необходимо учитывать временной фактор.

5. В соответствии с различными стадиями жизненного цикла, в которых может пребывать ЖД, были выделены три основные группы стратегических целей:

- цели, связанные с ростом (например, увеличение объема грузоперевозок, увеличение прибыльности или увеличение доли рынка);
- цели, связанные со стабильностью состояния (устойчивое развитие и совершенствование);
- цели, сопряженные с «сокращением» (сокращение затрат).

6. Использование временных концепций оценки эффективности: ретроспективная оценка, которая дает обобщение опыта и учет реальных ситуаций – перспективная оценка эффективности.

7. Применение технологий непрерывного мониторинга для управления и оценки эффективности управления.

8. Применение циклической информационной модели оценки рис.3.

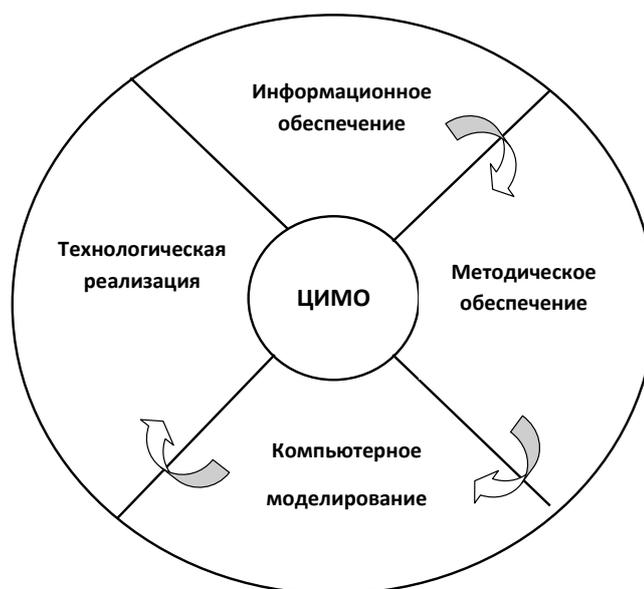


Рис.3. Циклическая информационная модель оценки

Циклическая информационная модель оценки (ЦИМО) [33] применима не только для оценки эффективности управления, но для других оценок. Ее особенность состоит в возможности циклического совершенствования технологии управления или технологии оценивания на основе циклического похода, включающего информационное обеспечение, методическое обеспечение, программное или компьютерное моделирование и технологическую реализацию результатов моделирования.

Подводя итог, следует констатировать, что открытая инновация в аспекте сложной системы представляет собой открытую сложную организационно технологическую систему. В аспекте интеграции открытая инновация представляет собой интегрированную систему с интеграцией технологий и целей. В аспекте модели открытая инновация представляет собой мультиграф. В

аспекте построения необходимо применять семиотический подход [34] к построению открытой инновации. Это обусловлено тем, что семиотическое моделирование объединяет формальный, интеллектуальный и автоматизированный подходы. На рис.4 приведена структурная схема открытой инновации железнодорожного транспорта. Она представляет собой объединение нескольких научных и технологических направлений. На схеме условно показаны только три направления, на самом деле их число может превышать сотню. Мультиграф характеризуется несколькими связями между узлами. Направления образуют основные узлы. Сеть является гетерогенной, то есть с включение разных типов узлов. Между основными узлами сети показаны разные связи, через которые осуществляют информационные взаимодействия. На схеме выделены только три связи: И – интеграция, Р – регулирование, А – адаптация. Стратегическое управление осуществляет отдельный узел который обозначает высшее руководство. Применительно к НИИАС он означает руководство НИИАС.

