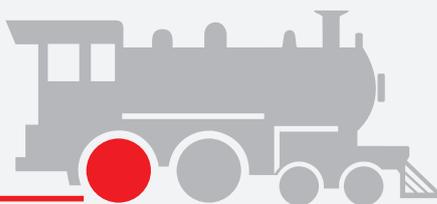


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«Концептуальное пространственное смешивание при анализе объектов транспортной инфраструктуры»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Щенников А. Н.

«Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса»

Рогов И. Е.

«Моделирование транспортных потоков»

Болбаков Р. Г.

«Интегрированный мониторинг объектов транспортной инфраструктуры»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Ознамец В. В.

«Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс»

Андреева О.А.

«Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Охотников А. Л.

«Технологии будущего цифрового поезда»

№ 3

Сентябрь 2019

сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

Выпуск 3 (11)

Сентябрь 2019

Стратегия развития железных дорог

Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич

Концептуальное пространственное смешивание
при анализе объектов транспортной инфраструктуры

3

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

Щенников Алексей Николаевич

Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса

17

Рогов Игорь Евгеньевич

Моделирование транспортных потоков

26

Болбаков Роман Геннадьевич

Интегрированный мониторинг объектов транспортной инфраструктуры

39

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

Ознамец Владимир Владимирович

Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс

50

Андреева Ольга Александровна

Применение мобильного лазерного сканирования
для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры

61

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Охотников Андрей Леонидович

Технологии будущего цифрового поезда

75

УДК: 528.9, 004.94

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СМЕШИВАНИЕ ПРИ АНАЛИЗЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

- 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.** Теория концептуального пространственного смешивания относится к области пространственного анализа. В статье вводится понятие концептуального пространственного смешивания. Эта технология основана на использовании общей координатной среды и общей системы информационных единиц. Объекты транспортной инфраструктуры «смешиваются» на основе пространственных отношений. Такое смешивание создает новые модели объектов или детализует исходные пространственные объекты. Процедура концептуального пространственного смешивания является когнитивной при аналоговой обработке информации. Процедура концептуального пространственного смешивания является автоматизированной при компьютерной обработке информации. Статья описывает процедуры концептуального пространственного смешивания, применительно к объектам транспортной инфраструктуры. Раскрыты отдельные операции когнитивного смешивания с использованием теории множеств и математической логики. Описан пространственный оверлейный анализ в ГИС. Статья доказывает некоммутативность пространственных операций со стратифицированной информацией. Приведены примеры когнитивного пространственного смешивания для решения практических задач.
- Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, пространственный анализ, концептуальное пространственное смешивание, оверлей анализ, логический анализ, управление, контроль.

CONCEPTUAL SPATIAL MIXING IN THE ANALYSIS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(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 theory of conceptual spatial mixing belongs to the field of spatial analysis. The article introduces the concept of conceptual spatial mixing. This technology is based on the use of a common coordinate environment and a common system of information units. The objects of transport infrastructure are "mixed" on the basis of spatial relations. Such mixing creates new models of objects or details original spatial objects. The conceptual spatial mixing procedure is cognitive in analogue information processing. The conceptual spatial mixing procedure is automated during computer processing of

information. The article describes the procedures of conceptual spatial mixing in relation to objects of transport infrastructure. Cognitive mixing operations using set theory and mathematical logic are disclosed. Spatial overlay analysis in GIS is described. The article does not prove the commutativity of spatial operations with stratified information. Examples of cognitive spatial mixing for solving practical problems are given.

Keywords: transport infrastructure, spatial analysis, conceptual spatial mixing, overlay analysis, logical analysis, management, control.

Введение

В соответствии с ГОСТ Р 55056-2012 инфраструктурой железнодорожного транспорта общего пользования называют технологический комплекс, включающий в себя множество пространственных объектов различного назначения. Термин «Пространственные» в явной форме не выделяют, но все объекты транспортной инфраструктуры имеют пространственные характеристики. В перечень транспортной инфраструктуры входят такие объекты: железнодорожные пути, железнодорожные станции, сети связи, устройства электроснабжения, информационные комплексы, системы сигнализации и блокировки, ситуационные центры, системы управления движением, системы обеспечения, строения, сооружения, здания, устройства и оборудование и другое.

Такое разнообразие объектов определяет инфраструктуру железнодорожного транспорта как сложную систему и совокупность пространственных объектов ареального, линейного и точечного типа. Объекты транспортной инфраструктуры проектируют, эксплуатируют и восстанавливают. Это требует применения разнообразных методов контроля состояния и методов экспертизы таких объектов [1]. Применение пространственной информации при проектировании таких объектов и при их контроле приводит к необходимости применения геоинформационных моделей [2] и геоинформационных систем [3]. Это повышает эффективность управления объектами инфраструктуры. Необходимость комплексного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры [4] также выдвигает требование применения методов геоинформатики для обработки пространственной информации и мониторинга. Все это также мотивирует применения методов пространственного анализа. Пространственные отношения [5, 6] между объектами транспортной инфраструктуры являются основой пространственного анализа.

Пространственный анализ выполняют на основе анализа форм объектов, их координат и взаимного расположения объектов инфраструктуры. В пространственном анализе также применяют интерактивные методы обработки информации. Интерактивные методы обработки информации требуют применения пространственного когнитивного моделирования [7] и когнитивной логики [8]. Пространственный анализ опирается на методы геоинформатики. Отсюда вытекает, что когнитивные методы являются объективной потребностью геоинформатики. Сочетание этих факторов приводит к проблеме нахождения эффективных методов, объединяющих пространственный анализ, геоинформатику и когнитивной моделирование. Единственным механизмом, объединяющим методы пространственного анализа, геоинформатики и когнитивного моделирования является концептуальное смешивание. Теория концептуального смешивания [9] (conceptual blending theory) в информационной области относится к когнитивному моделированию. Она широко применяется

в области искусственного интеллекта. В пространственном анализе концептуальное смешивание [10] приобретает специфику, связанную с компьютерной обработкой и геоинформационным моделированием.

Принципы концептуального смешивания.

Теория концептуального смешивания возникла в психологии, откуда перешла в область информационного моделирования и в область когнитивной семантики. В теории познания и психологии концептуальное смешивание является одной из базисных теорий познания, разработанной Жилем Фоконье и Марком Турнером [11]. В соответствии с положениями этой теории, элементы и отношения различных жизненных или познавательных ситуаций "смешаны" в едином подсознательном процессе, который предполагает применение для анализа реальности методы мышления и языковые средства.

Многое, что рождается в психологии, кажется наивным и простым специалистам в области естественных наук в силу простоты описания моделей. Однако сама идея впоследствии перерождается в некое направление, которое успешно развивается в технических науках. Перенос этой теории в геоинформатику трансформирует субъективное понятие "жизненные отношения" в объективное понятие пространственные отношения. Перенос теории концептуального смешивания в область технических наук трансформирует методы мышления в приемы информационного языка и компьютерной лингвистики, также в языковые средства информационных и графических языков. Все это можно рассматривать как методу формализации интуитивных и неявных знаний.

Концептуальное смешивание первоначально было связано с понятием концепт и различными информационными конструкциями концептов [12]. В процессе развития теории концептуального смешивания концепт был заменен на более широкое понятие лингвистический фрейм. В искусственном интеллекте фрейм является основным объектом исследования, но отличается от лингвистического фрейма большей содержательностью. В искусственном интеллекте исследуют содержательную сторону фрейма. Концептуальное смешивание в компьютерных науках выходит за пределы стандартной теории фреймов. Оно дополняет лингвистическую теорию фреймов методами комбинирования фреймов. Теория концептуального смешивания в пространственном анализе состоит в разработке синтаксиса для комбинирования фреймов как информационных конструкций [13]. Результат концептуального смешивания в области пространственного анализа объектов транспортной инфраструктуры представляет собой пространственную модель с заранее заданными свойствами, которая строится как комбинация исходных моделей.

Для реализации концептуального смешивания в области информационных технологий и геоинформатике модели должны быть представлены как совокупность информационных единиц. Именно через информационные единицы осуществляется комбинация моделей, трактуемая как концептуальное смешивание.

Психологическая теория смешивания исследует в основном процесс объединения фреймов (или сцен, или ситуаций). При этом решают простые задачи отношения двух объектов и формирование на этой основе третьего объекта. В пространственном анализе решают задачи не только объединения, но других комбинаций, которые допускает логика и теория множеств. В компьютерном моделировании эта теория получила новое развитие.

Такая компьютерная модель, называемая "вид приложения", применялась в области причинно-следственного анализа и в области научного рассуждения [14]. Более поздние

расчетные модели смешивания были разработаны в математике [15] и логике. Другие модели концептуального смешивания использовали структурные преобразования, которых не существовало в психологии. Однако основой этих моделей являются информационные единицы. В силу этого все модели, применяемые в концептуальном смешивании, предварительно подвергаются декомпозиции, на едином алфавите информационных единиц.

Важным различием между концептуальным смешиванием в психологии и пространственном анализе является постановка задачи. В психологии считается, что задана некая сложная модель, симбиоз, которая формирует мотивы поведения. Задача психологического исследования в анализе этой модели для выяснения мотивов и причинно следственных связей. В математике это называют обратной задачей. В пространственном анализе такая задача встречается в распознавании изображений. В системном анализе эту задачу называют декомпозицией.

В геоинформатике, пространственном анализе, управлении и области искусственного интеллекта эта задача декомпозиции также решается. Но она дополняется задачей синтеза. В терминах теории концептуального смешивания задача синтеза звучит так. Заданы исходные информационные модели и необходимо осуществить их концептуальное смешивание для получения нового образа в соответствии с заданными условиями.

В аспекте обработки информации также имеется существенное различие между психологическим подходом и геоинформационным подходом. В психологии декомпозиция осуществляется эмпирически. В геоинформатике и пространственном анализе декомпозиция и синтез осуществляются аналитически на основе логических законов и теоретико-множественных отношений.

Это дает основание ввести новый термин в области пространственного анализа, который отличается от термина «концептуальное смешивание» в психологии «концептуальное пространственное смешивание». В концептуальном пространственном смешивании применяют пространственные информационные единицы, которые имеют визуальную форму представления и занимают элемент пространства

Эти единицы имеют свой язык, например, язык карт или язык пространственной агрегации. Использование информационных единиц как элементов множества дает возможность применять теоретико-множественные операции для концептуального смешивания линейных и ареальных пространственных объектов

Такой подход расширяет возможности концептуального пространственного смешивания в геоинформатике. Концептуальное смешивание в геоинформатике и пространственном анализе включает два этапа. Первый этап показан на рис.1.

Первый этап является подготовительным. Он включает описание пространства объектов или информационного поля с помощью информационных единиц. Такое описание дает возможность на основе информационного соответствия построить пространство моделей, адекватное пространству объектов. При этом следует отметить, что пространственные отношения между объектами трансформируются в пространственные отношения между пространственными моделями.

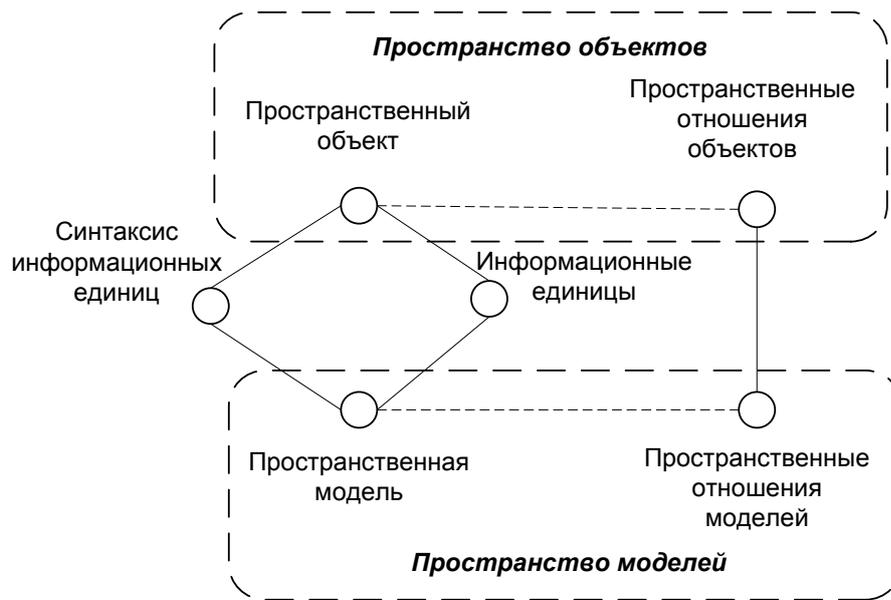


Рисунок 1. Декомпозиция пространства объектов в пространство моделей

Особенностью концептуального пространственного смешивания является множественность пространств моделей. Человеческий интеллект не в состоянии осуществлять смешивание со многими пространствами. Компьютерные технологии не имеют таких ограничений.

Концептуальное пространственное смешивание осуществляют на основе пространственных отношений между пространствами моделей. На рис.2 показано, что в концептуальном пространственном смешивании допускает смешивание практически неограниченного количества пространств, которое в психологии невозможно.

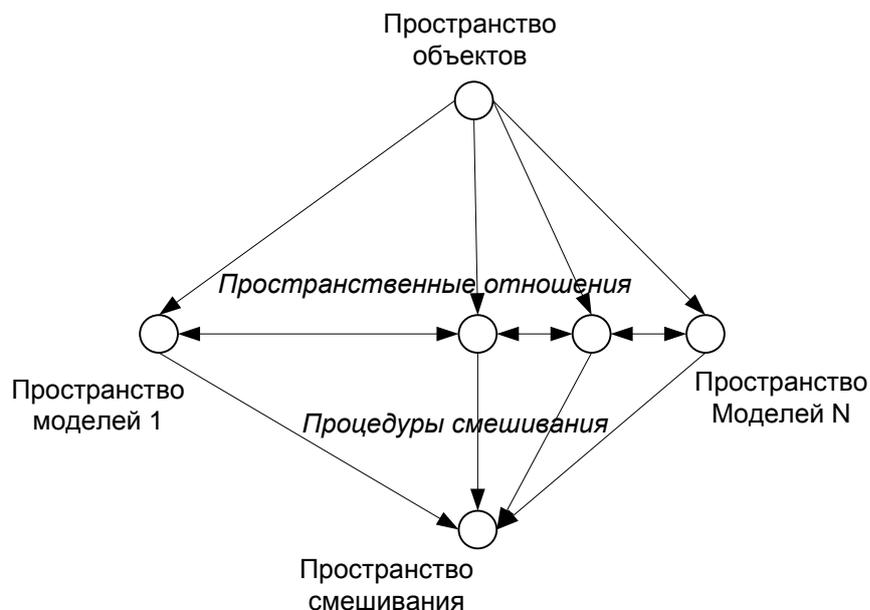


Рисунок 2 Схема концептуального пространственного смешивания.

Между пространством моделей 1 и последним пространством моделей N существуют общие пространственные отношения. Смешивать любые пространства и любые несвязанные модели

нельзя. В концептуальном пространственном смешивании пространства моделей связаны не только единой координатной системой, но и единой системой информационных единиц. Например, для растровых изображений такими единицами являются пиксели.

Единая координатная система задает описание объектов и отношений между ними. Пространственные отношения дают возможность виртуальных комбинаций между объектами в этом пространстве. С этих позиций концептуальное пространственное смешивание есть аналог виртуального моделирования. С позиций информационного поля результат концептуального пространственного смешивания есть результат информационного взаимодействия в информационном поле

Процедуры пространственного смешивания в геоинформатике реализуются с либо помощью ГИС, либо с помощью компьютерной обработки. В геоинформатике концептуальное пространственное смешивание использует процедуры программного обеспечения ГИС, наиболее характерной из которых является процедура оверлея.

Пространственный оверлей анализ.

Концептуальное пространственное смешивание служит инструментом получения пространственного знания и геознания. Одна из форм пространственного знания называется морфологической [16]. Концептуальное пространственное смешивание меняет морфологическую компоненту пространственного знания. В геоинформатике концептуальное смешивание трансформировалось в одну из форм пространственного анализа – оверлейный пространственный анализ (Overlay Spatial Analysis).

Пространственная информация в ГИС и в геоинформатике имеет стратифицированную форму и это создает удобные возможности для смешивания. Наиболее ярким проявления концептуального пространственного смешивания в ГИС является процедура, которая называется оверлей. Оверлей это процедура наложение слоев согласно заданному логическому или теоретико-множественному закону.

Пространственные отношения близки теоретико-множественным отношениям, поэтому формализм теоретико-множественных отношений применим для реализации концептуального пространственного смешивания. Многие пространственные операции со стратифицированными моделями выполняют с помощью процедуры, пространственного оверлея или оверлей анализа (Overlay analysis) [17]. Эта процедура возможна не только в ГИС, но и в системах компьютерной обработки информации, САПР и системы обработки изображений. Упрощенно оверлей анализ можно рассматривать как комбинирование стратифицированных пространственных множеств, имеющих общую координатную среду и общие пространственные отношения. Для этой процедуры применяют следующие ключевые понятия: методы наложения, функции наложения. При компьютерной обработке появляется понятие инструменты наложения.

В геоинформатике различают растровые (полевые) и векторные (объектные) модели. Соответственно, при оверлее различают объектный оверлей и растровый оверлей. При объектном оверлее осуществляют наложение объектов или их элементов: точек, линий или полигонов. При объектном оверлее осуществляют морфологические и содержательные преобразования с преимуществом морфологических преобразований.

При растровом оверлее осуществляют наложение растровых полей. В силу этого при полевом оверлее осуществляют в первую очередь содержательные преобразования и во вторую – морфологические. Это отчасти обусловлено низкой метрической точностью растровых

изображений в сравнении с векторными изображениями.

Ключевыми элементами в объектном оверлее являются слои. В простейшем случае это входной слой (слои), промежуточный (оверлейный) слой (слои) и выходной слой. Функции оверлея разделяет объекты на входном слое, что чаще всего является стратификацией. Исходные стратифицированные слои перекрываются объектами на уровне наложения. Новые области создаются в выходном слое. Новые образы сохраняются в выходном слое, а исходный слой и промежуточные слои не изменяются. Эта композиция хранится в памяти до завершения моделирования. Атрибуты объектов в выходном слое комбинируются в соответствии с геометрическим преобразованием пространственной информации.

При растровом оверлее каждая ячейка выходного слоя ссылается на одно и то же пространственное положение исходного слоя и промежуточного слоя в едином координатном пространстве (рис.2). Это делает полевой оверлей подходящим для объединения характеристик множества слоев или фотоснимков в один слой. Обычно числовые значения присваиваются каждой характеристике пикселя, что позволяет математически комбинировать растровые слои и назначать новое значение каждой ячейке в выходном слое. На рис.3 приведен пример растрового оверлея путем добавления значения раstra. Это пример содержательного оверлея. Два растровых поля суммируются для создания выходного раstra со значениями поля, каждая ячейка которого есть сумма соответствующих ячеек входных растров.

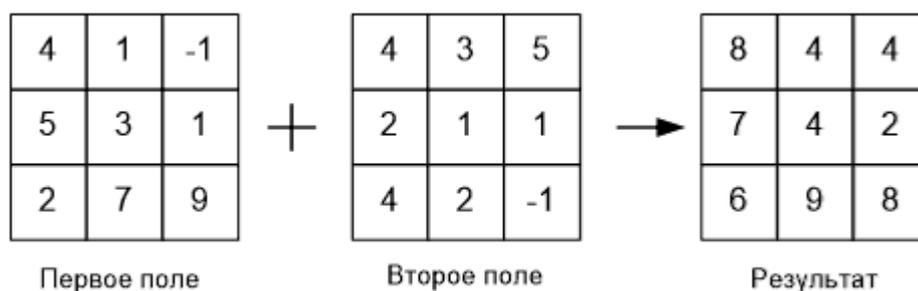


Рисунок 3. Растровый оверлей с суммированием значений.

Рис.3 описывает простую ситуацию суммирования для двух растровых полей. Она встречается, например, при изменении качества изображения. На практике полей может быть больше чем два. Знак минус у некоторых значений означает, что выбранное свойство (например, интенсивность), ослабляется. Практические вопросы, которые решает оверлей анализ такие:

- Определить тип объекта в данной зоне инфраструктуры.
- Какие дороги находятся в ближайшем и отдаленном районах?
- Какие ресурсы имеются на территории инфраструктуры?

Для ответа на подобные вопросы, картографы создают карты на прозрачных пластиковых листах. Картографы решают задачу оверлея путем наложения прозрачных карт друг на друга на столе с подсветкой. Выходным слоем такого аналогового оверлея является новая карта, на которую переносят необходимую информацию. Такой аналоговый оверлей является полностью когнитивным, без использования компьютерной обработки.

В ГИС эту задачу в автоматическом режиме решает компьютерный оверлей. В ГИС

операция компьютерного оверлея гораздо сложнее, чем простое слияние векторных карт. Она не только решает задачи композиции, но и может оценивать характеристики объекта, которого нет в природе. Например, расчет зон возможного затопления или расчет зон экологического загрязнения при постройке предприятия с выбросами при известной розе ветров.

Ключевыми элементами операции компьютерного оверлея являются входное множество (их может быть несколько A), покрывающее множество (их может быть несколько – условно B), и выходное результирующее множество условно C . Каждое множество может представлять совокупность слоев. Новые образы (морфологические информационные конструкции) создаются там, где происходит информационное взаимодействие между множествами в соответствии с заданной логической процедурой. Элементы слоев имеют аналогичные маленькие буквы. На основе операции новые признаки сохраняются в выходном слое, при этом исходный входной слой не изменяется.

Важным в пространственном оверлее является единство координат. На рис.4 приведен результат оверлея с согласованием координатных систем.

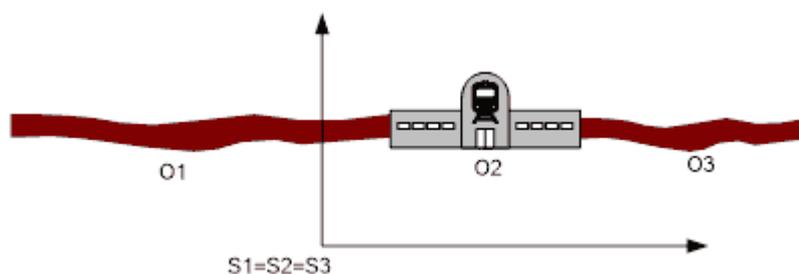


Рисунок 4. Результата оверлея с согласованием координатных систем.

Три объекта – ($O1$, $O3$ – два пути и станция $O2$) измерены в единой координатной среде, что условно выражается совмещением начал локальных трех систем координат в виде условия $S1=S2=S3$. Эта модель является целостной и описывает реальную ситуацию. На рис.5 показан оверлей при нарушении единства координатной среды.

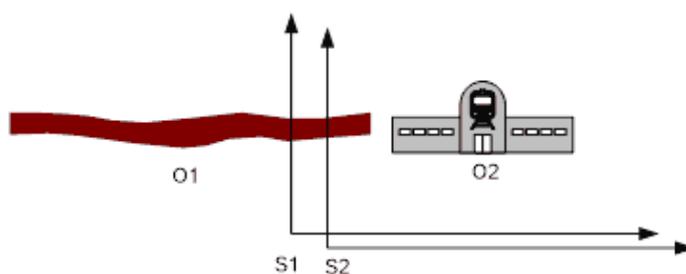


Рисунок 5. Результат оверлея при нарушении единства координатной среды.

Нарушение единства координатной среды произошло за счет смещения начал локальных координатных систем. Поэтому в отличие от параметрического оверлея в пространственном оверлее результат зависит от согласования координатных систем.

На рис.6-11 приведены примеры применения оверлея для разных пространственных операций, демонстрирующие разнообразие применения концептуального смешивания в

геоинформатике. Для единообразия и удобства анализа входные множества обозначены буквами А, В, а выходное (результат) обозначено буквой С. На рис.6. приведена операция идентификации. Эта операция отвечает на вопрос: находится ли объект А в зоне загрязнения, которую создает объект В?

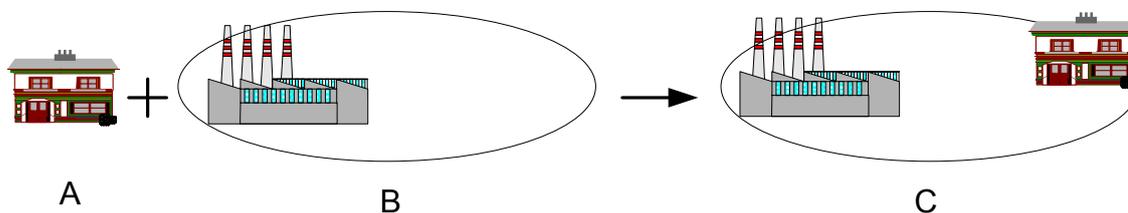


Рисунок 6. Оверлейная операция идентификации (Identity)

Операция концептуального пространственного смешивания (идентификации) решает такую задачу. Синтаксис операции идентификации на рис.6. следующий « $c=a + a \& b$ ». Именно благодаря синтаксису эта процедура может быть реализована в компьютерных технологиях и в ГИС. По результату этой операции на рис.5 следует вывод, что объект А находится в зоне объекта В. Операция идентификации используется также для решения задачи: Находится ли объект А в полосе отвода В?

Следующая задача состоит в определении общей площади двух филиалов одного предприятия. Эта задача решается путем использования отношения пересечения множеств. На рис.7. приведена операция пересечения пространственных объектов.

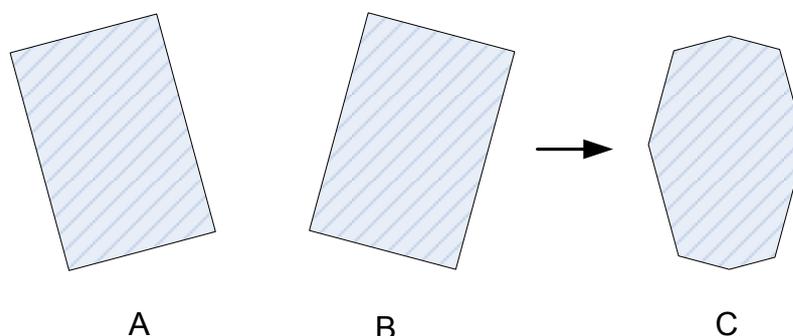


Рисунок 7. Оверлейная операция пересечения (Intersect)

Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С является общим для множества В и множеств А в данной координатной среде? Для ситуации на рис.7 исходные множества имеют общее начало координат в геометрических центрах. Это же начало координат имеет результирующее множество С. От смещения начал координат меняется множество С. Синтаксис операции пересечения следующий: « $c= a \& b$ ».

