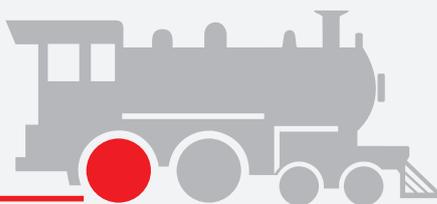


сетевое издание

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

В ВЫПУСКЕ

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

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

«ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕДУКЦИОННОГО ПОДХОДА»

Замышляев А.М.

«ИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Данилов К.В., Капустин Н.И.

«ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ»

Охотников А.Л., Павловский А.А.

«ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ВЕДЕНИИ КАДАСТРА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ»

Щенников А.Н.

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ КАК СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Дулин С.К., Якушев Д.А.

«ТОЧНОСТЬ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ»

Буравцев А.В.

«СИСТЕМНО-КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ»

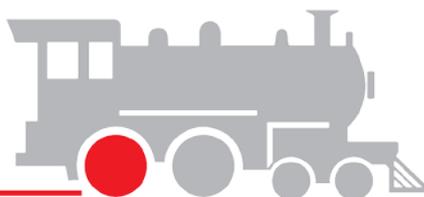
ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Хохлов Н.И., Фаворская А.В., Иванов А.М.

«МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В РЕЛЬСОВОМ ПОЛОТНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ GPGPU»

№4

Декабрь 2017



Стратегия развития железных дорог

- Лёвин Борис Алексеевич, Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич*
Генерализация транспортных сетей на основе редуccionного подхода 3
- Замышляев Алексей Михайлович*
Информационное управление в транспортной сфере 11

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

- Данилов Константин Владимирович, Капустин Николай Иванович*
Технологии BIG DATA в железнодорожной отрасли 25
- Охотников Андрей Леонидович, Павловский Андрей Александрович*
Информационное моделирование при ведении кадастра транспортной инфраструктуры 34
- Щенников Алексей Николаевич*
Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы 45

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

- Дулин Сергей Константинович, Якушев Дмитрий Алексеевич*
Точность геопространственных данных железнодорожной инфраструктуры, полученных методом мобильного лазерного сканирования 54
- Буравцев Алексей Владимирович*
Системно-категориальный анализ транспортных систем 63

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

- Хохлов Николай Игоревич, Фаворская Алена Владимировна, Иванов Андрей Михайлович*
Моделирование распространения динамических волновых возмущений в рельсовом полотне с использованием ускорителей GPGPU 72

УДК: 656, 004.89, 656.052

ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕДУКЦИОННОГО ПОДХОДА

- Лёвин Б.А.** д.т.н., профессор, ректор, Российский университет транспорта (МИИТ),
E-mail: tu@miit.ru, Москва, Россия
- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Генеральный директор, АО «НИИАС»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС»,
E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья описывает методику генерализации масштабных транспортных сетей. Показано, что многие транспортные сети являются отражением проблемы больших данных. Показано что их визуальный анализ сталкивается с проблемой необозримости и не воспринимаемости. Одним из методов управления в сложных сетях является предлагаемый метод редукции больших сетей. Редукция сетей упрощает сложную графовую модель и делает ее приемлемой для визуального анализа и принятия решений на ее основе. В основе редукции используются топологические свойства объектов, позволяющие менять конфигурацию при сохранении топологии. Редукция улучшает воспринимаемость сети.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, транспортные сети, большие данные, большие графы, редукция, визуальные модели

GENERALIZATION OF TRANSPORT NETWORKS ON THE BASIS OF A REDUCTION APPROACH

- Levin B.A.** D.ofSci(Tech), Professor, Rector, Russian University of Transport (MIIT),
E-mail: tu@miit.ru, Moscow, Russia
- Rosenberg I.N.** DofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIIAS»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIIAS",
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes the methodology for the generalization of large-scale transport networks. The article proves that many transport networks are a reflection of the problem of large data. Paper shows that the visual analysis of large transport networks is faced with the problem of unobtrusiveness and not perceivability. The method of reduction of large networks is one of the methods of control in complex networks. Reduction of networks simplifies a complex topological model and makes it acceptable for visual analysis. Reduction of networks creates the ability to make decisions in complex networks. Reduction uses topological properties of objects, allowing you to change the configuration while maintaining the topology. Reduction improves the perceived network.
- Keywords:** transport, management, transport networks, large data, large graphs, reduction, visual models

Введение.

Транспортные сети играют важную роль при управлении транспортном и решении логистических задач. Анализ транспортных сетей требует решения ряда специальных задач, в

первую очередь связанных с топологией. Однако топология не полностью отражает реально существующие транспортные системы. Современная транспортная сеть является гетерогенной, поскольку разные транспортные системы : автомобильная, авиационная, морская и железнодорожная - взаимосвязаны друг с другом. Кроме того современные транспортные сети содержат множество компонентов и являются сложными системами. При управлении транспортом мегаполиса возникает необходимость комплексного мониторинга [1, 2] и интеллектуального управления транспортом [3]. Для транспортных сетей существует большое число факторов, затрудняющих их нормальное функционирование. Примерами таких инцидентов являются: аварии, ураганы, наводнения и нападения. Большое число факторов, влияющих на работу сети, требует перехода от управления с одним критерием оптимальности к комплексному многокритериальному управлению [4]. Усложнение транспортных сетей связано с дополнением их коммуникационными сетями [5], которые становятся интегрированными с транспортной сетью. Усложнение транспортных сетей связано с дополнением их космическими технологиями [6], которые становятся частью управления транспортом. Усложнение транспортных сетей связано с функционированием по ним материальных потоков, которые создают «сеть внутри сети» и также требуют анализа. Реальная ситуация сети требует введения понятия информационная ситуация [7] для тщательного анализа окружения, в котором находится управляемый объект транспорта. Развитие современных распределенных технологий управления [8] также требует анализа сетей. Все это в совокупности делает актуальной задачу анализа транспортных сетей и разработку методов упрощающих анализ сети и управление внутри сети. К таким методам относится метод генерализации транспортных сетей.

Большие графы.

При управлении транспортными потоками в сфере железнодорожного транспорта возникает необходимость работы с транспортными сетями, которые представляют собой «большие графы» с количеством вершин от сотен до сотен тысяч. Аналогичная задача возникает при управлении транспортом мегаполиса. При когнитивном анализе больших систем и больших графов возникает проблема необозримости и не воспринимаемости [9] такой визуальной модели. Поэтому для визуализации и воспринимаемости графовой модели с большим числом вершин требуется разработка методов редукции такой модели для возможности ее восприятия и анализа. Для этой цели применяют два метода: размещение и генерализация.

Следует отметить, что, говоря о графах, часто имеют в виду плоские графы, хотя существуют и другие виды графов. Плоские графы отображаются в виде двумерных графических схем трёх типов: структурные, временные, пространственные. Структурные схемы отображают связи между объектами в пространстве параметров. Объекты размещаются на схеме для воспринимаемости информационной ситуации. В качестве дополнительного представления структуры связей используют матрицу смежности. Способ заполнения ячеек матрицы задаёт тип связей.

Временные схемы отображают временные взаимосвязи между событиями и объектами предметной области. В этой схеме применяют горизонтальную временную ось для отображения временных событий и вертикальную для отображения состояний объектов. Масштаб временной оси задают либо равномерной шкалой, либо логарифмической, в зависимости от временных масштабов. Для временного анализа событий без привязки к структуре связей используют круговые и линейные временные диаграммы.

Пространственные графовые схемы используют для отображения связей между пространственными сетевыми объектами, имеющими координатную локализацию. Положение объектов на схеме задается не координатами, а пространственными отношениями [10]. Пространственные графовые схемы показывают не реальное расстояние, а взаимное расположение объектов «ближе». «дальше».

Примером пространственной графовой схемы служит схема метрополитена, которая четко определяет точки пересечения линий (станции пересадки) и взаимное расположение станций. Однако реальные расстояния на этой схеме измерить нельзя. Например, кольцевая часть схемы может выполняться в виде кругов, прямоугольников, эллипсов или геометрически неправильных

фигур. Все это топологически равнозначно, но некорректно метрически. Граф выражает в первую очередь отношения. Некоторые псевдоученые вводят понятие «метрический граф». Это нонсенс. Метрические свойства исключают возможность топологических преобразований.

На практике для визуального анализа также используют комбинированные схемы, в которых отдельные вершины представляют в виде принятых условных знаков в соответствии с онтологическими соглашениями. По аналогии с построением тематических карт можно строить тематические транспортные сети, когда на схеме выделяют важный груз или поток, исключая все остальные.

Размещение узлов и связей на сетевой схеме является важной задачей, так как при одном и том же количестве узлов схема может быть воспринимаемой или не воспринимаемой. Размещение узлов в ручном режиме требует значительных временных затрат даже для схем с десятками узлов.

Поэтому для решения задачи размещения разработаны программные продукты для размещения узлов и связей. В качестве примеров можно привести: Графо анализатор [11], Gephi [12], NetMiner4 [13], i2 Analyst's Notebook, Cytoscape, Sentinel Visualizer, CrimeLink, Visual Graph [14], Xanalys Link Explorer [15], VisuaLyzer, Tulip, Tom Sawyer Software, igraph, , COSBILab [16], , GraphViz [17] и другие.

Эти программные продукты в соответствии с заявленными возможностями позволяют работать от 1000 до 10 000 000 вершин. Это характеризует масштаб транспортной сети и область применения понятия «большие графы» (рисунок 1) или «большие транспортные сети».

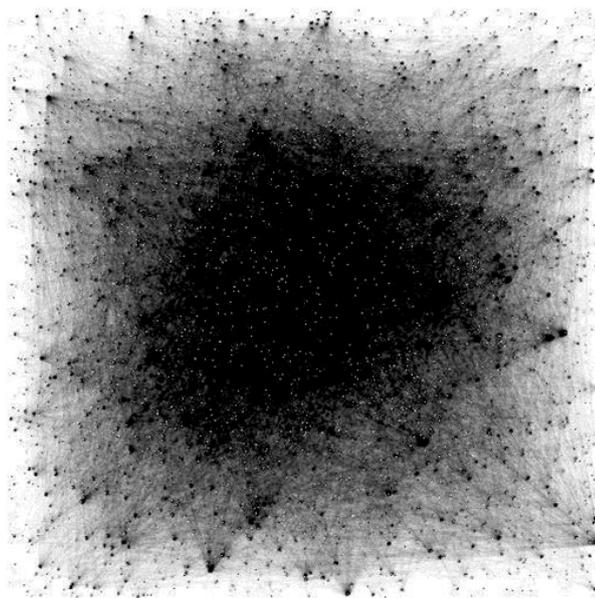


Рисунок 1 - Пример большого графа

На рисунке 1 изображен плоский большой граф с большим числом верши. Но воспринимается он как полутонное изображение. Это происходит из-за большого числа вершин и связей между ними. Здесь напрашивается полная аналогия с понятием «большие данные» [18]. На практике даже при работе даже со 100 000 вершинами уже возникают проблемы и ограничения. Программные средства, как правило, предоставляют несколько вариантов автоматического размещения. Варианты размещения используют свойства топологических инвариантов и топологического родства. Среди предлагаемых этими продуктами вариантов можно выделить следующие методы размещения:

1. Круговое размещение (рисунок 2). В этом случае узлы равномерно располагаются по одной или нескольким окружностям. Распределение по окружностям производится на основе структуры связей с использованием топологических инвариантов.

2. Ортогональное размещение. В этом методе используют ортогональное представление,

согласно которому связи изображаются в виде ломаных линий, включающих горизонтальные и вертикальные отрезки.

3. Уровневое размещение. В этом методе узлы распределяются по нескольким горизонтальным или вертикальным уровням таким образом, чтобы между узлами одного уровня не было связей. Примером такой схемы является иерархическая модель (иерархическое размещение).

4. Метод физических аналогий. В этом методе узлы рассматриваются как система материальных точек, между которыми действуют силы, определяемые на основе структуры связей. Размещение является результатом моделирования поведения такой системы в течение некоторого промежутка времени. Полученное изображение, как правило, хорошо отражает регулярную структуру и симметрию системы связей. Примером такой схемы является модель определения центра масс.

5. Инкрементное размещение. В этом методе один или несколько узлов помещаются в центр размещения, а остальные «развертываются как веер» относительно центральной группы.

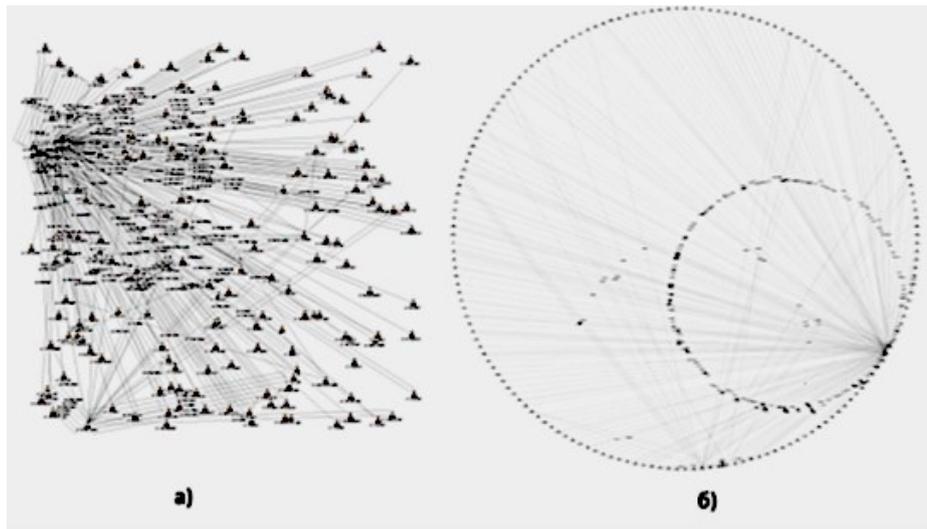


Рисунок 2 - Редукция графовой сети путем кругового размещения [19].

На рисунке 2а показан исходный граф. На рисунке 2б показан то же граф после редукции (размещения). Рисунок 2б не только лучше воспринимается, но главное он позволяет осуществлять с большей легкостью рекуррентный или интеллектуальный анализ с визуальным контролем процесса анализа.

Распознавание латентной структуры, скрытой в масштабных сетях, является важной задачей, решение которой необходимо для качественной оценки сложных сетей, а также для анализа сложных систем. Сложные системы содержат множество компонентов (блоков), которые имеют определенные функции.

Различие между сложными системами [20,21] и сложной сетью в том, что сеть, прежде всего, отражает структуру связей между узлами или взаимодействие между узлами. Сложные системы имеют дополнительные свойства: целостность, эмерджентность, интегративность, многоуровневость структуры, а также наличием отношений, которые не являются связями, но влияют на функционирование системы. Сеть является более простым объектом в сравнении со сложной системой. В силу этого представление сложной системы и сложной сети не эквивалентны, хотя имеют общие признаки. Блоки или компоненты сети и сложной системы имеют внешние и внутренние связи.

Сеть отражает структуру связей между узлами и взаимодействие между узлами. В сети и в сложной системе можно выделить блоки, которые имеют внешние и внутренние связи. В представлении сети блоки (компоненты системы) являются совокупностью вершин с высокой плотностью внутренних связей и низкой плотностью внешних связей. Это является основным критерием группировки и генерализации сетей и переходе от простой сети к блочному

представлению. Таким образом, генерализация в графовом представлении означает переход от простого узлового представления сети к блочному представлению. В когнитивном управлении этот механизм лежит в основе построения когнитивных карт [22, 23].

Правильно подобранное блочное представление поможет выявить латентную информацию. Оно позволяет повысить воспринимаемость и подчеркнуть скрытые структурные закономерности. Однако восприятие человека и компьютера является разным. То, что сложно для человека может быть легко для компьютера. Например, бытует мнение, что графы изображаются только одной схемой, в которой линии отображают связи, а вершины сущности. Эта схема легко воспринимается человеком. На самом деле существует альтернативная форма представления графа, которая человеческим интеллектом воспринимается с трудом. Это схема, в которой сущности (вершины) изображают горизонтальными отрезками, а связи вертикальными. На рисунке 3 даны два изображения одного графа. Изображение на рисунке 3А соответствует распространенному изображению: сущности - вершины, связи - дуги. Изображение на рисунке 3Б соответствует изображению, применяемому при производстве интегральных схем: сущности – горизонтальные отрезки, связи – вертикальные отрезки.

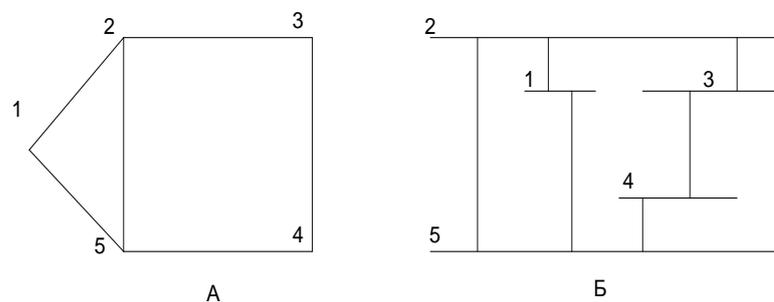


Рисунок 3 - Два варианта изображения одного графа.

При работе с графами возникает задача аналогичная кластеризации, которая называется выделение блоков. Выделение блоков является актуальной задачей теории графов, которая формулируется как задача разбиения вершин мультиграфа на блоки. Мультиграфом называют граф, у которого между парой вершин существует более одной связи. На рисунке 4 приведен пример сети, разбитой на блоки с высокой плотностью связей внутри блоков и низкой плотностью связей между блоками.

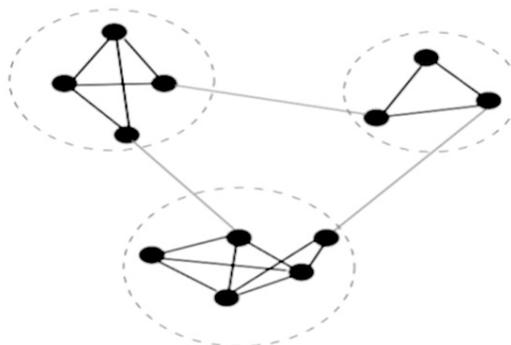


Рисунок 4 - Выделение блоков на графе

Выделение блоков является альтернативой кластеризации, но использует другой механизм. На рисунке 5. показан результат разбиения.

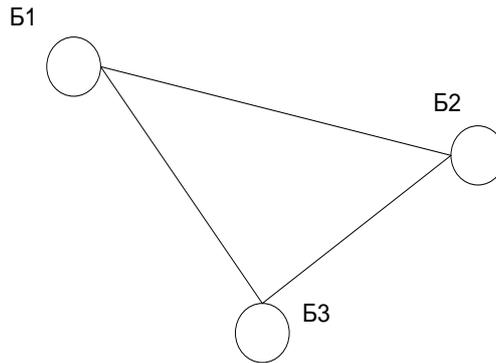


Рисунок 5 - Результат разбиения сети на рис.4 на блоки

Обозначим через M разбиение n вершин графа V на m блоков. Поставим в соответствие разбиению сети M некоторое значение Nm – верхнюю границу длины кодового слова. Для расчета показателя Nm используем энтропийный подход Шеннона [24]. Этот подход основан на предположении того, что при использовании m кодовых слов для описания n состояний случайной величины X , которые встречаются с частотами p_i , средняя длина кодового слова не может быть меньше энтропии случайной переменной X .

$$H(X) = -\sum p_i \cdot \log(p_i), \quad (1)$$

В выражении (1) $H(X)$ – энтропия, $i=1 \dots n$, p_i – частота появления кодового слова или вероятность. Показатель разбиения на блоки Nm можно определить на основе (1) Для этого вводим случайную величину E , которая может иметь значения от 1 до m с вероятностями $q(i)$. Этот интервал соответствует количеству блоков. Для каждого блока i вводим случайную величину W_i , которая может принимать значения от 1 до n_i . Величина n_i соответствует количеству вершин в блоке i . Для каждой n_i существует вероятность p_{ki} , где $k=1 \dots n_i$. Вычисление показателя Nm связано с вычислением энтропии случайных величин E и W_i .

$$Nm = q H(E) + \sum p_i H(W_i)_{i=1}^m, \quad (2)$$

Здесь q – вероятность перехода между блоками на каждом шаге при случайном процессе перехода. Она определяется как $q = \sum q_i$, $i=1 \dots m$. Здесь q_i – вероятность покинуть блок i , p_α – вероятность посетить вершину α .

$$p_i = \sum p_\alpha + q_i, \quad (3)$$

Здесь p_i – вероятность остаться в блоке i . В выражении (2) $H(E)$ – энтропия переходов между блоками графа или нижняя граница средней длины кодового слова для кодирования блоков. Энтропия $H(W_i)$ характеризует перемещения (состояния) внутри блока и определяет нижнюю границу длины кодового слова для кодирования вершин в i -том блоке. В сущности методика аналогична кластерной, но является более абстрактной и не зависимой от конкретной сети.