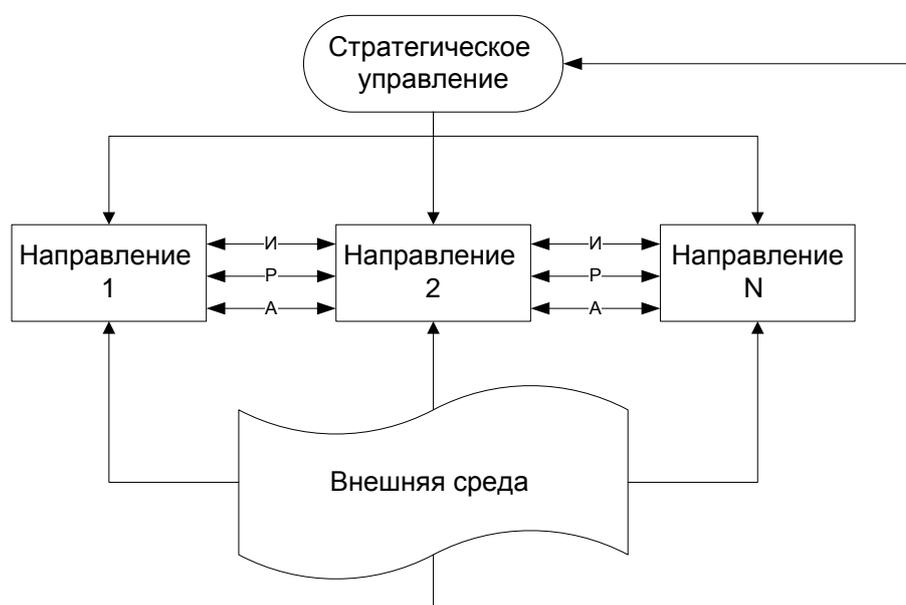


Рис.4. Упрощенная схема открытой инновации на транспорте.

Внешняя среда включена в схему. Поскольку она оказывает деструктивное воздействие. Следует отметить, что инновации на транспорте являются пространственными [35]. Для них существует характеристика называемая диссипацией. Для открытой инновации внешняя среда действует более активно. Она включает стохастическую часть и детерминированную часть. Стохастическая часть представляет собой природу – стихийное колебание рынка. Применительно к пространственной открытой инновации возникает необходимость применения методов геостатистики [36], что пока слабо применяется в сфере железнодорожного транспорта

Детерминированная часть представляет собой противодействие конкурентов. Противодействие внешней среде осуществляют многочисленные системы безопасности [28], защищающие инновацию.

Заключение.

Открытая инновация является современной сложной разработкой, которую можно поставить в один ряд с технологиями интернет вещей или кибер-физическими системами. Открытая

инновация требует специальной поддержки [37]. Она характеризуется высокой сложностью, что требует большей обоснованности при ее внедрении и является естественным препятствием ее реализации. При расширении схемы до реального количества узлов существенно возрастает сложность системы, которая, как известно пропорциональна квадрату числа связей. Связей в открытой инновации больше чем числа узлов, поскольку она является мультиграфом. Это требует специальной технологии работы с такими системами как с большими графами [38]. Следует отметить, что приведенная модель открытой инновации по существу является аналогом модели деятельности ОАО НИИАС [2]. Это показано на прошедшей в 2016 году пятой конференции НИИАС «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016). На конференции были представлены несколько десятков научных направлений, отражающих узлы на схеме рис.4. Открытая инновация ориентирована на «интегрированную модель железной дороги» [39]. Однако пока деятельность модели НИИАС нельзя отнести полностью к открытой инновации из-за недостаточного количества интегрирующих связей. Настоящий этап характерен развитием разных направлений и недостаточной их интеграцией. Интеграция и комплексирование представляет собой следующий этап развития. В этом направлении работу ведет центр стратегического анализа и развития НИИАС.

Список литературы

1. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.22-26.
2. Розенберг И.Н. Основные направления развития ОАО «НИИАС». Прошлое, настоящее, будущее. / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с.3-8.
3. Савиных В.П. Космические технологии в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.63-69.
4. Rus D. The robots are coming //Foreign Aff. – 2015. – V. 94. – p. 2.
5. Belayan M. A., Poon S. H., Zahran E. S. M. M. Rides for Rewards (R4R): A Mobile Application to Sustain an Incentive Scheme for Public Bus Transport //Computational Intelligence in Information Systems: Proceedings of the Computational Intelligence in Information Systems Conference (CIIS 2016). – Springer, 2016. – V. 532. – p. 60.
6. В.Г. Матюхин, А.Б. Шабунин, Г.А. Ефремов, А.П. Ефремова ИСУЖТ. Интеллектуальное диспетчерское управление движением поездов / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с. 21-24
7. Bui T. et al. A framework for designing a global information network for multinational humanitarian assistance/disaster relief //Information Systems Frontiers. – 2000. – V.1. – №. 4. – p. 427-442.
8. Hehmann D. et al. Implementing HeiTS: Architecture and implementation strategy of the Heidelberg high-speed transport system //International Workshop on Network and Operating System

Support for Digital Audio and Video. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1991. – p.31-44.