На практике может возникать близкая задача. Определить участки площади двух филиалов одного предприятия, которые не являются общими. Такая задача решается путем использования отношения симметричной разности. На рис.8 приведена оверлейная операция симметричной разности

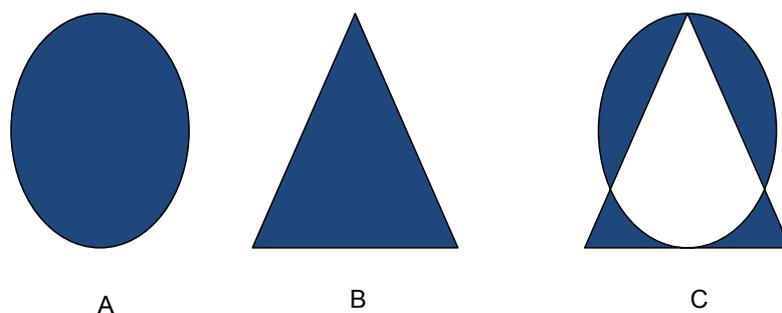


Рисунок 8. Оверлейная операция симметричной разности (Symmetrical difference)

На рис.8 синтаксис операции симметричной разности следующий: « $c = a + b - a \& b$ ». Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С не включает общие элементы множества В и множества А в данной координатной среде?

На рис.9 приведена операция объединения тех же объектов, что на рис.7. Эта операция отвечает на вопрос: какое множество С включает множество В и множество А в данной координатной среде? Или какую форму примет земельный участок в случае слияния двух земельных участков. Следует подчеркнуть, что в отличие от теории множеств в геоинформатике элементы множества имеют координаты и определены в координатной системе.

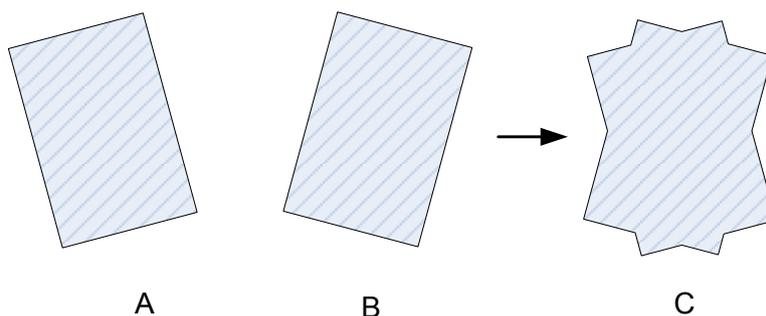


Рисунок 9. Оверлейная операция объединения участков

Синтаксис операции объединения следующий: « $c = a \vee b$ ». Различие форм участков С на рис.7 и рис.9 показывает различие операций.

Характерным для пространственного анализа и стратифицированной информации является не коммутативность. Это означает, что во многих операциях результат оверлея зависит от последовательности наложения исходных множеств. На рис. 10 показана разность между множествами в заданной последовательности. На рис. 11 показана разность между множествами в другом порядке.

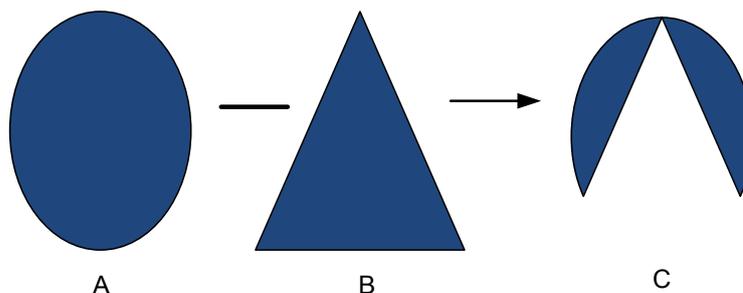


Рисунок 10. Оверлейная операция разности $C = A - B$

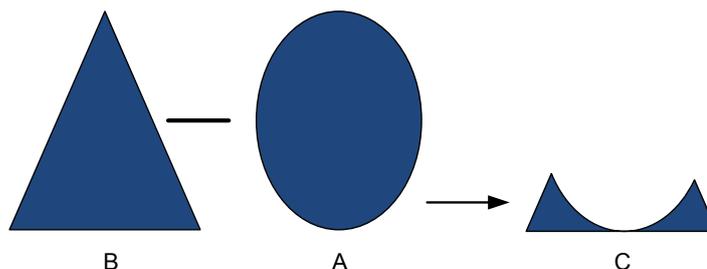


Рисунок 11. Оверлейная операция разности $C = B - A$

Рассмотренные операции оверлея являются простейшими примерами использования пространственных отношений для формирования пространственных моделей. Рисунки 10 и 11 показывают, что в зависимости от последовательности множеств результат оверлейной операции может существенно меняться. Это проявляется в ГИС при наложении слоев. В зависимости от последовательности наложения результат оверлея существенно меняется. Это показано на рис.12.

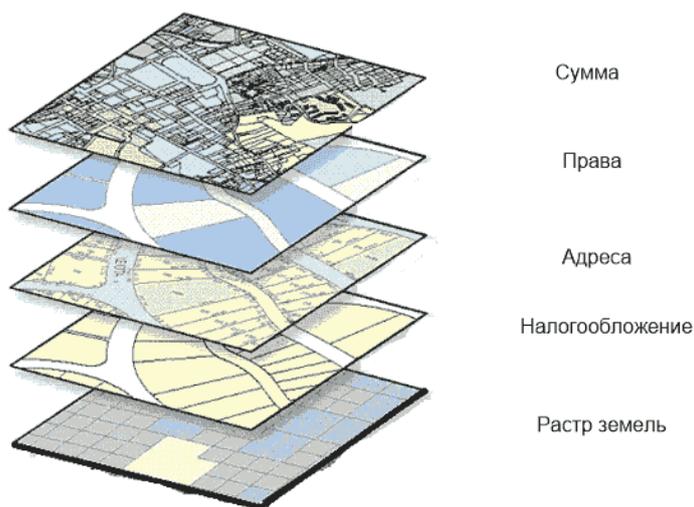


Рисунок 12. Пространственный анализ инфраструктуры

На рис.12 наложение слоев идет снизу-вверх. Следует подчеркнуть, что результаты оверлея полно представлены только в базе данных. Визуально некоторые из них могут не отображаться.

В зависимости от задачи отображают необходимые слои. На практике при анализе транспортной инфраструктуры встречаются более сложные комбинации с большим числом слоев и сложным синтаксисом.

Концептуальное пространственное смешивание помимо оверлея связано с процедурами стратификации [18], дихотомического анализа [19] и оппозиционного анализа [20]. Стратификация и дихотомический анализ предшествуют концептуальному смешиванию и в отдельных случаях являются условием его применения. Оппозиционный анализ применяют после концептуального смешивания. Он дополняет эту технологию дополнительной аналитической классификации. Например, возможна компьютерная обработка с использованием метода разделяющей плоскости [21]. Можно констатировать, что технологии концептуального смешивания, стратификации, оппозиционного и дихотомического анализа являются комплементарными технологическими ресурсами [22, 23], и в совокупности эти технологии образуют раздел пространственного анализа. Концептуальное смешивание и пространственный оверлей являются инструментом контроля размещения объектов транспортной инфраструктуры, средством контроля их пространственного положения, средством контроля соответствия положения проектным или паспортным данным.

Заключение.

Концептуальное пространственное смешивание является одним из видов пространственного анализа объектов транспортной инфраструктуры. Результат когнитивного пространственного смешивания может выходить за рамки человеческого представления. В этом его ценность. Концептуальное пространственное смешивание позволяет «увидеть» то, что человеческое воображение не может представить до решения задачи смешивания. Концептуальное пространственное смешивание дает возможность получения пространственных знаний. Концептуальное смешивание является перспективной областью исследований в искусственном интеллекте и, соответственно, в интеллектуальных транспортных системах. Концептуальное смешивание является перспективной областью исследований в области технического зрения и беспилотного управления подвижными объектами. В области транспортной инфраструктуры концептуальное смешивание позволяет контролировать текущее состояние объектов инфраструктуры и прогнозировать динамику их состояния.

Например, расчет возможных зон затопления.

Расчет перемещения зоны локального пожара.

Расчет развития деформаций пути, оценку критического состояния пути.

Существенно важным для концептуального смешивания в практическом приложении является точность координатных систем и точность измерения пространственных объектов. Изменение начал координат исходных множеств существенно меняет результат концептуального смешивания. Концептуальное пространственное смешивание использует объективные логические процедуры и исключает субъективность эксперта. Однако оно затрагивает морфологическую составляющую пространственных образов. Процессы семантического моделирования пока мало исследованы в этой технологии. Это составляет основу дальнейших исследований в области концептуального пространственного смешивания.

Список литературы

1. Михеева Т. И., Ключников В. А., Головнин О. К. Методы и алгоритмы экспертизы объектов транспортной инфраструктуры // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6. – С.271–271.
2. Сидоров А. В., Головнин О. К. Построение геоинформационной модели объектов транспортной инфраструктуры // *ITIDS+ RRS'2014*. – 2014. – С.165–169.
3. Михеев С. В. и др. Архитектура геоинформационной справочной системы объектов городской инфраструктуры // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 3. – С.92–92.
4. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – № 1(1). – С.14–21.
5. Васютинская С.Ю. Пространственные отношения в кадастре // *Образовательные ресурсы и технологии*. – 2015. – № 4(12). – С.91–96.
6. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // *Успехи современного естествознания*. – 2013. – № 5 – С.138–140.
7. Майоров А.А. Пространственное когнитивное моделирование // *Перспективы науки и образования* – 2014. – № 1. – С.33–37.
8. Цветков В.Я. Когнитивная логика // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2019. – № 1. – С.106–110.
9. Watts R. J. Rudeness, conceptual blending theory and relational work // *Journal of Politeness Research. Language, Behaviour, Culture*. – 2008. – Т. 4. – № 2. – P.289–317.
10. Савиных В.П. Концептуальное смешивание в географии // *Славянский форум*. – 2017. – № 2(16). – С.19–24.
11. Fauconnier G., Turner M. The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities. – Basic Books, 2008.
12. Майоров А.А. Концептосфера и инфосфера // *Российский технологический журнал*. – 2014 – № 4(5) – С.1–17.
13. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // *European Journal of Technology and Design*. – 2014. – № 3(5). – P.147–152.
14. Shrager, J. (1990) Commonsense perception and the psychology of theory formation. In Shrager & Langley (Eds.) *Computational models of scientific discovery and theory formation*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
15. Guhe, Markus, Alison Pease, Alan Smaill, Maricarmen Martinez, Martin Schmidt, Helmar Gust, Kai-Uwe Kühnberger and Ulf Krumnack (2011). A computational account of conceptual blending in basic mathematics. *Cognitive Systems Research* Volume 12, Issues 3–4, September–December 2011, – P.249–265 Special Issue on Complex Cognition.
16. Цветков В.Я. Пространственные знания // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2013. – № 7. – С.43–47.
17. Walke N. et al. GIS-based multicriteria overlay analysis in soil-suitability evaluation for cotton (*Gossypium* spp.): A case study in the black soil region of Central India // *Computers & Geosciences*. – 2012. – V. 41. – P.108–118.
18. Майоров А.А. Стратификация в геоинформатике // *Славянский форум*. – 2017. – № 2(16). – С.45–51.
19. Tsvetkov V.Ya. Dichotomous Systemic Analysis. // *Life Science Journal* – 2014. – № 11(6). –

P.586–590.

20. Ожерельева Т.А. Оппозиционный анализ информационных моделей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11-5. – С.746–749.

21. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей. // Известия академии наук СССР. Техническая кибернетика. – 1980. – № 6. – С.36–43.

22. Щенников А.Н. Комплементарность сложных вычислений // Славянский форум. – 2018. – №2(20). – С.118–123.

23. Щенников А.Н. Модели и комплементарность // Славянский форум. – 2019. – № 1(23). – С.14–19.

УДК: 656.052

КОМПЛЕМЕНТАРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ МЕГАПОЛИСА

Щенников А.Н. Директор Института информационных технологий и автоматизированного проектирования, МТУ (МИРЭА), E-mail: schennikovalexey@mail.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье исследуется комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса. Современный мегаполис характеризуется интенсивными потоками наземного транспорта, значительным изменением трафика движения и изменением пропускной способности магистралей. Отмечена необходимость согласования развития городской инфраструктуры с развитием транспорта мегаполиса. Отмечена необходимость интермодальной маршрутизации как геосервиса. Отмечена необходимость применения ситуационных центров для управления транспортом города. Редукция сложности движения к простоте управления достигается за счет использования специальных математических и информационных моделей. Управление транспортом мегаполиса эффективно при использовании методов комплементарности и ситуационного управления.

Ключевые слова: транспорт, управление, транспортные потоки, потоки мегаполиса, сложность, комплементарность управления, ситуационное управление.

COMPLEMENTARY MEGALOPOLIS TRAFFIC MANAGEMENT

Schennikov A.N. Director of information technologies and automated designing institute, MTU (MIREA), E-mail: schennikovalexey@mail.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article explores the complementary traffic management of a megalopolis. The modern metropolis is characterized by intense ground transport flows, a significant change in traffic traffic and a change in the throughput of highways. The need to apply a single transport policy for transport management is stated. The need to coordinate the development of urban infrastructure with the development of transport in the metropolis is proved. Intermodal routing is considered as and how geoservice. The need for the use of situational centers for transport management of the city is noted. The reduction in the complexity of movement to ease of control is achieved through the use of special mathematical and information models. Megapopolis transport management is effective when using the methods of complementarity and situational management.

Keywords: transport, management, traffic flows, megalopolis flows, complexity, complementarity of management, situational management.

Введение.

Урбанизация – характерная тенденция развития человечества. В 2008 году городское население по численности сравнялось с сельским населением. По прогнозу ООН к 2050 году более 85% населения будет проживать в городах. Урбанизация влечет большое количество проблем: экономических, транспортных, управленческих, экологических и других. Для

мегаполиса эти проблемы связаны и требуют не отдельного, а комплексного решения. Ключевой проблемой, которую можно сравнить с проблемой переноса крови в организме человека, является транспортная проблема мегаполиса [1, 2]. Ядром этой проблемы является проблема транспортных потоков мегаполиса [3-5]. Управление транспортными потоками мегаполиса – ключевая задача управления мегаполисом. Современный мегаполис характеризуется не только огромными потоками автомобилей, но и потоками железнодорожного транспорта, а также изменением трафика движения, изменением пропускной способности трасс, большим числом непредвиденных аварий, большим числом пробок. По существу, движение транспорта в мегаполисе из чисто детерминированного превращается в стохастически-детерминированное [6] и многоцелевое [7]. Возникает необходимость применения вероятностной логики [8] и вероятностных методов управления. Для мегаполисов с большим числом улиц и большим числом пересечений возникает проблема больших графов. Для больших мегаполисов с большим числом улиц и большим числом узлов возникает сложность и понятие сложных транспортных потоков.

Непредсказуемость (недетерминированность) приводит к возникновению заторов на дорогах, и к задержкам в цепях поставок. Это влечёт за собой экономические потери. Данный факт, наряду со многими другими, влечёт за собой необходимость проведения единой транспортной политики [9] мегаполиса. Единая транспортная политика требует: многоцелевого управления [7, 10], интеллектуального управления [11], интегрального управления [12] и комплементарных решений [13-15] в развитии дорожно-транспортной инфраструктуры мегаполиса.

В данной работе рассмотрена одна из главных проблем развития транспорта мегаполиса, а именно: модели и методы решения проблемы сложных транспортных потоков, а также опыт модернизации городского транспорта в ряде зарубежных стран. Основная идея статьи состоит в том, что решение этой проблемы должны быть комплексным с учетом решения и развития других компонент мегаполиса, то есть комплементарным.

Некоторые математические модели, применяемые при управлении транспортными потоками.

В математике и гражданском строительстве транспортный поток – это взаимодействие между подвижными субъектами и объектами (пешеходов, велосипедистов, водителей и их транспортных средств) и инфраструктуры (включая автомагистрали, вывески и устройства контроля движения). Исследование транспортных потоков выполняют с целью оптимального развития транспорта, для организации эффективного трафика и минимизации пробок.

Теория транспортных потоков исследовалась в различных областях знаний [16]. Основы моделирования дорожного движения заложены в 1912 году русским ученым, профессором Г. Д. Дубелиром. Следующую попытку создать математическую теорию движения потока относят к 1920-м годам, когда Фрэнк Найт сначала проанализировал равновесие движения, которое было уточнено в первом и втором принципах равновесия Уордропа в 1952 год. В 1995 году Лайтхилл и Уизем предложили свои математические модели, построенные на базе механики сплошных сред [17].

Учет стохастичности движения привел к тому, что многие работы, посвящённые проблемам анализа транспортных потоков, опирались на методы теории вероятности и математической статистики [18].

Ф. Хейт [19] провел математические исследования транспортных потоков и выделил их в

раздел прикладной математики. Данная работа послужила толчком к исследованиям в этой области, которые активно проходили в 60-х и 70-х годах.

В США проблемы исследования транспортных потоков, включая военное применение, были включены в проблемы национальной безопасности. В настоящее время имеется множество источников, освещающих моделирование транспортных потоков. Следует отметить: *Transportation Science, Transportation Research, Mathematical Computer Simulation, Operation Research, Automatica, Physical Review*.

В настоящий момент существует большой теоретический задел, который тем не менее далек от практических потребностей. Поэтому, наряду с теоретически обоснованными моделями потоков, развиваются эмпирические методы и модели. Они совместно предпринимают шаги по управлению транспортными потоками.

Несмотря на современные мощные вычислительные системы, не существует удовлетворительной общей теории, даже в области дискретных вычислений, которая может быть применена к реальным условиям транспортного потока.

В современных моделях трафика используется смесь эмпирических и теоретических методов. Эти модели затем разрабатываются в прогнозы движения, с учетом предлагаемых местных или крупных изменений, таких как увеличение использования транспортных средств, изменения в интермодальном режиме (перемещение с автобуса на поезд или самолет). Эти модели позволяют определить области перегруженности, где необходимо скорректировать поток. Тем не менее, методы комплементарности пока слабо используют в управлении транспортными потоками мегаполиса.

Комплементарные модели.

Комплементарные системы и понятие комплементарности как отношение применяю в разных направлениях. Комплементарные системы применяют в биологии [20], обучении [21], теории коммуникации [22], в области организации информационных ресурсов [15], в медицине [23], в инвестиционной деятельности [24], в юриспруденции [25], в институциональных отношениях [26] и др. Комплементарность является многозначным понятием. С позитивных позиций ее рассматривают как согласование. С негативных позиций ее рассматривают как отсутствие противоречий. Комплементарность вычислений можно рассматривать как развитие модели комплементарности вычислительных ресурсов. Комплементарность рассматривают как ситуацию. в частности ее можно рассматривать как информационную ситуацию [27-30]. Комплементарность рассматривают как состояние. Поэтому ее можно рассматривать как модель согласованного состояния или информационного соответствия. В динамике комплементарность можно рассматривать как согласованное информационного взаимодействия. Комплементарность как отношение связано с определенными видами информационного соответствия [31, 32] и отношениями эквивалентности. Комплементарность как состояние характеризует отсутствие или снижение сложности объектов, ситуаций, сложных процессов [33-35]. Увеличение Комплементарности ведет к повышению надежности. В частности, в области оптимизации комплементарность используют как метод оптимизации [36]. Все виды комплементарности можно рассматривать как информационные модели.

При анализе комплементарности ее можно рассматривать как условие как модель и как систему. Иногда говорят о комплементарной системе, которую описывают при помощи уравнений и условий, задающих область существования решения. Простая комплементарная система включает два уравнения (1) (2) и два условия (3), (4).

$$\frac{dx}{dt}(t) = f(x(t), u(t)), \quad (1)$$

$$y(t) = h(x(t), u(t)), \quad (2)$$

Выражения (4), (5) содержат следующие обозначения: $x(t)$ – n -мерная переменная состояния, $u(t) \in R^k$ – входной вектор, $y(t) \in R^k$ – выходной вектор.

Таким образом, триада «вход – состояние – выход» задает комплементарную систему. В симплекс методе этой триаде соответствует другая триада: «переменные – состояние – функция полезности». Выражение (1) интерпретируется так: изменение состояния определяется суперпозицией текущего состояния и входного вектора. Выражение (2) означает, что выходной вектор определяется суперпозицией текущего состояния и входного вектора. Уравнения (2), (4) являются достаточно общими и описывают разные процессы. Для привязки их к комплементарной системе необходимо добавить условие стандартного отношения комплементарности, которое выглядит как скалярное произведение

$$\langle u | y \rangle = 0 \quad (3)$$

И условие положительности переменных

$$0 \leq y(t) \wedge u(t) \geq 0 = 1. \quad (4)$$

Выражение (3) векторное, выражение (4) логически целочисленное. Выражение (3), (4) используют также в симплекс методе, но в силу традиции там их формулируют словесно. Функция состояния $f(x)$ – выполняет роль переходной функции.

Опыт управления транспортными потоками в Германии

В Германии, как и во всем мире, управление транспортом строится на основе единой транспортной политики [9, 37]. Единую политику в области транспорта и осуществляет Министерство транспорта Германии [38]. Управление всеми видами транспорта, при наличии значительных транспортных мощностей в других отраслях народного хозяйства, управление транспортной системой требует обширных и сложных взаимосвязей и мер по планированию, контролю и координации, что естественным образом приводит к необходимости решения задачи комплементарного управления.

Министерство транспорта осуществляет комплексное управление видами транспорта общегосударственного значения: железнодорожный, морской, внутренний водный, воздушный транспорт.

Муниципальные советы осуществляют управление региональными комбинатами автомобильного транспорта. Городским пассажирским транспортом управляют городские советы. Министр транспорта Германии имеет право давать распоряжения местным органам по основным вопросам транспортной политики. Департаменты министерства имеет право давать методические указания подчиненным транспортным предприятиям и контролировать их работу.

Дополнительно к непосредственному управлению задачей министерства является мониторинг, геотехнический мониторинг и глобальный мониторинг транспорта, включая спутниковый мониторинг. На основе комплексного мониторинга осуществляется выявление

транспортных проблем, расстановка приоритетов их решения.

Для городов на основе комплексного мониторинга и последующего анализа осуществляется выработка целей развития транспортной инфраструктуры города. Эта работа ведется с широким использованием геостатистической информации, а также с привлечением общественных организаций: общества автомобилистов, жителей города, обществ велосипедистов, обществ инвалидов, предприятий города и других сообществ. Например, для выявления проблем в работе светофоров проводится регулярное обсуждение с водителями такси, которые на практике лучше других знакомы со сложностями на перекрестках города.

Обратная связь является необходимым условием управления и в Германии она реализуется с использованием разных источников информации: профессиональных водителей, автолюбителей, пешеходов, велосипедистов, пассажиров и т.д. Очевидно, что такая разнородная информация требует унификации и интеграции. Как и во всем мире, это осуществляется с использованием методов геоинформатики и ГИС.

В Германии стратегические планы развития городов Мюнхена, Дрездена, Берлина, Штутгарта и других отличаются по целям и по средствам их реализации. Все они, тем не менее, реализуются в полном соответствии с Федеральным законом о муниципальном планировании, который определяет не только основу содержания плана, но и алгоритм его разработки и реализации.

Например, в Берлине [39] существуют следующие основные виды транспорта: автобусы, метро, трамваи, катера. Они образуют систему, которая находится под управлением нескольких муниципальных компаний — Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Deutsche Bahn AG (DB), S-Bahn Berlin GmbH, Verkehrsbetriebe Potsdam GmbH (ViP П) и других партнеров. Количество негосударственных транспортных компаний в Германии крайне невелико. Например, среди такси в Берлине доминируют муниципальные, а количество частных такси настолько мало, что не учитывается государственной статистикой. Негосударственные компании занимают небольшой сектор транспортных услуг, например, организация частных паркингов.

Реализацию стратегии единой транспортной политики осуществляет Берлинский центр управления движением. Он был создан 2003 году и зарекомендовал себя с лучшей стороны. Берлинского центр управления движением осуществляет мониторинг, фиксацию множества дорожных ситуаций в городе. На основе комплексного мониторинга осуществляется интеграция информации о всех видах транспорта в систему управления движением города. Система отслеживает все виды транспорта с помощью пассивного мониторинга (наблюдение трафика) и с помощью активного мониторинга (приемники GPS).

Собранная информация о движении используется для оперативного, тактического и стратегического управления по улучшению транспортной ситуации в Берлине. Следует констатировать, что пока модель транспортной ситуации [30], как специальный инструмент управления, в явном виде не упоминается и в управлении не используется. Создание и функционирование Центра управления дорожным движением обошлось городу в несколько миллионов евро.

На начальной стадии управления движением (2003 г.) в городе насчитывалось 50 веб-камер и более 200 инфракрасных датчиков. В настоящее время число сенсоров существенно возросло и получаемые ими дорожно-транспортные данные посылают в Центр компьютерного анализа. По существу, это ситуационный центр управления движением, как и во многих городах России.

Ситуационный Центр управления транспортом Берлина осуществляет интермодальную

маршрутизацию, которая позволяет планировать поездки с сочетанием частного и общественного транспорта. Интермодальная маршрутизация де факто является комплементарным решением транспортной задачи, хотя в явном виде о таком подходе и не говорится.

Интермодальную (комплементарную) маршрутизацию осуществляет «Планировщик интермодальных маршрутов». Он использует время движения транспортного средства пользователя, учитывает общую транспортную ситуацию, что позволяет планировать оптимальное время отправления, а также время, необходимое для всей поездки. Эта технология напоминает работу навигатора на Московских улицах и в области, дополненную возможностью использования разных транспортных средств.