Величина p_i – не зависит от разбиения сети на блоки. Поэтому, в процессе разбиения сети, необходимо хранение всех найденных: q_i и $t(p_\alpha)$. Здесь q_i – вероятность, с которой случайное перемещение входит и выходит из блока (обход графа), и $t(p_\alpha)$ – время, которое случайное перемещение тратит на нахождение в каждом блоке. Любой быстрый жадный алгоритм [25] может быть использован для минимизации Nm .

Альтернативой методу служит кластерный анализ, однако в нем необходимо выбирать критерий кластеризации эмпирически с учетом особенностей каждой схемы объектов и механизмов связей или взаимодействий между ними. Поэтому данный метод дает возможность сопоставления и переноса методов разбиения между разными сетями.

Заключение.

Проблема редукации транспортных сетей сопряжена с проблемой обработки больших данных и является одной из ее реализаций в области визуального моделирования. В прикладном аспекте решение этой проблемы упрощает анализ транспортной сети и позволяет применять различные алгоритмы для анализа сети и управления в ней. Основой решения является системно-топологический подход как метод анализа транспортных сетей.

Список литературы

1. Бондур В.Г., Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. Учебное пособие. - М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 72с
2. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.14-21.
3. Александров А.В. Интеллектуальное управление // Славянский форум, 2016. -1(11). – с.15-22.
4. Зотов М. Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления. – М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2004.
5. Вишневский В. М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации -М.: Техносфера, 2005
6. Майоров А.А. Применение космических технологий для управления // Государственный советник. – 2014. - №3. – с.38-41
7. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170.
8. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2003
9. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей// Перспективы науки и образования- 2013. -№3. С38-46.
10. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике// Науки о Земле. - 2012. - №1. - с.59-61.
11. Графоанализатор. // URL: <http://grafoanalizator.unick-soft.ru/> Дата обращения 08.08.2017.
12. Gephi. // URL: <https://gephi.org/> Дата обращения 08.08.2017.
13. NetMiner 4. // URL: <http://www.netminer.com/main/main-read.do/> Дата обращения 08.09.2017.
14. Касьянов В. Н., Золотухин Т. А. Visual Graph – система визуализации сложно структурированной информации большого объема на основе графовых моделей. // 25-я Международная конференция по компьютерной графике, обработке изображений и машинному зрению, системам визуализации и виртуального окружения GraphiCon2015. — 2015. — С. 154-163.
15. XAnalys Link Explorer. // URL: <http://www.xanalys.com/solutions/linkexplorer.html>. Дата обращения 06.09.2017.
16. COSBILab Graph. // URL: <http://www.cosbi.eu/research/prototypes/graph/> Дата обращения 06.05.2017.
17. GraphViz. // URL: <http://www.graphviz.org/> Дата обращения 08.09.2017.
18. Павлов А.И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – с.96-100.
19. Коломейченко М. И. Математическое и программное обеспечение визуального анализа графовой информации сети взаимодействующих объектов. дис., к.т.н. Специальность 05.13.11 – М.: ИФТИ, 2016. – 156с
20. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. - 2014. - 1(5). - с.252 -257.
21. Савиных В. Системность в диссертационных исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №2 (10). – с.92-98.
22. Гольдштейн А.Б., Пожарский Н. А., Лихачев Д.А. О когнитивных картах в управлении

телекоммуникационным оператором. // Информатизация и связь. – 2016. - №1. – с.11-15

23. Цветков В.Я. Качественные пространственные рассуждения: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 60с.

24. Shannon C.E. A Mathematical Theory of Communication.// Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27. – PP. 379–423.

25. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104с.

УДК: 656.078

ИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТРАНСПОРТНОЙ СФЕРЕ

Замышляев А.М. д.т.н., зам. Генерального директора, АО "НИИАС",
E-mail: a.zamyshlyayev@vniias.ru, Москва, Россия

Аннотация. Статья анализирует применение информационного управления в транспортной сфере. Целью данной работы является раскрытие содержания информационного управления. Статья дает систематизацию организационно-экономических особенностей информационного управления. Показано различие между применением информационных технологий и информационным управлением. Описана диверсификация информационного управления. Статья описывает применение информационных единиц как нового метода информационного управления.

Ключевые слова: управление транспортом, информационное управление, информационные модели, информационные технологии, интеграция, информационные единицы

INFORMATION CONTROL OF TRANSPORT

Zamyshlyayev A. M. D.ofSci.(Tech), Deputy Director-General, JSC "NIIAS",
E-mail: a.zamyshlyayev@vniias.ru, Moscow, Russia

Annotation. The article analyzes the application of information management in the transport sector. The purpose of the work is to disclose the content of information management. The article provides a systematization of the organizational and economic features of information management. Paper shows the difference between the use of information technology and information management. The article describes the diversification of information management. The article describes the application of information units as a new method of information management.

Keywords: Transport management, information control, information models, information technologies, integration, information units.communication, spatial modeling.

Введение.

Современное управление транспортом [1-3] характеризуется применением интеллектуализации, информатизации и расширением использования когнитивных технологий [4]. Наряду с автоматизированным и интеллектуальным управлением в последнее время широко используется понятие информационного управления [5-9] и когнитивного управления. Информационное управление занимает место между автоматизированным и интеллектуальным управлением. Информационное управление не сводится к использованию информационных технологий и информационных систем. Оно опирается на ряд специфических принципов и информационный подход [10]. Необходимость улучшения управления транспортом - это актуальная проблема, которая постоянно расширяется и будет существовать неограниченное время [1, 2, 5]. Решение данной проблемы обуславливает необходимость исследования применения информационного управления на транспорте. Информационное управление на транспорте делится на две основные группы: управление подвижными объектами [11] и информационные технологии управления инфраструктурой [5, 13, 47-49], включая информационную инфраструктуру. В целом информационное управление является одним из ключевых средств повышения эффективности управления транспортом. Оно является основой

повышения надежности [12-14, 50-52] и снижения рисков [14-16, 53-55]. Необходимость совершенствования мероприятий по модернизации технологий управления требует соответствующего анализа и обоснования. Такое обоснование возможно на основе изучения практики и опыта уже существующих методов информационного управления с использованием информационных и коммуникационных технологий [17-18]. Развитие управления транспортом требует анализа опыта наиболее действенных решений по применению информационных технологий не только как инструмента управления, но и как инструмента поддержки управления.

Материалы и методы.

В основу исследования положен системный подход, методы сравнительного и экономического анализа, элементы экономико-математического моделирования, структурного анализа и проектирования, экономической статистики.

Диверсификация информационных методов управления.

Необходимо разграничивать применение информационных технологий [12, 18], информационных систем [13] и информационных методов [8, 10], включая информационное моделирование [19-20]. Информационные технологии отражают технологический аспект управления. Информационные системы отражают технический и технологический аспекты управления. Информационные методы отражают концептуальные, теоретические и методические аспекты управления. Все аспекты дополняют друг друга. Методы задают основу применения технологий и техники [21]. Применение информационных методов в управлении и имеет множество аспектов реализации. Аспекты можно поделить на общие, безотносительно к объекту управления, и частные применительно к объекту управления и динамике его поведения.

Общую характеристику информационного управления можно дать, используя парадигму: «описание; анализ; прогноз; реализация». Группировка методов информационного управления по группам дает возможность выделить «группы технологий». Эти группы включают: формирование и ведение баз данных; информирование, передачу знаний, управление объектами; управление персоналом, накопление опыта и др.

Также можно говорить об информационно-технологическом управлении технологическими процессами. Основой такого управления являются информационные модели ситуации, информационные модели объекта управления, информационные модели коммуникаций, информационные модели позиции объекта управления, информационные модели конкурентного преимущества, модели визуального управления и другие. В частности, метод ключевых показателей управления можно рассмотреть как метод управления с помощью информационной модели, параметрами которой являются ключевые показатели. При этом такие показатели должны быть информационно определяемыми показателями [56-57]. Информационно определяемые показатели - это показатели, значение которых в явном виде определяется на основе сбора информации, измерений или прямых вычислений по первичным данным.

Информационное управление связано с оптимизацией использования предприятием всех его ресурсов, персонала, оборудования, материальных ресурсов, финансовых ресурсов, интеллектуального потенциала [6, 8, 22]. Соответственно этому выделяют: информационный менеджмент персонала, оперативное информационное управление, информационный финансовый менеджмент, информационное управление ресурсами, информационную поддержку принятия решений и т. д. Это задает диверсификацию методов информационного управления.

Современное управление невозможно без применения комплексной технологии управления, основанной на современных программных решениях, позволяющей упорядочить информационные потоки, предоставить доступ к актуальным данным и обеспечить необходимые средства для поддержки принятия обоснованных управленческих решений. Одним из путей повышения эффективности управления деятельностью транспортного

предприятия является технология информационного управления, выполненная с системных позиций. Поэтому большую актуальность приобретает проблема рационального использования информационных подходов методов и технологий в интересах управления и развития социально-экономических систем [22].

Существует различие в теоритическом, методическом и техническом аспекте применения информационного управления. Исследования в теоретической области и в плане технического применения информационного управления ведутся в институте проблем управления им. В. А. Трапезникова. Следует отметить работы в этом направлении Кононова Д. А., Кульба В. В., Шубина А. Косяченко С. А. [6-7, 17, 22] и др. Однако эти работы имеют технический аспект и не направлены на технологическое внедрение методов информационного управления в сфере управления транспортными предприятиями.

В реальной практике существует разновидность информационного управления как средства локального управления производством и технологическими процессами на базе специализированных программных средств. По существу такое управление является проблемно ориентированным [23] и жестко привязано к программным средствам и специализированным информационным системам [24]. Большую работу в этом направлении проделал Шубинский И.Б. (Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа; Структурная надежность информационных систем. Методы анализа; Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза)

Принципиальной особенностью информационного управления является возможность интеграции разных технологий и методов в единую среду. Оно создает свойство интегративности [25] сложной системы, сложной организационно технической системы, сложной социально экономической системы. Свойство интегративности, наряду со свойством эмерджентности, является системным свойством современных сложных систем управления и является их качественным отличием от простых систем управления типа АСУ.

Информационный подход как основа информационного управления.

Информационный подход [10] служит базисом моделирования и информационного управления. Широкое применение информационных технологий управления связано не столько с появлением компьютеров и баз данных, сколько с появлением новой информационной среды коммуникаций. Эта среда диктует особые формы отношений в обществе, которые называются информационными отношениями [26]. Эта среда создает возможность интеграции разных технологий в единый технологический управленческий комплекс.

Информационный подход как основа информационного управления включает следующие компоненты: информационная интеграция данных и технологий, информационный анализ процессов и явлений, информационное описание структуры объекта управления, информационное описание объектов, отношений и связей, информационное описание структуры управленческих потоков, построение информационных моделей, применение метрик в различных пространствах, информационное моделирование.

Обращает на себя внимание термин «информационное описание». Особенность его в том, что в контексте информационных технологий и информационного подхода это информационное описание не произвольно, а выполняется в форме пригодной для обработки в компьютерных технологиях. Следовательно, речь идет об информационных описательных моделях или о дескриптивных информационных моделях [27].

Следует подчеркнуть различие между информационным моделированием и построением информационных моделей. Оно обусловлено тем, что информационное моделирование выполняется на нескольких уровнях и как предшествует построению моделей, так и использует уже построенные модели. Информационное моделирование в управлении используют в следующих уровнях: концептуальном, технологическом, операционном.

Концептуальный уровень информационного управления [21] состоит в поиске концепций, в частности, в том, что информационные модели описывают классы или обобщенные сущности

предметной области. Часто в управлении применяют когнитивный визуальный подход, что находит отражение в применении таких терминов как «взгляд», «точка зрения», «снимок», «облик» и др. Этот этап информационного моделирования предшествует построению информационных моделей и служит основой для концепции их построения, обоснования выбора и последующей реализации модели. Именно на этом этапе выявляют и составляют концептуальное описание объектов, отношений и связей. Этот уровень можно назвать уровнем концептуального построения. Он является общим для разных предприятий.

Технологический уровень информационного управления включает переход от концепций к технологии конкретного предприятия. Он включает построение динамических и статистических моделей. Динамическое информационное моделирование состоит в нахождении описаний процессов. Операционный уровень информационного управления состоит в практической реализации управленческих воздействий с помощью информационных потоков, информационных моделей, информационных единиц. Таким образом, в информационном управлении информационные модели и информационное моделирование тесно взаимосвязаны и образуют сложную систему, благодаря которой удастся решать задачи управления промышленными предприятиями.

Информационное управление расширяет среду управления в область инфраструктуры и реального пространства. Информационное управление в масштабе отрасли включает и использует сетевые технологии. Основные задачи информационного управления

применение информационных технологий и систем для повышения надежности и улучшения деятельности бизнес - системы;

применение нужной информации на всех уровнях управления для получения конкурентного преимущества [58-59];

применение цифровых моделей, цифровых ресурсов и цифровых методов [28]

эффективное использование информационных ресурсов для управления и производства.

Основными составляющими информационного управления являются: информация как объект права и экономических отношений, информационная потребность [29], информационные ресурсы, информационная продукция, информационные продукты и услуги, информационные модели, информационные технологии и системы, электронные документы и электронный документооборот.

Информационные ресурсы – совокупность, данных, массивов информации, информационных моделей, документов, интеллектуального капитала, информационных объектов, которые способствуют или служат основой производства материальных или информационных продуктов или накоплению знаний и увеличению интеллектуального капитала [30]. Общество, организации и отдельные потребители испытывают необходимость в различных видах информационных продуктов и услуг, что приводит к появлению информационных потребностей.

Информационная потребность - необходимость [29] в получении информационных продуктов и услуг для поддержания жизнедеятельности и развития человеческой личности, социальной группы, общества в целом; внутренний побудитель активности. Информационные потребности динамичны, на базе удовлетворенных возникают новые, что связано с включением личности в различные сферы и формы деятельности. Таким образом, они образуют многоуровневую иерархию.

Информация становится источником и объектом производства; объектом собственности; объектом обмена и продажи; объектом накопления и хранения; средством получения новых знаний и прибыли; средством увеличения капитализации фирм; объектом защиты и объектом национального значения. Многоаспектное значение информации определяет динамику ее существования и связанные с этим различные процессы. Поскольку технология состоит из процессов, то становится необходимым определить информационные процессы как составную часть информационных технологий.

Информационные процессы - процессы сбора, обработки, накопления, хранения, актуализации, поиска, обмена и распространения - информации. Объектами информационных отношений являются : информационная продукция, информационные продукты и услуги.

Информационная продукция - полученная в результате обработки сведений (данных) обобщенная информация, предназначенная для распространения или реализации. Это понятие является общим по отношению к информационным продуктам и услугам и включает их в свой состав.

Информационный продукт - совокупность описаний, данных, моделей, сформированная производителем в вещественной или не вещественной форме. Это могут быть технологии, программы, наборы данных в различных формах представления, базы данных, экспертные системы и т.д.

Информационная услуга - услуга по удовлетворению информационных потребностей пользователя с предоставлением в распоряжение пользователя информационных продуктов или без них.

Как всякая другая продукция информационная продукция должна отвечать определенным стандартам, требованиям и критериям. Для нее существует понятие качества и нормы его контроля.

В основе большинства используемых методов обработки и анализа в информационных системах и технологиях лежит понятие информационной модели. С понятием информационной модели тесно связано понятие объекта исследований, который отображает информационная модель. Информационная модель включает: *набор параметров, связи* между параметрами, *правила* ее построения, изменения и использования.

Параметры могут образовывать разные группы: определяемые и вычисляемые; допустимые и критические; качественные и количественные, управляющие и констатирующие и др. Связи могут задаваться аналитическими выражениями, словесными формулировками, ограничениями, статистическими характеристиками и т.д. Это означает, что информационная модель является более широким объектом, чем формализованная информация. Она может использоваться при наличии неформализованной информации. Кроме того связи в информационной модели - динамичны. Это позволяет, задавая одни параметры, менять другие.

Информационные управленческие модели.

Информационная модель имеет ряд особенностей. *Первой особенностью* информационных моделей является то, что одна из их основных функций - описательная. *Вторую особенность* информационных моделей - многоаспектность описания. На один и тот же объект в зависимости от выбора аспекта рассмотрения может быть сформировано несколько информационных моделей. С позиций системного подхода это является отражением закона необходимого многообразия Эшби.

Еще одной *особенностью* информационной модели является то, что она служит единицей учета в информационных системах, единицей обмена в информационных технологиях, единицей анализа в системах моделирования.

Построение информационной модели (ИМ) начинается с предварительной структуризации предметной области: исследуемые объекты управления или анализа подвергаются классификации, фиксируется совокупность подлежащих отображению в модели свойств объектов. Для каждого типа объектов выявляется набор качественных признаков, посредством которых будут описываться конкретные модели этого типа объектов и виды отношений (взаимосвязей) между этими объектами. Затем решаются вопросы количественного анализа, какая информация и в каком объеме об объекте должна быть представлена в информационной модели.

Важность информационных моделей в управлении обусловлена тем, что в информационных системах и технологиях, в информационном менеджменте используется не информация как

описание, а различные информационные модели. Информационные продукты также включают информационные модели.

Информационное управление реализуется с использованием информационных моделей, информационного моделирования, информационного взаимодействия и информационных процессов. При этом информационные модели должны образовывать связанный комплекс. Комплекс информационных управляющих моделей (КИУМ) включает три категории моделей: концептуальные модели (K_m), функциональные модели (Φ_m), циклические модели ($Ц_m$). Пример такого комплекса для управления промышленным предприятием приведен в таблице 1.

Таблица 1.

Комплекс информационных управленческих моделей.

Управленческая модель	Уровень иерархии	Аспект решения задачи
Концептуальная	Концептуальный, базовый.	Постановка задачи
Функциональная	Технологический уровень	Нахождение решения задач
Циклическая	Операционный	Применение решения задачи на практике

Эту связь можно представить как

$$КИУМ = \langle K_m, \Phi_m, Ц_m \rangle. \quad (1)$$

Комплекс включает три категории моделей, которые можно рассматривать по уровням иерархии (теоретический аспект) и в аспекте решения задач с помощью этих моделей. Концептуальная модель (K_m) занимает высший уровень иерархии. Она служит для разработки концепций, базовых принципов и основ управления промышленного предприятия. В аспекте решения задачи она связана с постановкой задачи и формированием условий ее решения.

Функциональная модель (Φ_m) занимает технологический уровень, но не реализации, а проектирования и построения технологий. На этом уровне осуществляется функциональный анализ и декомпозиция структуры промышленного предприятия. На этом уровне формируется структура и характер информационных потоков, включая управленческие потоки. В аспекте решения задачи функциональная модель связана с нахождением и оптимизацией решения задачи.

Циклическая модель ($Ц_m$) занимает операционный уровень. Она связана с реализацией и модернизацией созданной технологии. В аспекте решения задачи циклическая модель осуществляет применение полученного технологического решения на практике.

Концептуальная модель (K_m) информационного управления [9, 21] является основой для построения других моделей управления и технологий управления. Она может быть представлена в виде совокупности принципов, имеющих вид

$$K_m = \langle Ц_0, И_с, С_с, В_с, Ц_у, К_г \rangle. \quad (2)$$

В этой зависимости базовыми принципами являются: Целевая определенность ($Ц_0$), Информационное соответствие (симметрия) ($И_с$), Структурное соответствие ($С_с$), Временное соответствие ($В_с$), Циклическость управления ($Ц_у$), Когнитивность ($К_г$).

Первым принципом концептуальной модели информационного управления является целевая определенность ($Ц_0$). Наличие цели или группы целей приводит к тому, что процесс управления в промышленной организации всегда является целенаправленным.

Принцип целевой определенности состоит в определении двух групп целей: общих и частных. Общие цели направлены на поддержание целостности и устойчивости системы управления. Частные цели образуют упорядоченный перечень семейств множеств частных целей управления, определенных миссией предприятия и задачами, которые оно решает. Совокупность частных целей формирует так называемый вектор целей управления. Он включает в себя иерархически упорядоченные множества частных целей. В общем виде вектор целей управления можно записать:

$$C = \{ C_i \mid C_i = \{ u_{ij} \mid u_{ij} - \text{частная цель} \}, i \in I, j \in J \} \quad (3)$$

, где C - семейство множеств частных целей управления (вектор целей управления); C_i - i -ое множество частных целей управления; u_{ij} - j -ая частная цель i -ого множества частных целей.

Каждая частная цель u_{ij} описывается одним или несколькими контрольными параметрами. Для каждого контрольного параметра устанавливается контрольное (пороговое) значение, к которому должен стремиться объект (система), а также допустимые отклонения от этого значения.

Еще одним принципов концептуальной модели является цикличность управления (Цу). Он связан с принципом целевой определенности. *Принцип цикличности управления* состоит в том, что реальная цель должна разбиваться на подцели, которые связаны с циклами управления [31]. Цикл управления заканчивается с достижением поставленной подцели. Модель цикла управления представлена на рисунке 1.