9. Von Rozycki C., Koester H., Schwarz H. Ecology profile of the German high-speed rail passenger transport system, ICE //The International Journal of Life Cycle Assessment. – 2003. – V. 8. – №. 2. – p. 83-91.

10. Lin K. D., Chang J. F. Communications and entertainment onboard a high-speed public transport system //IEEE Wireless Communications. – 2002. – V. 9. – №. 1. – p.84-89.

11. Цветков В.Я. Кибер-физические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-1. – С. 64-65.

12. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88с.

13. Дышленко С.Г. Применение ГИС «Панорама» для решения задач в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.51-62.

14. Chesbrough, HW (2003). Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Boston: Harvard Business School Press, p. Boston: Harvard Business School Press, P. xxiv XXIV

15. В Chesbrough, HW (2003). The era of open innovation. MIT Sloan Management Review, 44 (3), 35-41.

16. Rohrbeck, R., Hölzle K. and HG Gemünden (2009): "Opening up for competitive advantage - How Deutsche Telekom creates an open innovation ecosystem" R&D Management, Vol. 39, S. 420-430. 39, С. 420-430.

17. Цветков В. Я., Омельченко А. С. Инновация и инновационный процесс как сложная система // Качество, инновации, образование. - 2006. - №2. - с.11- 14.

18. Eclipse and Open innovation. [http://www.eclipse.org/org/foundation/membersminutes/20070920 MembersMeeting/07.09.12-Eclipse-Open-Innovation.pdf](http://www.eclipse.org/org/foundation/membersminutes/20070920%20MembersMeeting/07.09.12-Eclipse-Open-Innovation.pdf). Дата просмотра 10.07.2017.

19. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - с. 52.

20. Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Управление ресурсами, рисками и надежностью на стадиях жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта – УРРАН. / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с.16-18.

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

22. Розенберг И.Н., Тони О.В., Цветков В.Я. Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий // Транспорт Российской Федерации. - 2010. - № 6. - с.54-57.

23. Papcun P., Čopík M., Jádlovský J. Distributed control of production system //Praha: 17th International Student Conference on Electrical Engineering: Poster. – 2013. – V. 2013. – №. 16. – p.2013.

24. Крылатов А. Ю. Оптимальные стратегии управления транспортными потоками на сети из параллельных каналов //Вестник С.-Петербургского университета. 2011. – Т. 10. – С. 121-130.

25. Клепов А.В., Шабунин А.Б. Построение бесшовного информационного пространства в проекте ИСУЖТ / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте.

Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с.41-43.

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

27. Талалаев В.И. Микропроцессорные системы управления движением, информационные технологии в содержании объектов инфраструктуры / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с. 166-168.

28. Розенберг Е.Н., Батраев В.В., Коровин А.С. Развития систем управления и обеспечения безопасности движения поездов / «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (ИСУЖТ-2016): Пятая научно-техническая конференция с международным участием (17-18 ноября 2016 г., Москва, Россия). - ОАО «НИИАС», 2016. – с.12-16.

29. Salter M. B. SeMS and sensibility: Security management systems and the management of risk in the Canadian Air Transport Security Authority //Journal of Air Transport Management. – 2007. – V. 13. – №. 6. – p.389-398.

30. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.27-33.

31. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. – 2009. – №5. – p.102 -103.

32. V. Ya. Tsvetkov. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. – p.45-50.

33. Корнаков А.Н. Концептуальная модель процессов информационного управления промышленной организации. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/ Экономика. – 2010. – № 2. – с.95–100.

34. Цветков В.Я. Семиотический подход к построению моделей данных в автоматизированных информационных системах // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №5. - с. 142-145

35. Ожерельева Т.А. Системный анализ пространственной инновации // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013, - №12 - с.116-120.

36. Цветков В.Я. Геоestatистика // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2007. - №3. - с.174-184

37. Романов И.А. Проекты, связанные с инновациями // Успехи современного естествознания. - 2012 - №7.. - с. 122-124

38. Коломейченко М.И., Чеповский А. М. Визуализация и анализ графов больших размеров // Бизнес-информатика. – 2014. – № 4(30). – С. 7-16.

39. Givoni M., Banister D. (ed.). Integrated Transport: from policy to practice. – Routledge, 2010.