Ситуационный Центр движения Берлина оценивает трафик данных для всей транспортной инфраструктуры Берлина и формирует краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы движения. Информация от интермодальных маршрутизаторов позволяет объединить различные виды транспорта для составного маршрута. Здесь следует отметить технологию как комплементарно дополняющую и стратифицированную. Стратификация информации осуществляется за счет применения сенсоров о разных видах транспорта. Комплементарность осуществляется технически и технологически за счет использования специальных сенсоров интермодальных маршрутизаторов.

Ситуационный Центр движения Берлина содержит информационные подсистемы, содержащие информацию о дорожно-строительных работах и городских мероприятиях. Отображение текущей дорожной ситуации в наиболее сложных развязках транслируется на специальных мониторах по всему городу и обновляется каждые пять минут, помогая принимать решения о выборе маршрута.

Контроль городского трафика с воздуха. Современная тенденция использования БПЛА [40] также используется в управлении движением. Эта система была введена в 2006 года во время чемпионата мира по футболу в Германии. Ее особенностью является не столько фотофиксация, сколько трансляция в режиме он-лайн.

Динамические изображения отправляют в Ситуационный центр управления движением. Они информируют о дорожной ситуации и дают возможность прогнозировать изменение трафика и осуществлять борьбу со стихийными бедствиями [38]. Система для записи трафика, состоит из системы камер «Антар» и аналитического программного обеспечения – системы движения Finder. Данные в центр предоставляются автоматически, в реальном времени извлекаются данные о трафике.

Подводя итог, следует констатировать широкое применение технических средств, но пока недостаточное использование специальных моделей, таких как информационная ситуация, информационная позиция, логическая информационная ситуация, информационные единицы и информационные конструкции. Теоретические проблемы уменьшения пробок с использованием теории комплементарного управления также не изучают. Это не может не вызывать удивление поскольку комплементарная оптимизация описана достаточно давно [36], а астатическое управление [41] подвижными объектами входит в теорию оптимального управления.

Заключение.

Комплементарные системы возникают при исследовании задач статической оптимизации, динамических задач, а также в стохастических задачах, в задачах конечного горизонта и в

задачах бесконечного горизонта. С математической позиции системы комплементарности можно рассматривать как особые примеры моделирования для негладких систем. Природа комплементарных систем дополнительной негладких динамических систем порождает много важных проблем, начиная с определения того, что следует понимать под «решением». При решении задач управления транспортными потоками мегаполиса возникают «не комплементарные системы» в виде пробок. Неоднородностей движения волновых потоков транспорта и другое. Поэтому практическая задача при управлении транспортом мегаполиса состоит в уменьшении не комплементарности и увеличении комплементарности (согласованности) движения. Однако теория комплементарности как и теория ситуационного управления пока слабо используется при управлении движением. Считаем, что это направление является перспективным и актуальным, его применение повысит эффективность управления транспортом и эффективность движения, особенно в условиях цифровой железной дороги.

Список литературы

1. Кужелев П.Д. Комплексное управление мегаполисом // Государственный советник. – 2015. – № 3. – С.14–18.
2. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С.27–33.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966.
4. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков. – М.: Институт системного анализа РАН, 2009.
5. Кужелев П.Д. Интеграция данных транспортных потоков мегаполиса // Славянский форум, – 2015. – № 3(9) – С.153–159.
6. Охотников А.Л. Применение теории Демпстера-Шефера для оптимизации перевозок // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 1(9). – С.61–74.
7. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 4(8). – С.40–47.
8. Господинов С.Г. Вероятностно логический анализ // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1. – С.3–8.
9. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум, – 2015. – № 3(9) – С.244–250.
10. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management // European Journal of Economic Studies. – 2012. – № 2(2). – P.140–143.
11. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Развитие интеллектуального управления на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 2(6). – С.3–15.
12. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5(49). – С.6–9.
13. Щенников А.Н. Модели и комплементарность//Славянский форум. – 2019. – № 1(23). – С.14–19.
14. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. – 2018. – № 4(22). – С.85–90.
15. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С.182–185.

16. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. – М.: Институт прикладной математики РАН, 2004.
17. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads // Proc. of the Royal Society Ser. A. – 1995. – Vol. 229. – № 1178. – P.317–345.
18. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков. – М.: Институт системного анализа РАН, 2009.
19. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966.
20. De Lange F. P. et al. Complementary systems for understanding action intentions // Current biology. – 2008. – V.18. – № 6. – P.454–457.
21. Щенников А.Н. Комплементарность в образовательных технологиях // Современное дополнительное профессиональное педагогическое образование. – 2018. – № 4. – С.3–14.
22. Goldinger S. D. A complementary-systems approach to abstract and episodic speech perception // Proceedings of the 16th international congress of phonetic sciences. – 2007. – P.49–54.
23. Gureje O. et al. The role of global traditional and complementary systems of medicine in the treatment of mental health disorders // The Lancet Psychiatry. – 2015. – V.2. – №. 2. – P.168–177.
24. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24. – № 4. – С.103–116.
25. Deason E. E. Procedural Rules for Complementary Systems of Litigation and Mediation-Worldwide // Notre Dame L. Rev. – 2004. – V. 80. – P.553.
26. Липов В. В. Институциональная комплементарность как фактор формирования социально-экономических систем // Journal of Institutional Studies (Журнал институциональных исследований). – 2012. – Т. 4. – № 1.
27. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2014. – № 5. – С.4–11.
28. Потапов А. С. Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 1(15). – С.283–289.
29. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. – 2014. – № 11-1(86). – P.1901–1909.
30. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте. Saarbrücken. : Palmarium Academic Publishing, 2018. – 143 С. – ISBN 978-613-9-82104-4.
31. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 1(3). – С.454–455.
32. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2017 – № 4. – С.86–92.
33. Болбаков Р.Г. Сложность информационных конструкций // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 4(16). – С.58–63.
34. Tsvetkov V. Ya. Complexity Index // European Journal of Technology and Design, – 2013. – № 1(1). – P.64–69.
35. Ожерельева Т.А. Сложность информационных ресурсов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С.80–85.
36. Schumacher J. M. Complementarity systems in optimization // Mathematical Programming. – 2004. – V. 101. – № 1. – P.263–295.

37. World Transport Policy & Practice. URL: <http://www.eco-logica.co.uk/worldtransport.html>. data view 12.07.2019.

38. Berlin's strategy for an integrated urban freight transport system – planning approaches and lessons learned. URL: <http://www.city>, data view 12.07.2019.

39. Транспортная стратегия Берлина. URL: https://docs.google.com/gview?url=http://um-mag.ru/wp-content/uploads/2011/09/UM_4_2011_P.106-111. data view 12.07.2019.

40. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 1(5). – С.43–53.

41. Цветков В.Я., Щенников А.Н. Астатическое управление подвижными объектами // Славянский форум. – 2019. – № 1(23). – С.53–59.

УДК: 334.71: 656: 338.245

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Рогов И.Е. Директор Института довузовской подготовки, МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), E-mail: rogov@mirea.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье исследуется моделирование транспортных потоков. Рассмотрены относительно простые модели потоков. Критически осмыслены недостатки современного управления транспортными потоками. Отмечена необходимость применения многоцелевого управления и вероятностной логики при управлении транспортными потоками. Отмечена необходимость применения информационных моделей, таких как модель информационной ситуации. Показано различие между аналитическим и инженерным методами анализа транспортных потоков. Отмечены существующие недостатки моделей транспортных потоков. Указаны пути дальнейшего совершенствования управления транспортными потоками.

Ключевые слова: транспорт, транспортный поток, математические модели, пространственные модели, нестационарность.

MODELING OF TRAFFIC FLOWS

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

Annotation. In the article is researched the modeling of traffic flows. Are analyzed relatively simple flow models. Critically comprehended the shortcomings of modern traffic management. The article emphasizes the need for multi-purpose management and probabilistic logic in traffic management. The article proves the need for the use of information models, such as the information situation model. The difference between the analytical and engineering methods for analyzing traffic flows is shown. The existing shortcomings of traffic flow models are noted. Directions for further improvement of traffic management are described in the article.

Keywords: transport, traffic flow, mathematical models, spatial models, non-stationarity.

Введение.

Глобализация ведет не только к информатизации [1] (цифровизации) общества, но и к интенсификации транспортных потоков. Ключевой проблемой, которую можно сравнить с проблемой больших данных [2], является проблема управления транспортными потоками [3-6]. Управление транспортными потоками — ключевая задача развития транспортной системы любой развитой страны. Современные транспортные потоки характеризуются большими объемами, нестационарностью, изменением пропускной способности трасс, большим числом пробок. Это требует динамических и многоцелевых методов управления транспортом [7, 8].

При решении сложных задач применяют методы моделирования и построения моделей, которые по мере накопления опыта усложняются и исключают недостатки первичных простых

моделей. В данной работе рассмотрена постановочная часть моделирования транспортных потоков, которая является началом решения более сложных проблем.

Основы моделирования транспортных потоков

Моделирование транспортных потоков связано с изучением информационного взаимодействия [9] между подвижными объектами и неподвижными объектами транспортной инфраструктуры. Цель моделирования транспортных потоков состоит: в решении задач оптимизации (математические решения); организации эффективного движения (оперативное управленческое решение); накопления опыта (стереотипов управления) по управлению потоками. Накопление опыта связано с созданием информационных моделей ситуации и решения проблем. Накопление опыта связано с созданием фактофиксирующих [10] и интерпретирующих моделей транспортных ситуаций [11-13]. Накопление опыта связано с созданием и применением геоинформационных моделей для управления транспортом. Накопление опыта связано с созданием и применением специальных моделей транспортных потоков.

Модели транспортных потоков продолжают развиваться как в направлении аналитического описания, так и в направлении численного решения оптимальных задач. Тем не менее, даже с появлением значительной вычислительной мощности, на сегодняшний день нет прикладной теории, которая может быть последовательно применена к реальным условиям движения. В современных моделях потоков движения используют совокупность эмпирических и теоретических моделей. Эти модели затем трансформируют в прогнозы движения, с учетом предлагаемых местных или крупных изменений, таких как увеличение использования транспортных средств, изменения в землепользовании или изменения в режиме транспорта. Эти комбинированные модели затем используют для определения области перегруженности движения, в которых необходимо скорректировать дорожный поток. Таким образом, существующие модели допускают дискретность в управлении и используют эту дискретность для практического применения.

В динамике транспортный поток ведет себя сложным и нелинейным способом, в зависимости от взаимодействия большого количества транспортных средств. Из-за индивидуальных реакций живых водителей транспортные средства не взаимодействуют просто по законам механики, а скорее показывают формирование кластеров и распространение ударной волны, как в прямом, так и в обратном направлении, в зависимости от плотности транспортного потока. В некоторых математических моделях потока трафика используется предположение о вертикальной очереди, в котором транспортные средства вдоль перегруженного соединения не разливаются по длине линии.

Теория потока трафика оперирует переменными скорости потока, потока и плотности (концентрации). Эти характеристики в основном связаны с непрерывным потоком трафика, главным образом, на автострадах или скоростных автомагистралях [4]. Условия потока считаются «свободными», когда на дороге проходит менее 12 автомобилей на милю. «Стабильный» поток иногда описывается как 12-30 автомобилей на милю на полосу. Когда плотность превышает оптимальную (выше 30 автомобилей на милю), поток трафика становится «неустойчивым», и даже незначительный инцидент может привести к постоянным условиям остановки и хода. Условие «пробоя» возникает, когда движение становится неустойчивым и превышает 67 автомобилей за милю. [14] «Плотность застревания» относится к экстремальной плотности движения, когда поток движения полностью прекращается, обычно в диапазоне 185-

250 автомобилей на милю на полосу [15].

Однако расчеты перегруженных сетей более сложны и в большей степени зависят от эмпирических исследований и экстраполяции фактических подсчетов. Поскольку на них влияют городской или пригородный характер движения, другие факторы (такие как безопасность дорожного движения и экологические требования).

Моделирование потоков.

Существуют общие пространственно-временные эмпирические особенности пробок, которые качественно одинаковы для разных автомагистралей в разных странах, измеренных в течение лет наблюдений за движением. Некоторые из этих общих особенностей перегруженности трафика определяют синхронизированный поток и широкие движущиеся фазы движения заторможенного трафика в теории трехфазного трафика [5].

Трафик (односторонний) обычно моделируют одномерным путем. График пространства-времени обычно показывает поток транспортных средств вдоль пути с течением времени. Время отображается вдоль горизонтальной оси, а расстояние отображается вдоль вертикальной оси. Трафик на такой временной диаграмме представлен отдельными линиями траекторий отдельных транспортных средств. Транспортные средства, следующие друг за другом вдоль данной дорожной полосы, будут иметь параллельные траектории. Диаграммы времени-пространства являются полезными инструментами для отображения и анализа характеристик потока трафика для данного участка дороги с течением времени (например, анализ перегруженности транспортного потока).

Для визуализации потока трафика существуют три основные переменные: скорость (v), плотность (k , количество транспортных средств на единицу пространства) и поток (q , количество транспортных средств за единицу времени). Собственно, в таком обозначении имеют место пространственная (k) и временная (q) плотности, но для избежания путаницы их называют плотность и поток. Такая диаграмма приведена на рис.1.

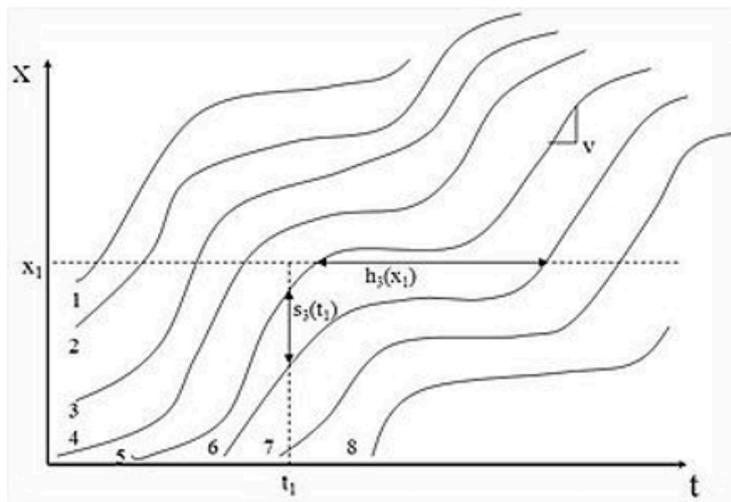


Рисунок 1. Пространственно-временная диаграмма движения.

С применением количественных характеристик, количество объектов в i -ом интервале $h_i(x_i) = q \Delta T$. Количество объектов на j – ой дистанции (сегмент дороги) $s_j(t_j) = k \Delta L$.

Скорость — это расстояние, пройденное за единицу времени. Невозможно отслеживать

скорость каждого транспортного средства, как например, в физике для отдельной материальной точки. Здесь имеет аналогия с гидродинамикой. Поэтому на практике средняя скорость потока измеряется путем отбора образцов транспортных средств в данной области в течение определенного периода времени. Выделяются два определения средней скорости: «плотностная средняя скорость» и «временная средняя скорость».

«Временная средняя скорость» измеряется в контрольной точке на проезжей части в течение определенного периода времени. На практике она измеряется с помощью петлевых детекторов. Детекторы цикла, когда они распределены по опорной зоне, могут идентифицировать каждое транспортное средство и отслеживать его скорость. Однако измерения средней скорости, полученные этим методом, неточны, поскольку мгновенные скорости, усредненные по нескольким транспортным средствам, не учитывают разницу во времени движения для транспортных средств, которые движутся с разной скоростью на одном и том же расстоянии

$$V_t = 1 / m \sum v_i ; i = 1 \dots m, \quad (1)$$

Где m — количество транспортных средств, проходящих через неподвижную точку, а v_i — скорость i -го транспортного средства.

«Плотностная средняя скорость» измеряется по всему сегменту дороги. Последовательные снимки или видеоролики сегмента дороги отслеживают скорость отдельных транспортных средств, а затем вычисляют среднюю скорость. Этот метод считается более точным, чем временная средняя скорость. Данные для пространственной расчетной средней скорости могут быть взяты из спутниковых снимков, камеры или обоих.

$$V_s = (1 / n \sum 1/v_i)^{-1} ; i = 1 \dots n, \quad (2)$$

Где n — количество транспортных средств, проходящих через сегмент дороги. Вводят понятие, «средняя обобщенная скорость», которая является гармоническим средним двух рассмотренных скоростей. Средневзвешенная скорость не меньше, чем средняя обобщенная скорость

На временной диаграмме мгновенная скорость, $v = dx/dt$, транспортного средства равна наклону вдоль траектории транспортного средства. Средняя скорость транспортного средства равна наклону линии, соединяющей конечные точки траектории, где транспортное средство входит и выходит из участка дороги. Вертикальное разделение (расстояние) между параллельными траекториями — расстояние между транспортными средствами между ведущим и следующим транспортным средством. Аналогичным образом, горизонтальное разделение (время) представляет собой прохождение транспортного средства (h). Диаграмма временного пространства полезна для соотнесения прохода и расстояния между потоком трафика и плотностью соответственно.

Плотность. Плотность (k) определяется как количество транспортных средств на единицу длины дорожного полотна.

В транспортном потоке две наиболее важные плотности — это критическая плотность (k_c) и плотность сжатия (k_j). (рис.2) Максимальная плотность, достигаемая при свободном потоке, равна k_c , а k_j — максимальная плотность, достигаемая при перегрузке. Эмпирически установлено, что плотность затора в семь раз превышает критическую плотность. Обратная плотность — это

расстояние (интервалы), которое является расстоянием между центрами между двумя транспортными средствами.

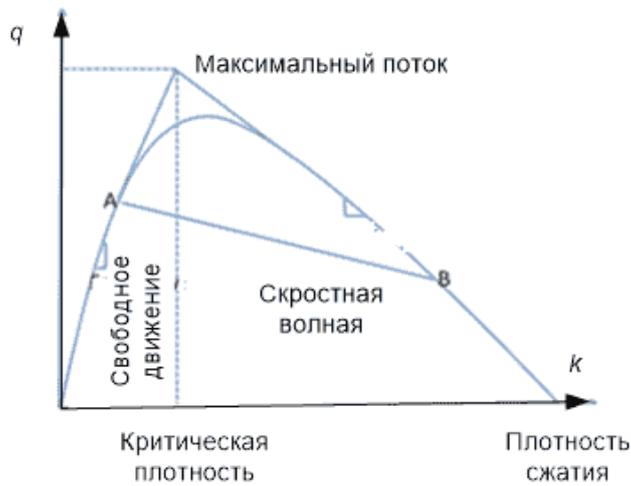


Рисунок 2. Отношение плотностей потока, где $k=1/s$

Плотность (k) в пределах длины дорожного полотна (L) в данный момент времени (t_1) равна \bar{s} обратному среднему расстоянию n транспортных средств.

$$K(L, t_1) = n/L = 1 / (\bar{s}(t_1)), \quad (3)$$

На временной диаграмме плотность может быть оценена в области A.

$$k(A) = n/L = n \, dt / L \, dt = tt / |A|, \quad (4)$$

Где tt – общее время прохождения в A (рис.3).

Поток. Поток (q) — это количество транспортных средств, проходящих контрольную точку за единицу времени, транспортных средств в час. Обратный поток — это скорость (h), которая проходит между i -м автомобилем, проходящим через контрольную точку в пространстве и ($i + 1$)-м транспортным средством. В заторах h остается постоянным. В качестве условной пробки h приближается к бесконечности.

$$q = kv$$

$$q = 1 / h$$

Поток (q), проходящий неподвижную точку (x_1) в течение интервала (T), равен обратному среднему прохождению транспортных средств m .

$$q(T, x_1) = m/T = 1 / (\bar{h}(x_1)), \quad (5)$$

На временной диаграмме поток может быть оценен в области B (рис.3).

$$q(B) = m/T = (m \, dx) / (T \, dx) = td / |B|, \quad (6)$$

Где td — полное расстояние, пройденное в В.

Перегруженность ударной волной (Congestion shockwave). В дополнение к предоставлению информации о скорости, потоке и плотности потоков трафика диаграммы пространства-времени могут иллюстрировать распространение перегрузки вверх по потоку от узкого места трафика (ударная волна). Ударные волны перегрузки будут варьироваться в зависимости от длины распространения, в зависимости от потока и плотности восходящего потока. Однако ударные волны, как правило, движутся вверх по течению со скоростью около 20 км/ч

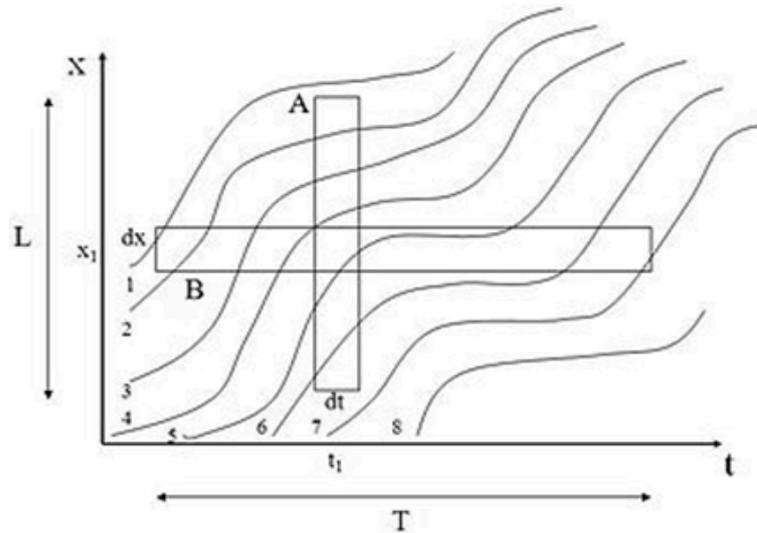


Рисунок 3. Модели плотностей.

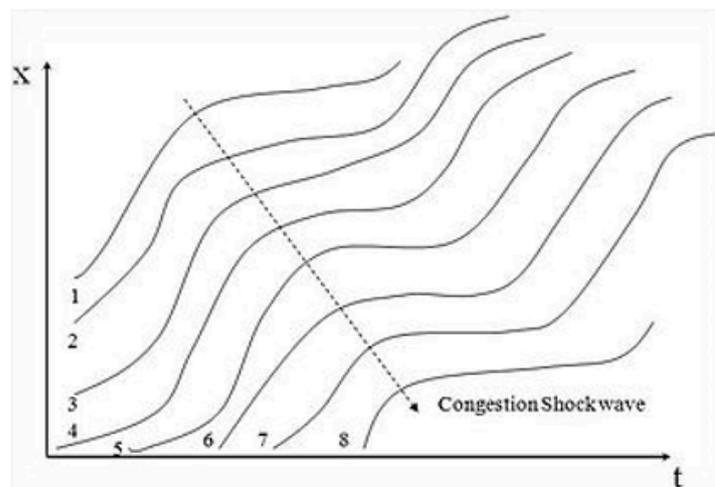


Рисунок 4. Перегруженность ударной волной (Congestion shockwave).

Стационарный график. Трафик на участке дороги считается неподвижным, если наблюдатель не обнаруживает движение в произвольной области диаграммы пространства-времени. Движение остается неподвижным, если все траектории транспортного средства

параллельны и равноудалены. Он также является стационарным, если он представляет собой суперпозицию семейств траекторий с этими свойствами (например, быстрые и медленные драйверы). Используя очень маленькое отверстие в шаблоне, иногда можно было видеть пустую область диаграммы, а иногда и нет, так что даже в этих случаях можно сказать, что трафик не был неподвижным. Ясно, что для такого точного уровня наблюдения стационарного движения не существует. Микроскопический уровень наблюдения должен быть исключен из определения, если трафик становится похожим на большие окна. Фактически, мы еще более ослабляем определение, только требуя, чтобы величины $t(A)$ и $d(A)$ были примерно одинаковыми, независимо от того, где находится «большое» окно (A) (рис.3).

Методы анализа потоков

Аналитический подход. Аналитики потоков подходят к проблеме тремя основными способами, соответствующими трем основным шкалам наблюдений в физике:

Микроскопическая шкала (локальная шкала): на самом базовом уровне каждое транспортное средство считается индивидуальным. Для каждого можно написать уравнение, обычно обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ). Могут также использоваться модели автоматизации сотовой связи, где дорога делится на ячейки, каждая из которых содержит движущийся автомобиль или пуста. Модель Нагеля-Шрекенберга является простым примером такой модели. По мере взаимодействия автомобилей они могут моделировать коллективные явления, такие как пробки.

Макроскопическая шкала. Подобно моделям динамики флюидов, считается полезным использовать систему уравнений с частными производными, которая балансирует законы для некоторых больших величин интереса; например, плотность транспортных средств или их средняя скорость.

Мезоскопическая (кинетическая) шкала: третья, промежуточная возможность состоит в том, чтобы определить функцию $f(t, x, V)$. Эта функция выражает вероятность наличия транспортного средства (которое движется со скоростью V) в момент времени t на позиции x . Эта функция, следуя методам статистической механики, может быть вычислена с помощью интегро-дифференциального уравнения, такого, как уравнение Больцмана.

Инженерный подход к анализу проблем движения автомобильных дорог в основном основан на эмпирическом анализе, то есть на наблюдении эмпирической кривой потока. Одна из основных ссылок, используемых американскими практиками планировщиками движения на магистралях, — это Руководство по пропускной способности шоссе [16]

Этот документ рекомендует моделировать потоки трафика с использованием всего времени движения с использованием функции задержки / потока, включая эффекты очереди. Этот метод используется во многих моделях трафика США и в модели SATURN в Европе. [17]

Во многих частях Европы используется гибридный эмпирический подход к проектированию трафика, сочетающий макро-, микро- и мезоскопические функции. Моделируются неустойчивые «потоки спроса» на скопление, а не моделирование устойчивого состояния потока. Они моделируются с использованием небольших «срезов времени» по всей сети в течение рабочего дня или выходных.