Цикл управления транспортной организации требует предварительного формирования временных характеристик (параметров) процесса управления. Из этих требований вытекает, что время цикла управления не должно превышать времени, необходимого для достижения цели или решения задачи, либо времени, необходимого для адекватного ответа системы на внешнее (внутреннее) воздействие. Это называют временем согласования [31]. Кроме того время управляющего воздействия и отклика на реакцию этого воздействия не должно превышать время существенного изменения состояния объекта управления

Можно выделить шесть этапов (рисунок 1) цикла управления. Каждый из них характеризуется своей спецификой. Поэтому на каждом этапе реализуются специфические информационные процессы, которые в совокупности образуют процессы информационного управления промышленной организации.

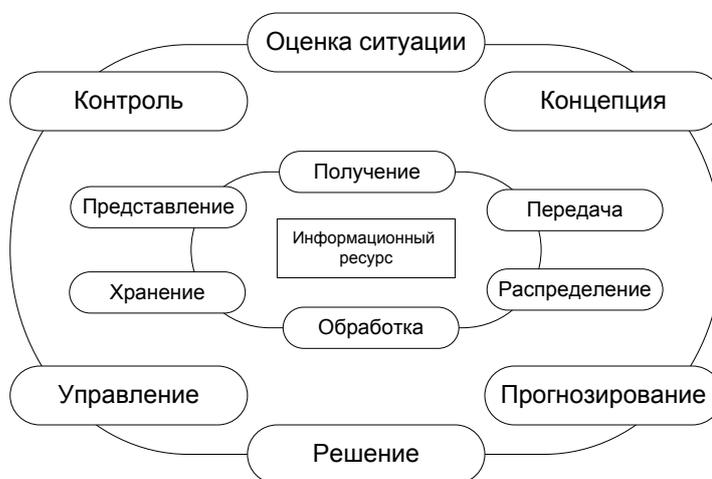


Рисунок 1 – Модель цикла управления

Для характеристики специфичности этих отдельных процессов управления наряду с употреблением названий циклов управления применяют термины, раскрывающие действия на этих этапах, а именно: процесс оценки обстановки, процесс выработки замысла, процесс принятия решения, процесс планирования, процесс выдачи распоряжений, процесс контроля исполнения

Принцип когнитивности (интеллектуальность) (Кг) означает, что модель управления строится на предположении участия лица, принимающего решение (ЛПР) в процессе управления. Регулирующие воздействия ЛПР всех уровней управления призваны минимизировать возмущающие факторы и обеспечить функционирование промышленной организации в рамках принятых решений.

Принцип структурного соответствия (Сс) означает, что каждая организационная структура информационной системы управления должна однозначно соответствовать цели (задачи) системы. Это означает, что для каждой структуры $s_i \in S, i = \overline{1, N}$ множество

$$\text{Im}_R s_i = \{u_j \in \Pi \mid (s_i, u_j) \in R\}, \quad (4)$$

является образом элемента u_j (задачи, цели) относительно подмножества R декартова произведения $S \times \Pi$.

При построении информационной системы структурное соответствие означает соответствие структуры реальной системы целям системы.

Принцип временного соответствия (Вс) включает условие времени согласования и временной адаптивности.

Условие *времени согласования* состоит в том, что время цикла управления не должно превышать времени существенного изменения.

Временная адаптивность означает, что введение в систему новой структуры не должно увеличивать объективно необходимое время цикла управления.

$$\sum_{i=1}^N T_{S_i} + T_{S_j} \leq T_u, \quad (5)$$

Где T_{S_i} - время работы в рамках цикла управления всех уже созданных структур; T_{S_j} - время работы j -ой новой структуры; T_u - время цикла управления.

Принцип информационного соответствия (Ис) означает, что для принятия управленческих решений имеется необходимая информация в нужном объеме и нужного качества. Другим словами отсутствует ситуация, называемая информационной асимметрией. При создании информационной системы управления информационное соответствие это такое состояние подсистем и элементов и ЛПР, когда каждый из них располагает достаточными знаниями для решения задач управления

Исследование особенностей транспортной сферы позволяет задать концептуальную модель процессов информационного управления в транспортной организации, в виде следующей последовательности:

1. Определение целей управления.
2. Определение временных параметров управления.
3. Определение возможных схем параллельного управления.
4. Определение структуры информационных моделей объекта управления.
5. Определение набора стереотипных информационных ситуаций управления.
6. Указание правил включения ЛПР в процесс управления.

В качестве одного из способов реализации такого подхода могут рассматриваться функциональные системы. Они приводят к необходимости применения функционального подхода. Рассмотренный метод построения концептуальной модели процессов информационного управления основан на комплексном рассмотрении. Этот метод имеет отличия от известных методов управления. Во-первых, понятие «процессы управления» трактуется шире, чем понятие «управление», под которым понимают лишь ту часть процесса, которая связана с информационным целенаправленным воздействием на объекты управления. Информационное управление включает процессы обеспечения, поддержки, информационного взаимодействия и информационного воздействия. Во-вторых, в процессах информационного управления особо представлена деятельность, связанная с формированием и использованием информационных ресурсов. В-третьих, в процессах информационного управления используется представление процесса управления с явным описанием временных характеристик. В четвертых в процессах информационного управления применяется стереотипный ситуационный подход как альтернатива алгоритмическому, особенно для тех случаев, когда алгоритм управления неизвестен или сложен для разработки.

Развитие информационных технологий поддержки управления транспортом.

Информационные технологии являются одной из составляющих информационного управления. Информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) - это широкое понятие, включающее системы, процессы и людей, вовлеченных в управление и коммуникацию посредством технологии. ИКТ в управлении транспортом базируются на информационных технологиях. Поддержка управления использует, в первую очередь, коммуникационные технологии.

Информационные и коммуникационные технологии поддержки управления включают наборы информационных ситуаций [32]. Информационные ситуации служат основой ситуационного управления транспортом [33-34, 60-62] и оценки информационного преимущества в заданной ситуации [35]. В этих ситуациях не только ЛПР, но и системы, например, интеллектуальные транспортные системы [36] или кибер-физические системы [37].

Можно выделить некоторые направления информационного управления транспортом: совершенствование технологий управления, получение и применение информационных ресурсов для задач управления транспортом, развитие информационных технологий для применения баз пространственных данных, применение пространственных знаний для формирования управленческих ресурсов [37], извлечение неявных знаний для накопления управленческого опыта. Информационное управление транспортом основано на применении информационного языка [38], основу которого составляют информационные единицы [39]. Информационное управление транспортом позволяет создавать и применять информационные образовательные модели, необходимые при обучении специалистов в сфере транспорта [40-41, 63].

Передача знаний в информационном управлении транспортом.

Передача знаний в информационном управлении транспортом связана с технологиями: передачи нормативных знаний специалистам, передачи научных знаний специалистам, трансформацией неявных знаний в явные [42], закреплением знаний, преобразованием знаний в информационные ресурсы. Кроме того существуют технологии поддержки профессиональных компетенции и формирования новых профессиональных знаний [40-41, 63]. Совокупность этих технологий как единая система обозначается понятием управление знаниями в управлении транспортом. К числу актуальных проблем поддержки управления знаниями в образовании относится изучение теоретических основ представления знаний для хранения в БД и БЗ.

Под управлением знаниями понимают любые процессы и принципы, связанные с созданием, приобретением, завладением, обменом и использованием знаний или опыта. В некоторых определениях подчеркивается, что это процесс приобретения коллективного опыта для его всестороннего использования компанией там, где он может оказаться полезным для достижения

наивысшей отдаче. Коллективный опыт связан с коллективным поведением и относится к «ресурсам знаний». Он определяется как общепринятая практика комплексного использования разных ресурсов для решения сложных управленческих задач.

В современной литературе управление знаниями трактуется как новая управленческая функция, которая заключается в целенаправленном формировании, обновлении и применении знаний для повышения эффективности производственной деятельности и производственных процессов.

В информационном управлении транспортом особенностью является использование пространственной информации и пространственных знаний в управленческой деятельности [37]. Это требует применения методов геоинформатики для решения задач планирования и управления транспортными системами.

В этом контексте, управление знаниями определяется как новый вид управленческой деятельности, направленный на интенсивное использование пространственной информации [43, 44] как дополнительных ресурсов управления и стимулирование инноваций с целью максимизации эффективности экономики и отдельного предприятия и формирование на этой основе реальных конкурентных преимуществ.

Сущность управления знаниями заключается в целенаправленном воздействии субъектов управления на создание баз знаний и корпоративного человеческого капитала с целью расширенного воспроизводства новых знаний и образовательных информационных продуктов, обеспечивающих транспортному предприятию конкурентные преимущества. Можно отметить ряд ключевых аспектов, вытекающих из трактовки сущности управления знаниями.

Во-первых, руководство транспортными предприятиями должно обладать такими управленческими знаниями и компетенциями, которые были бы адекватны требованиям условий развития транспортной сферы. Это вытекает из закона необходимого разнообразия У.Эшби. Во-вторых, если объектом соответствующего управленческого воздействия является пространственный объект или пространственная сеть, представленная сложным и противоречивым единством разнообразных факторов, то ожидаемое высокое качество данного управления должно быть функцией целенаправленных воздействий на соответствующие ресурсы и резервы.

Применение информационных единиц в информационном управлении.

Применение информационных единиц является ярким примером информационной технологии поддержки управления [39]. Информационные единицы (ИЕ) являются аналогами элементов естественного языка и основой языка информатики и информационного управления. Информационные единицы широко применяют в разных научных и технологических направлениях. Они являются средством формирования информационных: процессов, моделей, ситуаций и позиций. При их использовании применяют системный подход как основу формирования некой сложной информационной модели или сложной информационной системы. Применение ИЕ позволяет применять системный подход при формировании информационных ресурсов и управленческих моделей. ИЕ применяют как основу при передаче знаний и построении сложных систем и технологий. Информационные единицы имеют форму, семантику и когнитивную окраску. От правильного использования информационных единиц зависит качества управления. Информационные единицы являются информационными кирпичиками в системе построения информационного управления. С позиций системного подхода информационные единицы являются элементами сложной системы, описывающей управленческие процессы. В аспекте управления представляют интерес группы информационных единиц: структурная, семантическая, процессуальная; операционная, визуальная, транзакционная. Все группы информационных единиц связаны с разными информационными технологиями и являются системного построения различных технологий управления и производственной деятельности.

Структурная группа информационных единиц включает средства для описания структур управленческих моделей и структур ситуаций, в которых находится управляемый объект.

Семантическая группа информационных единиц включает средства передачи содержания управляющих и корректирующих воздействий. Процессуальная группа включает средства для описания прескриптивных информационных моделей.

Операционная группа информационных единиц включает средства для системной реализации управленческих процессов на операционном уровне. Визуальная группа информационных единиц включает средства представления результатов обработки информации в виде изображений, презентаций, визуальных динамических моделей, моделей виртуальной реальности. Она выполняет функции поддержки управленческих решений. Транзакционная группа включает средства для описания обмена транзакциям при работе с базами данных и хранилищами. Анализ методов управления с применением информационных единиц дает возможность не только повышать качество управления, но и осуществлять междисциплинарный перенос знаний. Методика применения информационных единиц и информационных методов [45] дает возможность гибкой реализации технологий информационного управления и их адаптации к широкому спектру реальных ситуаций.

Заключение.

Практическая значимость информационного управления состоит в создании условий интеграции разных технологий в единую управленческую среду. Информационное управление позволяет использовать как алгоритмы в системах управления так и базовый опыт на основе системы стереотипов [46] или прецедентов. Информационное управление транспортом позволяет преодолевать проблему «больших данных», то есть работать с большими объемами информации, применять слабоструктурированную информацию, повышать оперативность принятия решений, интегрировать разнообразные типы данных в единую систему. Информационное управление не тождественно использованию информационных технологий и информационных систем. Оно включает их в свой состав как компоненты. Информационное управление включает не только прямые технологии управления, но и многочисленные технологии поддержки управления или поддержки принятия решений. Применение информационных технологий поддержки является обязательным фактором развития управления транспортом. Такая поддержка распространяется как на информационные управленческие технологии так и на технологии накопления ресурсов и переподготовки специалистов. Применение информационных единиц для формирования управленческих технологий и ресурсов создает системность в управлении транспортом и обеспечивает перенос опыта управления между разными предприятиями транспорта.

Список литературы

1. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.22-26.
2. Алиева Н.З., Е.Б. Ивушкина, О.И. Лантратов. Становление информационного общества и философия управления транспортом – Издательство «Академии естествознания» 2008, - 220с
3. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - с.6-9
4. Розенберг И.Н. Когнитивное управление транспортом // Государственный советник. – 2015. - №2. – с47-52
5. Розенберг И.Н., Замышляев А.М., Прошин Г.Б. Совершенствование системы управления содержанием эксплуатационной инфраструктуры с применением современных информационных технологий // Надежность. 2009. № 4 (31). С. 14-22.
6. Кульба В В., Шульц В.Л., Шелков А.Б. Информационное управление. Часть 1. Концептуальные основы / "Национальная безопасность". М.: ИСПИ РАН, 2009, №3. с. 414.
7. Кульба В В., Шульц В.Л., Шелков А.Б. Информационное управление. Часть 2. Сценарный подход / "Национальная безопасность". М.: ИСПИ РАН, 2009, №4. с.4-15

8. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 -201с
9. Вознесенская М.Е., Корнаков А.Н. Концептуальное содержание информационного управления. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/серия Экономика. – 2010. –№ 1. – с.106– 109.
10. Корнаков А.Н., Цветков В.Я. Особенности информационного подхода в управлении. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/ Экономика. – 2010. – № 2. – с.80–94/
11. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44.
12. Замышляев А.М. Информационная технология комплексного управления надежностью и функциональной безопасностью на железнодорожном транспорте // Надежность. 2011. № 2 (37). С. 12-16.
13. Замышляев А.М. Прикладные информационные системы управления надежностью, безопасностью, рисками и ресурсами на железнодорожном транспорте // Надежность. 2013. Т. 143. С. 143.
14. Замышляев А.М., Ермаков А.О., Новожилов Е.О. Метод управления надежностью и функциональной безопасностью объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков // Надежность. 2012. № 4 (43). С. 149-157.
15. Tsvetkov V. Ya. Information Asymmetry as a Risk Factor // European researcher, Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp. 1937-1943. DOI: 10.13187/er.2014.86.1937
16. Замышляев А.М. Система управления рисками // Мир транспорта. 2011. Т. 9. № 5 (38). С. 24-32.
17. Кульба В.В., Шелков А.Б., Гладков Ю.М. Применение методов сценарного анализа в информационном управлении. //Труды VIII межд. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций». CASC. – М.: ИПУ РАН, 2009. – с.85-88.
18. Поляков А.А., Цветков В. Я. Информационные технологии в управлении. – М.: МГУ факультет государственного управления, 2007 – 138 с
19. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.60-75.
20. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.2-10.
21. Корнаков А.Н. Концептуальная модель процессов информационного управления промышленной организации. // Вестник Московского Государственного Областного Университета/ Экономика. – 2010. – № 2. – с.95–100.
22. Кульба В.В., Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. *Методы формирования сценариев развития социально- экономических систем*. М.: СИНТЕГ, 2004. - 296 с.
23. Цветков В.Я. Разработка проблемно ориентированных систем управления - М.: ГКНТ, ВНИИЦентр, 1991.- 131с.
24. Шубинский И.Б., Замышляев А.М., Прошин Г.Б. Функциональная надежность программного обеспечения информационных систем // Надежность. 2011. № 3 (38). С. 72-81.
25. Цветков В.Я. Ресурсность и интегративность сложной организационно технической системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5. (часть 4) – с.676-676.
26. V. Ya. Tsvetkov. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence, 2015, Vol.(8), Is. 4. – p.252-260. DOI: 10.13187/mai.2015.8.252 www.ejournal11.com.
27. Ожерельева Т.А. Дескриптивные модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5. (часть 4) – с. 675-675.
28. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91.

29. Розенберг И.Н. Информационные революции и информационные потребности // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. - № 4. – с.5-12
30. V. Ya. Tsvetkov. Information Models and Information Resources // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(12), Is. 2, pp. 79-86. DOI: 10.13187/ejtd.2016.12.79 www.ejournal4.com.
31. Корнаков А.Н Цветков В.Я. Циклическая модель информационного управления // // Современные наукоёмкие технологии. - 2010. - №2. - с.129-131.
32. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - с.4- 11
33. Коваленко Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – с42-46.
34. Кошкин А.Ю., Розенберг И.Н., Замышляев А.М. Ситуационное управление корректирует риски аварий // РЖД-Партнер. 2012. № 3. С. 56-58
35. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp.1901-1909. DOI: 10.13187/er.2014.86.1901
36. Розенберг И. Н. Интеллектуальное управление// Современные технологии управления. 2017. - №4 (76). – с.45-50
37. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - с.2-9
38. Цветков В. Я. Язык информатики // Успехи современного естествознания. - 2014.- №7. - с.129-133
39. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher, 2014, Vol.(86), № 11/1, pp. 1894-1900.
40. Розенберг И.Н. Особенности информационного обучения специалистов // Управление образованием: теория и практика – 2013. - № 3. – с. 167-172.
41. Розенберг И.Н. Обучение по гибкой траектории // Современное дополнительное профессиональное педагогическое образование. - 2015. - №1. - с.64.-71
42. Сигов А. С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типологизация // Вестник Российской Академии Наук, 2015, том 85, № 9, - с.800–804. DOI: 10.7868/S0869587315080319
43. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.268-274
44. Розенберг И.Н. Дистанционное управление подвижными объектами // Славянский форум, 2016. -3(13). – с.236-242.
45. Елсуков П.Ю. Управление с использованием информационных методов // Государственный советник. – 2015. - №2. – с29-33.
46. Ожерельева Т. А. Организационное эвристическое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с69-75.
47. Gapanovich V.A., Shubinsky I.B., Rozenberg E.N., Zamyshlyayev A.M. System of adaptive management of railway transport infrastructure technical maintenance (URRAN project) // «Reliability: Theory & Applications», -2015. с.30-41.
48. A. Zamyshlyayev, I. Shubinsky Adaptive Management System of Dependability and Safety of Railway Infrastructure // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO) – Be'er-Sheva, Israel 15.02.16-18.02.16, IEEE Xplore Digital Library – с. 244-250.
49. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М., Розенберг Е.Н. Система адаптивного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (проект УРРАН) // Надежность, - 2015. - №2. – с.4-13.

50. Замышляев А.М., Розенберг И.Н. Комплексное управление жизненным циклом инфраструктуры железнодорожного транспорта в условиях ограниченных ресурсов на основе оценки рисков // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» №6, 2014г.

51. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Математическое и информационное обеспечение системы УРРАН // Надежность, - 2013. - №1. – с.3-11.

52. Розенберг И.Н., Замышляев А.М., Калинин С.В. Создание системы АС УРРАН // Железнодорожный транспорт №10, -2012. –с.41-44.

53. I. Shubinsky, A. Zamyshlyayev Risk management system on the Railway Transport // Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management (SMRLO) – Be'er-Sheva, Israel 15.02.16-18.02.16, [IEEE Xplore Digital Library](#) – с. 481-486.

54. Гапанович В.А., Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Метод оценки рисков системы из разнотипных элементов // Надежность, - 2016. - №2. – с.49-53.

55. Шубинский И.Б., Замышляев А.М. Управление рисками на железнодорожном транспорте // Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах: Труды Международной Научной Школы МА БР – 2015, Санкт-Петербург, 17-19 ноября, 2015г. /СПб.ГУАП, 2015. – 304 с.

56. Замышляев А.М., Новожилов Е.О. Использование коэффициента простоя для оценки надежности инфраструктуры и ее влияния на перевозочный процесс // Труды первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте ИСУЖТ-2012» - Москва, 15-16 ноября 2012г.

57. Замышляев А.М., Рачковский М.Ю., Никифорова М.С. Экономические критерии принятия решений о замене основных средств на основе методологии УРРАН // Экономика железных дорог №12, -2012. –с.11-22.

58. Гапанович В.А., Акопян А.Г., Михалкин И.К., Замышляев А.М., Шубинский И.Б. Технология определения предотказного состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры по результатам контроля геометрии рельсовой колеи с применением группы стандартов УРРАН // Известия Национальной Академии Наук Армении и национального политехнического университета Армении, серия технических наук, том 68, №3, июль-сентябрь, Ереван 2015 г.

59. Walentin A. Gapanowitsch, Efim N. Rozenberg, Igor B. Schubinskij, Alexej M. Zamyshljaew Das Projekt URRAN – ein System zur adaptiven Steuerung des Unterhalts der russischen Eisenbahninfrastruktur // Eisenbahn-Revue 12/2015.

60. Гапанович В.А., Розенберг И.Н., Замышляев А.М. Построение системы ситуационного управления чрезвычайными ситуациями в ОАО «РЖД» // Надежность, - 2010. - №4. – с.2-11.

61. Замышляев А.М. Предотвращение чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте с использованием принципов ситуационного управления и непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры и подвижного состава// Системы высокой доступности, 2010. - №4. – с.14-22.

62. Розенберг И.Н., Замышляев А.М. Ситуационный центр ОАО «РЖД» - основной инструмент реализации функциональной стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса // Труды ОАО «НИИАС» 9-й выпуск, - 2011. – с.124.

63. Вакуленко С.П., Замышляев А.М., Репьев А.В. Организация технической учебы работников хозяйства перевозок с использованием методов дистанционного обучения // Мир транспорта 02.07г. – С.130-139.

64. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа // М.: Надежность, –2012, – с. 296.

65. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа // М.: Надежность, – 2012, – с. 216.

66. Шубинский И.Б. Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза // М.: Надежность, – 2016, – с. 544.

УДК: 656.2

ТЕХНОЛОГИИ BIG DATA В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

- Данилов К.В.** ведущий аналитик, Teradata,
E-mail: Konstantin.Danilov@thinkbiganalytics.com, Москва, Россия
- Капустин Н.И.** зам. руководителя, начальник отделения НТК ПРИС, АО «НИИАС»,
E-mail: N.Kapustin@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В данной статье исследовано практическое применение Big data технологий в железнодорожной отрасли. Описаны различные методы и подходы, позволяющие выявлять корреляции между статистически значимыми параметрами и прогнозировать предотказное состояние электрического и механического оборудования на локомотивах.
- Ключевые слова:** Big data, железнодорожная отрасль, поиск корреляций, статистически значимые параметры, прогнозирование предотказных состояний.

BIG DATA TECHNOLOGIES IN THE RAILWAY INDUSTRY

- Danilov K.V.** Data Scientist, Teradata, E-mail: Konstantin.Danilov@thinkbiganalytics.com, Moscow, Russia
- Kapustin N.I.** Deputy head of JSC "NIAS", JSC "NIAS",
E-mail: N.Kapustin@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In this article the practical applying of big data technologies in the railway industry is explored. Various methods and approaches are described which allow to detect correlations between statistically significant parameters and predict pre-failure condition of the electrical and mechanical equipment in the locomotives.
- Keywords:** big data, railway industry, detection of correlations, statistically significant parameters, predictive maintenance.

Введение

Применение технологий Big Data в 2017 году не является новостью. В ряде отраслей сложилась ситуация, в которой применение данных технологий является не просто слагаемым успеха, но превращается в одно из ключевых условий сохранения конкурентоспособности на стремительно меняющемся рынке.

Сегодня во всем мире железнодорожные компании активно внедряют технологии Big Data. С их помощью они решают такие задачи как:

- Выстраивание персонализированной коммуникации с пассажиром.
- Оптимизация расписания движения с использованием многофакторного анализа.
- Переход от планового ремонта инфраструктуры и подвижного состава к предупредительному ремонту по техническому состоянию.

Особый интерес представляет последняя группа задач. Конечно, идея predictive maintenance не является революционно новой, однако с повсеместным внедрением IoT технологий и как следствие появления целой лавины новых сенсорных данных решение этой задачи, перешло в плоскость Big Data.

Задержки поездов, вызванные неисправностью оборудования, как подвижного состава, так и железнодорожной инфраструктуры являются большой проблемой не только на Российских железных дорогах, но и во всем мире.

Решение задач предупредительного характера по своевременному обслуживанию инфраструктуры, подвижного состава позволят не только стабилизировать выполнение расписания движения поездов, но и несут прямой экономический эффект, т.к. почти всегда существенно выгоднее предупредить какую-либо неисправность, чем заниматься ремонтом после того, как эта неисправность произойдет.

В качестве примера использования технологий Big Data в Российской практике можно отметить пилотный проект НИИАС по анализу применимости технологий Big Data в эксплуатационной работе сети железных дорог (рисунок 1).

Основной задачей пилотного проекта являлась разработка информационно-аналитического комплекса, позволяющего выявлять корреляции между статистически значимыми параметрами и прогнозировать предотказное состояние тягового подвижного состава. Так же был проведен анализ стабильности работы различных серий локомотивов и конкретных локомотивов, анализ различных параметров, влияющих на техническое состояние локомотивов, и анализ качества работы ремонтных сервисных депо [3].

В качестве входной информации использовались тестовые данные, сгенерированные по восточному полигону. Данные содержали информацию о работе 9-ти различных серий грузовых локомотивов за одну неделю [3].

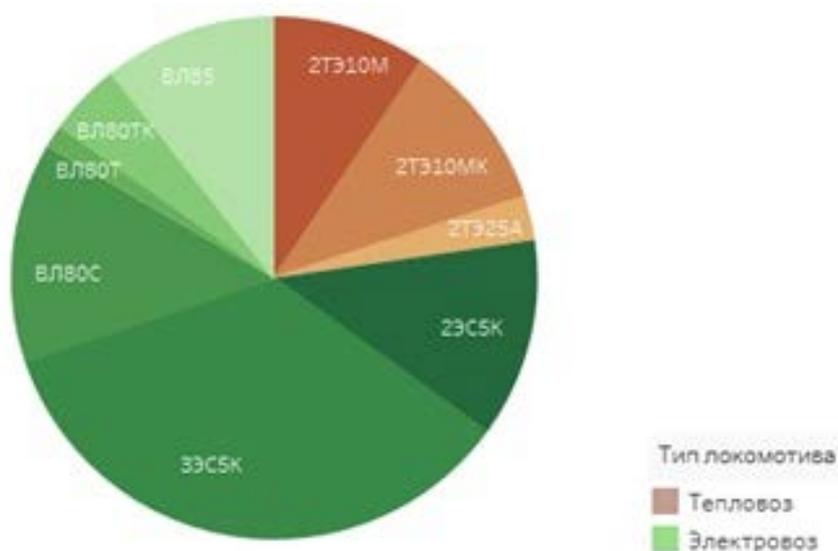


Рисунок 1 - Количество грузовых локомотивов по сериям

За рассмотренный период по локомотивам было зарегистрировано более 266 тыс. операций в депо и на станциях, включая операции захода в депо на техническое обслуживание, экипировку, плановые и неплановые виды ремонта. Интенсивность захода локомотивов в депо приведена на мнемосхеме (рисунок 2)

Размер пятна на карте информирует о количестве заходов электровозов в депо для выполнения регламентных работ. На карте видно, что наибольшее количество работ по

электровозам производится на ПТОЛ Карымская, Приморское и Дальневосточное, по тепловозам на ПТОЛ Тында Северная и Комсомольск – Сортировочный.

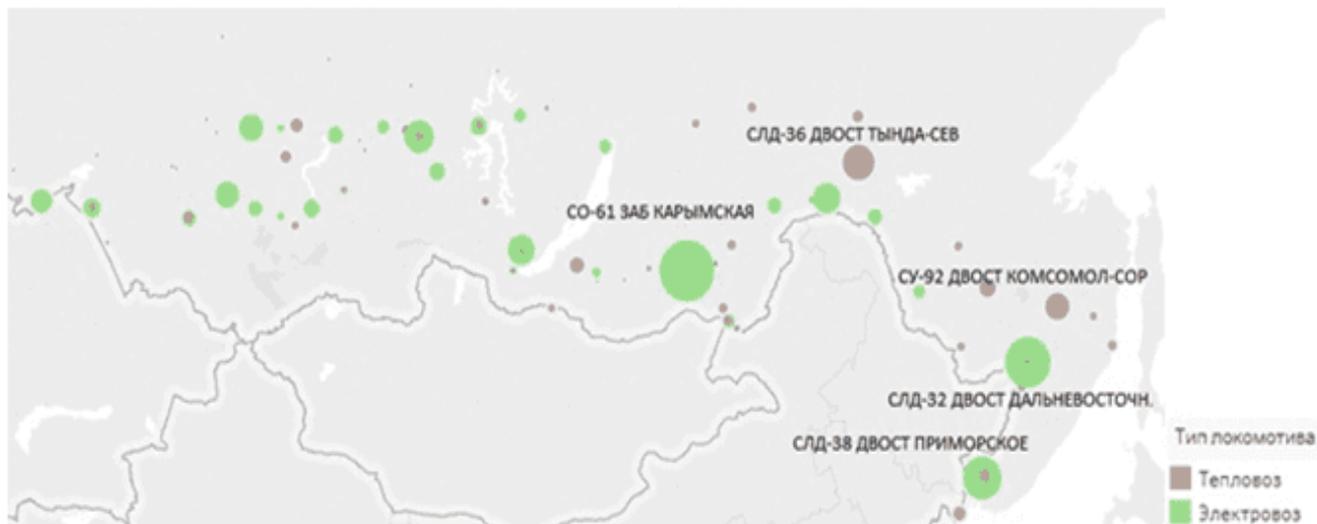


Рисунок 2 - Количество операций по локомотивам грузового движения в ремонтных депо

Одним из наиболее важных событий жизненного цикла локомотива является техническое обслуживание в объеме ТО-2, которое выполняется с определенной периодичностью для каждой серии [3].

Анализ данных о периодичности захода локомотивов грузового движения (по видам тяги) на техническое обслуживание в объеме ТО-2 по пробегу и временному интервалу приведен на графиках (рисунок 3).

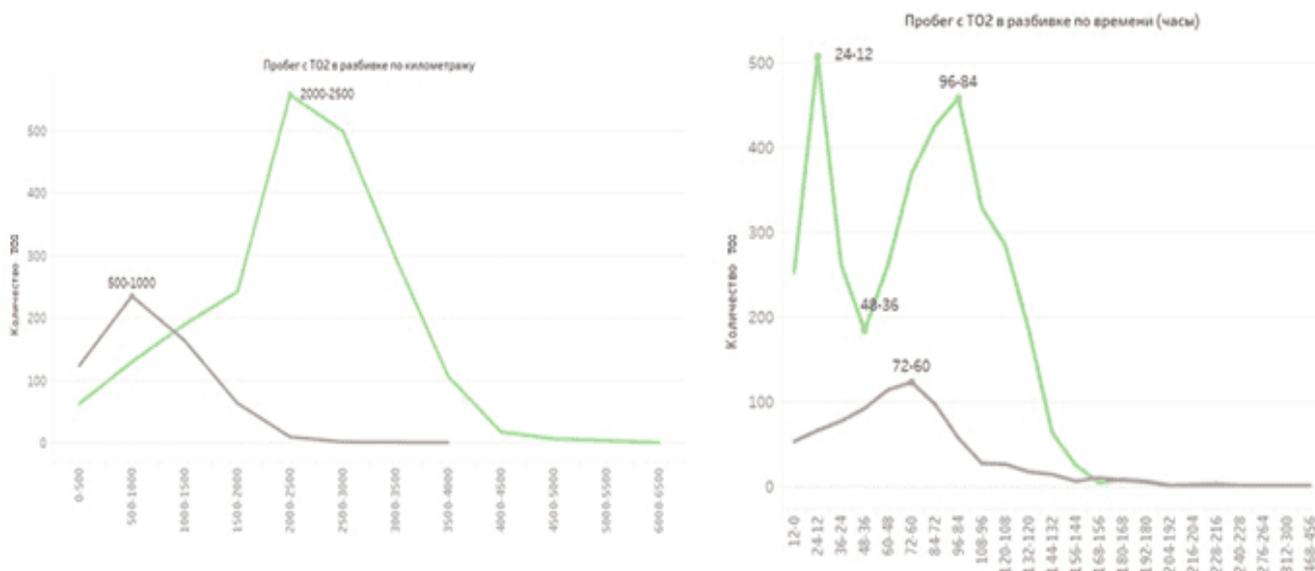


Рисунок 3 - График зависимости выполнения ТО-2 по пробегу и временному интервалу

Для определения локомотивов с аномальными пробегами между ТО-2 была использована визуализация «box-and-whiskers» (ящик с усами, диаграмма размаха рисунки 4,5,6.)

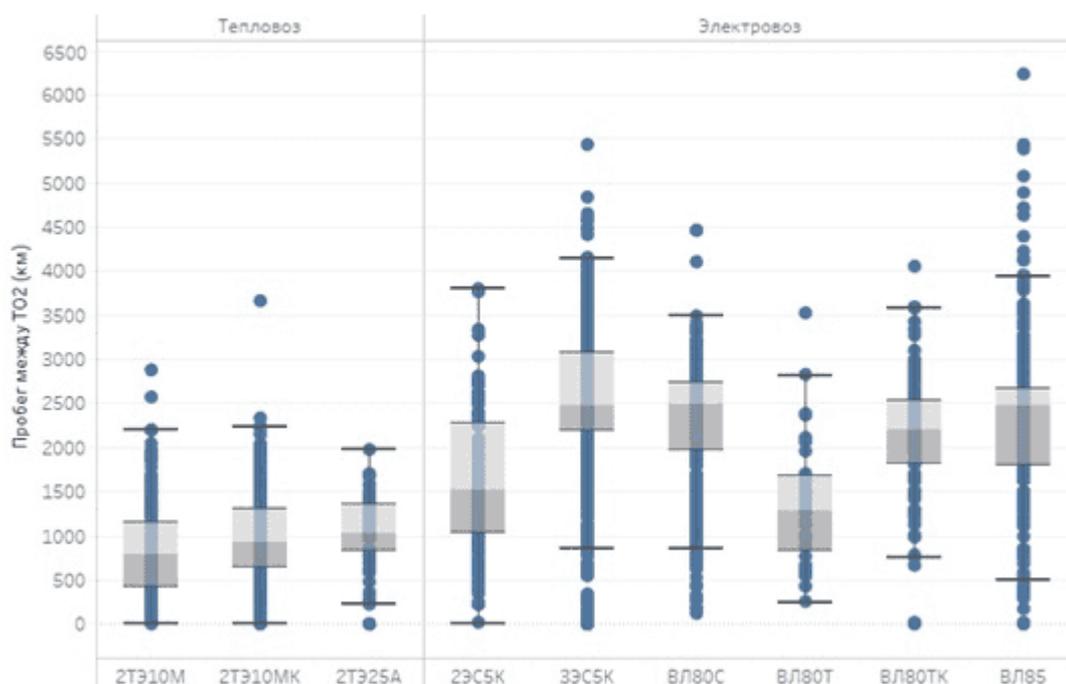


Рисунок 4 - Распределение пробегов между ТО2 (км) по электровозам и тепловозам (Визуализация «box-and-whiskers»)

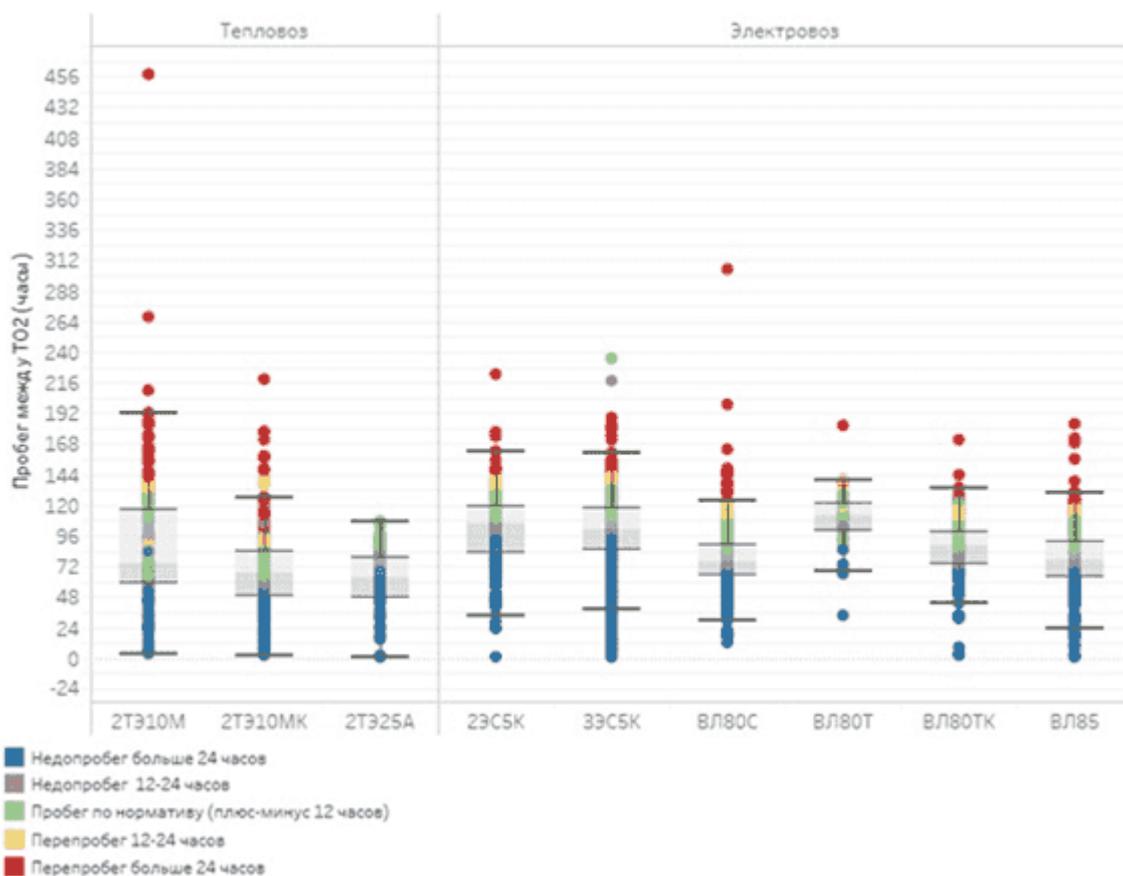


Рисунок 5 - Распределение пробегов между ТО-2 (часы) по электровозам и тепловозам с цветовой раскраской по соответствию реального пробега и норматива (Визуализация «box-and-whiskers»)

Данный тип визуализации графика читается следующим образом (на примере разброса пробегов между ТО-2 по времени для серии 2ЭС5К) :

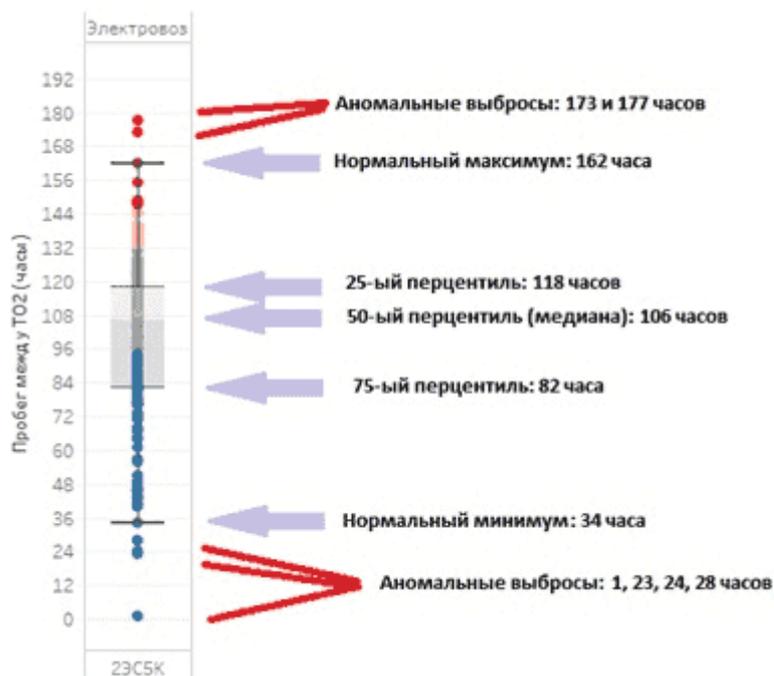


Рисунок 6 - Правило чтения визуализации «box-and-whiskers» на примере распределение пробегов между ТО-2 (км) для локомотивов серии 2ЭС5К

Каждая точка на графике отражает один заход локомотива в депо для выполнения регламентных работ (в данном случае ТО-2). Шкала по оси Y показывает пробег (в данном случае в часах), который локомотивы находились в работе от предыдущего ТО2. Значения, находящиеся внутри «ящика» (25-ый и 75-ый перцентили) можно считать стандартным поведением локомотива. В идеальной ситуации внутри этой зоны должны находиться пробеги, соответствующие нормативам (зеленые точки). Значения, выходящие за рамки «ящика» можно считать перепробегами и недопробегами, относительно стандартного поведения локомотива данной серии. Значения, выходящие за границы «усов» (границы нормального минимума и максимума) можно считать аномальными.

Анализируя график для электровозов серии 2ЭС5К можно сказать, что в основном время в работе между ТО2 составляет от 82 до 118 часов. Доля количества перепробегов значительно ниже относительно к недопробегам на ТО-2.

Анализ графиков позволяет наглядно выделить всплески пробегов, а так же случаи, когда локомотив заходит в депо раньше положенного срока. Данная визуализация может так же свидетельствовать о соответствии установленных нормативов и реальности. К примеру, анализируя соответствие пробегов между ТО2 по времени и нормативов (см. рисунок 4), можно сказать, что для тепловозов серии 2ТЭ25А границы тягового полигона УОЛ занижены относительно установленного норматива между ТО-2. Локомотивы этой серии в основной массе приходят на ТО2 с недопробегами, а случаи перепробегов по этой серии на рассмотренном промежутке времени вообще не зафиксированы.

Ключевым показателем стабильности жизненного цикла локомотива является количество технических обслуживаний, плановых и неплановых видов ремонта.

Используя инструмент визуализации типа «Диаграмма Санкея», был проведен анализ массовых шаблонов поведения локомотивов в разрезе проведенных ремонтов и технических обслуживаний (рисунки 7,8).