Как правило, исходные данные и адресатов для поездок сначала оцениваются, а модель трафика генерируется до калибровки путем сравнения математической модели с наблюдаемыми подсчетами фактических потоков трафика, классифицированных по типу транспортного средства. Затем «Матричная оценка» применяется к модели для достижения

лучшего соответствия наблюдаемому количеству ссылок перед любыми изменениями, а пересмотренная модель используется для создания более реалистичного прогноза трафика для любой предлагаемой схемы. Модель будет выполняться несколько раз (включая текущий базовый уровень, прогноз «средний день», основанный на ряде экономических параметров и поддерживаемый анализом чувствительности), чтобы понять последствия временных блокировок или инцидентов вокруг сети. Из моделей можно суммировать время, затраченное на всех водителях различных типов транспортных средств в сети, и таким образом вывести средний расход топлива и выбросы.

Большая часть британской, скандинавской и голландской практики власти – использовать программу моделирования CONTRAM для крупных схем. Она была разработана в течение нескольких десятилетий под эгидой Британской транспортной исследовательской лаборатории, а в последнее время при поддержке Шведской дорожной администрации [18]. Путем моделирования прогнозов дорожной сети на несколько десятилетий в будущем экономические выгоды от изменений в дорожной сети могут быть рассчитаны с использованием оценок стоимости времени и других параметров. Затем выходные данные этих моделей могут быть загружены в программу анализа затрат и результатов [19].

Совокупные кривые оцени транспортных потоков (N- кривые)

Совокупная кривая количества транспортных средств, N- кривая, показывает совокупное количество транспортных средств, которые проходят через определенное место x за время t , измеренное от прохождения какого-либо эталонного транспортного средства [9] (рис.5)

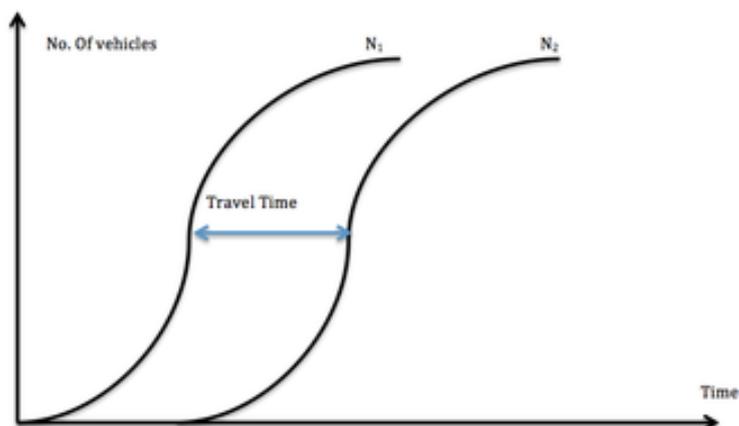


Рисунок 5. Простые кумулятивные кривые

Методически эта кривая напоминает логистическую кривую (сигмоиду) и соответствует процессу использования ресурсов [20-22] в течении жизненного цикла. Данная кривая может быть построена, если время прибытия известно для отдельных транспортных средств, приближающихся к местоположению x , а время отправления также известно, поскольку они покидают местоположение x .

Получение сроков прибытия и отправления может быть основано на сборе пространственно временных сбор данных методом геотехнического мониторинга. Например, можно установить два точечных датчика в точках $X1$ и X и подсчитать количество транспортных средств, которые проходят этот сегмент, одновременно записывая время, когда каждое транспортное средство прибывает на $X1$ и отходит от $X2$.

Результирующий график представляет собой пару кумулятивных кривых, где вертикальная ось (N) представляет собой совокупное количество транспортных средств, которые проходят две точки: $X1$ и $X2$, а горизонтальная ось (t) представляет собой прошедшее время (travel time рис.5) из $X1$ и $X2$. Обращает на себя внимание, что выше кривых движения нет.

Если транспортные средства не испытывают задержек при перемещении от $X1$ до $X2$, то прибытие транспортных средств в месте $X1$ представлено кривой $N1$, а прибытие транспортных средств в месте $X2$ представлено $N2$ на рисунке 8.

Обычно кривая $N1$ известна как кривая прибытия транспортных средств в местоположении $X1$, а кривая $N2$ известна как кривая прибытия транспортных средств в местоположении $X2$. Использование однополосного сигнального подхода к пересечению в качестве примера, где $X1$ – местоположение стоп-бара при заходе на посадку, а $X2$ – произвольная линия на приемной полосе только через пересечение, когда сигнал трафика зеленый. Транспортные средства могут перемещаться по обеим точкам без задержки и времени, которое требуется для перемещения, это расстояние равно времени свободного хода. Графически это показано как две отдельные кривые на рисунке 5.

Возможна другая информационная ситуация (рис.6). Она возникает, когда сигнал дорожного движения красный, транспортные средства поступают в зону стоп-бар ($X1$) и задерживаются красным светом перед пересечением $X2$ через некоторое время после того, как сигнал станет зеленым.

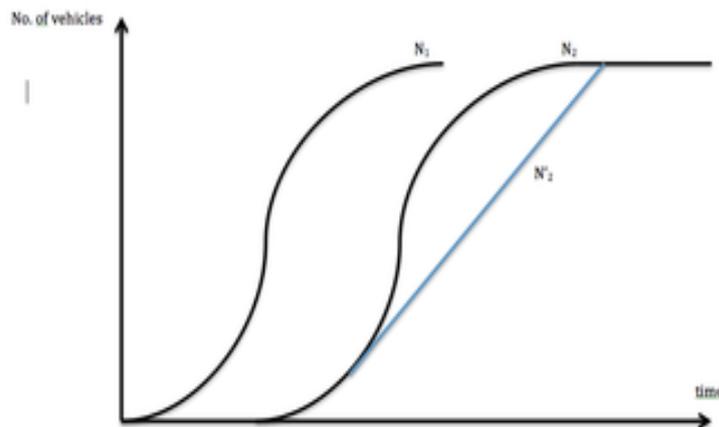


Рисунок 6. Графики прибытия, виртуального прибытия и отправления

В результате очередь стоит на стоп-линии, так как все больше транспортных средств прибывают на пересечение, в то время как сигнал трафика по-прежнему остается красным. Следовательно, до тех пор, пока транспортные средства, прибывающие на перекресток, все еще будут препятствовать очереди, кривая $N2$ больше не представляет собой прибытие транспортных средств в местоположении $X2$.

Теперь он представляет виртуальное прибытие транспортных средств в месте $X2$, или, другими словами, он представляет собой прибытие транспортных средств на $X2$, если они не испытывают каких-либо задержек. Прибытие транспортных средств в месте $X2$ с учетом задержки с сигналом движения теперь представлено кривой $N2$ на рисунке 6.

Однако понятие виртуальной кривой прибытия не точно. Эта кривая неправильно отображает длину очереди, возникающую в результате прерывания трафика (т. е. Красного сигнала). Он предполагает, что все транспортные средства по-прежнему достигают стоп-бара,

прежде чем задерживаться красным светом. Другими словами, кривая виртуального прибытия отображает укладку транспортных средств вертикально на стоп-бар. Когда сигнал трафика становится зеленым, эти транспортные средства подаются в порядке поступления в первый раз (FIFO). Однако для подхода с несколькими полосами порядок обслуживания не обязательно является FIFO. Тем не менее, интерпретация по-прежнему полезна из-за обеспокоенности средней суммарной задержкой, а не общих задержек для отдельных транспортных средств [23].

Сигнально шаговое управление против гладкой функции

Пример светофора показывает N-кривые как гладкие функции. Теоретически, однако, построение N- кривых из собранных данных должно приводить к ступенчатой функции (рисунок 7). Каждый шаг представляет собой прибытие или отъезд одного транспортного средства в этот момент времени [23]. Когда N – кривая рисуется в более крупном масштабе, отражая период времени, охватывающий несколько циклов, тогда шаги для отдельных транспортных средств можно игнорировать, и тогда кривая будет выглядеть как плавная функция (рисунок 6).

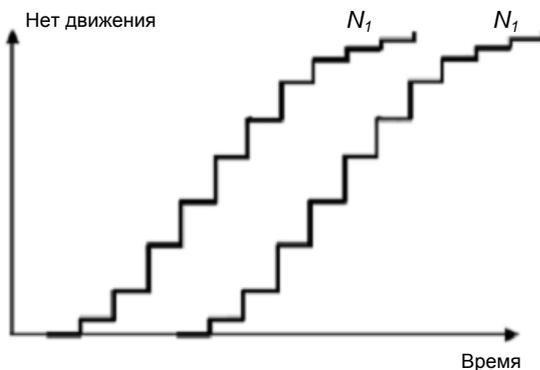


Рисунок 7. Сигнально-блоковое управление или шаговая кривая.

В России такое управление называют сигнально-блоковым.

N-кривые как характеристики потока трафика

N-кривая может использоваться в нескольких анализах трафика, включая узкие места в автостраде и динамическое распределение трафика. Это связано с тем, что некоторые характеристики трафика могут быть получены из графика кривых совокупного количества транспортных средств. На рисунке 8 показаны различные характеристики потока трафика, которые могут быть получены из N-кривых

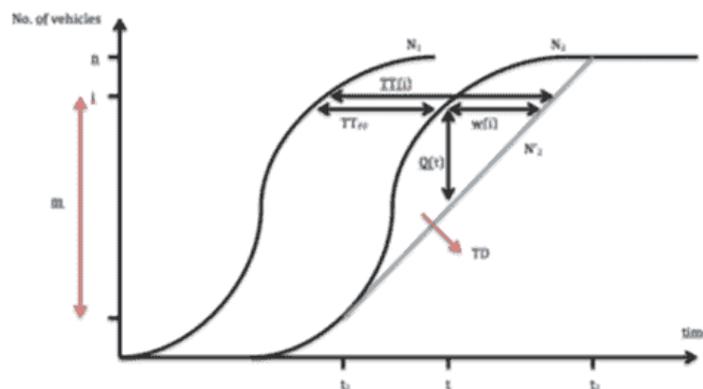


Рисунок 8. Характеристики потока движения для двух N- кривых

Характеристики потока трафика из рис. 8 приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики потоков движения.

Символ	Определение
N_1	Общее количество транспортных средств, прибывающих в место X 1
N_2	Виртуальное кумулятивное количество транспортных средств, прибывающих в место X2, или совокупное количество транспортных средств, которые хотели бы перекрестить X2 по времени t
$N' 2$	Фактическое кумулятивное количество транспортных средств, прибывающих в место X 2
TT FF	Время, необходимое для перемещения из местоположения X1 в местоположение X2 в условиях свободного потока
$W(i)$	Задержка, испытываемая транспортным средством i при ее перемещении от X1 до X2
$TT(i)$	Общее время, необходимое для перемещения от X1 до X2, включая задержки ($TT FF + w(i)$)
$Q(t)$	Очередь в любое время t или количество транспортных средств, задерживаемых в момент времени t
N	Общее количество транспортных средств в системе
m	Общее количество транспортных средств с задержкой
TD	Общая задержка, испытываемая m транспортными средствами (площадь между N_2 и N_2')
T 1	Время начала заторов
T 2	Время, в которое заканчивается скопление

Заключение

Данная работа является введением в теорию моделирования транспортных потоков и показывает некоторые проблемы и решения. Даже не очень удачное решение лучше, чем полное отсутствие решений. В критическом обзоре [24] поясняется, что общепринятые классические основы и методологии теории движения и транспорта несовместимы с набором фундаментальных эмпирических особенностей пробоя трафика на узком месте дороги. Недостатком многих существующих подходов к анализу транспортных потоков является исключение из рассмотрения информационных моделей и замена их математическими моделями. Возникает необходимость применения вероятностной логики [25-27], которая пока ограниченно применяется в управлении транспортом. Пока все сводится к применению ТДШ [28] для некоторых ситуаций.

Основная проблема сводится к применению гладких математических моделей, в то время как реальные условия допускают движение потока с нарушением условия непрерывности. Отметим

следующие проблемы:

- эмпирические особенности разрыва непрерывности трафика на узких местах движения
- эмпирические особенности разрыва непрерывности трафика при авариях
- эмпирические особенности разрыва непрерывности трафика при резкой смене климатических условий (дождь, град, туман).

Ни одна из классических теорий изменения трафика не соответствует множеству эмпирических особенностей реальных ситуаций. Одним из путей совершенствования переход к информационным моделям типа: информационной ситуации, информационной конструкции и информационной единицы как элемента трафика.

Список литературы.

1. Цветков В.Я. Глобализация и информатизация // Информационные технологии. – 2005. – № 2. – С.2–4.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. – 2017. – Т.15, – № 6(73). – С.20–30.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, – 1966.
4. Henry Lieu (January–February 1999). "Traffic-Flow Theory". Public Roads. US Dept of Transportation (Vol. 62 – № 4).
5. Boris S. Kerner, "Criticism of generally accepted fundamentals and methodologies of traffic and transportation theory: A brief review", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 392, P.5261–5282 (2013). doi:10.1016/j.physa.2013.06.004.
6. N. Bellomo, V. Coscia, M. Delitala, On the Mathematical Theory of Vehicular Traffic Flow I. Fluid Dynamic and Kinetic Modelling, Math. Mod. Meth. App. Sc., Vol. 12, – № 12 (2002) P.1801–1843.
7. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 4(8). – С.40–47.
8. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. – 2012. – № 2(2). – P.140–143.
9. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. – 2013. – № 11-1(62). – С.2573–2577.
10. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 9-3. – С.487–487.
11. Дышленко С. Г. Ситуационный анализ в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 1(5). – С.26–33.
12. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 2(6). – С.16–24.
13. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 2(2). – С.2–10.
14. Rijn, John. "Road Capacities" (PDF). Indevlopment. Retrieved 22 July 2014.
15. V.L. Knoop and W. Daamen (2017). "Automatic fitting procedure for the fundamental diagram". Transportmetrica B: Transport Dynamics. 5(2): P.133–148. doi:10.1080/21680566.2016.1256239/.
16. Lint, J. W. C. V., "Reliable travel time prediction for freeways", Phd thesis, Netherlands TRAIL

Research School, 2004.

17. Manual H. C. Highway capacity manual //Washington, DC. – 2000.
18. Gautier D., Lacombe A., Revah I. Saturn-Its thermal profile from infrared measurements //Astronomy and Astrophysics. – 1977. – V. 61. – P.149–153.
19. Taylor N. B. The CONTRAM dynamic traffic assignment model //Networks and Spatial Economics. – 2003. – V. 3. – № 3. – С. 297–322.
20. V. Ya. Tsvetkov, Resource Method of Information System Life Cycle Estimation // European Journal of Technology and Design. – 2014. – № 2(4). – P.86–91.
21. Елсуков П.Ю., Цветков В.Я. Логистическая модель жизненного цикла сложной системы // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 1. – С.71–78.
22. Цветков В. Я. Оценка жизненного цикла корпоративной информационной системы // Славянский форум. – 2014. – № 1(3). – С.359–363.
23. Cassidy, M.J.; Bertini, R.L. (1999). "Some Traffic Features at Freeway Bottlenecks". Transportation Research Part B: Methodological. 33 (1): – P.25–42. doi:10.1016/S0191-2615(98)00023-X.
24. Laval, Jorge (2018). Traffic Flow Theory.
25. Цветков В.Я., Сосиков В.А. Вероятностно логический анализ // Сборник трудов IX Международной научной конференции «ИТ – СТАНДАРТ 2019». – С.202–207.
26. Господинов С.Г. Вероятностно логический анализ // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1. – С.3–8.
27. Ожерельева Т. А. Применение вероятностной логики в тестирования // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1. – С.8–16.
28. Охотников А.Л. Вероятностное ситуационное управление на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 2(10). – С.89–98.

УДК: 625. 3

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Болбаков Р. Г. к.т.н., доцент, зав. кафедрой, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), E-mail: antaros05@yandex.ru, Москва, Россия.

Аннотация. В статье рассматривается применение интегрированного мониторинга транспортных объектов. Раскрывается содержание данного вида мониторинга. Показано, что такой технологический комплекс представляет собой целостную систему. Показана технологическая структура интегрированного мониторинга. Показана связь интегрированного мониторинга с другими видами мониторинга. Раскрывается применение моделей в интегрированном мониторинге транспорта. Дается прогноз использования интегрированного мониторинга для решения различных транспортных проблем.

Ключевые слова: транспорт, мониторинг, интегрированный мониторинг, геомониторинг, геоинформационный мониторинг, материальные потоки, цифровые технологии.

INTEGRATED MONITORING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES

Okhotnikov A.L. Ph.D.(Tech.), Assistant professor, Head of the Department, Russian Technologies University (RTU MIREA), E-mail: antaros05@yandex.ru, Moscow, Russia

Annotation. In the article is described the application of integrated monitoring of transport objects. The paper discloses the contents of this monitoring. The article proves that such a technological complex is an integrated system. The technological structure of integrated monitoring is described in the article. The relationship of integrated monitoring with other types of monitoring is shown. The article describes the use of models in integrated vehicle monitoring. The article predicts the use of integrated monitoring to solve various transport problems.

Keywords: transport, monitoring, integrated monitoring, geomonitoring, geoinformation monitoring, material flows, digital technologies.

Введение

Одной из стратегических задач развития Российских железных дорог (РЖД) [1] является переход на цифровые методы контроля и управления транспортом железных дорог (распоряжение открытого акционерного общества (ОАО) «Российские железные дороги» № 2511 от 03.12.2010 г.). Для цифровых методов управления транспортом [2-5] требуется техническая и информационная поддержка, включающая коммуникационные технологии и мониторинг. Мониторинг в системе управления движением и транспортной инфраструктурой выполняет функции поддержки.

При мониторинге транспорта применяют разные виды мониторинга: геодезический [6] геоинформационный мониторинг [7], космический мониторинг [8], глобальный мониторинг [9] и интегрированный мониторинг. Методически проблемы интеграции решает геоинформационный мониторинг, технологически проблемы интеграции решает глобальный мониторинг, который включает космический и геоинформационный мониторинг. Космические технологии являются важным средством получения пространственной информации [10]. Технологии космического мониторинга получают информацию в полной зоне спектра электромагнитных волн и являются целостной системой, позволяющей дублировать информацию, получаемую по разным каналам. Большое значение космические методы занимают при создании и эксплуатации цифровой железной дороги.

Глобальный мониторинг служит основой формированию интегрированного мониторинга. Интегрированный мониторинг включает геоинформационный мониторинг, космический мониторинг, геотехнический мониторинг, но интегрирует все это в единую целостную систему, исключая разрозненное применение отдельных технологий. Интегрированный мониторинг является целостной системой со всеми системными преимуществами. Происходит интеграция разных видов мониторинга, которая отражает общие тенденции интеграции в науке и технике. Эта интеграция и приводит к появлению интегрированного мониторинга как новой технологии.

Содержание интегрированного мониторинга

Развитие современного транспорта и инфраструктуры невозможно без применения мониторинга. Интегрированный мониторинг, как и другие виды мониторинга, имеет определенные компоненты. Его структура приведена на рис.1.

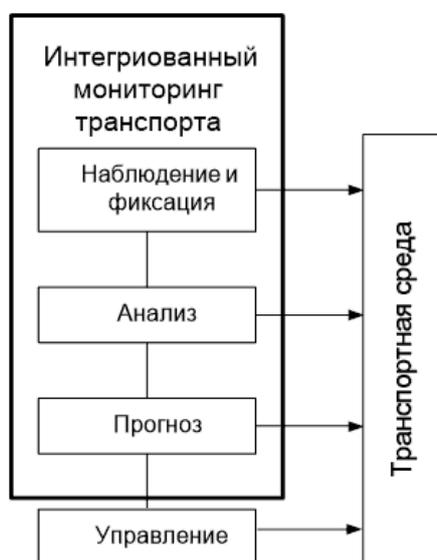


Рисунок 1. Технологические компоненты интегрированного мониторинга

Интегрированный мониторинг в качестве основы использует космические средства и методы. На рис.2 приведена интеграционная структура интегрированного мониторинга. Геоинформационный мониторинг как методика служит основой космического мониторинга. Он используется независимо и в составе космического мониторинга. Геотехнический мониторинг отличается от геодезического мониторинга тем, что он включает и использует множество сенсоров и датчиков, которые к геодезическому оборудованию не относятся

Все виды мониторинга, входящие в интегрированный мониторинг, входят в геомониторинг. В интегрированном мониторинге они образуют систему, а в геомониторинге они могут быть слабо связаны или использоваться независимо. Через непосредственные измерения интегрированный мониторинг обследует объекты транспортной инфраструктуры. Через модели и расчеты интегрированный мониторинг обследует грузопотоки. Это определяет важность моделирования и моделей в этом виде мониторинга. Интегрированный мониторинг служит основой развития интегрированной логистики [11].



Рисунок 2. Взаимосвязь интегрированного мониторинга с другими видами мониторинга.

Космический мониторинг как метод глобального наблюдения земной поверхности имеет ряд преимуществ, к главным из которых относятся [12]: обзорность космических средств; возможность получения информации на большой территории; возможность наблюдений в труднодоступных районах; получение информации в полном диапазоне электромагнитных волн. Особенностью их развития является диверсификация или дифференциация.

Одним из важных факторов перехода к интегрированному мониторингу является повышение скорости обработки информации и управления. Другим фактором является возможность подключения новых технологий к системе мониторинга, таких как использование БПЛА [13], технологии «интернета вещей» [14], облачные вычисления [15] и другие. При этом включение новых технологий в систему интегрированного мониторинга не нарушает целостности системы мониторинга.

Мониторинг применяют для разных целей. Это требует систематизации и классификации мониторинга. В таблице 1 приведена классификация интегрированного мониторинга транспортных объектов.

Таблица 1.

Классификация интегрированного мониторинга.

Критерий	Вид
1. Активность объекта	Активный
	Пассивный
2. Вид транспорта	Железнодорожный
	Автомобильный
	Воздушный
	Водный
3. Масштаб мониторинга	Трубопроводный
	Глобальный
	Международный
	Национальный
	Региональный
4. Цели мониторинга	Локальный
	Подвижные объекты
	Инфраструктура транспорта
	Окружающая среда
	Комплексные
5. Применяемые модели движения	Текущая
	Ретроспективная
	Перспективная
6. Объект мониторинга	Объект
	Груз
	Поток
7. График движения	Нормальный
	Нарушение графика
8. Скоростная характеристика	Нормальное движение
	Скоростное
	Высокоскоростное
9. Вид поддержки мониторинга	Наземная стационарная
	Высотная воздушная
	Мини высотная воздушная
	Наземная транспортная
	Космическая
10. Диапазон электромагнитных волн	Инфракрасный
	Оптический
	Радиолокационный
	Рентгеновский

Дадим кратко пояснение некоторым видам мониторинга. По активности мониторинга выделяют: 1. Активный мониторинг. 2. Пассивный мониторинг.

Активный мониторинг означает, что объект мониторинга имеет некий источник излучения, который характеризует данный объект. Например, радиотехническая идентификационная метка. Этот сигнал поступает в систему мониторинга, где дает информацию о нахождении объекта. Пассивный мониторинг включает дистанционное наблюдение объекта без контакта с ним. В этом случае система мониторинга посылает сигнал, который отражается от объекта.

По масштабу мониторинга разделяют: 1. Глобальный мониторинг. 2. Международный мониторинг. 3. Национальный мониторинг. 4. Региональный мониторинг. 5. Локальный мониторинг

Глобальный мониторинг применяют для изучения процессов и явлений, протекающих в масштабе земного шара [16]. Он исследует глобальные изменения на земной поверхности.

Организация глобального мониторинга окружающей среды осуществляется в рамках программ ООН и Всемирной метеорологической организации. Глобальный мониторинг широко применяют для управления транспортными средствами, перемещающимися на большие расстояния.

Международный мониторинг применяют для изучения экономических и экологических процессов, протекающих в масштабе континента и нескольких государств. Он служит основой управления транзитными перевозками. Национальный мониторинг применяют для изучения экономических и экологических процессов, протекающих на территории одного государства. Часто он дифференцируется в отраслевой мониторинг: Мониторинг железнодорожного транспорта, мониторинг водного транспорта, мониторинг воздушного транспорта.

Региональный мониторинг применяют для наблюдения в рамках субъектов Федерации и особых экономических зон. Целью интегрированного регионального мониторинга является контроль за транспортом и перевозками внутри данного региона и оценка эффективности внутренних перевозок. Мониторинг транспорта мегаполиса [17, 18] относится к этому виду мониторинга. Этот мониторинг применяют при управлении устойчивым развитием территорий [19].

Локальный мониторинг или мониторинг объектов применяют к отдельным объектам, транспортная инфраструктура. Контроль эффективного использования транспорта и транспортной инфраструктуры – важнейшая задача локального мониторинга. Один из видов локального мониторинга предполагает установку бортового блока на транспортные средства. С помощью передачи сигналов спутников через сеть GSM система мониторинга считывает координаты местонахождения транспорта, что позволяет осуществлять контроль перемещения транспорта. Здесь следует отметить связь спутниковых и наземных мобильных технологий. Функции контроля транспортных маршрутов дают возможность отслеживать нарушения в движении транспортных объектов в реальном времени.

Информационные модели как основа интегрированного мониторинга.

Интегрированный мониторинг представляет собой сложный комплекс интеграции космического геоинформационного, воздушного и геотехнического мониторинга. Основу организации такого комплекса составляют модели данных и информационные модели ситуаций. Основой интеграции данных служат геоданные. Модель геоданных при мониторинге показывает, какую важную роль играют правильные компоненты: «место», «время», «тема» при управлении транспортом и инфраструктурой. Эти данные широко применяют в геоинформатике [20], поэтому накоплен большой опыт их использования, который можно применить в интегрированном мониторинге. Применение геоданных включает использование таких новаций как интеллектуальный анализ данных [21, 22], моделирование пространственных и визуальных данных [23, 24], цифровое моделирование [25, 26], ситуационное моделирование [27] и пространственный анализ данных [28]

Исследование данных интегрированного мониторинга позволяет решать тактические и стратегические задачи. Например, данные по прошедшему году служат основой формирования плана за этот год. При использовании интегрированного мониторинга можно выделить два вида моделей: оперативные и тактические. Тактический подход имеет ограниченное приложение на небольших территориальных участках движения транспорта. Его преимущество необходимости обработки малого объема информации и в оперативности. Тактический подход в интегрированном мониторинге и управлении на этой основе опирается на глобальные

координатные системы. Он анализирует информацию на большой территории по всему маршруту. Он использует не локальные (местные) координаты, а координаты, связанные с геоцентрической внешней координатной системой. Его преимущество в возможности глубокого анализа. Ярким примером тактического подхода является применение глобальных навигационных спутниковых систем. Однако недостатком является необходимость обработки большого объема данных. В современных условиях это приводит к проблеме больших данных [27].