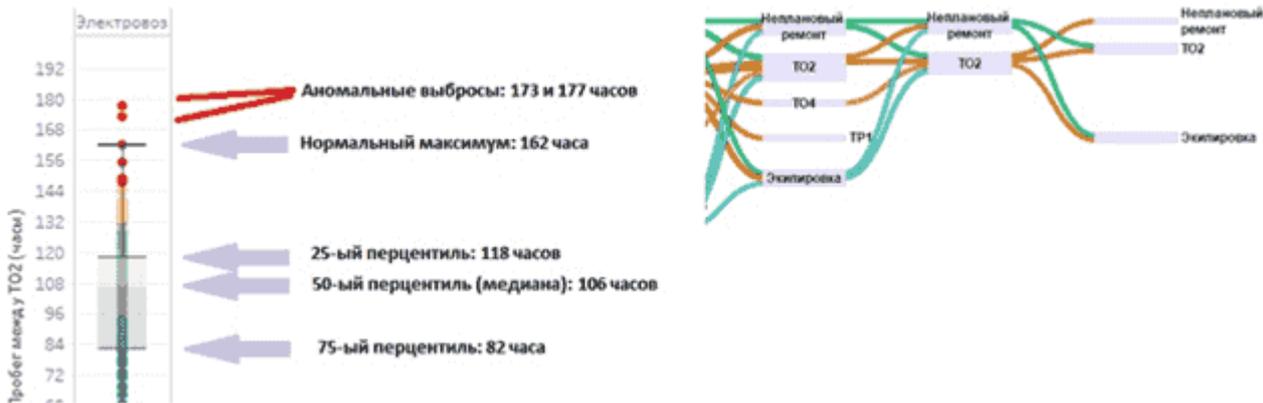


Рисунок 7 - Жизненный цикл электровозов (Визуализация «Диаграмма Санкея»)

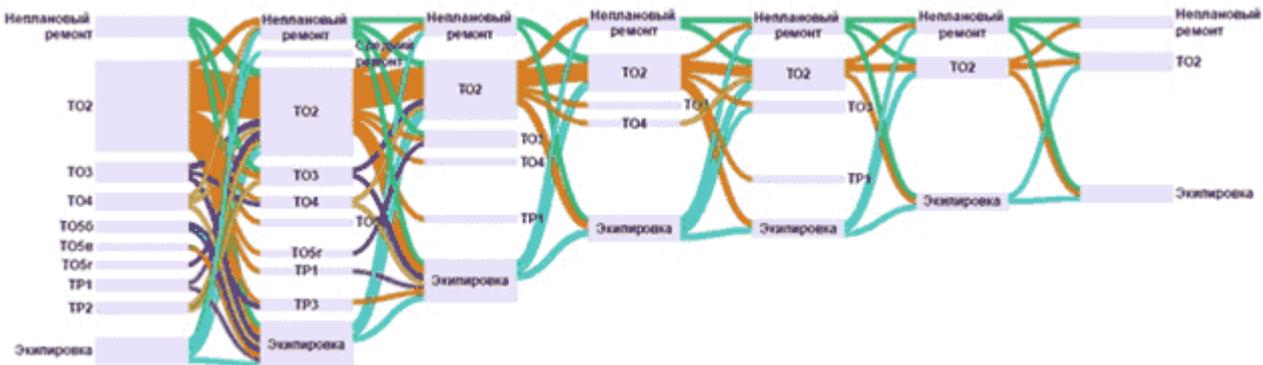


Рисунок 8 - Жизненный цикл тепловозов (Визуализация «Диаграмма Санкея»)

Данные визуализации отражают общую последовательность видов работ по всем локомотивам. Читать их следует слева на право: первый столбец – события первого шага, второй – второго и т.д. Чем больше блок, тем большее количество ремонтов. Связь между шагами определяется количеством локомотивов с данным поведением. Чем шире (толще) связь, тем большее количество локомотивов имеют такую последовательность работ. На примере, тепловозов (рисунок 9).

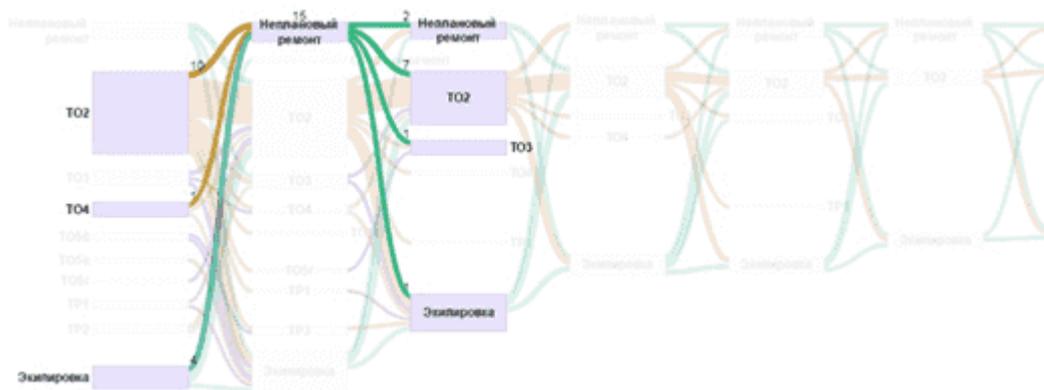


Рисунок 9 - Жизненный цикл тепловозов. Детализация шага 2. (Визуализация «Диаграмма Санкея»)

Использование такого графа в оперативной деятельности дает понимание, на работу каких ремонтных депо следует обратить особое внимание.

Для выявления скрытых зависимостей был проведен корреляционный анализ [1], позволяющий выявить неочевидные взаимосвязи различных событий и параметров жизненного цикла локомотивов. На рисунке приведен пример корреляционного анализа для одной из серий локомотивов. Интенсивность красного цвета означает степень прямой взаимосвязи переменных, а синего – обратной. Белый цвет означает независимость переменных друг от друга (рисунок 12).

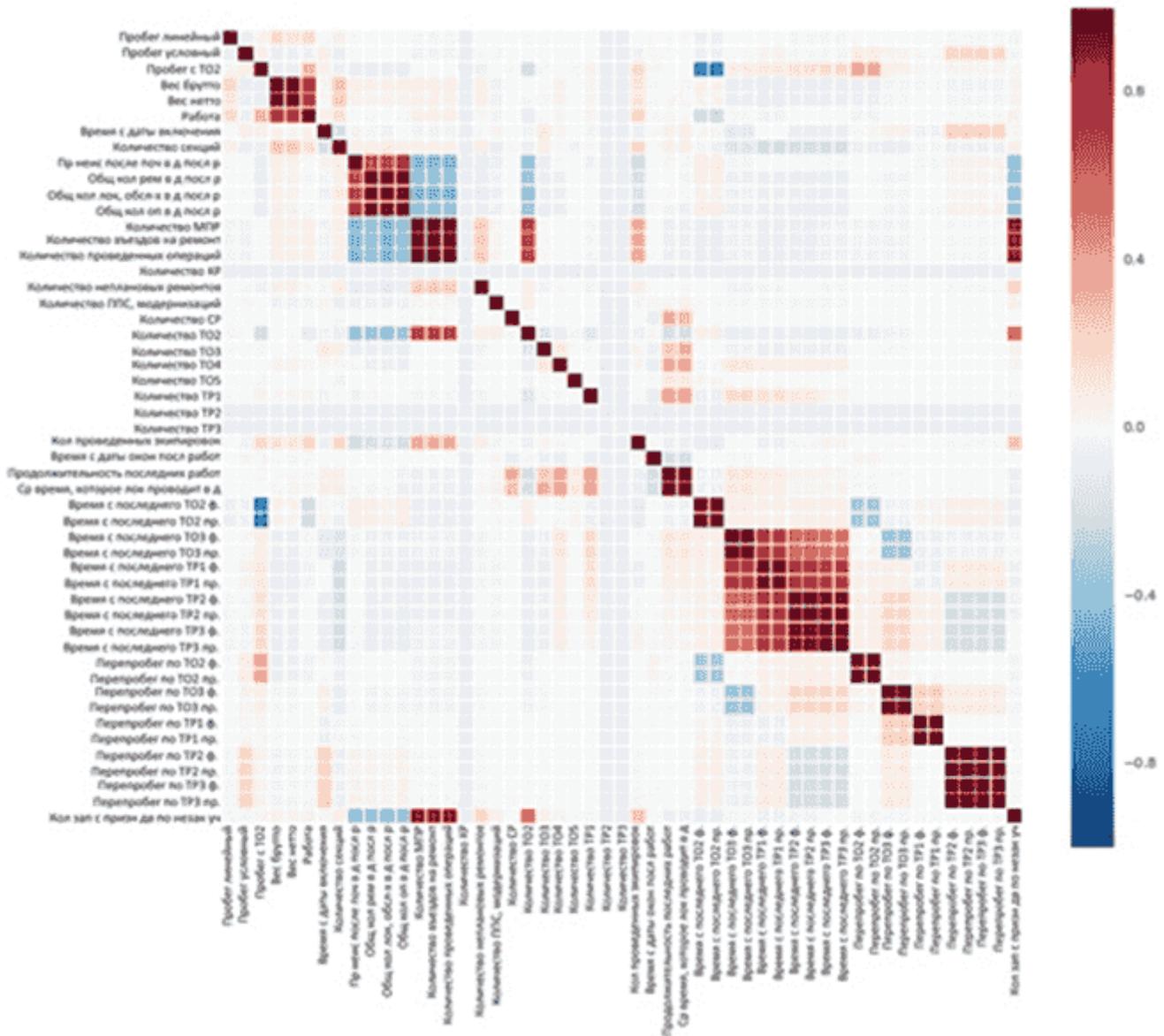


Рисунок 12 – Корреляционный анализ на примере одной серии локомотивов

Для решения задачи прогнозирования предотказного состояния локомотивов было рассмотрено несколько различных математических моделей. Основываясь на полученной в результате обработки точности, был предложен наиболее эффективный алгоритм - Random Forest. [2], рисунок 13. Использование данного метода позволяет предсказывать влияния показателей на возникновение прогнозного, предотказного состояния локомотива с

вероятностью до 70%. Точность алгоритма может быть увеличена при увеличении объема и состава данных.



Рисунок 13 - Определение математической модели для прогнозирования предотказных состояний локомотивов

В дальнейшем данная модель может быть использована для выявления и предотвращения неисправности конкретного оборудования на локомотивах при их эксплуатации. Прогнозирование предотказного состояния локомотивов позволит изменить подход к выполнению ремонтных работ: перейти от плановых видов ремонта к предупредительным ремонтам по техническому состоянию. В ходе пилотного проекта найден широкий пласт задач для применения технологий Big Data в сфере ОАО «РЖД». Дальнейшее развитие проекта позволит минимизировать количество unplanned ремонтов локомотивов, что приведет к увеличению доступности подвижного состава, большей предсказуемости и повышению качества услуг, что в свою очередь может в целом улучшить ситуацию в сфере перевозок.

Известно, что РЖД - один из лидеров по размеру вклада в экономику России (около 1,5% ВВП по итогам 2015 года). Применение технологий Big Data в сфере РЖД приведет к уменьшению расходов на обслуживание и содержание локомотивного парка и, как следствие, внесет свой вклад в развитие экономики России.

Список литературы

1. Харченко М.А. “Корреляционный анализ”, Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008
2. Max Kuhn, Kjell Johnson “Applied Predictive Modeling”, Springer, 17 May 2013
3. Технология управления тяговыми ресурсами на восточном полигоне, утвержденная распоряжением №510 от 23 марта 2016

УДК: 517.977.1, 625.1, 656.2

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ВЕДЕНИИ КАДАСТРА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

- Охотников А.Л.** Заместитель руководителя, Центр стратегического анализа и развития, АО НИИАС, E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Павловский А.А.** к.т.н., заместитель Генерального директора, АО НИИАС, E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья анализирует применение информационного моделирования при ведении кадастра транспортной инфраструктуры. Раскрыто содержание кадастра транспортной инфраструктуры. Отмечена проблема не учета жизненного цикла в кадастровой оценке. Статья дает анализ информационного описания объектов кадастра транспортной инфраструктуры. Показано качественное различие между информационным описанием кадастра транспортных объектов до 1917 и после.
- Ключевые слова:** транспорт, кадастр, транспортная инфраструктура, моделирование, объекты недвижимости

INFORMATION MODELING IN THE MANAGEMENT OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE CADASTRE

- Okhotnikov A.L.** deputy head of Center, JSC "NIIAS", E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Pavlovskiy A.A.** PhD., Deputy General Director, JSC "NIIAS", E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes the application of information modeling in the management of the transport infrastructure cadastre. The article discloses the contents of the transport infrastructure cadastre. The article highlights the problems of not taking into account the life cycle in the cadastral valuation. The article gives an analysis of the information description of the objects of the transport infrastructure cadastre. The qualitative difference between the information description of the transport object cadastre before 1917 and after.
- Keywords:** transport, cadastre, transport infrastructure, modeling, real estate objects

Введение.

Развитие транспорта в России является важной задачей. Транспортная система важна для обороноспособности государства и его социально-экономического развития. Необходимость совершенствования учета и управления в области развития транспорта и транспортной инфраструктуры, является актуальной задачей. Важную поддержку в этом оказывает ведение кадастра транспортной инфраструктуры. Кадастр транспортной инфраструктуры является частью государственного кадастра недвижимости (ГКН) и должен реализовываться в рамках единой транспортной политики [1]. Государственный кадастр недвижимости в области транспорта включает комплекс транспортных, строительных, планировочных, землеустроительных, кадастровых и природоохранных мероприятий, целью которых является

улучшение экономики страны [2-4]. Земля является важнейшим природным ресурсом и основой государственного регулирования [5, 6] объектов недвижимости.

Возможности целевого и рационального использования земли, определяются состоянием земель и наличием информации об этом состоянии [7]. Информация о состоянии земель играет важнейшую роль при определении налогооблагаемой базы и кадастровой стоимости земельных участков, является одним из важнейших объективных факторов вовлечения земель на рынок [8, 9]. Это обуславливает важность и необходимость информационного моделирования в технологиях ведения кадастра. В настоящее время хранение пространственной информации связано с организацией фондов инфраструктуры пространственных данных (далее-ИПД) [10, 11]. Это отражается на технологиях ведения кадастра. Кадастровые системы должны быть сопряжены и совместимы с форматами ИПД. Технологии организации данных кадастровых систем должны иметь информационное соответствие технологиям ИПД. Это еще больше повышает значение и необходимость информационного моделирования в кадастре.

Задачи кадастрового учета.

«Государственный кадастровый учет недвижимого имущества - внесение в Единый государственный реестр недвижимости сведений о земельных участках, зданиях, сооружениях, помещениях, машино-местах, об объектах незавершенного строительства, о единых недвижимых комплексах, а в случаях, установленных федеральным законом, и об иных объектах, которые прочно связаны с землей, то есть перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно (далее также - объекты недвижимости), которые подтверждают существование такого объекта недвижимости с характеристиками, позволяющими определить его в качестве индивидуально-определенной вещи, или подтверждают прекращение его существования» [ст 1.п.7., 130н]

Одной из целей кадастрового учета является внесение сведений об объекте транспортной инфраструктуры, которые подтверждают его существование или прекращение его существования. Отсюда важным является учет и оценка жизненного цикла объекта учета. Эксплуатационные характеристики объекта недвижимости зависят от того, на каком этапе жизненного цикла находится этот объект. С жизненным циклом связана оценка технического состояния объекта недвижимости, хотя во многих методических указаниях такая связь не рассматривается.

В настоящее время кадастровый учет объекта недвижимости производится заявительным порядком, с подготовкой технического плана объекта недвижимости. Вносимые характеристики здания и сооружения должны соответствовать приказу № 953 «Об утверждении формы технического плана и требований к его подготовке, состава содержащихся в нем сведений, а также формы декларации об объекте недвижимости, требований к ее подготовке, состава содержащихся в ней сведений» [93н].

Анализ технического плана в части сроков эксплуатации объекта недвижимости показывает, что в нем присутствует только год завершения строительства и год ввода в эксплуатацию объекта недвижимости. То есть жизненный цикл как экономическая и эксплуатационная характеристика отсутствует как нормативная характеристика, но присутствует как вспомогательная характеристика. Такая ситуация создает информационную асимметрию, информационную неопределенность и дополнительный риск [14]. Например, при бережной эксплуатации одного объекта его износ через 10 лет может составить 20%. Другой подобный объект, построенный два года назад также может иметь износ 20%. Однако жизненный цикл

второго объекта существенно короче и он будет снят с эксплуатации до того как закончится жизненный цикл первого объекта. Однако эти показатели не учитывают в кадастровых документах.

Другая реальная проблема состоит в том, что часто при создании технического плана объекта недвижимости транспортной инфраструктуры не указано, был ли выполнен отвод земли под строительство объекта инфраструктуры. Особенность такой ситуации в том, что на землю в техническом плане не всегда имеются правоустанавливающие или правоудостоверяющие документы, даже если они существовали на момент строительства. При строительстве их наличие «на руках» может быть необязательным, если есть утвержденная проектная документация.

В существующей практике проектная документация не может быть утверждена без разрешительных документов. Разрешение на строительство не возможно без актов выбора земельных участков, проектов планировки и межевания территории, решений органов исполнительной власти регионального и муниципального уровней о выделении земли – т.е. без решения, полученного в надлежащем порядке, о получении землеотвода под строительство. Это в дальнейшем создает либо отсутствие полной информации о земле, либо не дает возможность устанавливать право на полосу отвода, которая по закону должна принадлежать например, железной дороге.

Информационное описание объектов кадастра.

Большое значение при ведении кадастра играют информационные технологии и методы информационного моделирования [9, 15]. Объекты недвижимости имеют в своем составе земельный участок и обладают признаками, которые позволяют отличить их от объектов, не связанных с землей. Эти признаки следующие:

Стационарность, неподвижность - характеризует связь объекта недвижимости с земной поверхностью и невозможность его перемещения в пространстве без физического разрушения и нанесения ущерба.

Материальность - характеризует функционирование объекта в натурально-вещественной и стоимостной формах. Данные о его размерах и форме, потребительских свойствах. Материальность также характеризует реальную окружающую среду для данного объекта. Для железнодорожной отрасли это могут быть подъездные пути, транспортная доступность, коммунальные услуги, поверхность и подпочвенный слой, ландшафт, экологическая обстановка. Совокупность этих характеристик определяет полезность, которая составляет основу стоимости объекта недвижимости. На стоимость также влияет спрос и предложение, политические и конъюнктурные факторы. Объекты недвижимости могут отличаться конструктивной сложностью, и поддержание их в надлежащем состоянии требует больших затрат.

Долговечность - характеризует функционирование объекта недвижимости на длительном временном интервале. Согласно действующим в России строительным нормам и правилам (СНиП), жилые здания в зависимости от материала основных конструкций (фундамента, стен, перекрытий) подразделяются на 6 групп с нормативными сроками службы от 15 до 150 лет.

Длительность кругооборота земли при правильном ее использовании бесконечна, но нарушение норм эксплуатации приводит к невозможным потерям. Объекты недвижимости обладают повышенной экономической ценностью, в силу того, что предназначены для длительного пользования и часто не потребляются в процессе использования.

Дополнительно к основным признакам для объектов недвижимости существуют *частные признаки*, которые определяются конкретными показателями в зависимости от вида объектов. Невозможно говорить о двух одинаковых объектах недвижимости так как они всегда имеют различия, что указывает на разнородность, уникальность и неповторимость каждого объекта недвижимости.

В процессе функционирования и эксплуатации объекты недвижимости характеризуются многоаспектностью применения.

Объекты недвижимости могут быть обеспечивающим ресурсом, что характерно для организаций, бизнес которых не базируется на операциях с недвижимостью. Для них важно соответствие структуры, состава и качества объектов недвижимости целям и задачам основного бизнеса организации. Структурная реорганизация таких компаний влечет реорганизацию имущественного комплекса, перераспределение собственности, реализацию инвестиционных проектов, в том числе для развития новых производств и отдельных линий. Операции с недвижимостью в таких организациях могут быть как неосновной бизнес, например, продажа непрофильных активов или сдача в аренду незадействованных объектов недвижимости.

Объекты недвижимости могут выступать как предмет деятельности организации и как основной источник доходов. Это сфера земельного рынка и рынка недвижимости.

Объекты недвижимости могут выступать как предмет инвестиций. Например, фирмы застройщики создают проекты развития, приобретают земельные участки и осуществляют на них строительство для создания новых объектов недвижимости. В дальнейшем предполагается продажа таких объектов, сдача в аренду или в лизинг.

На значение объектов недвижимости влияет масштаб и специализация организации. Особое место занимают объекты недвижимости в современном наукоемком производстве, в то время как в малом бизнесе можно обойтись арендованным помещением.

Дескриптивные информационные модели объекта недвижимости.

В информационном моделировании разделяют дескриптивные (описательные) и прескриптивные (предписывающие действия) модели [16]. В государственный кадастр недвижимости вносятся дескриптивные модели об уникальных характеристиках объекта недвижимости. До революции дескриптивные кадастровые модели транспортной инфраструктуры представляли собой подробную визуальную модель, включающую внешний вид, размеры и иные характеристики, максимально описывающие объект. Визуальная модель сопровождалась правовыми документами. На рис.1 приведен типичный объект кадастра – мост через реку Пячку (1912) [17].

После 1917 года появился новый документ – технический паспорт, который исключал подробную визуальную составляющую и сводился к текстовому перечислению информационных признаков. Эти признаки образуют следующую совокупность:

- 1) вид объекта недвижимости (земельный участок, здание, сооружение, помещение, объект незавершенного строительства);
- 2) кадастровый номер и дата внесения данного кадастрового номера в государственный кадастр недвижимости;
- 3) описание местоположения границ объекта недвижимости в объеме сведений, определенных порядком ведения государственного кадастра недвижимости, если объектом недвижимости является земельный участок;

4) описание местоположения объекта недвижимости на земельном участке в объеме сведений, определенных порядком ведения государственного кадастра недвижимости, если объектом недвижимости является здание, сооружение или объект незавершенного строительства

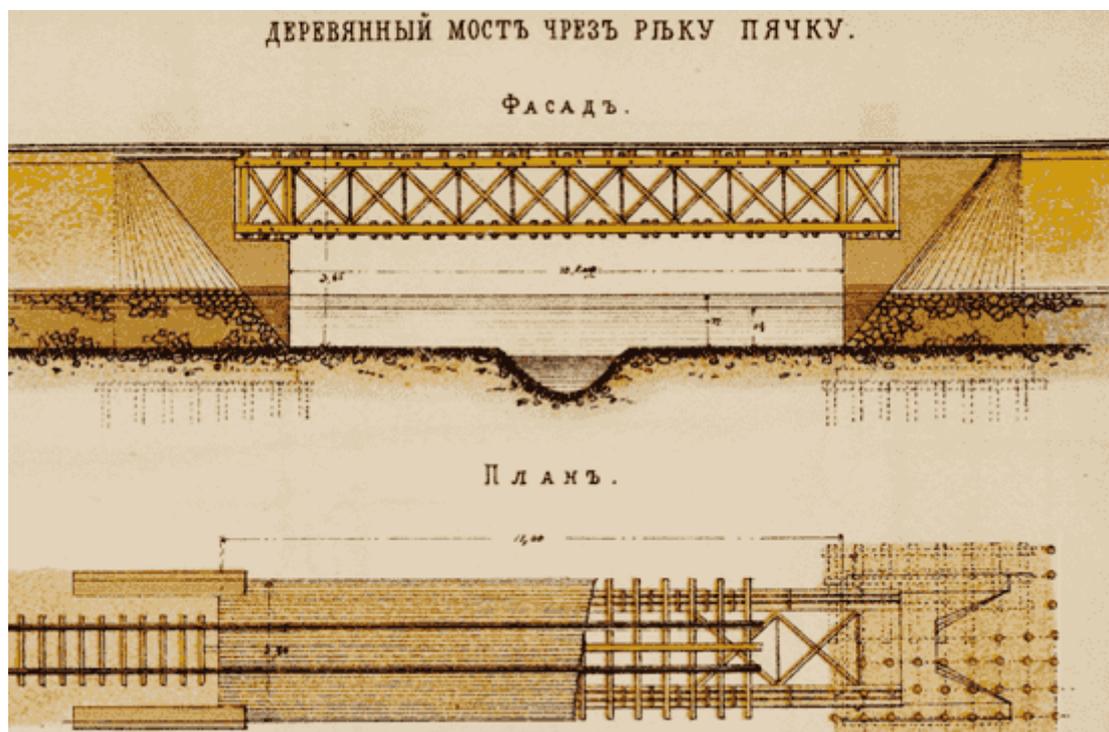


Рис.1. Деревянный мост через реку Пячку (1912) [17].

5) кадастровый номер здания или сооружения, в которых расположено помещение, номер этажа, на котором расположено это помещение (при наличии этажности), описание местоположения этого помещения в пределах данного этажа, либо в пределах здания или сооружения, либо соответствующей части здания или сооружения, если объектом недвижимости является помещение;

6) площадь, определенная с учетом установленных в соответствии с Федеральным законом требований, если объектом недвижимости является земельный участок, здание или помещение.

В государственный кадастр недвижимости вносятся также следующие дополнительные сведения об объекте недвижимости:

1) ранее присвоенный государственный учетный номер (кадастровый, инвентарный или условный номер), если такой номер был присвоен до присвоения в соответствии с Федеральным законом кадастрового номера, и дата присвоения такого номера, сведения об организации или органе, которые присвоили такой номер в установленном законодательством порядке;

2) кадастровый номер объекта недвижимости, в результате раздела которого, выдела из которого, реконструкции которого или иного соответствующего законодательству Российской Федерации действия с которым (далее - преобразуемый объект недвижимости) был образован другой объект недвижимости;

3) кадастровый номер объекта недвижимости, образуемого из данного объекта недвижимости;

4) кадастровый номер земельного участка, в пределах которого расположены здание, сооружение или объект незавершенного строительства, если объектом недвижимости является здание, сооружение или объект незавершенного строительства;

5) кадастровые номера расположенных в пределах земельного участка зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства, если объектом недвижимости является земельный участок. Кадастровые номера помещений, расположенных в здании или сооружении, если объектом недвижимости является здание или сооружение. Номер кадастрового квартала, в котором находится объект недвижимости;

6) кадастровый номер квартиры, в которой расположена комната, если объектом недвижимости является комната;

7) адрес объекта недвижимости или при отсутствии такого адреса описание местоположения объекта недвижимости (субъект Российской Федерации, муниципальное образование, населенный пункт и тому подобное);

8) сведения о вещных правах на объект недвижимости в объеме сведений, определенных порядком ведения государственного кадастра недвижимости, в случае, если указанные права не зарегистрированы в Едином государственном реестре прав на недвижимое имущество и сделок с ним;

9) сведения об ограничениях (обременениях) вещных прав на объект недвижимости, в том числе описание части объекта недвижимости, если такие ограничения (обременения) распространяются на часть объекта недвижимости, в объеме сведений, определенных порядком ведения государственного кадастра недвижимости;

10) сведения о кадастровой стоимости объекта недвижимости в объеме сведений, определенных порядком ведения государственного кадастра недвижимости;

11) сведения о лесах, водных объектах и об иных природных объектах, расположенных в пределах земельного участка, если объектом недвижимости является земельный участок;

12) категория земель, к которой отнесен земельный участок, если объектом недвижимости является земельный участок;

13) разрешенное использование, если объектом недвижимости является земельный участок; отметка о принятии акта и (или) заключении договора, предусматривающих предоставление в соответствии с земельным законодательством исполнительным органом государственной власти или органом местного самоуправления, находящегося в государственной или муниципальной собственности земельного участка для строительства наемного дома социального использования или наемного дома коммерческого использования, либо для освоения территории в целях строительства и эксплуатации наемного дома социального использования или для освоения территории в целях строительства и эксплуатации наемного дома коммерческого использования, или отметка о решении собственника земельного участка, находящегося в частной собственности, о строительстве на таком земельном участке наемного дома социального использования или наемного дома коммерческого использования, либо о договоре указанного собственника земельного участка с органом государственной власти, органом местного самоуправления или иным лицом, предоставившим указанному собственнику в соответствии с жилищным законодательством государственную, муниципальную и (или)

иную поддержку для создания, эксплуатации наемного дома социального использования на таком земельном участке, если объектом недвижимости является земельный участок;

14) назначение здания (нежилое здание, жилой дом или многоквартирный дом), если объектом недвижимости является здание;

15) назначение помещения (жилое помещение, нежилое помещение), если объектом недвижимости является помещение;

16) вид жилого помещения (комната, квартира), если объектом недвижимости является жилое помещение, расположенное в многоквартирном доме;

17) назначение сооружения, если объектом недвижимости является сооружение;

18) количество этажей, в том числе подземных этажей, если объектом недвижимости является здание или сооружение (при наличии этажности у здания или сооружения);

19) материал наружных стен, если объектом недвижимости является здание;

20) адрес правообладателя.

Анализ в кадастре.

В кадастре применяют следующие виды анализа: системный [18-20], дихотомический, пространственный [21, 22], коррелятивный [23]. Наиболее важным является системный анализ. Как земельный кадастр является базовым для других кадастров, так и системный анализ является базовым для других видов анализа.

Системный анализ кадастровой системы – это анализ, который направлен на исследование кадастровой системы как сложной системы и выявление системных свойств. Системный анализ - совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного, социального, экономического, научного и технического характера. Основная процедура - построение набора обобщенных моделей, отображающих объекты и их взаимосвязи. Термин "системный анализ" иногда употребляется как синоним системного подхода.

При анализе неизвестных систем используется метод функционального исследования систем – метод "черного ящика". Суть метода: система рассматривается как "черный ящик" [24] и наблюдаются только состояния входов и выходов системы, на основании этого выявляется конкретная форма зависимости выходных информационных потоков от входных информационных потоков. По мере выявления структуры системы и потоков внутри нее она из черного ящика преобразовывается в "белый ящик". В такой системе известна структура взаимодействия входных, промежуточных и выходных потоков. Сложная система характеризуется структурой и целостностью [20]. Структурность кадастровых систем строится на основе системного подхода. Для изучения возможностей кадастровой системы применяют структурный анализ, который позволяет:

- понять механизм функционирования кадастровой системы;
- выявить результат внешнего воздействия на входы и на внутреннее состояние кадастровой системы;
- изучить структурные описания существующих кадастровых систем для построения новых систем.

Современный земельный кадастр представляет собой сложную информационную систему, которая управляется одним или несколькими государственными ведомствами [25]. Кадастр как единая система позволяет избежать дублирования и содействует эффективному обмену

информацией и землепользованием. Земельный кадастр является базисным для многих видов кадастра. Именно поэтому он рассматривается как основа для других видов кадастра.

С системных позиций необходимо отметить, что в теории кадастра присутствуют три сложные системы: система кадастровых данных – система данных; функциональная система ведения кадастра: ввода, хранения, обработки и представления информации; сложная система технологий ведения кадастра. Технология ведения кадастра, представляет собой последовательные действия по сбору, инвентаризации, документированию, накоплению, обновлению, обработке и хранению сведений о земельных участках. Функциональная система ведения кадастра направлена на решение задач исследования и правильного использования земельных ресурсов. Система кадастровых данных организована структурно как система базы данных, что позволяет автоматизировать ведение и обновление кадастровых данных

ГИС кадастра как система учета и управления.

Существуют разные технологии применения геоинформационных систем (далее - ГИС) для решения задач ведения кадастра. Две из них приведены на рис.2. ГИС кадастра представляет собой интегрированную систему включающую ГИС как систему обработки информации и включающую базу данных кадастровой информации, откуда по запросу информация поступает в ГИС. В отличие от баз данных и хранилищ, ГИС кадастра не только формирует информацию по запросам, но и позволяет использовать картографическую, фотограмметрическую, геодезическую информацию и информацию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для обновления и создания кадастровой информации.

В ГИС кадастра [26] поступает разная информация. В общем случае эта информация разделяется на четыре группы: СтИ - статистическая информация или статистика; ОИ - общая информация или пространственные данные и временные данные; СИ - специальная информация, связанная с кадастром; УИ - управляющая информация. ГИС кадастра (ГИСК) используется по двум основным технологиям: как система поддержки принятия решений и как система принятия решений. Это показано на рис.2.

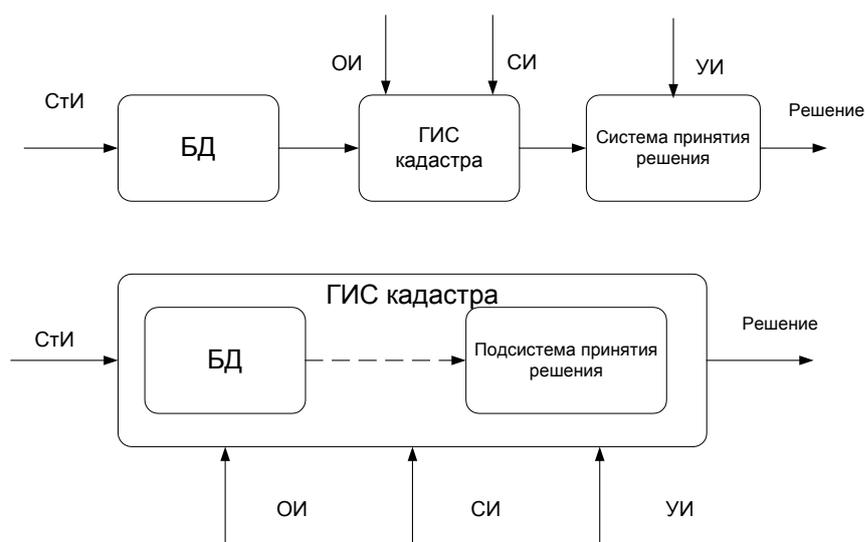


Рис.2. Две схемы применения ГИС кадастра.

В первом случае ГИСК входит в управляющий комплекс, который включает базу данных, связанную с ГИС и систему принятия решений, которая работает по своим алгоритмам [27]. При поддержке принятия решений статистическая информация (СтИ) накапливается или обновляется в базе пространственных данных. Она поступает в ГИСК из БД. В результате сбора общая информация (ОИ) и специальная информация (СИ) поступают в ГИСК. Информация из ГИСК поступает в систему принятия решений. Управляющая информация (УИ) также поступает в систему принятия решений и на основе этой информации принимается решение. В этой схеме информация из ГИСК играет роль поддержки управляющей информации.

Во втором случае ГИС включает БД, систему поддержки принятия решений и окончательное решение формируется в среде ГИС.

Во второй технологии ГИСК формирует комплексную модель принятия решений в которой пространственная информация равнозначна управляющей и решение осуществляется на основе такой комплексной модели [28]. При этом пространственная информация может быть даже основной при принятии решения [29]. В обеих технологических схемах осуществляется геоинформационное моделирование [30, 31]. Но в первой технологии оно замкнуто только на пространственную информацию. Во второй технологии при анализе используется комплексная модель, включающая разные виды информации.

Основными задачами ГИС кадастра являются:

Определение кадастровой стоимости земельных участков является важным элементом налогообложения, залога, ипотеки, определения стартовой цены в сделках купли-продажи недвижимости, выкупной цены земельных участков под приватизированными объектами, определения стоимости арендной платы, выкупа права аренды и поступлений в бюджеты всех уровней.

Заключение

Применение актуальной кадастровой информации позволяет принимать эффективные управленческие решения в сфере транспортной отрасли, на уровне региона или муниципального образования. Применение кадастровой информации позволяет при необходимости воздействовать на рынок земли и недвижимости, обеспечивать гарантии при совершении сделок, планировать социальную и миграционную политику государства. Без применения кадастровой информации невозможно обеспечить стабильный экономический рост транспортной отрасли. При этом важно помнить, что информация сама по себе не нужна без эффективных технологий ее использования, хранения и обновления. Информационные технологии моделирования кадастровой информации являются внутренней неотъемлемой составляющей кадастра и управления транспортной инфраструктурой.

Список литературы

1. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике в сфере железнодорожного транспорта // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.244-250.
2. А.П. Сизов, А.Е. Алтынов, С.А. Атаманов, С.А. Григорьев, Т.В. Илюшина, Т.К. Колевид, А.М. Лелюхина, О.В. Миклашевская, Т.Ф. Пушкина. Основы кадастра недвижимости: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. — 407 с.
3. Сизов А.П., Максудова Л.Г. и др. Основы кадастра недвижимости. — М.: МИИГАиК, 2013. — 390 с.

4. Волков С.Н., Варламов А.А. Землеустройство и кадастр недвижимости: учебное пособие. – М.: ГУЗ, 2010 -224с.
5. Варламов А.А. Теоретические и методические положения управления земельными ресурсами и формирования системы государственного земельного кадастра. – М.: ГУЗ, 2001. – 300 с.
6. Цветков В.Я. Государственное регулирование земельно-имущественных отношений. – М.: МИИТ, 2014. – 140 с.
7. Российская Федерация. Правительство. Постановления. Об утверждении Положения о проведении территориального землеустройства: постановление Правительства РФ от 7.06.2002, № 396 // Земля и право : сб. нормат. актов / под ред. В.Х. Улюкаева .- М.: Былина, 2004.- с.377-378.
8. Информационное обеспечение кадастров и землеустройства пространственными данными: коллективная монография. – М.: ГУЗ, 2006
9. Цветков В.Я. Информационные технологии в кадастре недвижимости. Учебное пособие. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 68с.
10. Матчин В.Т. Состояние и развитие инфраструктуры пространственных данных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №1(9). – с.137-144.
11. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2011.-№5. - с.85-91.
12. Федеральный закон от 13.07.2015 г. (ред. от 03.07.2016) № 218-ФЗ "О государственной регистрации недвижимости"
13. Приказ Министерства экономического развития от 18.12.2015 г. № 953 “Об утверждении формы технического плана и требований к его подготовке, состава содержащихся в нем сведений, а также формы декларации об объекте недвижимости, требований к ее подготовке, состава содержащихся в ней сведений
14. Tsvetkov V. Ya. Information Asymmetry as a Risk Factor // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp. 1937-1943.
15. Шедий Е. Г. Новые информационные технологии на службе у агрохолдинга // Российское предпринимательство. – 2010. - №12(2). – с.136-141.
16. Цветков В.Я. Дескриптивные и прескриптивные информационные модели // Дистанционное и виртуальное обучение– 2015. - №7. - с.48- 54
17. Альбом типовых и исполнительных чертежей сооружений. Ачинск-Иркутск, 1906-1912 гг. - Томск. 1912
18. Vidyasagar M. Nonlinear systems analysis. – Prentice Hall, 1978.
19. Gane C. P., Sarson T. Structured systems analysis: tools and techniques. – Prentice Hall Professional Technical Reference, 1979.
20. Цветков В.Я. Решение проблем с использованием системного анализа // Перспективы науки и образования- 2015. - №1. – с.50-55.
21. Bailey T. C., Gatrell A. C. Interactive spatial data analysis. – Essex : Longman Scientific & Technical, 1995.
22. Bailey T. C., Gatrell A. C. Interactive spatial data analysis. – Essex : Longman Scientific & Technical, 1995.

23. Кудж С.А. Коррелятивный анализ как метод познания // Перспективы науки и образования-2013. -№5. – с9 -13.
24. Бейзер Б. Тестирование черного ящика. Технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. – СПб. : Питер, 2004.
25. Асаул, А. Н. Экономика недвижимости: учебник для вузов. - 3-е изд., исправл. / А. Н. Асаул, С. Н. Иванов, М. К. Старовойтов. - СПб.: АНО «ИПЭВ», 2009. -304 с.
26. Мазуркин П. М., Фадеев А. Н. Геоинформационные системы земельного кадастра, лесного реестра и особо охраняемых территорий //Современные проблемы науки и образования. – 2009. – №. 4.
27. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: МаксПресс, 2001. -312с.
28. Anselin L. GIS Research Infrastructure for Spatial Analysis of Real Estate Markets. //Journal of Housing Research. 1998. -9. -p. 113-33.
29. Chica-Olmo J. Prediction of Housing Location Price by a Multivariate Spatial Method: Cokriging.// The Journal of Real Estate Research. -2007. -29(1). -p. 91-114.
30. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование// Информационные технологии. - 1999. - №3. - с.23- 27.
31. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.60-75.

УДК: 656.052

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ КАК СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

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

Аннотация. Раскрывается содержание интеллектуальной транспортной системы. Показано наличие двух типов систем: технологической и технической. Отмечена тенденция дифференциации интеллектуальных транспортных систем. На практике эти системы выполняются под заказ, в зависимости от характеристик и использования существующей инфраструктуры. Это и является одной из причин их специализации. Другой причиной являются направления разработки этих систем: адаптация интеллектуальных систем, трансформация информационных систем в интеллектуальные, многоуровневый метод поддержки принятия решений. Дается обзор основных направлений применения интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, системный анализ, интеллектуальные транспортные системы, информационные системы принятия решений, многоцелевое управление.

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS AS SPECIALIZED SYSTEMS

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

Annotation. The article reveals the content of the intellectual transport system. The article shows the existence of two types of systems: technological and technical. The article shows the tendency of differentiation of intelligent transport systems. In practice, these systems are made to order, depending on the characteristics and use of the existing infrastructure. This circumstance is one of the reasons for their specialization. The article reveals the content of different directions for the creation of intellectual systems: the adaptation of intellectual systems, the transformation of information systems into an intelligent, multi-level method of supporting decision-making. The article contains an overview of the main areas of application of intelligent transport systems.

Keywords: artificial intelligence, system analysis, intelligent transport systems, information systems decision-making, multipurpose management

Введение.

Концепция управления транспортом, основанная на применении систем автоматизированного управления исчерпала себя. Современный путь транспорта развития требует создания новых методов эксплуатации, управления и контроля. Одним из таких подходов является применение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1-3]. Применение интеллектуальных транспортных систем во многих странах диктуется объективной

потребностью развития общества, уровнем технологий и требованием качественного развития транспортных систем.