При интегрированном мониторинге подвижный объект можно отслеживать в реальном времени в любой точке мира. Информация о задержке движения посылается всем заинтересованным лицам. И если есть необходимость в изменении маршрута движения, это можно сделать оперативно. С появлением цифровых методов ЦЖД и цифровой логистики [30, 31] стало легче устранять потери в движении и сбои в доставки грузов. Интегрированный мониторинг позволяет прогнозировать погодные условия и учитывать их при планировании движения. От точки опарвления до точки прибытия весь путь отображается в цифровом виде.

Интегрированный мониторинг является целостной системой. Это является преимуществом, поскольку можно использовать системный подход для анализа технологий мониторинга и для анализа собранной информации.

В интегрированной системе все процессы связаны и легче контролируются. Интегрированный мониторинг можно рассматривать как сложную систему большого или небольшого масштаба. При организации большой системы мониторинга его можно также рассматривать как сложную организационно техническую систему [4]. Это упрощает управление такой системой, поскольку можно использовать опыт СОТС. Расширение скоростных режимов движения и рост объемов перевозок повышают требования к системам мониторинга. Для интегрированного мониторинга адаптация к повышению скорости движения не представляет большой проблемы.

Применение интегрированного мониторинга

Интегрированный мониторинг применяют для решения разных задач: контроль движения транспортных средств; контроль экологического состояния среды; контроль объектов недвижимости, контроль пожароопасных ситуаций, контроль за транспортной инфраструктурой и прочее. На рис.3 показан фрагмент транспортной инфраструктуры. Он получен на основе комической съемки в оптическом диапазоне. Это оперативная информация о состоянии объекта мониторинга.



Рисунок 3. Фрагмент инфраструктуры вокзала в г.Бургас (Болгария) по данным космической съемки (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)

Контроль расхода топлива – одно из самых востребованных функций современных систем космического локального мониторинга транспорта. Для примера рассмотрим контроль расхода топлива GPS системы «АвтоТрекер» [32]. Датчик расхода топлива устанавливается в бак автомобиля, где он собирает информацию об объеме жидкости в баке и передает её на бортовой блок. Датчик расхода топлива в системе «АвтоТрекер» является беспроводным, что позволяет монтировать его в топливные баки любых форм и размеров и экономить средства на процессе монтажа. Датчик расхода топлива позволяет определять места и дату слива топлива, а также – точное время этого события.

Широко применяют локальный космический мониторинг транспорта для контроля инфраструктуры. Примером может служить программа "Безопасность в масштабах мегаполиса" [33]. Современный город представляет собой сложную структуру. Он включает множество подсистем, одной из основных среди которых считается транспортная. Все подсистемы функционируют и взаимодействуют между собой. Для контроля работы всех подсистем, обеспечения безопасности уязвимых точек городской инфраструктуры, применяют комплексную информационную систему, интегрирующую данные, поступающие от множества источников, среди которых космическая информация играет важнейшую роль.

Транспортная система основана на передаче данных. С добавлением спутниковых технологий это может стать намного более надежным и позволить расширить инновационные возможности. И инфраструктура, и транспортные средства будут обмениваться большими объемами данных, что позволяет им мгновенно реагировать на изменения. Это может быть либо автономно, либо из удаленного местоположения, такого как транспортные узлы. На рис. 4 приведена схема интегрированного мониторинга транспортного средства с передачей информации по спутниковым каналам связи.

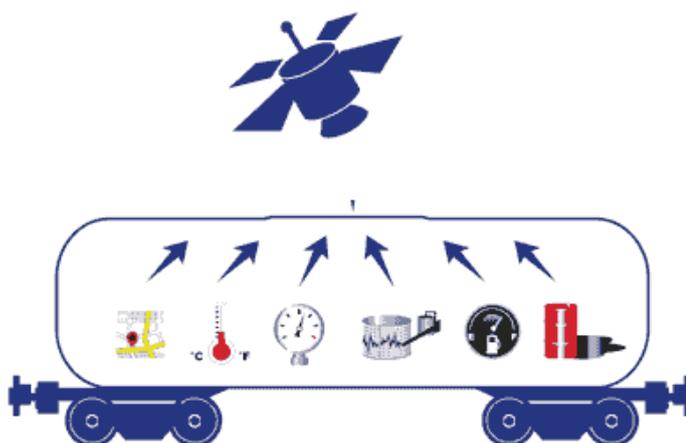


Рисунок 4. Схема интегрированного мониторинга с использованием космического канала связи

На рис.4 показана интеграция данных в единый информационный поток, который комплексно обрабатывается в ситуационном центре или автономно. Эти данные могут поступать от разных сенсоров и датчиков, включая: температурные данные, ресурсы аккумулятора, данные о местоположении, данные о маршруте, данные о нештатных ситуациях, данные о скорости движения, погодные условия движения, погодные условия на маршруте, перегруженность трафика и другое.

Космическая связь дополняет сотовую связь и повышает непрерывную и надежную передачи данных. Существуют многочисленные направления для применения интегрированного мониторинга в секторе транспорта и логистики. Поясним некоторые направления.

Общественный транспорт.

В ближайшие годы технологические достижения, такие как «Интернет вещей», призваны модернизировать полную инфраструктуру, включая сети общественного транспорта. Расписание автобусов не будет работать так же, как в настоящее время. Например, пользователи отправят в автобус сигнал о времени и месте их получения. Ближайшее транспортное средство будет отклонять свой маршрут, чтобы забрать пассажира.

Интегрированные технологии позволят регулярно обслуживать общественный транспорт. Поезда, например, смогут отправлять данные в местный транспортный узел, уведомляя соответствующие компании о том, что конкретным вагонам нужна помощь. Если транспортное средство в поезде чрезмерно используется или требует технического обслуживания, то транспортное средство через систему Интернета вещей может уведомить об этом центр управления, прежде чем средство выйдет из строя. Это позволит более эффективно использовать общественный транспорт, одновременно снижая эксплуатационные расходы.

Связь с транспортным средством и беспилотное управление.

На основе интегрированного мониторинга транспортные средства могут получать постоянный поток данных от транспортных узлов и спутников. Например, спутники смогут определять суровые погодные условия, такие как снежные бури. Эта информация будет передана в местный узел передачи. Это в свою очередь отправит уведомление каждому транспортному средству в зоне движения.

Система интернета вещей или кибер физическая транспортная система сообщит водителю /диспетчеру о неполадках. Например, батарея разряжена, а колеса не подходят для ожидаемых условий. Автомобиль сможет использовать спутниковую навигацию, чтобы найти оптимальный маршрут до ближайшей сервисной остановки.

Водители дальнбойщиков также смогут использовать спутниковые данные в своих интересах. Тахометр сигнализирует водителю, что ему скоро нужно отдохнуть. Предполагается, что текущий запланированный маршрут обеспечит водителю возможность остановиться и отдохнуть, а также заправится топливом, чтобы его поездка была максимально эффективной.

Управление трафиком и авариями.

Использование спутниковых данных поможет уменьшить заторы на наших дорогах. Когда происходят аварии или есть определенные периоды интенсивного движения, спутники на околоземной орбите смогут обнаружить их и уведомить транспортные узлы. Эти транспортные узлы смогут уведомлять транспортные средства в окрестностях и перенаправлять их на более короткий или более эффективный маршрут.

Когда происходит авария, вовлеченные транспортные средства могут автоматически отправлять уведомления в местный транспортный узел. Тяжесть аварии станет известна почти сразу, так что при необходимости могут быть направлены аварийные службы. Технология GNSS гарантирует, что место происшествия будет немедленно известно службам экстренной помощи.

Использование дронов

В транспортной отрасли есть два очевидных применения беспилотных летательных аппаратов. Во-первых, существуют беспилотники доставки и погрузки, которые являются в

ряде случаев альтернативой подъемным кранам. Они будут охватывать все, от быстрого питания до важных пакетов. Эти беспилотники будут отслеживаться для обеспечения успешной доставки пакетов. Они также будут общаться со своим окружением, чтобы исключить вероятность столкновения. Точное место доставки и контроль времени автономной работы также потребуют использования спутниковой связи.

Во-вторых, существуют более легкие беспилотники мониторинга дорожной ситуации. Если дорожно-транспортные происшествия когда-либо происходят, беспилотники скорой помощи могут стать идеальным выбором первого спасателя. Их можно использовать для участия в инциденте и оказания жизненно важной помощи тем, кто в этом участвует. Они будут использовать как GNSS, так и спутниковую связь для обеспечения немедленной передачи данных, а также точной навигационной информации.

Мониторинг опасных грузов – SAMOLOSA

Эта система мониторинга [34] отслеживает и контролирует транспортировку опасных грузов. Эти перевозки трудно контролировать в режиме реального времени. Поэтому система мониторинга использует спутниковые данные для этой цели. Эта технология будет контролировать ввод установленных параметров для дополнения новостей и требований заинтересованных сторон. Такое отслеживание обеспечит безопасное и надежное перемещение опасных грузов. Собранный объем собранной информации помогает оптимизировать логистику и определить ресурсы перевозок.

Техобслуживание зимних дорог – ASSIST WRM

Сектор зимнего содержания дорог стоит примерно 75 миллионов евро только в Европе. Учитывая это, у интегрированного мониторинга есть реальная возможность для инноваций в современных процессах и технологиях. В проекте Assist WRM [35] предполагается использовать технологию спутниковой навигации и спутниковые снимки на орбите Земли, чтобы обеспечить полный (и, возможно, автоматический) контроль оборудования для зимнего технического обслуживания и оптимизацию операций для сокращения ручного вмешательства. Предоставление операторам возможности сосредоточиться на простом управлении транспортным средством

Интеллектуальный мониторинг груза – RTICM

Интегрированный мониторинг создает условия для интеллектуального мониторинга. Такой мониторинг [36] RTICM – Real Time Intelligent Cargo Monitoring осуществляет экономически эффективный способ мониторинга и контроля цепочки транспортных перевозок контейнеров с высокой стоимостью по всему миру. Это охватывает все виды транспорта и направлено на то, чтобы помочь заинтересованным сторонам предпринять корректирующие действия в реальном времени для предотвращения потерь и повышения эффективности. В проекте используется глобальная спутниковая связь и спутниковая навигация для отслеживания и передачи данных

Заключение.

Потребности конечных потребителей в интегрированном мониторинге велики. Появление систем глобального отслеживания и космического мониторинга создают новое качество в мониторинге транспортной инфраструктуры. Интегрированный мониторинг основан на применении информационных интегрированных систем и технологий, систем электронного обмена данными, интегрированных систем управления базами данных. Особенность интегрированного мониторинга в том, что он является целостной сложной системой. Он допускает системное управление и системный анализ данных. Это качественно меняет

управление, контроль и адаптацию мониторинга транспорта. Различные поставщики логистических решений разрабатывают свои продукты для удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов. В настоящее время на рынке доступны различные продукты на основе облачных технологий для управления складскими, транспортными и рабочими требованиями. Основными движущими силами развития интегрированного мониторинга являются сокращение затрат и экономия времени, появление цифровых технологий, расширение использования приложений и данных с большим объемом данных и улучшение качества обслуживания.

Список литературы

1. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум, – 2015. – № 3(9) – С.244–250.
2. Розенберг Е. Н. Цифровая железная дорога – ближайшее будущее // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С.4–7.
3. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3(76). – С.50–61.
4. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система / Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 1(5). – С.69–79.
5. Уманский В. И., Павловский А. А., Дзюба Ю. В. Цифровая Железная Дорога. Технологический уровень // Перспективы науки и образования. – 2018. – № 1(31). – С.208–213.
6. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3(7). – С.64–70.
7. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С.151–155.
8. Бондур В.Г., Цветков В.Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта. // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 5(17). – С.130–135.
9. Tsvetkov V. Ya. Global Monitoring // European researcher. – 2012. – № 11-1(33). – С.1843–1851.
10. Савиных В.П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 1(13). – С.56–62.
11. Булгаков С.В. Интегрированная логистика // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3(7). – С.57–63.
12. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Картоцентр-Геодезиздат, 2001. – 224с.
13. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 1(5). – С.43–53.
14. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88с. ISBN 978–5–317–05579-0.
15. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Чехарин Е.Е. Облачные платформы и сервисы. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 80с.
16. 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, – № 7, – P.531–535.
17. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С.27–33.

18. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 4(8). – С.40–47.
19. Ознамец В.В. Моделирование устойчивого развития территорий // Науки о Земле. – 2018. – № 1. – С.61–69.
20. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. – 2013. – № 11. – С.2–7.
21. Hand D. J. Principles of data mining // Drug safety. – 2007. – Т. 30. – № 7. – Р. 621–622.
22. Шайтура С.В. Интеллектуальный анализ геоданных // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 6. – С.24–30.
23. Майоров А.А. Пространственное когнитивное моделирование // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 1. – С.33–37.
24. Шорыгин С.М. Визуальное моделирование в информационных технологиях // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 6. – С.19–25.
25. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4-2. – С.348–351.
26. Рувин И. Р. Применение цифровых моделей в материально техническом обеспечении // Науки о Земле. – 2013. – № 1. – С.018–023.
27. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле. – №4. – 2012. – С.72–76.
28. Булгаков С.В., Цветков В.Я. Пространственный анализ: Монография. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 216с.
29. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, – № 6(73). – С.20–30.
30. Vuxbaum P. A. Digital Logistics–Value Creation in the Freight Transport Industry // Eyefortransport Conference. – 2001. – Р.16–18.
31. Лёвин Б. А., Ефимова О. В. Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках // Мир транспорта. – 2017. – Т.15. – № 2. – С.142–149.
32. Сатовский Б. Система " Автотрекер": возможности и эффективность // Логистика. – 2008. – № 4. – С.24-25.
33. http://www.itv.ru/verticals/homeland_security Дата просмотра 20.08.2019.
34. <https://business.esa.int/projects/samolosa> Дата просмотра 20.08.2019.
35. <https://business.esa.int/projects/assist-wrm> Дата просмотра 20.08.2019.
36. <https://business.esa.int/projects/rticm> Дата просмотра 20.08.2019.

УДК: 519.113.115+681.3

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАСС

Ознамец В. В. к.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: voznam@bk.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье раскрывается содержание методов геодезического обеспечения трасс. Детализируются следующие методы: геодезические, визуально-инструментальные, параметрические, виброметрические, геофизические и температурные. Исследования показывают необходимость использования моделирования как основы геодезического обеспечения, использования геоданных и геоинформатики для интеграции наблюдений и комплексной оценки состояния железнодорожных трасс. Результатом геодезического обеспечения железнодорожных трасс должны быть информационные и пространственные модели и наборы стереотипов ситуаций с готовыми решениями.

Ключевые слова: транспорт, железнодорожный путь, геодезическое обеспечение, геотехнический мониторинг, методы наблюдений, моделирование, интеграция.

GEODETIC SUPPORT OF RAILWAY LINES

Oznamets V. V. PhD, Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAIK), E-mail: voznam@bk.ru, Moscow, Russia

Annotation. In the article is revealed the content of methods of geodetic support, the following methods are detailed: geodetic, visual-instrumental, parametric, vibrometric, geophysical and temperature. Studies show the need to use modeling as the basis of geodetic support. Studies show the need for the use of geodata and geoinformatics for the integration of observations and a comprehensive assessment of the state of railway lines. The result of geodetic support of railway lines should be information and spatial models and sets of stereotypes of situations with ready-made solutions.

Keywords: transport, railway, geodetic support, geotechnical monitoring, methods of observation, modeling, integration.

Введение.

Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс является комплексом технологий и включает: техническое, базовое технологическое и специальное технологическое обеспечение [1-5]. Техническое геодезическое обеспечение включает набор технических средств, применяемых ранее и новых технических средств. Особенность этого обеспечения состоит в том, что результаты использования должны быть комплементарны [6-8] и не должны противоречить друг другу. Процесс модернизации технических средств является постоянным. Он приводит не только к повышению производительности, но и к появлению возможности решения новых задач. Это влечет необходимость научных исследований в области мониторинга трасс железных дорог и создания новых методов их контроля. Базовое технологическое

обеспечение в значительной степени опираются на геотехнический мониторинг [9], геомониторинг [10-16] и геоинформационный мониторинг. Базовое технологическое обеспечение включает не только мониторинг трассы, но и мониторинг окружающей среды [16-19], который не всегда является геотехническим мониторингом. Специальное технологическое обеспечение опирается на модели участков железных дорог и существующие модели и технологии выправки пути.

Железная дорога является геотехническим объектом [20]. Мониторинг геотехнических объектов является частным видом геомониторинга и его называют геотехническим мониторингом [9, 21]. Мониторинг геотехнических объектов, в котором используют методы геоинформатики, называют геоинформационным мониторингом [22]. Особенность геоинформационного мониторинга в том, что методически он объединяет разные технологии сбора информации и разные данные в интегрированный комплекс. Это свойство геоинформационного мониторинга обусловлено тем, что в своей основе он использует интегрированную модель геоданных, представляющую системный ресурс [23]. Это делает геоинформационный мониторинг системной основой геодезического обеспечения трасс железных дорог. Геомониторинг и геотехнический мониторинг являются технологическими средствами геодезического обеспечения эксплуатации железнодорожных трасс.

Системное описание базового геодезического обеспечения железнодорожных трасс.

Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс задает перечень технических средств, применяемых при мониторинге и контроле трасс. Его можно анализировать как сложную систему и применять системный подход [24]. Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс содержит основные принципы и методы определения геометрических и физических параметров трассы. Оно основными функциями включает оценку следующих параметров: контроль физического состояния трассы (Кфстр), контроль геометрического состояния трассы (Кгстр), контроль соответствия трассы нормативным требованиям (Кстрн), динамику процессов на трассе (Кдптр). Используя модель сложной системы [25] можно изобразить функцию базового технологического обеспечения железнодорожных трасс (БТГОЖТ) в виде выражения

$$\text{БГОЖТ1} = \Phi_1(\text{Кпр}, \text{Кстр}, \text{Кснстр}, \text{Кспз}, \text{Кврс}) \quad (1)$$

Выражение (1) включает ключевые или системные параметры наблюдения и первичной оценки. Дополнительно геодезическое обеспечение включает мониторинг окружающей среды трассы (Мостр) и прогнозную оценку состояния трассы (Кпстр).

$$\text{БГОЖТ2} = \Phi_2(\text{Мостр}, \text{ФФм}, \text{ИНм}, \text{МЖЦут}, \text{ДМстр}, \text{Кпстр}) \quad (2)$$

Выражение (2) включает параметры: ФФм – фактофиксирующие и интерпретирующие модели, ИНм – интерпретирующие модели, МЖЦут модель жизненного цикла участка трассы, ДМстр – динамическая модель состояния трассы, Кпстр – прогнозная оценка состояния трассы. Можно констатировать, что базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс включает два этапа: этап сбора информации и расчета ключевых параметров (1); этап моделирования и получения оценок (2).

В любом геодезическом обеспечении выделяют общие параметры: поле наблюдения, объект

наблюдения, методы наблюдения. Поле наблюдения включает трассу и окружающую среду. Из поля наблюдения выделяют часть, которая существенно влияет на состояние объекта наблюдения, то есть на трассу. Эту часть поля моделируют с помощью специальной информационной модели, которую называют моделью информационной ситуации [26-28]. Информационная ситуация помогает описать и связать состояние трассы с наиболее важными факторами, влияющими на ее состояние. По этой причине в модель БГОЖТ2 входит расчет жизненного цикла не всей трассы, а ее участков, поскольку жизненные циклы разных участков трассы различны. В первую очередь это касается криволинейных участков трассы, которые быстрее выходят из строя по сравнению с прямолинейными участками трасс.

Базовое технологическое геодезическое обеспечение железнодорожных трасс детализируют описанием функций геотехнического мониторинга, которые играют вспомогательную, но важную роль сбора информации. Функция геотехнического мониторинга описывается выражением:

$$\text{ФГТМ} = \text{ДПН}(t) + \text{ЦН}(t) + \text{КН} \quad (3)$$

В выражении (3): (ФГТМ) – функция геотехнического мониторинга, ДПН – периодические наблюдения с длительным периодом, ЦН – циклические наблюдения с коротким периодом, КН – конъюнктурные наблюдения. Геодезическое обеспечение являются более общими и включают в себя геотехнический мониторинг. Функция КН не зависит от времени и осуществляется по требованию, например, в случае чрезвычайных ситуаций.

Геодезическое обеспечение включает накопление опыта и решение научных задач. Научная компонента геодезического обеспечения включает два направления. Первое направление связано с совершенствованием технологий и методов измерений. Второе направление научной компоненты геодезического обеспечения представляет собой инновационные исследования. Это задает особенность геодезического обеспечения – интеграцию с другими научными направлениями.

Методы технологического геодезического обеспечения железнодорожных трасс.

Методы технологического геодезического обеспечения железнодорожных трасс являются одинаковыми для базового и специального технологического обеспечения. При геодезическом обеспечении железнодорожных трасс применяют геодезические методы, визуальные методы, параметрические методы, виброметрические методы, геофизические методы, температурные методы. Основными являются геодезические методы наблюдений.

Геодезические методы наблюдений [29] используют для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений искусственных сооружений, земной поверхности, грунтового массива по глубине. Геодезические методы основаны на применении широкого спектра геодезических приборов – нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том числе оптических, электронных, лазерных и др.) и приемников ГНСС. При осуществлении циклических и разовых наблюдений геодезическими методами измеряют следующие параметры:

- вертикальные смещения: осадки, вертикальные сдвиги, просадки, подъемы, прогибы участков железных дорог;
- горизонтальные перемещения участков железных дорог.
- наклоны (крены) объектов железнодорожной инфраструктуры.

Дополнительно к штатным наблюдениям геодезическое обеспечение включает следующие виды работ:

- определение участков железнодорожной трассы, подверженных наибольшим отклонениям от первоначального положения;
- выявление величины и направления деформационных процессов;
- выявление закономерностей, позволяющих спрогнозировать дальнейшее развитие деформационных процессов.

Применение геодезических методов производят согласно требованиям ГОСТ 24846-2012.

Визуальный метод геодезического обеспечения. Визуальный или визуально-инструментальный метод состоит из оптических наблюдений [27] и инструментальных измерений. Визуально-инструментальный метод позволяет вести наблюдения за сооружениями инфраструктуры, поверхностью прилегающего грунта, включая трассы железных дорог.

Перечень используемых геодезических методов и приборов выбирают в зависимости от требуемой точности измерений, особенностей контролируемых объектов, а также характеристик грунтов. Необходимо, исходя из исходных данных, определить периодичность проведения измерений. Дополнительно необходимо получить следующую информацию:

- сведения о наличии пунктов государственной геодезической сети, а также знаков, установленных для целей строительства;
- данные о системе координат и высотных отметок;
- сведения о ранее выполненных работах по определению деформаций железнодорожной трассы и связь их с последующими работами;
- описание мест закладки геодезических знаков, обоснование выбора типа знаков;
- предварительную схему реперной сети, точность определения деформаций;
- методы измерений горизонтальных и вертикальных перемещений, применяемые инструменты.

Камеральную обработку результатов геодезических измерений (проверка полевых журналов, уравнивание ходов, расчёты по оценке точности и подготовка материалов для отчетной документации) выполняют отдельно по каждому циклу.

Параметрический метод наблюдения трасс железных дорог.

К параметрическим методам [28] геодезического обеспечения относятся:

- скважинная инклинометрия (определение поперечных смещений измерительных точек вдоль линейного профиля);
- скважинная экстензометрия (определение продольных смещений измерительных точек относительно линейного профиля);
- тензометрические измерения (фиксация деформаций в основании под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др. с применением тензометров);
- измерения давления (грунтового массива, на контакте конструкции с основанием, поровое давление подземных вод);
- измерения усилий (в анкерных креплениях ограждающих и подпорных конструкциях, свайных фундаментах).

Параметрические методы геодезического обеспечения основываются на количественном и качественном определении свойств Окружающей среды трассы железной дороги. На основе совокупности измеренных параметров строят фактофиксирующие модели [29] окружающей

среды, которые позволяют количественно и качественно оценить состояние участка трассы железной дороги. При параметрических методах измеряют абсолютные значения параметров и оценивают их изменение во времени. Контроль отдельных параметров проводят с использованием информационно-измерительных систем [30] и датчиков, устанавливаемых в заранее определенные контрольные точки.

При измерениях напряжений в арматуре и бетоне следует использовать закладные точечные тензодатчики (струнные, электрические, оптоволоконные). Датчики следует устанавливать на различных высотных отметках ограждающей конструкции с шагом не более 5 метров. Результаты измерений группы датчиков, объединенных в измерительное сечение, должны анализироваться совместно.

При измерениях напряжений в стальных распорных элементах объекта следует применять накладные точечные тензодатчики (струнные, электрические, оптоволоконные). Измерительные датчики устанавливаются группами (4 датчика, расположенные ортогонально по окружности) в центральной части распорного элемента. Количество контролируемых распорных элементов, а также предельно допустимые значения относительных деформаций устанавливаются в программе мониторинга на основе результатов расчетов распорной системы котлована.

Допускается интеграции измерительных датчиков или измерительных систем, устанавливаемых в несущих конструкциях и грунтах объектов транспортной инфраструктуры.

Измерительные датчики и приборы должны обладать необходимой надежностью, чтобы эффективно выполнять свои функции в течение всего жизненного цикла наблюдений, с учетом воздействия окружающей среды.

При геодезическом обеспечении необходимо предусмотреть меры для снижения влияния внешних факторов на результаты измерений: применение датчиков с автоматической компенсацией температурных воздействий и перепадов атмосферного давления, с защитой от перепадов напряжения; применение материалов с низким коэффициентом теплового расширения, высокой коррозионной стойкостью. На основе проведенных измерений и их анализа строят интерпретирующие модели [29, 31-33]. Именно интерпретирующие модели дают более полную информацию о состоянии трассы.

Виброметрический метод геодезического обеспечения.

Виброметрический метод [34] геодезического обеспечения осуществляет контроль допустимого уровня вибраций рельс и объектов инфраструктуры. При оценке допустимости вибраций следует исходить из обеспечения: эксплуатационной надежности пути и штатного функционирования виброчувствительного железнодорожного оборудования.