Современное управление транспортом интегрирует комплекс: системный анализ, теорию транспортных систем, геоинформатику, навигацию и др. По мере развития транспортных систем появляется необходимость управления все более сложными системами. Широкое развитие телекоммуникационных систем и сетей поставило специфические задачи сетевого [4], сетевидного [5] и субсидиарного [6,7] управления. Развитие космических технологий создало возможность применения методов космической навигации для управления железнодорожным транспортом [8]. В комплексе эти технологии требуют применения интеллектуальных решений. Интеллектуальное управление транспортом эффективно реализуется лишь в информационном пространстве и искусственном информационном поле. Это также поставило задачу создать в сфере транспорта информационную среду, позволяющую эффективно и оперативно управлять процессами перевозок и безопасностью движения.

Анализ понятия интеллектуальной транспортной системы.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – системы, создаваемые на основе интеграции средств автоматизации контроля и управления транспортом, информационных и коммуникационных технологий, ГНСС, динамических геоданных и единой информационной среды в транспортную инфраструктуру, транспортные средства, ориентированные на повышение безопасности и эффективности транспортных потоков и пользователей транспорта.

Интеллектуальность систем на транспорте проявляется в возможности получения оперативных решений за короткие сроки, в течение которых человек не в состоянии выработать решение. Интеллектуальность систем на транспорте проявляется в возможности получения новых решений и накопление опыта с занесением его в базы знаний. Интеллектуальность систем на транспорте проявляется в возможности решения комплексных задач, уровень сложности которых исключает возможность их решения человеком.

Интеллектуальные системы можно рассматривать как средство преодоления информационного барьера, обусловленного в первую очередь сложностью, во вторую объемом информации и неспособностью человека как системы обработки и анализа в заданный период времени ее проанализировать и получить адекватное решение. Свойством интеллектуальных систем является возможность выполнения творческих функций, которые традиционно считаются прерогативой человека. Другими словами, интеллектуальная система, в отличие от информационной системы, способна проявлять активность при отсутствии воздействия или прямых указаний человека.

Интеллектуальная система — это техническая или программно-техническая система, способная получать творческие решения задач, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Упрощенно структура интеллектуальной системы включает три основных блока — базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс [9].

Информационные системы (ИС) обрабатывают и в итоге упрощают исходную информационную коллекцию и подготавливают ее для окончательного использования другой интеллектуальной системой, которая называется «человек». ИС являются помощниками человека в принятии решений

Интеллектуальные системы не только обрабатывают и упрощают исходную информационную коллекцию, но в ряде случаев решают сложные задачи и в столь короткое

время, которые человек принципиально решить не способен. Интеллектуальные системы не только помогают человеку, но и принимают за него решения, включая ту область решений, в которой он не адекватен. Таким образом, интеллектуальные системы возникли как средство преодоления ряда информационных барьеров и позволяют получать результаты, которые не могут получить информационные системы и многие человеко-машинные системы

В настоящее время происходит дифференциация ИТС [9, 11]. Разрабатываются специальные стандарты ИТС [12] для повышения эффективности их работы. Категории ИТС возникли как результат специализации ИТС для решения типовых задач или определенной области задач. Общим между ИТС и информационной системой является то, что она является универсальной и первоначально предназначена для общих решений. Специализация ИТС и информационной системы с одной стороны сужает ее направленность, но с другой стороны повышает эффективность решения специальных задач и упрощает действия специалиста по ее применению. Одна из причин специализации ИТС в том, что общие решения по их созданию часто технологически сложны. Поэтому на практике ИТС выполняются под заказ, в зависимости от характеристик и использования существующей инфраструктуры.

Существуют разные направления создания ИТС. Первое связано с адаптацией интеллектуальных систем к решению задач транспорта и применением многоцелевого управления. [13]. Второе направление [14], связано с трансформацией информационных технологий в системы управления транспортом и интеллектуализация этих процессов. Третье направление [15] связано с развитием систем многоуровневого принятия решений применительно к управлению подвижными объектами [16]. Сложность этого метода требует интеллектуализации.

При этом следует отметить наличие двух типов систем: технических и технологических. Технологические системы более адаптивны и представляют собой системную совокупность технологий. Технические системы имеют прошитое программное обеспечение, которое неразрывно связано с данной системой. Поэтому интеллектуальные системы также делятся на технологические и технические. На рисунке 1 приведена коррелятивная модель алгоритма принятия решений основанная на многоуровневых моделях искусственного интеллекта. Она характеризует третье направление развития ИТС [15].



Рисунок 1 - Многоуровневый алгоритм поддержки принятия решений, основанный на методах ИИ.

Алгоритм на рисунке 1 является коррелятивным. Он построен на дополняющих коррелятах [17] «когнитивизм – рационализм», «обучение - правила». Следует отметить важность таких направлений (рис.1) как агентный анализ, адаптированный к интеллектуальным транспортным системами [18]. Он трансформировался из мультиагентного анализа [19]. Также специфическим является риск-анализ для транспортных систем как метод в ИТС. Подробно направление этого подхода отражено в диссертации Джонстона [20].

Многоаспектность построения ИТС

При создании ИТС необходимо учитывать следующие аспекты: интегрированность, пространственно-временной аспект, масштабность, моделирование, исходные данные, навигационный.

Интегрированность обусловлена тем, что при создании ИТС интегрируются знания следующих предметных областей: транспорт, управление, геоинформатика, дистанционное зондирование, искусственный интеллект, информатика, связь. Это требует решения задач терминологической и технологической согласованности понятий и технологий данных областей в единую гармоничную систему.

Пространственно-временной аспект обусловлен необходимостью определения пространственного положения подвижных и неподвижных объектов. Кроме того, необходимо учитывать пространственные отношения между подвижными и неподвижными объектами, подвижными и подвижными объектами, неподвижными и неподвижными объектами. В этот же аспект входит необходимость учета пространственной распределенности транспортных сетей. Объекты транспорта являются подвижными, поэтому наряду с координатной привязкой, или локализацией, объектов необходимо достаточно точно определить время определения местоположения объекта.

Аспект *масштабности* обусловлен тем, что для ИТС имеет место понятие масштаба использования. По этому критерию ИТС можно подразделить на три категории: локальные, региональные, национальные и интермодальные (глобальные).

Для городского и районного транспорта (метро, трамвай, автобус) характерны локальные ИТС. Локальными ИТС называют такие, для которых нет необходимости учитывать кривизну Земли. Из справочных материалов следует, что на участках земной поверхности 22 x 22 км такое условие выполняется [21].

При определении местоположения и ситуации в таких ИТС для визуализации применяют крупномасштабные карты и планы, имеющие электронную форму. Это дает основание для координирования объектов использовать Декартову систему координат. Масштаб для таких систем считают постоянным в каждой точке. Модели локализации и перемещения объектов в таких системах являются наиболее простыми.

При переходе к региональным национальным системам необходимо использовать среднемасштабные и мелкомасштабные электронные карты. Масштаб на таких картах является переменной величиной, координатная сетка не является прямоугольной. На картах в зависимости от выбранной картографической проекции присутствуют искажения: площадей, углов и расстояний. Это усложняет вычисление местоположения объектов.

При транспортировке грузов в глобальных масштабах необходимо использовать модели Земли и геоцентрические координаты для определения положения и перемещения объекта по поверхности Земли. Модели локализации и перемещения объектов в таких системах являются наиболее сложными.

Аспект *моделирования* и построения моделей для ИТС приводит к необходимости использования динамических моделей и набора единых пространств. По классам модели в ИТС разделяются на: динамические, статические и оптимизационные. Как вспомогательные применяются модели поддержки принятия решений, принятия решений и модели правил вывода.

Динамические модели позволяют описывать движение отдельных объектов, создавать модели транспортных и грузовых потоков, прогнозировать ситуации с подвижными объектами, решать оптимизационные задачи. Статические модели описывают транспортную инфраструктуру и ситуацию, в которой перемещаются объекты.

Для контроля и управления подвижными объектами необходимо использование нескольких пространств или сред. В этом аспекте понятие «среда» и «пространство» являются синонимами. Употребление в одних случаях термина «среда» в других «пространство» продиктовано традициями предметных областей, которые интегрированы в область ИТС.

Для локализации объектов с помощью ИТС необходимо использование *единой координатной среды*. Эта среда определяется масштабом ИТС и в свою очередь предъявляет определенные требования к координатным моделям. Для учета динамики необходимо применение *единой временной среды* или создание *системы единого времени*. Для управления и связи необходимо применение *единой телекоммуникационной среды*.

Современное управление основано на использовании информационных технологий и систем. Информационные технологии и системы используют информационные ресурсы. Для эффективного использования информационных ресурсов в реальном пространстве необходимо создание *единого информационного пространства*.

В реальной практике управление и перевозки осуществляются в соответствии с нормативами и правилами. Особенность ИТС в том, что все большая часть решений с их помощью осуществляется без участия человека. Эти решения должны не выходить за рамки правового поля данной страны и международного права при интермодальных перевозках. Следовательно, для функционирования ИТС необходимо создание *единого нормативно-правового пространства*.

Аспект данных предполагает, что данные, применяемые в ИТС должны содержать информацию о положении объекта, времени нахождения в данной точке земной поверхности и о пространственных отношениях. Все перечисленное изучает геоинформатика, поэтому для получения данных и анализа необходимо применять геоинформационный подход. В целом необходимую информацию содержат геоданные. Причем для ИТС подходит особый класс геоданных – динамические геоданные [22].

Диверсификация ИТС.

В современной терминологии специализированные ИТС обозначают термином (Advanced) прогрессивные системы. Эти системы иногда включают фрагменты интеллектуальности или технологические интеллектуальные системы. Эти системы иногда синтезируют интеллектуальную систему или строятся на ее основе. То есть степень интеллектуализации может быть разной.

Одной из распространенных категорий ИТС являются «Интеллектуальные системы для путешественников (ATIS) [23]. Они решают следующие основные функции. Предоставление информации о движении в реальном времени. Руководство по маршрутам передвижения, включая навигационные системы. Дают информацию о парковке. Содержат информационные

системы о дорожной погоде и выдают информацию о погоде и прогноз погоды.

Распространенной категорией ИТС являются комплексные системы управления транспортом (ATMS) [24]. Они содержат центры транспортных операций (TOCs). В городских условиях они включают технологии адаптивного управления светофорным трафиком. Они формируют динамические условные знаки сообщений о трафике. Они осуществляют замер экспозиции трафика

Экономические проблемы решают системы ценообразования с поддержкой ITS. Такие системы включают электронную сборку экономических данных (ETC). Например, простой вагона на разгрузке или после разгрузки определяется по электронным датчикам его местонахождения. Эта категория транспортных систем решает задачи: определения стоимости перегрузки, расчет электронных дорожных цен (ERP), оценку платных экспресс-маршрутов, расчет оплаты за пользование средствами, расчет переменных парковочных сборов. Эти системы решают стимулирующие задач «транспортные мили путешественников» (VMT)

В особую категорию выделяют интеллектуальные системы общественного транспорта (APTS) [25]. Эти системы выдают информацию в реальном времени о состоянии для государственной транзитной системы (например, автобус, метро, железная дорога). Эти системы осуществляют автоматическую локацию транспортного средства (AVL). Они решают задачи оплаты электронных платежей (например, смарт-карты)

Важную категорию составляют системы, которые осуществляют интеграцию между транспортными средствами и инфраструктурой (VII) и интеграция между транспортными средствами (V2V). Они включают кооперативные системы предотвращения столкновений (CICAS), системы интеллектуальной адаптации скорости (ISA).

Важную категорию составляют транспортные кибер-физические системы [26-28] и транспортные кибер-физические системы [29]. Они решают задачи управление транспортом мегаполиса, управление скоростным движением, управление многофункциональным транспортным средством.

Заключение

Интеллектуальные транспортные системы служат основой современной концепции управления транспортом. Они служат средством преодоления информационных барьеров и проблемы «больших данных» [30]. Функционирование ИТС требует применять разные виды обеспечения: интеллектуальное, математическое, лингвистическое, информационное, когнитивное, технологическое. Управление с использованием ИТС состоит в реализации функций, поддерживающих определенный режим деятельности сложной организационно-технической системы [31]. Интеллектуальные транспортные системы относятся к классу адаптивных систем, которые сохраняют работоспособность при непредвиденных изменениях состояний управляемого объекта или окружающей среды путем смены алгоритма функционирования, программы поведения или поиска оптимальных, в некоторых случаях просто эффективных, решений и состояний. Интеллектуальные транспортные системы, как системы интеллектуальные, относятся к гибридным интеллектуальным системам, в которых для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека. Интеллектуальные транспортные системы по архитектуре являются распределенными системами. ИТС управляют множеством объектов и отдельными объектами на основе организации и применения единого информационного пространства в разных масштабах.

ИТС функционируют в режиме реального времени и решают задачи в реальном пространстве с учетом временных ограничений. Поэтому они требуют единства координат и времени в области управления объектами. Развитием ИТС являются интеллектуальные логистические системы (ИЛС). ИЛС – распределенная интеллектуальная система учета, регистрации, координации, контроля, управления транспортными потоками и состоянием транспортной инфраструктуры, а также отношений между транспортной сферой и сферой управления. Основной функцией ИЛС является решение логистических задач при условии невозможности эффективного решения их с помощью обычного человеческого интеллекта.

Геоинформатика и геоматика служат основой организации пространственных данных ИТС. Информационное взаимодействие в ИТС подразделяется на два класса внешнее и внутреннее. Внутреннее взаимодействие направлено на обеспечение живучести системы и выработки решений. Внешнее взаимодействие направлено на анализ внешней ситуации и управление транспортными объектами.

При анализе объекта управления используется понятие информационной ситуации. Информационная ситуация — это информационная модель объекта управления, совокупности его наиболее существенных связей и отношений с другими объектами и внешней средой которые влияют и определяют его состояние и динамику в этом окружении. Как интеллектуальная система ИТС обладает информационными потребностями. Информационная потребность ИТС - необходимость в получении информационных ресурсов: для создания модели деятельности; для формирования решений, недоступных для человека по времени, сложности или объему; для поддержания жизнедеятельности ИТС; для ее развития, накопления и обобщения опыта и возможности на этой основе управления объектами транспорта. Извлечение и формирование знаний для ИТС является существенным их отличием от информационных систем. Это обуславливает применение информационно-когнитивного и онтологического подхода к формированию знаний подход. Это требует применения Логико-лингвистические модели представления знаний в ИТС. В ИТС необходимы системы управления знаниями. Для ИТС необходимы геознания как особый вид знаний, связанный с пространственными отношениями и координатами.

Как всякая интеллектуальная система ИТС включает базу знаний и базу данных. В базе знаний (БЗ), хранятся правила, факты сдержатся в базе данных (БД). Правила могут создаваться и накапливаться в БЗ, данные (факты) могут создаваться и накапливаться в БД. Необходимо обучение ИТС и разработка набора правил вывода и получения решений. ИТС требует поддержки. Информационное окружение ИТС должно содержать системы единства координат, единства времени, динамические системы пространственно- временной поддержки. Это определяет большое значение в работе ИТС глобальных навигационных спутниковых систем. Только выполнение перечисленных условий и учет особенностей обеспечат эффективность ИТС .

Список литературы

1. Stough R. R. Intelligent Transport Systems. – Edward Elgar Publishing, 2001.
2. Taylor M. A. P. Intelligent transport systems //Handbook of transport systems and traffic control. – Emerald Group Publishing Limited, 2001. – С. 461-475
3. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT

Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297 с.

4. Швецов А. Н., Яковлев С. А. Распределенные интеллектуальные информационные системы - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2003.

5. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетевидного управления сложной организационно-технической системой- М.: Макс ПРЕСС, 2010.-136с.

6. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. - 2015. - № 3. - с. 297-301.

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

8. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – с43-50

9. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука, 1986.

10. Кабашкин И. В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего //Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2010. – №. 2 (27). – 34-38

11. Barceló J. et al. Microscopic traffic simulation: A tool for the design, analysis and evaluation of intelligent transport systems //Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2005. – V. 41. – №. 2. – p. 173-203.

12. Williams B. Intelligent transport systems standards. – Artech House, 2008.

13. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.

14. Ezell S. Intelligent transportation systems //The Information Technology & Innovation Foundation. – 2010. – V. 34. – 53p.

15. Claussmann L. et al. A Study on AI-based Approaches for High-Level Decision Making in Highway Autonomous Driving. / 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) Banff Center, Banff, Canada, October 5-8, 2017. – p.3671-3676.

16. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. 2012. Vol.(1), №1. - p. 40-44.

17. Кудж С.А. Коррелятивный анализ как метод познания // Перспективы науки и образования. - 2013. - №5. – с. 9 -13.

18. Jong Yih Kuo, Shin Jie Lee, Chia Ling Wu , Nien Lin Hsueh and Jonathan Lee Evolutionary Agents for Intelligent Transport Systems // International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 7, No. 2, June 2005. – p.85-93.

19. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – с.107-1

20. Johnston K. A. Using risk analysis to prioritise road-based intelligent transport systems (ITS) in Queensland : дис. (Master by Research) – Queensland University of Technology, 2006. 105p.

21. Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр: Энциклопедия. В 2-х т. /Под ред. А.В. Бородко, В.П. Савиных. – М.: ООО «Геодезкартиздат», 2008. – Т. I – 496 с.

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

23. Chen B. M. Q. R. S. K. Advanced traveler information systems. – Artech House, 2002.

24. Crainic T. G., Ricciardi N., Storchi G. Advanced freight transportation systems for congested urban areas //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2004. – Т. 12. – №. 2. – С. 119-137.
25. Casey R. F. et al. Advanced public transportation systems: the state of the art. – Umta, 1991. – №. UMTA-MA-06-0196-91-2..
26. Baheti R., Gill H. Cyber-physical systems //The impact of control technology. – 2011. – Т. 12. – С. 161-166.
27. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -2 (19). – с.86-92.
28. Lee E. A. Cyber physical systems: Design challenges //Object oriented real-time distributed computing (isorc), 2008 11th ieee international symposium on. – IEEE, 2008. – С. 363-369.
29. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -3(3). – с.3-15.
30. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - с.7-11.
31. Буравцев А.В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -3(3). – с.48-58.

УДК: 004.9

ТОЧНОСТЬ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

- Дулин С.К.** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»,
E-mail: s.dulin@gismps.ru, Москва, Россия
- Якушев Д. А.** к.т.н., начальник отдела АО «Транспутьстрой»,
E-mail: yakush.d@gmail.com, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье дается анализ абсолютной и относительной точности геопространственных данных, получаемых методом лазерного сканирования при проведении исполнительной железнодорожной инфраструктуры
- Ключевые слова:** Мобильное лазерное сканирование, трехмерные геоданные, высокоточная координатная сеть

THE ACCURACY OF GEOSPATIAL DATA OF THE RAILWAY INFRASTRUCTURE OBTAINED BY MOBILE LASER SCANNING

- Dulin S.K.** Doctor of Sc., Prof., Chief Researcher JSC «NIAS»,
E-mail: s.dulin@gismps.ru, Moscow, Russia
- Yakushev D.A.** Ph.D., head of department, JSC «Transputstroy»,
E-mail: yakush.d@gmail.com, Moscow, Russia
- Annotation** The article provides the analysis of absolute and relative accuracy of the GEODATA produced by the mobile laser scanning system under survey railway
- Keywords** Mobile laser scanning, 3D GEODATA, railway coordinate system

Введение

Ситуация сегодня такова, что все этапы жизненного цикла разорваны, так как не имеют общей точки отсчета, позволяющей реализовать проектные решения при строительстве и содержать инфраструктуру в проектном положении при эксплуатации. Сложившаяся система не позволяет использовать проекты строительства и реконструкции пути для проектирования примыкающих объектов инфраструктуры (зданий, платформ, контактной сети); увязывать между собой проекты, располагаемые на значительном расстоянии. Это приводит к появлению эксцентриситетов ИССО, заставляет каждый раз, возвращаясь на место выполненных работ для решения новых задач, разрабатывать новую документацию, проводя на одном и том же месте дублирующие изыскания в привязке каждый раз к фактическому, т.е. не совпадающему с оптимальным, положению пути. Любая попытка использования проектной документации при проектировании смежного объекта приводит к несостыковке проектных решений, необходимости их переработки, привязке к фактическому положению, т.е. неоправданным

затратам. Созданные в 2016 году трехмерные модели на участках МЦК позволили выявить расхождения построенного объекта с проектной документацией.

Указанных проблем, повлекших в некоторых случаях переустройства платформ, можно было бы избежать при условии создания трехмерных моделей до разработки проекта и применения технологии информационного моделирования, практически нереализуемой при использовании традиционных схем жизненного цикла.

Основой технологии является высокоточная координатная система (ВКС), устанавливающая единое координатно-временное пространство, как общую систему отсчета, для всех этапов жизненного цикла объектов инфраструктуры. Второй необходимой составляющей являются трёхмерные объекты, которые создаются как объекты реального мира, имеющие не «плоское» (карты и планы), а объёмное изображение и характеристики, описывающие поведение и свойства объектов в реальном мире (материал изготовления, сроки поставки, возможность сочетания с другими трёхмерными объектами, например по размерам, резьбе и т.д.).