В состав работ по виброметрическому геотехническому мониторингу входят системно организованные инструментальные наблюдения за вибрациями и их контроль, выполняемые в соответствии с программой геотехнического мониторинга. Вибрационные обследования проводят в целях получения фактических данных об уровнях вибраций грунта и конструкций фундаментов сооружений при наличии динамических воздействий от: стационарного оборудования, установленного или планируемого к установке внутри или вблизи сооружения; автомобильного и железнодорожного транспорта и метрополитена; строительного оборудования; взрывные работы и т.д.

Геофизический метод геодезического обеспечения.

Геофизические измерения [35] на трассах железных дорог предназначены для фиксации и оценивания изменений состояния окружающей среды. Эти изменения зависят от техногенных или природных факторов. Геофизический метод геодезического обеспечения применяют в условиях ограниченных возможностей использования прямых методов измерений.

По результатам геофизических наблюдений оценивают пространственно-временные изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов оснований, а также изменения особенностей их залегания в массиве (зоны разуплотнения, обводнения и прочее). В современной интерпретации это означает сбор геоданных, которые включают пространственно-временные и специальные характеристики. Геофизические наблюдения могут выполняться: в основаниях и строительных конструкциях подземных частей возводимых сооружений, в т.ч. окружающей застройки; на участках развития опасных геомеханических процессов (оползни, карст, подтопление и т.п.).

Температурный метод контроля трасс железных дорог.

Температурные наблюдения в районах трасс железных дорог выполняются для получения информации о температуре грунтов на различной глубине. Температурные наблюдения трасс железных дорог должны включать информационное моделирование и нахождение закономерностей в развитии температурных процессов.

Измерения температуры грунтов проводят в заранее подготовленных и выстоянных термометрических скважинах. Измерения выполняют термоизмерительными комплектами, представляющими собой «заленивленные» ртутные термометры или электрические датчики температуры с соответствующей измерительной аппаратурой. Также используют устройства для накопления информации (логгеры) [36]. Оборудование термометрических скважин, а также требования к измерительному оборудованию должно соответствовать требованиям ГОСТ 25358-2012.

Специальное геодезическое обеспечение железнодорожных трасс.

Разделяют [3] *трассирование* – комплекс работ для выноса линейного сооружения (трассы) на местности и *позиционирование* – комплекс работ для определения положения существующего линейного сооружения на местности. Технологии применения ГНСС являются эффективным средством для определения пространственных координат любых объектов на земной поверхности, то есть для позиционирования. Координаты, полученные с помощью измерений, трансформируются в нужную систему координат и экспортируются в информационную систему.

Применение технологий ГНСС дает возможность построения цифровой модели трассы, которая имеет множество разновидностей. В частности, это касается построения цифровой модели оси пути (ЦМП), которая может применяться для решения широкого круга задач: начиная от управления движением и заканчивая контролем геометрического положения пути.

Цифровые модели линейных сооружений (ЦМЛС) [37, 38] характеризуются большим объемом измерений и установки постоянных знаков на ограниченных территориях. При их создании применяют *каркасные* сети, служащие основой и *заполняющие* сети, используемые для определения координат основной массы пунктов ЦМЛС. Для различных задач требуется различная точность построения ЦМП. Наибольшей точности определения координат требует контроль геометрических параметров пути. Построение подобных систем является построением геодезических сетей специального назначения. Их создают в два этапа:

- создание каркасной опорной сети;
- создание сети сгущения, охватывающей все интересующие точки.

Применительно к железнодорожному транспорту в качестве опорных сетей могут использоваться каркасные сети реперных систем или создаваться сети им подобные. Каркасные сети реперных систем представляют собой цепь точек, расположенных вдоль железной дороги на расстоянии 2-5 км друг от друга. Координаты этих точек определяют с помощью ГНСС-аппаратуры [39] с высокой точностью (на порядок превосходящей необходимую точность определения точек сети сгущения).

После построения опорной сети можно переходить к определению координат точек пути. Эти определения можно проводить с помощью спутниковой аппаратуры в режиме кинематики относительно опорных точек (рис.1).

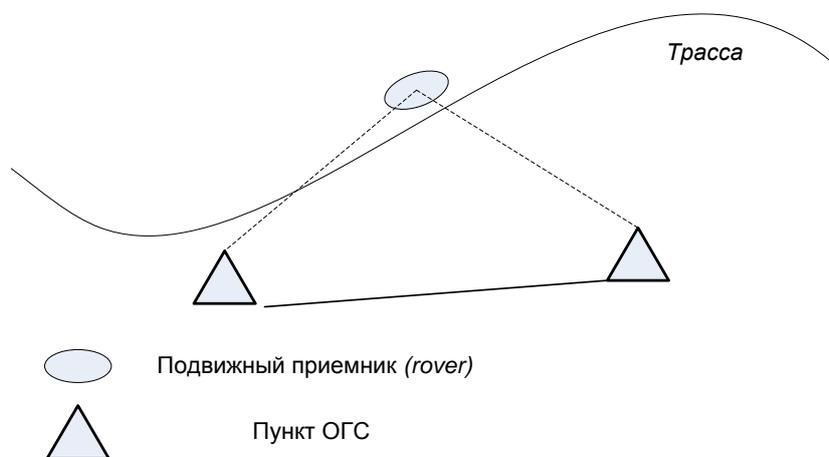


Рисунок 1. Координирование пути спутниковой аппаратурой

При этом антенну подвижного приемника мы можем закрепить на вехе и перемещать, центрируя над головкой рельса вручную (для небольших участков) или закрепляя на тележке (дрезине). При перемещении вехи вручную, она приводится в отвесное (соответствующее отвесной линии в данной точке) положение по уровню. В случае закрепления ее на тележке необходимо учитывать наклон вехи, вызванный наличием кривых в плане и профиле. Необходимо привести результаты съёмки кривой к единой форме представления. Естественным кажется получение координат точек трассы в декартовых прямоугольных координатах. Однако в практике железнодорожного транспорта решение почти всегда сводят к вычислению длин эвольвент точек кривой. Поскольку снимаемая кривая обычно делится на одинаковые интервалы, то наиболее простое решение задачи получают на основе теории разностных схем. Обычно получают решение разностной задачи при некотором наборе краевых условий.

Съемка железнодорожного пути выполняется для поиска информационного соответствия между фактическим планом пути и проектным планом. Съемка пути выполняется также для определения величин необходимых рихтовок пути для его исправления. В местах поворота трассы, на закруглениях пути, называемых кривыми, решение задачи состоит из трех частей: съемка существующей кривой, назначение параметров исправленной кривой и вычисление величин рихтовок.

Съемку кривой чаще всего выполняют измерением стрел изгиба рельсовой нити. При

подготовке к съемке кривую и примыкающие к ней отрезки прямых длиной 30-40 м по наружной рельсовой нити разбивают с помощью измерительных приборов на 10-метровые отрезки (h_i), а при радиусе кривой менее 400 м – на 5-метровые отрезки (h_i) (рис.2).

Схема на рис.2 представляет собой пример пространственной информационной ситуации и может сохраняться как информационная модель, стереотип или паттерн. Следует отметить, что специальное геодезическое обеспечение железнодорожных трасс еще в большей мере требует накопления опыта, чем базовое геодезическое обеспечение.

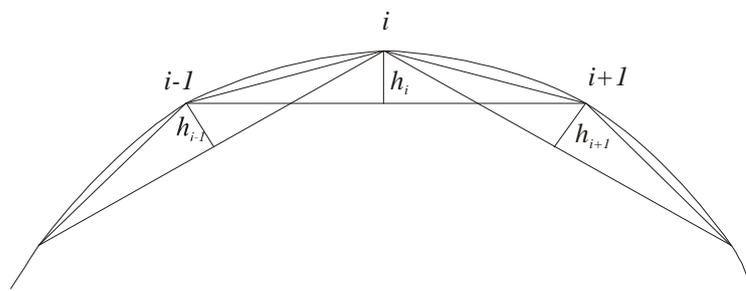


Рисунок 2. Съемка кривой измерением стрел изгиба.

Полученные при разбивке точки отмечают на внутренней стороне шейки рельса. Достоинством метода является его простота и наглядность. Представление кривой линии некруговой формы участка трассы должно быть представлено одинаковыми отрезками. Недостатком метода является накопление ошибок измерений от начала кривой к ее концу, делающее ненадежными определяемые значения рихтовок положения рельсов. Дополнение измерений стрел изгиба определением координат точек автономными методами определения координат, например, спутниковыми определениями, служит устранению указанного недостатка. При этом ввиду избыточности числа измерений при их математической обработке возникает необходимость уравнивания.

Таким образом, специальные методы геодезического обеспечения железнодорожных трасс связаны со специальными расчетами и специальными геометрическими моделями. Они требуют уравнивания геодезических измерений. Их объединяет информационное моделирование [40] и геоинформационное моделирование [41. 42] информационные модели.

Заключение.

Анализ проведенных исследований показывает, что при наблюдениях и геотехническом мониторинге пути необходимо использовать модели информационной ситуации и накапливать стереотипы таких ситуаций совместно с методами решения задач правки пути. Обеспечение эксплуатационной надежности железнодорожных трасс достигается за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров и построения комплексной модели состояния пути. Задачей геодезического обеспечения является не только выявление изменений состояния пути, которые могут привести к переходу пути в ограниченно работоспособное состояние, но разработка корректирующих величин для приведения пути в нормативное состояние. Анализ показал, что геодезическое обеспечение железнодорожных трасс представляет собой комплекс разных технологий. Общим для разных технологий является применение геоанных, методов моделирования, методов информационного моделирования, геоинформационного моделирования, информационных и геоинформационных моделей.

Моделирование и модели являются итогом современного геодезического обеспечения. Эффективность применения геодезического обеспечения определяется возможностью и необходимостью интеграции разных моделей в единую модель. Основой для создания интегрированной системы геодезического обеспечения являются методы геоинформатики. Следовательно, современная организация геодезического обеспечения железнодорожных трасс должна опираться на методы геоинформатики и на методы ГНСС.

Список литература

1. Брынь М. Я., Никитин А. А., Толстов Е. Г. Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2010. – № 4(29). – С.58–60.
2. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение транспортной сферы // Славянский форум. – 2018. – № 2(20). – С.50–56.
3. Куприянов А.О. Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей // Науки о Земле" – 2013. – № 1 – С.32–38.
4. Булгаков С.В. Развитие методов геодезического обеспечения железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 2(6). – С.25–35.
5. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3(7). – С.64–70.
6. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С.182–185.
7. Розенберг И.Н. Сложность и комплементарность // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 5. – С.7–10.
8. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. – 2018. – № 4(22). – С.85–90.
9. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С.54–58.
10. Ильичев В. А., Коновалов П. А., Никифорова Н. С. Особенности геомониторинга при возведении подземных сооружений в условиях тесной городской застройки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – № 4. – С.20–26.
11. Ознамец В.В., Цветков В.Я. Геомониторинг: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 112с.
12. Bernard R., Pacovsky J., Zemánek I. Geo-monitoring performed during the construction of the Valík highway tunnels // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2006. – Т. 21. – № 3–4.
13. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. – № 2(8) – С.177–184.
14. Мальцев А. В., Астафьева Н. С., Булавкина Ю. В. Значение геомониторинга при новом строительстве и реконструкции // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2014. – №3–4.
15. Sharapov R., Kuzichkin O. The polarizing characteristics of electrolocation signals and their analysis in geomonitoring system // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management. – 2013. – V. 2. – P.913.

16. Зятькова Л. К., Лесных И. В. Геомониторинг природной среды. – Сиб. гос. геодез. акад. (СГГА), 2004.
17. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: МГУ, 1995. – 270с.
18. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984 – 560с.
19. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Особенности взаимодействия геологической среды и инженерных сооружений // Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты/ под ред. Акад. Е.М. Сергеева. – М.: Недра, 1985 – С.32–36.
20. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. – 2009. – № 4. – С.52.
21. Шереметов И. М., Курдюк А. Ю. Геотехнический мониторинг основания зданий и сооружений Астраханского кремля //Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – № 4. – С.8–14.
22. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 5. – С.151–155.
23. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, – 2014, – Vol. 84, – № 5, – P.365–368.
21. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Геодезическое обеспечение как сложная система // Информация и космос. – 2019. – № 2. – С.88–92.
25. Цветков В.Я. Теория систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88с. ISBN 978-5-317-05718-3.
26. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. – 2012, – № 12-1(36), – P.2166–2170.
27. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, – 2016. – № 4(14). – С.198–203.
28. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. – 2017. – № 2(16). – С.39–44.
26. Бородко А.В., Бугаевский Л.М., Верещака Т.В., Запрягаева Л.А., Иванова Л.Г., Книжников Ю.Ф., Савиных В.П., Спиридонов А.И., Филатов В.Н., Цветков В.Я. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. – Москва, – 2008. – Том I – А-М.
27. Молотов И. Е. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений //Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. – 2009. – Т. 219. – № 1. – С.233–248.
28. Меньшиков С. С. Методы параметрической диагностики грунтовых насосов систем гидротранспорта //Обогащение руд. – 2012. – № 2. – С.37–39.
29. Цветков В.Я. Фактофиксирующие и интерпретирующие модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 9–3. – С.487–487.
30. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 94с.
31. Чехарин Е. Е. Интерпретация в информационном поле // Славянский форум. – 2018. – № 2(20). – С.110–117.
32. Чехарин Е.Е. Методы и алгоритмы информационной интерпретации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 5(17). – С.39–49.

33. Чехарин Е.Е. Метод информационной интерпретации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 1. – С.62–71.
34. Роготнева А. М., Трифанов М. Г. Исследование виброметрического метода контроля состояния армировки шахтных стволов // Научные исследования и инновации. – 2010. – Т. 4. – № 1. – С.95–99.
35. Ельцов И. Н. и др. Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук", — 2012. – Т. 445. – № 6. – С.677–677.
36. Белов А. В., Ананьев И. П. Многоканальные логгеры для сбора измерительной информации в полевых опытах // Инструментальные средства и методы в агрофизике. – 2007. – С.80–90.
37. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение формирования охранных зон линейных объектов // Славянский форум. – 2018. – № 1(19). – С.42–48.
38. Куприянов А. О. Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 4(12). – С.57–65.
39. Куприянов А.О., Цветков В.Я. Применение ГНСС в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 1(13). – С.135–144.
40. Охотников А. Л. , Павловский А.А. Информационное моделирование при ведении кадастра транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 4(4). – С.34–44.
41. Розенберг И.Н. Геоинформационное моделирование как фундаментальный метод познания // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 3. – С.12–15.
42. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С.72–76.

УДК: 528.9; 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

- Андреева О.А.** Заместитель генерального директора, АО «Транспутстрой»,
E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Создание и проектирование объектов транспортной инфраструктуры основано на получении и использовании пространственной информации. Получение пространственной информации основано на использовании различных современных технологиях сбора и первичной обработки информации. В прошлое уходят работы с теодолитами и нивелирами как основного средства получения пространственных данных. Новой современной технологией является технология мобильного лазерного сканирования. Сбор и моделирование в сфере транспорта опирается на геоинформатику. В этом аспекте мобильное лазерное сканирование хорошо согласуется с геоинформатикой и ее принципами интеграции. Статья раскрывает содержание технологий мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры.
- Ключевые слова:** транспорт, мобильное лазерное сканирование, управление, геоинформатика, пространственная информация, обработка информации, моделирование.

THE USE OF MOBILE LASER SCANNING FOR MONITORING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES

- Andreeva O.A.** Deputy Head, JSC «Transputstroy», E-mail: andreeva_olga@inbox.ru,
Moscow, Russia
- Annotation.** The creation and design of transport infrastructure facilities is based on the acquisition and use of spatial information. Obtaining spatial information is based on the use of various modern technologies of collection and primary processing of information. The work with theodolites and levels as the main means of obtaining spatial data is a thing of the past. The new modern technology is the technology of mobile laser scanning. Collection and modeling in the sphere of transport is based on Geoinformatics. In this aspect, a mobile laser scanning is in good agreement with Geoinformatics and its integration principle. The article reveals the content of technologies of mobile laser scanning for monitoring transport infrastructure facilities.
- Keywords:** transport, mobile laser scanning, control, geoinformatics, spatial information, information processing, modeling.

Введение.

В современной съемке лазерным сканированием называют контролируемое отклонение лазерных лучей, видимых или невидимых [1]. В области сканирования трехмерных объектов

лазерное сканирование сочетает в себе управляемое управление лазерными лучами с лазерным дальномером. С помощью измерения расстояния во всех направлениях сканер быстро фиксирует форму поверхности объектов, зданий и ландшафтов. Построение полной трехмерной модели включает в себя комбинирование нескольких моделей поверхностей, полученных с разных углов обзора, или смешивание других известных ограничений. Небольшие предметы могут быть размещены на вращающемся постаменте в технике, схожей с фотограмметрией [2].

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) – это новая технология, которую применяют для съемки различных типов инфраструктурных коридоров [3], включая автомобильные, железнодорожные, трубопроводные и силовые линии. За рубежом различают понятие инфраструктурный коридор [4, 5] и транспортный коридор [6, 7]. Инфраструктурный коридор определяется как связка инфраструктуры, объединяющая две или более городских или дорожных зон [4, 5]. Транспортный коридор [6, 7] это сложная технологическая транспортная система, концентрирующая на заданных направлениях транспорт общего пользования (железнодорожный, автомобильный, морской, трубопроводный) и телекоммуникации. Упрощенно инфраструктурный коридор – это пространственная зона для транспортного коридора, который представляет собой сложную технологическую систему.

Лазерное сканирование – это бесконтактный метод измерения, при котором лазерный луч используется для определения трехмерного положения точки на поверхности объекта. Повторяя этот процесс несколько миллионов раз, лазерный сканер создает так называемое «облако точек». Это облако точек является точным снимком размеров и формы физического объекта и может быть импортировано на компьютер для дальнейшей обработки и визуализации. Облака точек можно просматривать в многоцветных цветах (в зависимости от интенсивности сигнала) или в реальном цвете с цифровой камеры. Этот метод обеспечивает решение для быстрой съемки недоступных поверхностей или сложных геометрических деталей. Данные могут быть связаны в 3D с сеткой вашего сайта и легко совмещены с планами топографических съемок, высотами и разрезами

Многоаспектность МЛС.

В теоретическом плане мобильное лазерное сканирование относится к методам дистанционного зондирования. В широком смысле дистанционное зондирование (ДЗ) [8] — это получение любыми неконтактными методами информации об объектах на поверхности Земли или в ее недрах. Эти методы используют фотограмметрия, геодезия, оптика, физика, радиотехника. В узком смысле дистанционное зондирование Земли (ДДЗ) часто связывают только с космическим дистанционным зондированием. При этом существует тенденция интеграции методов космического дистанционного зондирования и методов геоинформатики [9]. Это обусловлено интеграционными возможностями геоинформатики [10]. Мобильное лазерное сканирование можно рассматривать как интегрированную технологию геодезии и фотограмметрии, или как геоинформационную технологию [11].

Мобильное лазерное сканирование сочетает в себе фотограмметрические и геодезические методы сбора информации. С позиций сбора информации осуществляется полевой сбор информации, который характерен для фотограмметрических методов сбора информации [12]. С позиций анализа мобильное лазерное сканирование осуществляет ситуационный анализ некой области, то есть использует модель информационной ситуации [13]. Мобильное лазерное сканирование можно рассматривать как цифровую технологию [14, 15]. В аспекте пространственного анализа мобильное лазерное сканирование решает пространственные задачи

определения координат объектов железнодорожного транспорта [16]. С позиций семантического моделирования МЛС исследует семантическое окружение [17] объекта для уточнения его положения и конфигурации. С позиций моделирования МЛС можно рассматривать как вид геоинформационного моделирования [18], которое применяют при проектировании и контроле линейных объектов, частным случаем которых является железная дорога. С позиций проектирования мобильное лазерное сканирование осуществляет поддержку проектных решений [11]. С позиций мониторинга существующих объектов МЛС представляет собой геотехнический мониторинг [19, 20]. В аспекте многоцелевого управления [20] мобильное лазерное сканирование служит инструментом поддержки принятия решений [22] и технологией информационного управления [23, 24]. В аспекте познания МЛС служит основой получения пространственных знаний [25]. Все это определяет мобильное лазерное сканирование как комплекс технологий, позволяющих решать разнообразные прикладные задачи.

Технологические решения МЛС

Многообразие применения МЛС порождает многообразие технологических решений. Существуют разные типы лазерных сканеров. Их можно разделить на несколько типов, включая наземные, воздушные, мобильные, настольные и ручные сканеры. Общее технологические решения МЛС включает набор специальных технологических этапов.

Монтаж мобильной сканирующей системы

Перед началом работ по мобильному лазерному сканированию участка Северо-Кавказской железной дороги была выполнена установка системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450 на крышу железнодорожной автотрисы (рисунок 4). Сканер был закреплен при помощи заранее сваренной металлической платформы. При проведении работ на СКЖД система мобильного сканирования была установлена на автотрису АСГ-30П. Крепление мобильной системы отвечало нормативным требованиям безопасности и габаритам при работе на автотрисе данного типа.



Рисунок 1. Система мобильного сканирования RIEGL VMX-450, установленная на крыше автотрисы АСГ-30П

Внутри автотрисы организовано отдельное рабочее место, где размещается блок управления мобильным лазерным сканером. Данный вариант размещения мобильной сканирующей системы обеспечил длительную и безопасную работу на железной дороге.

Инициализация мобильной сканирующей системы

В процессе работы используют данные глобальной навигационной системы (GNSS) и инерциальной навигационной системы (INS). Чтобы получить точные GNSS\INS данные до начала мобильного лазерного сканирования участка железной дороги была выполнена процедура инициализации. Её суть заключалась в приведении двух блоков системы МЛС: навигационного GNSS и инерциального INS – в рабочее состояние. Данная процедура состояла из двух этапов. На первом этапе, на протяжении 5-10 минут были выполнены GNSS измерения в режиме статики. В это время система мобильного лазерного сканирования находилась в состоянии покоя. На втором этапе при включенной системе МЛС в течение 30-45 минут проводились перемещения на расстояние не менее 1 км, то набирая скорость, то осуществляя торможение.

Выполнение мобильного лазерного сканирования

Мобильное лазерное сканирование – разновидность лазерной съемки, использование которой позволяет получить максимально полную и достоверную информацию об объектах местности в виде облака точек лазерных отражений, при этом, скорость съемки совпадает со скоростью движения мотрисы. Одна из самых современных систем мобильного сканирования RIEGL VMX-450 состоит из двух сканеров, 6 широкоугольных камер с частотой фотографирования до 18 кадров в секунду и разрешением снимков 2452×2056 пикселей, инерциального, навигационного и вычислительного блоков. В основе мобильной сканирующей системы лежит использование импульсного лазерного дальномера. Измеряются следующие параметры для каждого лазерного отражения: наклонная дальность D – расстояние от сканера до снимаемого объекта, пространственные координаты X , Y , Z положения сканера, угловые отклонения сканирующего луча и время фиксирования измерений. На их основе при проведении последующей обработки данных осуществляется переход к пространственным координатам каждой точки лазерного отражения.

Все элементы системы сканирования неподвижны относительно друг друга и жестко закреплены на металлической платформе, что обеспечивает высокую внутреннюю точность измерений. Качество GNSS\INS измерений, данных геодезического сопровождения и позволяют получить требуемую точность измерений. На плотность точек – важную характеристику проводимой лазерной съемки – оказывает влияние установленное значение частоты измерений в сканере и скорость его перемещения. Высокая плотность измерений обеспечивается при сравнительно низкой скорости и высокой частоте сканирования.

Мобильного лазерное сканирование участков железнодорожного полотна и разнообразных объектов инфраструктуры с использованием системы мобильного сканирования RIEGL VMX-450, закрепленной на крыше автотрисы, выполнялось в двух направлениях (прямом и обратном) со скоростью до 60 км/ч при частоте сканирования 600 кГц.

Одновременно с проведением мобильного лазерного сканирования выполнялась фотофиксация ж/д пути и окружающих объектов инфраструктуры при помощи 6 камер, которые ориентированы в обоих направлениях движения системы сканирования. Частота фотосъемки составила 12 кадров/сек (2 кадра в секунду для каждой из 6-ти камер).

Таблица 1.

Основные параметры мобильного лазерного сканирования

Частота сканирования	600 кГц
Скорость сканирования	50-60 км/ч
Ширина полосы сканирования	до 100 м.
Плотность измерений	1500 т/кв.м.

Таблица 2.

Технические характеристики мобильного лазерного сканера Riegl VMX-450

Характеристика	Значение
Количество сканеров	2
Частота сканирования	100 кГц – 1100 кГц
Частота измерений	1 100 000 изм./сек (2×550 000 изм./сек)
Максимальный диапазон измерений	при 300 кГц – 300 м (коэф.отражения > 10%) при 300 кГц – 800 м (коэф.отражения > 80%) при 1100 кГц – 140 м (коэф.отражения > 10%) при 1100 кГц – 220 м (коэф.отражения > 80%)
Угол обзора сканеров	360°
Точность измерения	10 мм (на расстоянии 150 м)
Точность INS\GNSS	
- абсолютное	стандартно 20-50 мм
- относительное	стандартно 10 мм
Тангаж\Крен	0.005°
Курс	0.015°
Количество фотокамер	6
Разрешение матрицы фотокамер	5 Мпикс (2452x2056)
Максимальная частота фотографирования	18 кадров/сек

Мобильная сканирующая система должна быть предварительно откалибрована и иметь соответствующие документы

Обработка данных мобильного лазерного сканирования

По завершении работ по выполнению мобильного лазерного сканирования проводилась камеральная обработка полученных данных, которая состояла из 2 этапов. Первый этап включал расчет траекторий МЛС. На втором этапе проводились вывод, уравнивание и конвертация ТЛО и данных, полученных фотокамерами. Обработка комбинированной инерциально-спутниковой траектории совместно с ГНСС данными базовых станций.

Для достижения заданной точности пространственного положения траекторных данных и ТЛО проводилась совместная обработка инерциальных и GNSS данных. Также по итогам подобной обработки получена информация о траекториях в требуемом формате SBET. Файлы этого формата используются при формировании исходного массива точек отражений лазерного луча.

Обработка включала два этапа. Сначала обрабатывались ГНСС траектории относительно базовых станций, при этом не учитывались инерциальные данные. Затем последние были совмещены с обработанной ГНСС-траекторией.

Обработка ГНСС траектории относительно базовых станций

На первом этапе происходит обработка траектории движения, только по данным спутниковых наблюдений. Привязка спутниковых данных осуществлялась относительно базовых станций, работавших во время сканирования. Обработка осуществлялась в системе координат WGS84. Расчет траектории выполнялся в двух направлениях (прямо и обратно) (рис.5). Для каждого отдельного промежутка времени подбирались оптимальные настройки обработки: угол маски, задержка обработки сигнала с «нового» спутника, интервал обработки данных и пр.

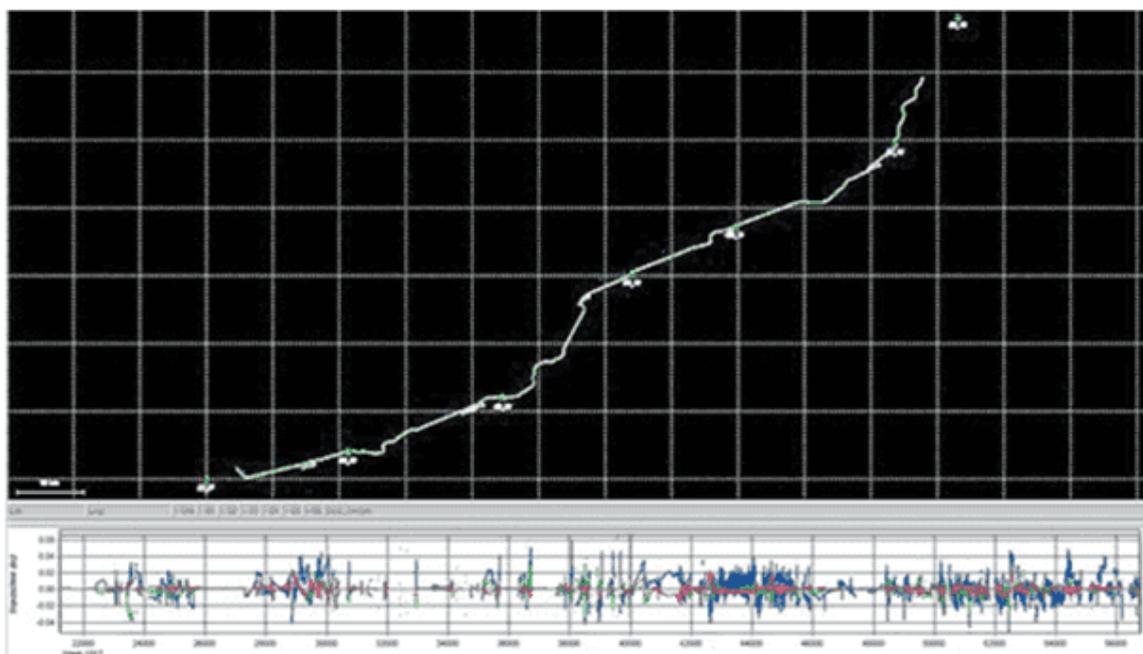


Рисунок 5. Комбинированный расчет траектории совместно с данными базовых станций

Результатом обработки является траектория по данным ГНСС, содержащая в себе информацию о координатах и высотах сканирующей системы с интервалом 1 секунда. (без учета инерциальных данных) в формате *.cmb.

Комбинирование инерциальных данных с ГНСС траекторией

Следующий этап обработки данных выполняется с использованием программного обеспечения POSpac ММС. Данные, полученные в ПО GrafNav, импортировались в ПО POSpac ММС, где и осуществлялось их совмещение с инерциальными данными (INS).

Инерциальная система при совместной обработке дает возможность получить в дополнение к координатам, еще и углы ориентации сканирующей системы, которые необходимы для последующего вычисления координат точек лазерного отражения. Кроме того, совместная обработка с инерциальными данными позволяет получить сглаженную траекторию без возможных мгновенных ошибок и пробелов по данным ГНСС (рис. 6).

В итоге были получены траектории в формате SBET. Содержащие информацию о

координатах и ориентации сканирующей системы, в дальнейшем использовавшиеся при вычислении пространственных координат точек лазерных отражений.

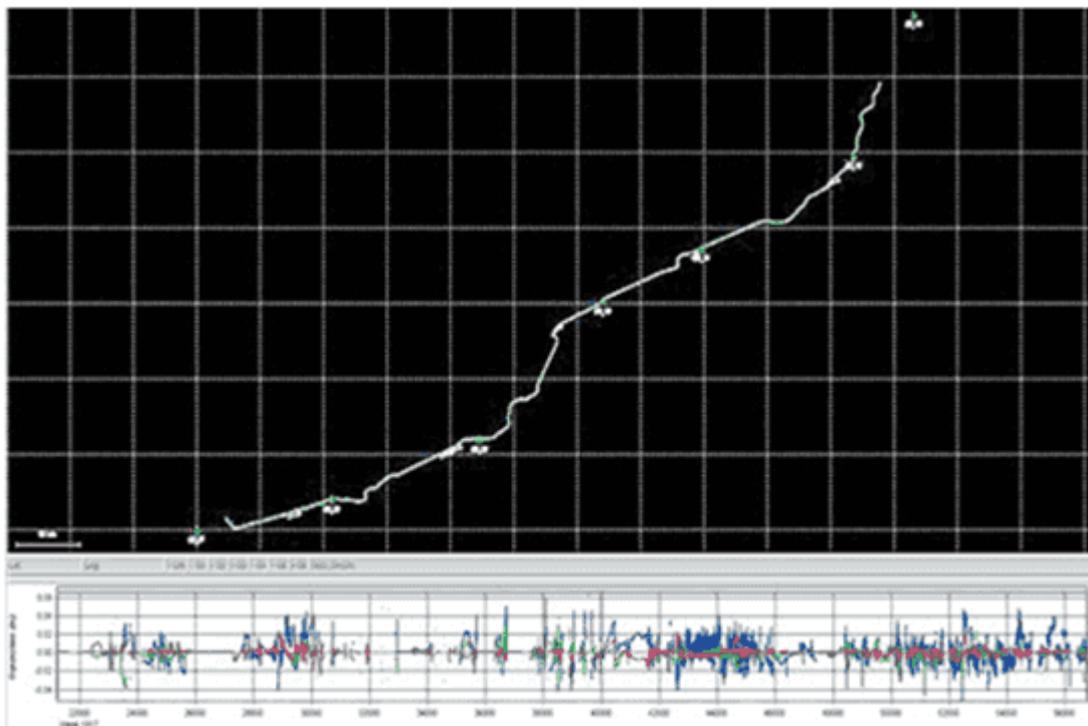


Рисунок 6. График точности комбинированной обработки траекторных данных

Обработка лазерных и фотоданных

На этом этапе был производят пересчёт лазерных данных и данных фотофиксации вдоль траектории движения системы мобильного сканирования. Затем проводилось взаимное уравнивание облака ТЛО, полученных с прямого и обратного проходов сканирования. После этого данные были конвертированы в различные требуемые форматы, и проведен их пересчет в системы координат Северо-Кавказской ЖД (ПМСК и МЖСК). В конце осуществлялось уравнивание ТЛО с использованием реперных объектов.

Расчет лазерных и фотоданных вдоль траектории мобильного сканирования

Полученные файлы формата *.SBET загружают в ПО RiPROCESS. Далее запускается автоматический процесс расчета (распаковки) лазерных данных и данных фотофиксации вдоль траекторий движения сканирующей системы. По итогам расчета были вычислены пространственные координаты X, Y, Z каждой точки лазерного отражения. Также были получены значения элементов внешнего ориентирования для данных мобильной фотосъемки каждого снимка. Расчет был выполнен в системе координат UTM 37 North (WGS84).

Взаимное уравнивание точек лазерных отражений

Взаимное уравнивание точек лазерных отражений выполняют в автоматическом режиме при помощи модуля TerraScan ПО TerraSolid. В процессе уравнивания использовался алгоритм поиска связующих плоскостей во взаимно перекрывающихся облаках точек и анализа погрешностей пространственного положения траекторий мобильного лазерного сканирования. По итогам расчета точность взаимного уравнивания ТЛО с прямого и обратного проходов на разных участках СКЖД, составила в среднем 2 см в плане и 1 см по высоте (СКО).

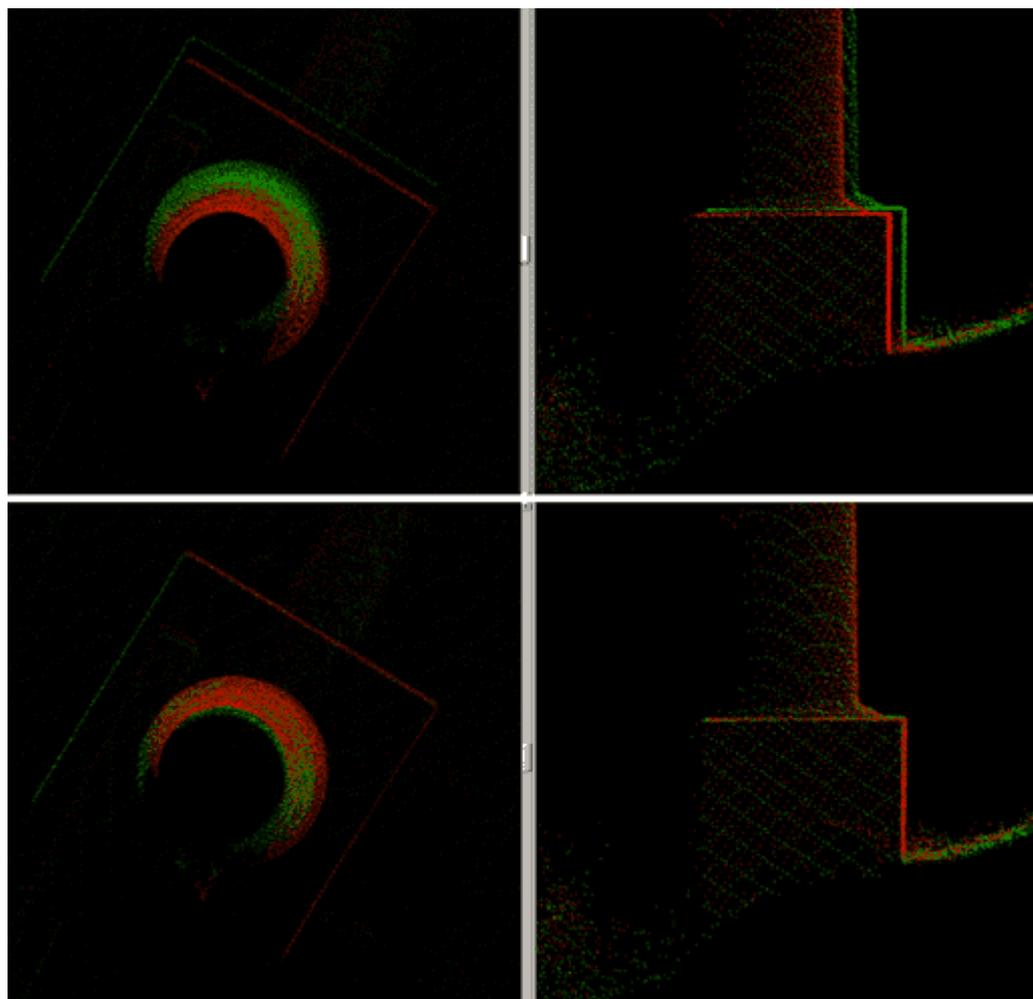


Рисунок 7. Пример взаимного уравнивания облаков точек лазерного сканирования.
Вид до и после уравнивания

Конвертация и пересчет данных в проектные системы координат

По завершении уравнивания были выполнены конвертация и пересчет данных в системы координат Северо-Кавказской ЖД (ПМСК и МЖСК). Данные точек лазерных отражений и фотосъемки конвертировались из внутреннего формата программного обеспечения TerraSolid в форматы *.LAS v1.2 и *.JPEG. В текстовый формат *.CSV и формат *.IML ПО TerraPhoto были конвертированы данные внешнего ориентирования.

Уравнивание точек лазерных отражений с использованием реперных объектов

Перед началом уравнивания используют каталоги координат реперных объектов в системах координат проекта, ПМСК и МЖСК. Уравнивание точек лазерных отражений с использованием реперных объектов проводилось по окончании конвертации и пересчета данных. Процесс уравнивания точек лазерных отражений был выполняются при помощи модуля TerraMatch программного пакета TerraSolid. Уравнивание выполняется в полуавтоматическом режиме, то есть оператор вручную измеряет каждый отсканированный реперный объект и сравнивает эти значения с истинными координатами. Затем запускается автоматический процесс уравнивания точек лазерного отражения на реперные объекты.

При уравнивании были выявлены реперные объекты с некорректными координатами и объекты, которые не попали в границы мобильного сканирования. Реперные объекты с некорректными координатами были удалены из процесса уравнивания.

Контроль точности

Контроль точности производился в системе координат Северо-Кавказской ЖД. Для точек лазерных отражений выполнялись следующие виды контроля:

- контроль точности взаимного уравнивания облаков ТЛО;
- точность пространственного положения ТЛО относительно реперных объектов.

Контроль взаимного уравнивания ТЛО выполнялся визуально вдоль участков сканирования СКЖД. В результате контроля планово-высотная точность взаимного положения облаков точек составила не более 1см (СКО). Контроль точности пространственного положения ТЛО относительно реперных объектов осуществлялся путем совмещения облаков точек лазерных отражений с реперными объектами

В результате контроля планово-высотная точность положения ТЛО относительно реперных объектов ЖД, вдоль каждого отдельного участка сканирования Северо-Кавказской ЖД, составила 1см (СКО).

Пространственное моделирование с применением МЛС

Пространственное моделирование основано на использовании геоинформационных систем или других систем, таких как ГНСС или мобильные лазерный системы. Потребителю не нужны отдельные точки или их координаты, поэтому моделирование решает задачи формирования или коррекции пространственных моделей [26, 27].

Полное измерение дорожного коридора

«Облака точек» обеспечивают полное измерение дорожного коридора (рис.8). Они позволяют немедленно извлекать необходимые данные из облака для удовлетворения неотложных потребностей клиентов, однако дополнительную информацию можно извлечь позднее, не возвращаясь в поле для сбора данных

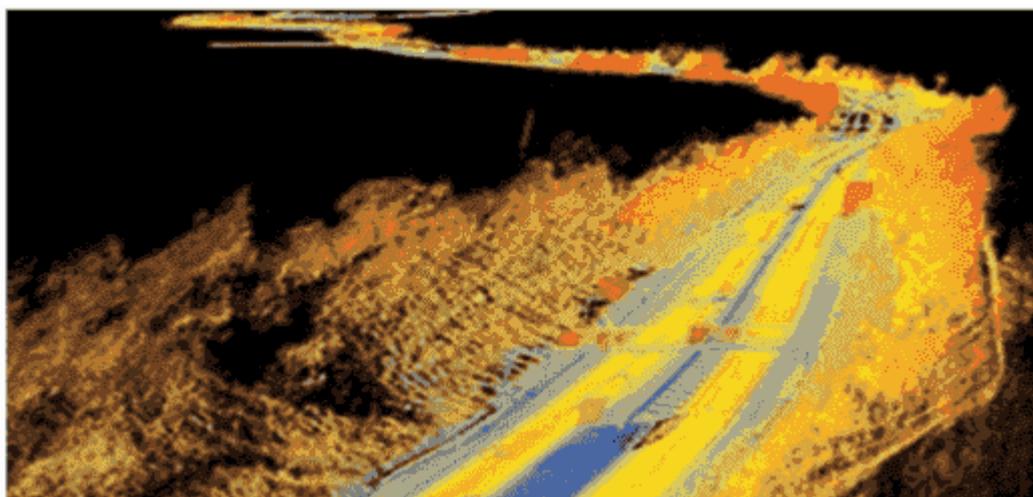


Рисунок 8. Измерение дорожного коридора

Общие приложения для дорожных исследований включают в себя:

- Обследования "как построено" для подтверждения того, что вновь построенные

дорожные работы соответствуют проектным требованиям;

- Текущее состояние дороги (трещины, выбоины, край битума) для целей технического обслуживания;
- Подтверждение достаточной топологии дорожного покрытия существует для обеспечения стока воды. Можно определить ровные участки поверхности дороги, которые могут вызвать аквапланирование для автомобилей во влажных условиях;
- Выравнивание существующей осевой линии и края битума для расширения, модернизации или повторного выравнивания дороги;
- Размещение разметки линий для запланированных слияний или создания полос движения;
- Создание цифровых моделей рельефа окружающей местности при подготовке к расчетам земляных работ, необходимых для новых дорог, расширения дорог и дальнейшего строительства;
- Обнаружение всех твердых поверхностей и конструкций (дорожные барьеры, мосты, водопропускные трубы, бордюры, желоба, дорожные знаки и опоры линий электропередач);
- Точно установление зазоров под мостами;

Отображение железнодорожных коридоров

Система МЛС, специально созданная для удовлетворения потребностей клиентов в скорости, точности и безопасности, идеально подходит для обследований железнодорожной инфраструктуры в коридорах (рис.9).

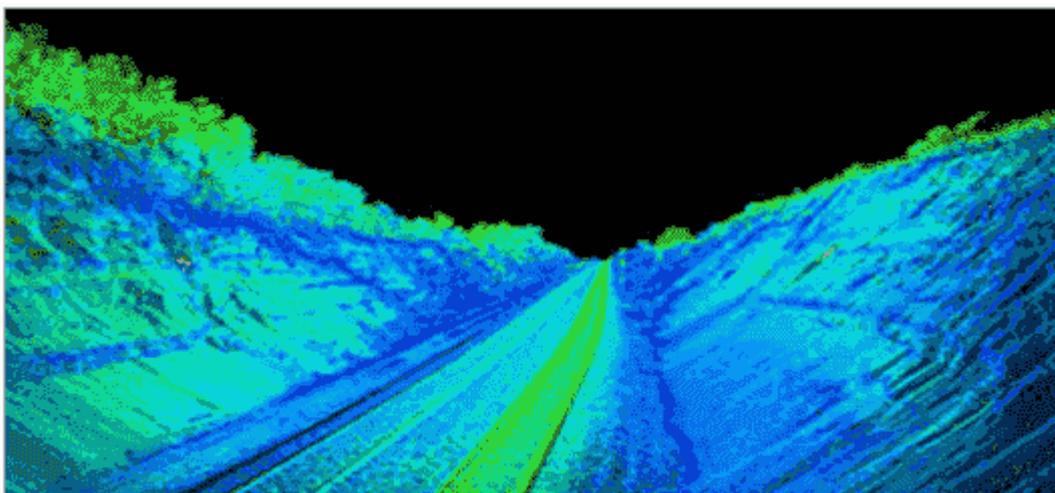


Рисунок 9. Отображение железнодорожных коридоров.

Способный к развертыванию на любой мобильной платформе, включая поезда и транспортные средства, вращающийся лазер системы собирает сотни тысяч точек в секунду, измеряя все видимое для сканера в радиусе 30 м от транспортного средства с точностью до нескольких миллиметров, чтобы создать «Облако точек». Данные изображения одновременно снимаются камерой 360 °, что позволяет получать комплексный, высокоточный набор данных по любому железнодорожному коридору

Система МЛС обеспечивает высокие уровни точности, позволяя измерять центральную линию трека непосредственно из сканированного изображения. Все остальные элементы можно

затем отсканировать при сканировании относительно центральной линии трека. Любой точке может быть назначена цепочка и горизонтальное и вертикальное смещение вдоль пути относительно плоскости, проходящей через две головки рельса

Задачи распознавания

Измерение и обеспечение зазоров является ключевым требованием в управлении железнодорожными системами. Захваченное облако точек LiDAR 3D можно использовать для получения информации о разрешении из оцифрованного железнодорожного коридора. Затем через облако точек можно запустить предварительно определенный зазор или профиль, и все вторжения в этот датчик могут быть задокументированы и выделены. Эти вторжения могут затем отображаться в профиле и снабжаться примечаниями с расстояниями до центральной линии рельса.

Профили зазора могут быть статическими для определения максимально широкой области профиля поезда или, в качестве альтернативы, могут быть кинематическими и настраиваться в процессе измерения. Это учитывает динамику подвижного состава с учетом радиуса и уклона пути. Этот метод особенно полезен для зазоров платформ и мостов, где могут быть заданы очень точные смещения относительно осевой линии пути

Сравнение геометрии рельса

Эффективность системы МЛС означает, что рельсовые пути могут быть получены с высокой степенью точности. Следовательно, элементы геометрии рельса, такие как радиус кривой и наклон, могут быть вычислены во всех точках вдоль линии (рис.10). Измерения геометрии затем можно сравнить с исходным дизайном и сгенерированным отчетом, чтобы выделить любые области значительных отклонений от предполагаемого проекта

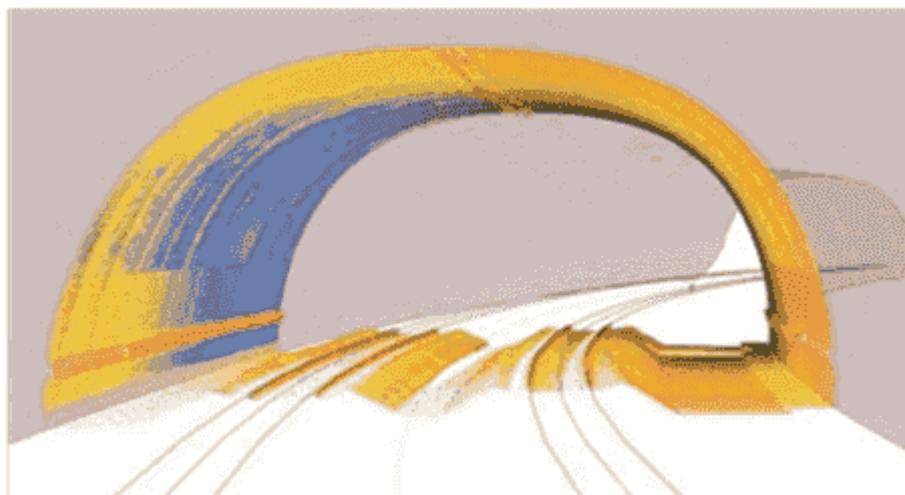


Рисунок 10. Сканирование геометрии рельсов.

Геометрия может быть проанализирована и по вертикали и горизонтали получена из измерений в 3D Point Cloud – демонстрируя чрезвычайно мощные и точные возможности измерения системы МЛС

Определение профиля балласта

Состояние балласта железнодорожного пути в коридоре легко определяется и оценивается системами МЛС путем проверки профилей поперечного сечения балласта с интервалами вдоль профиля рельса (рис.11). Затем автоматическая процедура может пройти через облако точек и выделить области, в которых существующий балласт не соответствует предварительно определенному шаблону балласта



Рисунок 11. Определение профиля балласта

Заключение

Мобильное лазерное сканирование является комплексом технологий и интегрированной технологией. В нормальных условиях мобильный лазерный 3D-сканер может идентифицировать, определять местоположение и отображать такие элементы, как вывески, источники света и гентри, на расстоянии до 30 м от центра трека с очень высокой точностью. Из обзора LiDAR можно получить полную карту железнодорожного коридора. Предоставляя более безопасную, более точную альтернативу традиционным методам съемки и контроля размеров, службы наземного лазерного сканирования способны захватывать, визуализировать и моделировать сложные структуры, участки и объекты. Проводя операции лазерного сканирования с расстояния 100 м с точностью 6 мм, можно получать точные данные в потенциально небезопасных рабочих условиях как днем, так и ночью. Полученные данные могут быть смоделированы и представлены для легкой интеграции в ГИС, САПР и различные программы моделирования, такие как PDMS, AutoPlant и Navisworks. В целом данная технология близка к геоинформационным технологиям, однако целый ряд особенностей выделяет МЛС в специализированный комплекс технологий, который продолжает развиваться и расширять свое применение.

Список литературы

1. Gerald F. Marshall Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc., 2004.
2. Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. //Annals of forest science. – 68(5). – P.959–

974.

3. Hubbard T. D., RD Combellick R. A. High-resolution lidar data for Alaska infrastructure corridors. – 2011.

4. Priemus H., Zonneveld W. What are corridors and what are the issues? Introduction to special issue: the governance of corridors // *Journal of Transport Geography*. – 2003. – V. 11. – № 3. – P.167–177.

5. Szimba E. et al. Evaluation of transport infrastructure projects on corridors by a Strategic Assessment Framework // *10th World Conference on Transport Research World Conference on Transport Research Society Istanbul Technical University*. – 2004.

6. Witte P. et al. Capitalising on Spatiality in European Transport Corridors // *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*. – 2013. – V. 104. – № 4. – P.510–517.

7. Nechaev G., Slobodyanyuk M. Development of transport infrastructure in Eastern Ukraine and its interaction with the international transport corridors // *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. – 2011. – V. 11.

8. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Картоцентр-Геодезиздат, – 2001. – 224с.

9. Савиных В.П., Цветков В.Я. Особенности интеграции геоинформационных технологий и технологий обработки данных дистанционного зондирования // *Информационные технологии*. – 1999. – № 10. – С.36–40.

10. Савиных В.П. Интеграция учебных дисциплин на основе геоинформатики// *Дистанционное и виртуальное обучение*. – 2013. – № 6. – С.5–10.

11. Андреева О. А., Дышленко С. Г. Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2019. – № 1. – С.39–46.

12. Цветков В.Я. Методы и системы обработки и представления видеоинформации. – М.:ГКНТ, ВНИЦентр, 1991. – 113с.

13. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. – 2012, – № 12-1 (36), – P.2166- 2170.

14. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – № 1(1). – С.82–91.

15. Андреева О.А. Цифровое моделирование при проектировании железных дорог // *Славянский форум*. – 2019. – № 1(23). – С.7–13.

16. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – № 2(2). – С.31–38.

17. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // *European researcher*. – 2014, – № 6-1(76). – P.1059–1065.

18. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование при проектировании линейных объектов // *ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении*. – 2019. – № 1. – С.30–39.

19. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // *Науки о Земле*. – 2012. – № 4. – С.54–58.

20. Куприянов А.О. Цифровое моделирование при проектировании и мониторинге трасс // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – № 1(1). – С.70–81.

21. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. –2012. – № 2(2). – P.140–143.
22. Кужелев П.Д. Применение методов предпочтений для поддержки принятия решений в прикладной геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 3(15). – С.95–104.
23. Цветков В.Я. Информационное управление. – Saarbrücken, Germany 2012.
24. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 4(4). – С.11–24.
25. Цветков В.Я. Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 7. – С.43– 47.
26. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. – 2013. – № 10-1(60). – P.2386–2392.
27. Дышленко С.Г. Принципы трехмерного моделирования в ГИС. //Науки о Земле. – №4. – 2012. – С.65–71.

УДК: 001.895: 656.2: 656.2:

ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО ЦИФРОВОГО ПОЕЗДА

Охотников А.Л. Заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития АО «НИИАС», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Аннотация. В статье анализируется гипотетическая модель цифрового поезда как составляющая интеллектуальной железной дороги. Дается анализ термина «цифровой». Показано что цифровые технологии передачи информации возникли с изобретением телеграфа. Статья раскрывает содержание термина «цифровизация». Описаны современные технологии, которые применяются в мире железнодорожными операторами и компаниями. Показано, что цифровизация транспорта включает развитие цифрового транспортного сервиса и цифровой транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: транспорт, управление, цифровой поезд, кибер-физическое управление, цифровой сервис, ситуационное управление, интеллектуальное управление, беспилотное управление.

TECHNOLOGIES OF THE FUTURE DIGITAL TRAIN

Okhotnikov A.L. Deputy Head, Center for strategic analysis and development of JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Annotation. In the article is analyzed the model of future digital train, as a component of intellectual railway system. The article introduces a new concept of intellectual railway. It is shown that digital technologies of information transmission arose with the invention of the Telegraph. The article reveals the content of the term "digitalization". Modern technologies that are used in the world by railway operators and companies are described. It is shown that the digitalization of transport includes the development of digital transport service and digital transport infrastructure.

Keywords: transport, management, digital train, cyber-physical management, digital service, situational management, intelligent management, driverless management.

Введение

В настоящее время отдельные авторы научных работ достаточно часто применяют термин «цифровая» и «цифровизация», выдавая это за некое новое достижение. На самом деле следует констатировать некоторое запаздывание между появлением феномена в мировой практике и официальным признанием феномена правительством России. Например, инфраструктура пространственных данных была принята как концепция в США в 1996 году, а в России о ней заговорили только в 2005, когда уже более 120 стран ее имели. Цифровую революцию в мире связывают с концом 70-х и началом 80-х, конкретно с изобретением интегральных цифровых схем. В России до сего времени появляются авторы [1], которые пишут о будущей цифровой революции, в то время как с момента ее презентации прошло почти 50 лет. При этом часто путают применение и развитие цифровых методов с цифровой революцией.

Термин «цифровизация» и, соответственно, «цифровая экономика» ввел в 1994 году Дон

Тапскот в книге «Цифровая экономика: надежды и опасность в эпоху интеллектуальных сетей» [2]. Он выделил цифровую экономику из прежней сетевой экономики, о которой в России до сего времени мало знают; в России о цифровой экономике заговорили спустя 20 лет после работы Д. Тапскота.

Качественно термин «цифровой» принял новое значение с 1945-1947 гг., когда появились цифровые вычислительные машины (ЦВМ) как альтернатива аналоговым вычислительным машинам (АВМ). С этого времени термин цифровой стал синонимом термина «дискретный» и «преобразованный в дискретный код». Поэтому можно рассматривать термин «цифровой» в аспекте коммуникации и в аспекте обработки информации.

Если исходить из этого понятия, то цифровые (дискретные) технологии коммуникации следует связать не с четвертой, а с третьей информационной революцией [3]. Прежде всего, это следует связать с дискретной передачей информации (сообщений) с помощью телеграфа. В свою очередь, телеграф (оптический и электрический) связывают в Европе с XVIII веком. Но исторически его как технологию дискретной передачи информации применяли 4 тысячи лет назад Древние греки. С этих позиций дискретная (цифровая с современных позиций) коммуникационная технология существует 4 тысячи лет и только меняет интерфейс общения с пользователем с течением времени.

Вторая сторона применения термина «цифровой» в аспекте обработки информации состоит в том, что во многих случаях цифровые технологии — это синоним компьютерных технологий, информационных технологий и автоматизированных технологий. Поэтому цифровые технологии связаны только с информационной эрой. Информационная эра [4] заканчивается и ее сменяет интеллектуальная эра. В силу этого цифровые технологии станут переходным звеном между автоматизированными технологиями и интеллектуальными технологиями. Поэтому будущее цифровой железной дороги (ЦЖД) состоит в трансформации ее в интеллектуальную железную дорогу [5] и кибер-физическую железную дорогу [6]. Именно в таком контексте можно рассматривать данную статью.

Цифровые технологии в управлении и транспорте.

На современном этапе развития общества экономика и техническое развитие непрерывно связаны с развитием и использованием цифровых технологий. Именно так можно ввести синоним для термина «цифровизация». Цифровизация является этапом информатизации и компьютеризации, синтезированным с сетевыми системами. Это в первую очередь связано с технологией Интернета вещей (IoT – Internet of Things) [7]. Основа цифровизации лежит в представлении информации в дискретном цифровом виде (коде). Переход к масштабному использованию цифровой информации является двигателем общественного развития. В аспекте интеллектуализации информационные технологии делят на «тупые» (простые), «сообразительные» (smart) и «интеллектуальные» [9]. Технология современной цифровой железной дороги находится между «простой» и «сообразительной». Технология движения «в конверте» [10] или блоковая технология [11] не являются интеллектуальными.

Транспортная отрасль наряду с медициной, медиабизнесом, банковским сектором, госуправлением, является высокотехнологичным направлением, тесно связанным с цифровыми информационно-коммуникационными технологиями. Можно уверенно сказать, что «цифровые технологии» пришли в транспорт [12] и логистику [13] надолго.

В России, в рамках ведомственного проекта «Цифровой транспорт и логистика», выделены основные направления:

- Грузоперевозки, включающие в себя цифровую биржу вагонов, цифровые накладные и декларации, трансграничные документы, планирование и оптимизация логистики с помощью АСУ, с возможностью реализации услуг «от двери до двери».

- Пассажирские перевозки, включающие в себя цифровые билеты и сервисы, программу лояльности и бесшовную технологию при совершении поездок на различных видах транспорта.

- Беспилотное управление транспортными средствами с сохранением необходимого уровня безопасности и киберзащищенности. Следует отметить, что беспилотное управление является интеллектуальным. Рассмотрим, какие сервисы и технологии развиваются на железной дороге.

Цифровой транспортный сервис.

В соответствии с цифровым транспортом развивается и цифровой сервис. Высокоскоростная беспроводная связь и цифровые услуги кардинально повышают привлекательность железных дорог для путешественников. Существует много возможностей для пассажирских железнодорожных услуг при применении цифровых технологий.

Одна из проблем, требующей решения – мобильная связь для скоростных поездов. Надежный беспроводной доступ в интернет является проблемой для поездов, когда они проходят через районы с небольшим количеством мобильных широкополосных вышек. Эта проблема возникает при прохождении через туннели или мосты. Проблема трафика возникает, когда много людей на борту поезда хотят быть одновременно в сети. Некоторые операторы разработали временные решения, такие как Virgin Trains в Великобритании, которые транслируют телевидение, фильмы, новости и игры на смартфоны и ноутбуки с бортовых серверов. В этом направлении будет развиваться сервис и в ОАО «РЖД». Решения на основе WLAN стали основным инструментом для взаимодействия сетей беспроводной связи типа «вагон-вагон» и «поезд-инфраструктура», так как они освобождают от необходимости прокладки кабеля. Пока известны лишь пилотные проекты, которые работают не стабильно.

Однако в долгосрочной перспективе пассажирские железные дороги должны будут предоставлять подключение с постоянной высокой пропускной способностью, чтобы клиенты были довольны. Например, французская железная дорога SNCF установила около 18 000 антенн для парка из 300 поездов, плюс вышки связи 4G через каждые три километра, чтобы обеспечить покрытие большей части своей пассажирской сети TGV. SNCF и транспортный оператор RATP находятся в процессе расширения сети связи 4G до региональных и пригородных поездов, а также парижского метро.

В будущем планируется развертывание сверхскоростных, мощных беспроводных сетей 5G, которые смогут поддерживать гораздо большие и более безопасные потоки данных. Япония тестирует 5G на скоростных поездах в рамках подготовки к Олимпиаде 2020 года. Network Rail, поставщик железнодорожной инфраструктуры Великобритании, имеет планы по развитию мобильной связи 5G по всей стране к 2025 году. Пилотная программа с гигантом сетевого оборудования Cisco на ScotRail, как сообщается, достигла сверхбыстрой 600 MBps в испытаниях. В Москве планируется использовать для тестирования 5G диапазон 25,25–29,5 ГГц (ранее он был ограничен до 27,5 ГГц) на территории спорткомплекса «Лужники» и делового центра «Москва-сити» в течение 2019 года. Оператор МТС и власти Москвы создадут на ВДНХ экспериментальную зону для 5G поколения, где будут тестировать различные решения в области умного города. Например, уборку территории при помощи беспилотного транспорта. Также они будут тестировать автоматическое регулирование пропускной способности дорог, оптимизацию парковочного пространства, повышение безопасности на дорогах, например,

системы безопасного обгона и светофоры, которые анализируют трафик. В восьми крупнейших городах-миллионниках новый стандарт сотовой связи власти планируют запустить к 2020 году. А в 2025 году – уже 16 населенных пунктах с населением свыше миллиона человек.

Достижение высокого уровня цифрового сервиса потребует финансовых инвестиций. Однако он хорошо окупается за счет высокого пассажиропотока и доходов от массовой продажи цифровых услуг (в дополнение к цене билета или как часть его цены). Исследования указывают на то, что расходы на интеллектуальную и общую мобильность на пассажирские перевозки увеличиваются с четырех процентов сегодня до 20 процентов к 2040 году [14].

Продолжающаяся всеобщая цифровизация в железнодорожной отрасли указывает на то, что потребности клиентов претерпевают качественные изменения все более быстрыми темпами. Клиенты хотят чувствовать себя в путешествии как дома – смотреть любимый сериал, слушать приятную музыку, читать любимую газету. Чтобы предоставить все это пассажиру многие концерны и операторы ищут новые идеи и технологии, которые позволили бы привлечь новых клиентов к себе на борт.

Например, Deutsche Bahn и Siemens Mobility заключили соглашение о сотрудничестве в области DB Regio Ideas Train [15] (поезд идей): платформа для разработки инновационных концепций для регионального транспорта и мобильности будущего. Siemens Mobility – первый производитель транспортных средств, сотрудничающий с Ideas Train, объединяет усилия, чтобы убедить местные транспортные власти внедрять новые идеи и цифровые технологии в региональном транспорте.

Ideas Train позволяет пассажирам испытать будущее региональных путешествий. Модель двухэтажного поезда в натуральную величину разделена на различные зоны, а цифровые технологии позволяют посетителям увидеть и почувствовать инновации в дизайне интерьера и испытать уникальные путешествия. Зоны на Ideas Train варьируются от спортивных и премиальных рабочих отсеков до зон общественного просмотра, и релаксационных отсеков. Пассажиры могут получать последние новости на разных экранах этого удивительного поезда.

Платформа Ideas Train предназначена для создания опыта путешествий с цифровыми функциями, которые необходимы для удовлетворения потребностей целевой группы. Моделирование идеального путешествия позволит создать необходимую среду пассажиру и трансформировать ее в реальные объекты – поезда, вагоны, купе. Поезд идей вносит существенный вклад в исследования и разработки транспортных средств для пассажирских перевозок будущего. Siemens является проводником, который может сопровождать внедрение новых технологий и инноваций. Возможность разработки и тестирования технологий для лучшего интегрированного пассажирского опыта осуществляется с помощью MindSphere, облачной операционной системы с открытым интернетом вещей от Siemens.

Siemens уже установил первые прототипы в поезд идей. Одним из таких прототипов является активная система шумоподавления в модуле питания вагона. Он уменьшает шум от ветра, системы обработки воздуха, тележек таким образом, что пассажиры, находящиеся там не будут ничем потревожены и приедут в пункт назначения, хорошо отдохнувшими. Поддержку Siemens для этой системы оказывает израильская компания Silentium.

Пассажиры, которые хотят оставаться в курсе событий или развлекаться, могут попробовать smart seat (умное кресло), которое было создано в сотрудничестве с польской компанией TAPS. Сиденье предлагает ряд цифровых услуг. Пассажиры могут купить билеты и зарегистрироваться на следующий рейс, благодаря встроенному экрану. Они также могут

заказать еду и напитки в ресторане, купить необходимые товары и сувениры на борту, слушать музыку и смотреть фильмы. Пассажиры могут настроить положение сиденья и сохранить настройки в облаке с помощью Siemens MindSphere. Если они меняют поезда и регистрируются, их место «перемещается» в сохраненное положение, и их фильм начинается там, где он остановился. Также там отображается текущая информация о поездке. В результате получается бесшовное, персонализированное путешествие.

Также компания Siemens сделала в Ideas Train существующую систему видеонаблюдения (CCTV) еще умнее (iCCTV). Теперь наличие свободных мест для пассажиров, мест для инвалидных колясок и мест для детских колясок может контролироваться и отображаться пассажирам и поездным служащим в поезде, а также может быть интегрировано в мобильные приложения, такие как DB Navigator.

Сегодня индустрия мобильности переживает подлинную трансформацию, поскольку рынки открываются для конкуренции, ожидания клиентов растут, и новые игроки появляются в ответ на изменение образа жизни. В то же время появление цифровых и других новых технологий открыло перед железнодорожными операторами возможности для самореализации и достижения значительных успехов в повышении конкурентоспособности и производительности.

Вместе – новые технологии, интеллектуальная автоматизация и новые решения для хранения энергии изменят железнодорожную промышленность, повышая ожидания на всей планете и на борту поезда. Железнодорожные операторы планируют реагировать на эти возможности с большей емкостью и большей пунктуальностью, гибкостью и бережливостью, продолжая обеспечивать полную безопасность, а также лучшее обслуживание клиентов и более высокую производительность своего бизнеса.

Миссия французского оператора SNCF Group – сделать мобильную жизнь проще и дать возможность всем – пассажирам, компаниям и транспортно – логистическим операторам экономить свое время. Но как? Это будет сделано путем сокращения расстояний и времени в пути, за счет более привлекательного общественного транспорта и сосредоточения внимания на то, чтобы не навредить нашей зеленой планете.

Для достижения этих целей поезд будущего будет полностью цифровым, без водителя и без выбросов. Все это ведет нас к интеллектуальной железной дороге.

Комплексная модель поезда будущего.

Следует отметить, что цифровые технологии и цифровизация являются не столько средством достижения высоких показателей, сколько средством интеграции [16] методов и технологий и средством поддержки интеллектуальных технологий транспорта. Эта интеграция обуславливает то, что в цифровом мире поезда и транспортная инфраструктура должны быть соединены информационными пространствами [17], обеспечивающими технологические изменения для повышения качества обслуживания клиентов и повышения производительности технических систем.

С цифровыми поездами обслуживающий персонал будет получать информацию в режиме реального времени о состоянии всех систем, от инфраструктуры до подвижного состава и станций, поскольку технология подключенных между собой объектов обеспечивает огромные объемы данных о состоянии различных компонентов. Эта информация будет вводиться в прогностические модели для прогнозирования состояния каждого поезда и объектов инфраструктуры через заранее определенные интервалы времени для эффективного

планирования работ по техническому обслуживанию исходя из состояния оборудования [18].

Точная геолокация поездов будет обеспечивать безопасность железнодорожной системы, позволяя операторам обходиться виртуальной системой сигнализации и автоматизации и тем самым не использовать датчики (бализы) на путях – основного источника дорогостоящего монтажа и обслуживания на инфраструктуре. Геолокация также является важным компонентом будущих повседневных железнодорожных операций. Для дальнейшего развития планируется замена фиксированных блок-участков на движущиеся блоки или на более чувствительные виртуальные блоки [19]. В дополнение к эксплуатации поездов без машиниста и управлению трафиком с большей точностью необходимо обеспечить предоставление клиентам лучшей информацией с помощью Wi-Fi и встроенного на борту сервера. Быстро меняющиеся стандарты телекоммуникационной среды также будут поддерживать переход к завтрашнему цифровому поезду, поскольку технология 5G уже скоро заработает. Те коммуникационные решения, которые первоначально были разработаны для автотранспортных средств, смогут применяться для железнодорожного транспорта, с учетом их скорости движения и объема передаваемой информации.

В железнодорожной отрасли уже произошли две важные новации: электрификация и высокоскоростные поезда. Беспилотное управление будет третьей новацией. Беспилотное управление является объективной потребностью развития транспорта как реакция на насыщенность основных направлений дорог и повышение скорости движения. Чем выше скорость, тем менее эффективна человеческая реакция и тем опасней ее применение в управлении. Беспилотное управление позволяет улучшить работу большего количества поездов на одной и той же инфраструктуре, оптимизировать скорость, увеличить объем, сгладить трафик, повысить производительность и обеспечить прибытие в срок. Поезда без машиниста также более экологичны, так как обеспечивают значительную экономию энергии при энергоэффективным графике движения.

Для обеспечения безопасного движения поезда без машиниста необходимо применение следующих решений и технологий [20]:

- система технического (машинного) зрения;
- нейронные сети с самообучением;
- высокоточное позиционирование поезда;
- бортовая электронная карта;
- безопасные и высокоскоростные каналы связи (сети LTE или 5G);
- дистанционный контроль оператором, в случае непредвиденных ситуаций (для GoA 3).
- автоматическая интеллектуальная система управления движением поездов;
- информационная и кибер- безопасность.

Беспилотные поезда с нулевым выбросом

Современный поезд должен оказывать влияние на окружающую среду как можно меньше. В мире работают над уменьшением углеродного выброса в течение многих лет. Сегодня 80 процентов железнодорожных перевозок (выраженных в километрах на поезде) осуществляется за счет электрической тяги, что приводит к очень низкому уровню выбросов CO₂.

Оставшиеся 20 процентов также необходимо постепенно исключать. Текущие инновационные проекты направлены на сокращение потребления энергии, ликвидацию вредных выбросов в городских центрах и других уязвимых районах и, в конечном счете, создание поезда с нулевым выбросом.

С точки зрения инфраструктуры задача заключается в достижении «экономной электрификации» – решения, которое обеспечивает достаточное количество электроэнергии для питания поезда при поддержке системных решений, сочетающих инновации в подвижном составе и инфраструктуре.

Примером может являться система хранения энергии Powerpack, которая была внедрена в японской Осаке. Компания Tesla совместно с местным железнодорожным оператором Kintetsu обеспечило резервным питанием проходящие поезда. В случае аварии она поможет пассажирам добраться до ближайшей станции. Кроме того, Powerpack обеспечивает энергетические потребности железнодорожной станции в часы пик. Установка мощностью 7 МВт·ч состоит из 42 блоков питания, установленных непосредственно на станции, позволяет обеспечить необходимой энергией поезда, проходящие в пиковую нагрузку, без замены и реконструкции имеющихся подстанций.

Кроме того, бортовые решения для хранения энергии могут также обеспечить необходимое ускорение во время движения поезда, когда на участке ограничено потребление или есть аварийная ситуация, без ущерба для производительности.

Для хранения энергии на борту поезда существуют два основных решения – аккумуляторы и водород. Применяя инновационный подход для гибридного терминального проекта группа SNCF уже работает с несколькими французскими регионами и Alstom, осуществляя этот водородный проект.

Гибридный пассажирский поезд TER, поставленный для эксплуатационных испытаний во Франции в 2021 году, будет сочетать дизельную и контактную мощность с энергией от бортовых литий-ионных батарей. Новый поезд будет работать в основном в режиме дизель-плюс-аккумулятор, сокращая потребление энергии на 20 процентов. Энергия, хранящаяся в батарее, может также использоваться для отключения дизельного двигателя на станциях и в некоторых городских районах – режим работы, который уменьшает выбросы до очень низких уровней, но ограничивает диапазон поезда до нескольких десятков километров.

В России ОАО «РЖД» совместно с АО «РОСНАНО» и АО «Трансмашхолдинг» планируют создание экологически чистых маневровых локомотивов с использованием гибридного привода на базе отечественных литий-ионных аккумуляторных батарей для работы на пассажирских вокзалах крупных городов. По сравнению с традиционными тепловозами, они демонстрируют существенное сокращение выхлопов, радикальное снижение шума при работе и позволяют снизить воздействие тягового парка на окружающую среду. Использование гибридного привода на локомотивах позволит операторам подвижного состава существенно снизить расходы в течение жизненного цикла. Одним из решений по уменьшению воздействия на природу является применение для тяги локомотива – сниженного природного газа. Газотурбовоз ГТ1h — российский опытный тепловоз с газотурбинным двигателем, на котором используется двигатель, работающий на сжиженном природном газе, соединённый с генератором переменного тока, хотя и прошел успешные испытания, но говорить о повсеместном применении на всей сети не позволяет отсутствие необходимой инфраструктуры.

Тем временем водородные технологии открывают новые горизонты. Соперничая с дизельными поездами, гибридные, которые совмещают водород с электричеством или батареями, предполагают, что будущее за ними. Запуск первого французского поезда на водороде намечается к 2022 году. Благодаря инновационным и исследовательским проектам, поезд будущего – это беспилотный, умный и экологичный.

Теоретические и технологические решения цифрового поезда.

Для обеспечения безопасного и оптимального управления транспортным объектом необходимо применение традиционных методов измерения состояния объекта и его окружения. Таким образом обеспечивается обнаружение опасных объектов по пути движения поезда, который выполняется с использованием трековой оценки, при которой показатель достоверности состояния (трека) увеличивается пропорционально частоте наблюдения [21]. Это приводит к необходимости использования интенсивных информационных потоков для анализа состояния поезда и окружающей среды. При анализе необходимо использовать модель ситуации, которая включает информационное окружение [22] поезда, как объекта управления.

В теории управления ЦЖД [23] возникает необходимость использования технологий информационного управления подвижными объектами [24, 25] и технологий многоцелевого управления [26 – 27]. Один из вариантов управления подвижными объектами достигается путем перебора альтернатив. В теории управления ЦЖД возникает необходимость использования ситуационного управления и моделей информационной ситуации [28]. Для высокой формализации управления создают специальные языки, которые включают алфавит. Таким управленческим алфавитом являются информационные единицы как элементы языка управления. При этом можно выделить разные информационные единицы: ситуационные информационные единицы, логические информационные единицы [29], информационные единицы пространственных объектов, информационные единицы визуального представления ситуации. При цифровом управлении возрастает роль ситуационного управления [30] как технологии управления.

Заключение.

Современное развитие цифрового транспорта является переходным между автоматизированным и интеллектуальным транспортом. Одним из перспективных направлений является беспилотное управление железнодорожным транспортом. В мире накоплен большой опыт беспилотного управления воздушным транспортом. Частично такие технологии применяют в автомобильном транспорте. Теперь настает очередь железнодорожного транспорта. Технологии цифрового поезда в настоящее время трансформируются в технологию интеллектуального поезда. Развитие цифрового транспорта требует развития цифрового транспортного сервиса и развития цифровой транспортной инфраструктуры.

Список литературы

1. Зуев А., Мясникова Л. Впереди цифровая революция //Свободная мысль-XXI. – 2003. – № 5. – С.55–63.
2. Don Tapscott The Digital Economy. Promise and Peril In The Age of Networked Intelligence. Publisher: McGraw-Hill Published: – 1994, – 368p.
3. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика. – М.: Янус-К, 2002. – 392с.
4. Rosenberg M. J. E-learning: Strategies for delivering knowledge in the digital age. – New York: McGraw-Hill, 2001. – V.3.
5. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 4(4). – С.45–53.
6. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 3(4). – С.3–15.

7. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88с.
9. Цветков В. Я. Информатизация: Создание современных информационных технологий. Часть 1. Структуры данных и технические средства. – М.: ГКНТ, ВНТЦентр, 1990. – 118с.
10. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3(76). – С.50–61.
11. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 1(9). – С.17–26.
12. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 1(1). – С.82–91.
13. Булгаков С.В. Интегрированная логистика // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3(7). – С.57–63.
14. <https://www.globalrailwayreview.com/article/80184/digital-travellers-needs-connected-train/> дата доступа 12.05.2019.
15. Link H. Rail Restructuring in Germany: 8 Years Later //Japan Railway & Transport Review. – 2003. – Т. 34. – Р.42–49.
16. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5(49). – С.6–9.
17. Ожерельева Т.А. Информационное пространство как инструмент поддержки принятия решений // Славянский форум. – 2016. – № 4(14). – С.169–175.
18. Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Лысыков М.Г., Ольшанский А.М. «О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data» // Техника железных дорог. – 2018. – № 1(41), – С.32–37.
19. Efim Rozenberg, Alexey Ozerov. Digitisation of train command and control // 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2019). Published by Elsevier ltd.
20. Попов П.А., Охотников А.Л. Поезд без машиниста – российские перспективы// Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 8, – С.4–6.
21. Охотников А.Л. Применение теории Демпстера-Шафера для оптимизации перевозок // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 1(9). – С.61–74.
22. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. – 2014, – № 6-1(76). – p.1059–1065.
23. Kauppi A. et al. Future train traffic control: control by re-planning //Cognition, Technology & Work. – 2006. – Т. 8. – № 1. – Р.50–56.
24. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. – 2012. – № 1(1). – Р.40–44.
25. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – № 1(9). – С.53–60.
26. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. – 2012. – № 2(2). – Р.140–143.
27. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. – № 4. – С.65–68.
28. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 2(6). – С.16–24.
29. Охотников А.Л., Логическая информационная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 4(8). – С.23–32.
30. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – № 2. – С.42–46.