Рассмотрим проблемы, связанные с точностью привязки геоданных, полученных методом мобильного лазерного сканирования (которые используются в технологии информационного моделирования) к высокоточной координатной сети.

Точность позиционирования данных мобильного лазерного сканирования в условиях работы на железной дороге

Важность вопроса точности лазерных данных не нуждается в дополнительных комментариях, поскольку лазерный сканер есть, по определению, средство геодезических измерений. Однако большое внимание должно быть уделено правильной трактовке такого понятия, как точность [1].

Как и для других средств дистанционной съемки, следует различать абсолютную и относительную точность измерений.

Абсолютная точность

Поскольку измерения (в виде точек, отраженных от измеряемых объектов), произведенные системой МЛС, привязываются к траектории, именно она определяет точность координирования точек лазерного отражения. Траекторное решение складывается из нескольких составляющих:

- Многочасовые спутниковые наблюдения на стационарных пунктах с известными координатами (базовые станции);
- Спутниковые наблюдения, проводимые в движении GPS/ГЛОНАСС приемником, входящим в состав мобильной лазерной системы (ровер).

Существует шесть классов ошибок при вычислении траекторного решения [2, 3], связанные со спутниковыми наблюдениями:

- 1) **Ephemeris data** - ошибки в передаче координат спутника.
- 2) **Satellite clock** - ошибки в передаче отметок времени.
- 3) **Ionosphere** - ошибки при вычислении коррекционных поправок расстояния, вызванных ионосферными помехами.
- 4) **Troposphere** - ошибки при вычислении коррекционных поправок расстояния, вызванных тропосферными помехами.
- 5) **Multipath** - ошибки, вызванные переотраженным сигналом, поступающим на вход антенны.

б) **Receiver** - ошибки измерения дальности, вызванные термальным шумом, программной точностью и межканальными отклонениями. Плюс ошибка, связанная с характеристиками инерциальной навигационной системы (ИНС), фиксирующей угловые колебания ровера.

На практике все это означает, что траектории движения по одному и тому же железнодорожному пути в разные периоды времени не будут совпадать. На рисунке 1 приведен пример съемки одного и того же реперного объекта, измеренного через 4 года.

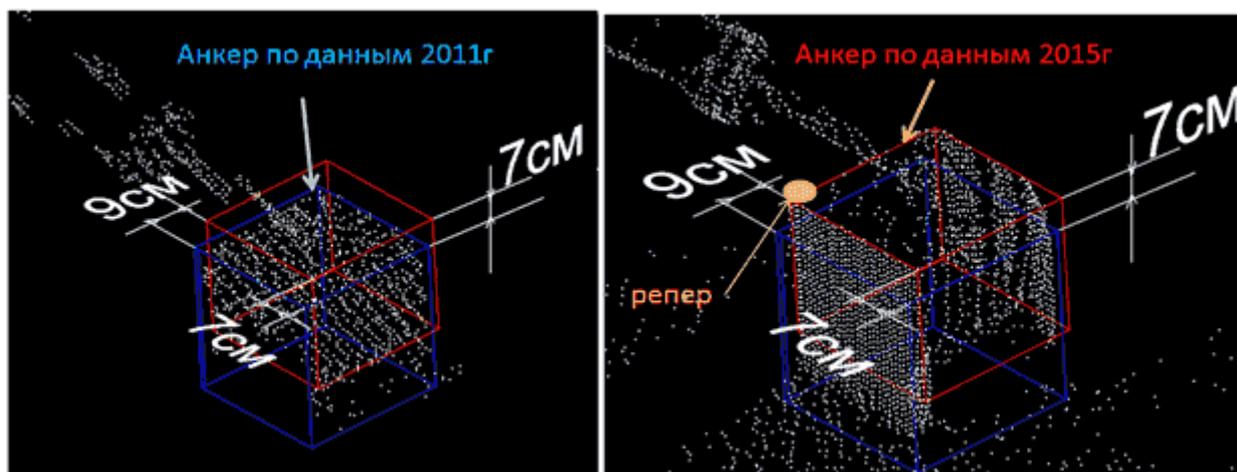


Рисунок 1 – Пример съемки одного и того же реперного объекта

На рисунке 2 приведен пример съемки одного и того же участка пути на перегоне Крекшино-Селятино, выполненного разными системами, но с привязкой к одной и той же базовой станции.

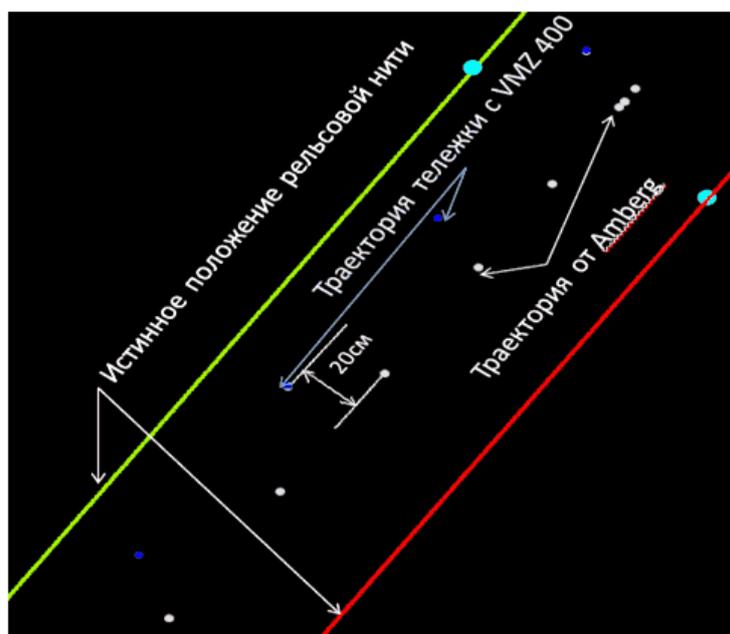


Рисунок 2 - Траекторные решения от разных систем, но с привязкой к одной и той же базовой станции

Поэтому для более точной привязки измерений, полученных методом МЛС, используют реперные объекты, закрепленные на местности и определённые в высокоточной системе координат. На рисунке 3 приведен типовой пример такого объекта – анкер оттяжки КС.

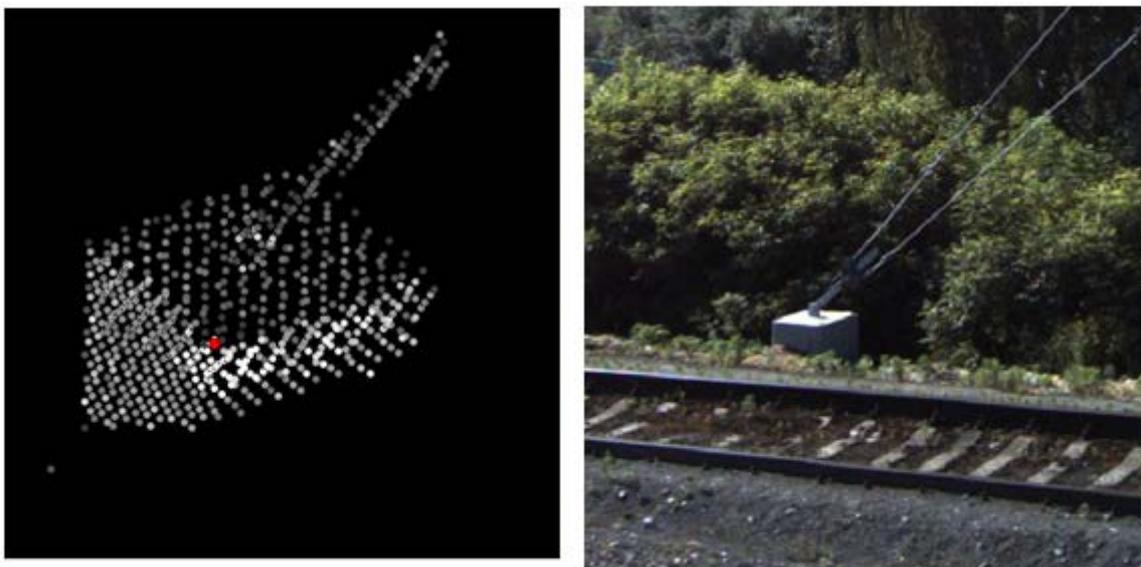


Рисунок 3 - Анкер опоры контактной сети, используемый в качестве реперного объекта для географической привязки результатов измерений методом МЛС.

Тем не менее эти ошибки можно минимизировать.

Условия получения качественных результатов лазерного сканирования

Необходимыми мероприятиями проведения съемки являются:

- a) Расчет благоприятной GPS обстановки;
- b) Использования оптоволоконной ИНС;
- c) Проведение съемочных работ с полноценной наземной поддержкой:
 - Выбор мест установки базовых станций;
 - Установка реперных объектов, идентифицируемых по ТЛО;
- d) Экспресс-анализ результатов съемки:
 - Проводится сразу после съемки;
 - Проверяются пропуски данных, места с плохим траекторным решением и отклонением от точек контрольных измерений (точность);
 - Результатом является решение о качестве съемочных работ;

Прогнозирование GPS обстановки можно производить, например, с помощью программы MissionPlanning, входящей в состав пакета Reliance, выпускаемого компанией Ashtech.

На основе полученных данных о состоянии спутников, принимается решение о включении или выключении соответствующих спутников в «таблице доступности спутников». Выключение спутника в этой таблице будет транслироваться программой как его отсутствие, что фактически будет отражать реальную ситуацию. Если прогнозируется, что какой-либо спутник будет недоступен (выключен) не в течение всего дня, то планирование с выключением этого спутника выполняется только в период его недоступности.

Во время рассмотрения периодов времени с количеством доступных спутников не более шести, стоит обращать внимание на прогнозы SEC Alerts&Warnings. Если в прогнозе SEC указано, что в это время ожидается SSEU (SatelliteSingleEventUpset), то существует вероятность того, что GPS-покрытие может стать недостаточным из-за сбоя хотя бы одного спутника. Прогноз SSEU обычно появляется за несколько дней до события и имеет неплохую (20 – 30 мин) точность.

В процессе работы программы MissionPlanning необходимо указать координаты планируемого базирования GPS приёмника и указать затенения небосвода (маскирование).

После соответствующих вычислений программой могут быть выведены на экран зависимости (рисунок 4) количества доступных спутников от времени (Availability) и дифференциального параметра точности от времени (PDOP).

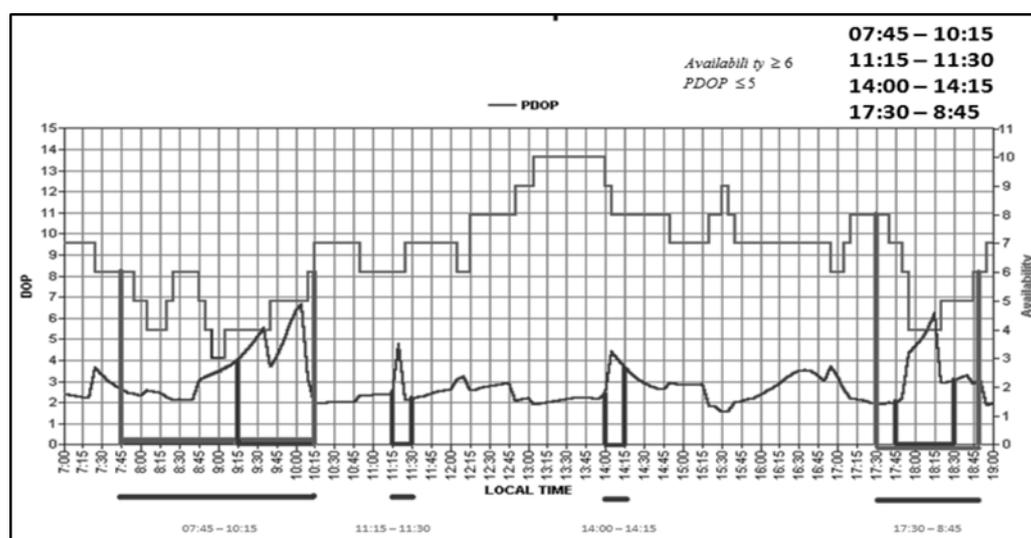


Рисунок 4 - Прогноз GPS обстановки. Маскирование 15 градусов круговое. Под шкалой времени показаны отрезки времени с неблагоприятной GPS обстановкой

В процессе анализа полученных зависимостей GPS обстановка считается приемлемой для следующих полученных условий:

- Количество спутников (Availability) не менее 6.
- График PDOP не должен иметь явно выраженных максимумов и значение PDOP должно быть равным или менее 5.

Обычно приемлемое время «наступает» сразу после появления 6-го по счёту спутника в зоне видимости, однако стараются иметь некоторый запас (5 – 10 мин) перед его выходом из зоны видимости.

Резкое увеличение PDOP говорит о выходе из зоны видимости одного или сразу нескольких спутников. Если увеличить область графика, на которой наблюдается всплеск PDOP (путём сужения границ шкалы времени), то можно оценить скорость увеличения PDOP (PDOPAugmentationSpeed, PAS) во времени. Если PAS превышает ~ 0.25 1/мин, то необходимо провести более детальный анализ ситуации, в результате которого принимается решение о возможности проведения полётов в соответствующий промежуток времени. Если известно, что лазерное сканирование будет проводиться в каком-то определённом направлении, и известно, какое маскирование имеет бортовая GPS антенна, то легко оценить, будет ли достаточно

спутников на небосводе. Здесь удобно ввести дополнительное маскирование антенны, отражающее реальное затенение.

PDOP вычисляется для оптимального, из числа обзриваемых, расположения спутников. Однако, с учётом реального маскирования антенны оптимальное расположение спутников может оказаться недоступным. В этом случае можно либо исключить затенённые спутники из рассмотрения либо ввести дополнительное маскирование. Если всё же оказалось, что для выбранного периода времени GPS покрытие недостаточно, можно указать, что в соответствующий промежуток времени проводить съёмку можно только в определённом направлении. Круговое маскирование 15 градусов принято наиболее оптимальным для бортового GPS приёмника.

Относительная точность

По практическим результатам съёмки и обработки пространственных данных методом мобильного лазерного сканирования на железной дороге (преимущественно) определены следующие основные факторы, влияющие на относительную точность получаемых данных:

а) Техническими характеристиками сканирующей системы, например, для МЛС Riegl VMX450 составляет 8мм.

б) Качеством привязки данных МЛС к реперным объектам

Нелинейные искажения, показанные на рисунке 5, возникают, когда в процедуру уравнивания данных или при пересчете в местную железнодорожную систему координат (МЖСК) жестко закладываются неправильные координаты реперов. В этом случае программное обеспечение пытается «подогнать/натянуть» данные мобильного сканирования на жесткий каркас, заданный реперами. В случае, если координаты хоть одного репера определены неправильно или оператор некорректно сопоставил репер с соответствующей координатой МЛС (составляя так называемую таблицу связей, spatial join table) – результат пересчета плачевный, т.к. приводит к искажению изначально достоверной (т.к. относительные расстояния между точками) пространственной информации.

с) Качеством уравнивания проходов между собой.

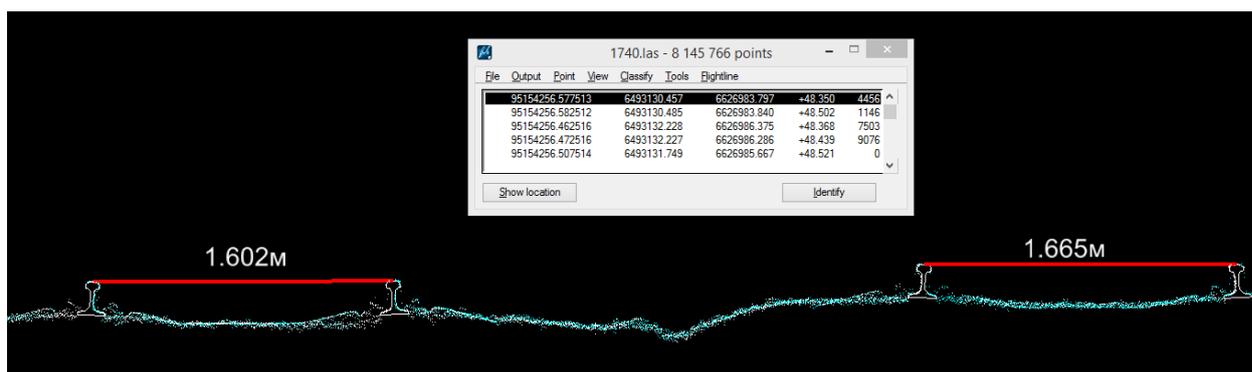


Рисунок 5 - Нелинейное искажение точек лазерного отражения из-за использования при пересчете в МЖСК не проверенных координат реперов.

Под уравниванием проходов понимается совмещение точек лазерного сканирования полученных в результате измерений, произведенных мобильной лазерной системой проехавшей по одному и тому же маршруту (туда и обратно), как правило, во встречных направлениях.

Проезд «туда и обратно» делается по нескольким причинам:

- Наиболее точные данные (по которым происходит векторизация рельсовых нитей) лежат по центру сканирования (соседний путь отстоит, как правило, на 4100мм);
- Трасса состоит, как правило, из 2-х главных путей, один из которых может быть «затенен» другими объектами, такими как платформа или встречный поезд;
- Если трасса находится на насыпи, то одно прохода обычно недостаточно для идентификации дальней бровки земляного полотна и водоотводного лотка.

К сожалению это приводит к достаточно трудоемкой процедуре «подстройки» данных друг под друга, в результате которого часто возникают ситуации, как на рисунке 6.

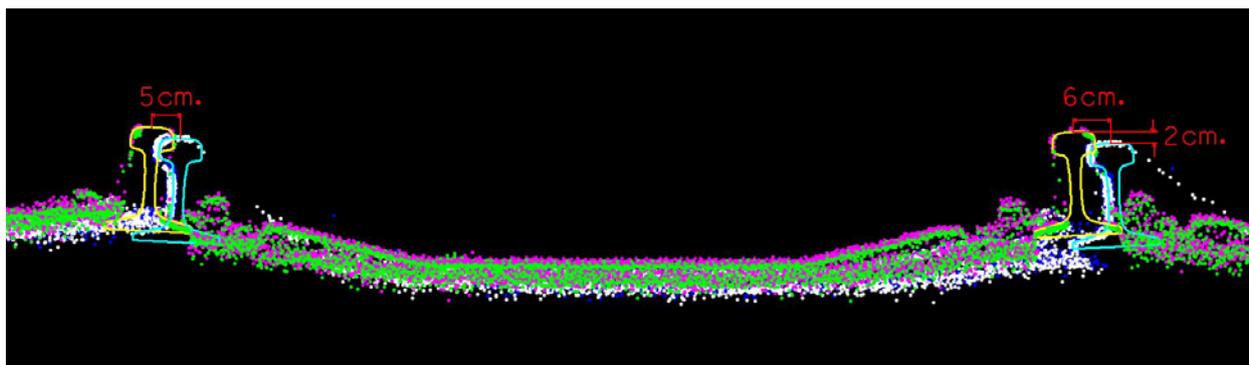


Рисунок 6 - Не уравнены «проходы» измерений: имеется нелинейное рассогласование данных

Процесс уравнивания может быть относительным, когда точки измерения двух проходов притягиваются друг к другу. За основу при этом берутся измерения с лучшим траекторным решением, или уравнивание может быть абсолютным, когда в процесс включены опорные точки наземных измерений хорошо идентифицируемых по ТЛО [4]. На рисунках 7,8 приведен принцип уравнивания данных разных проходов, путем вычисления векторов нормалей, построенных к общим «плоскостям» идентифицированным в облаке точек лазерного отражения.

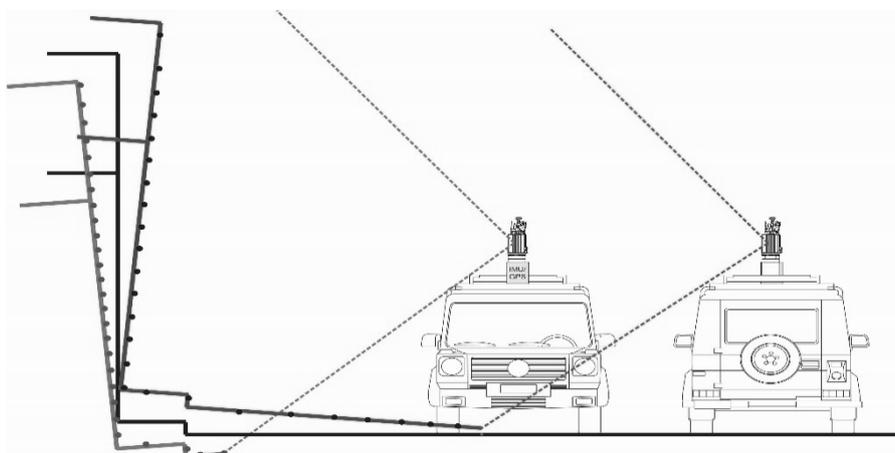


Рисунок 7 - Появление отклонений между ТЛО в прямом и обратном измерении

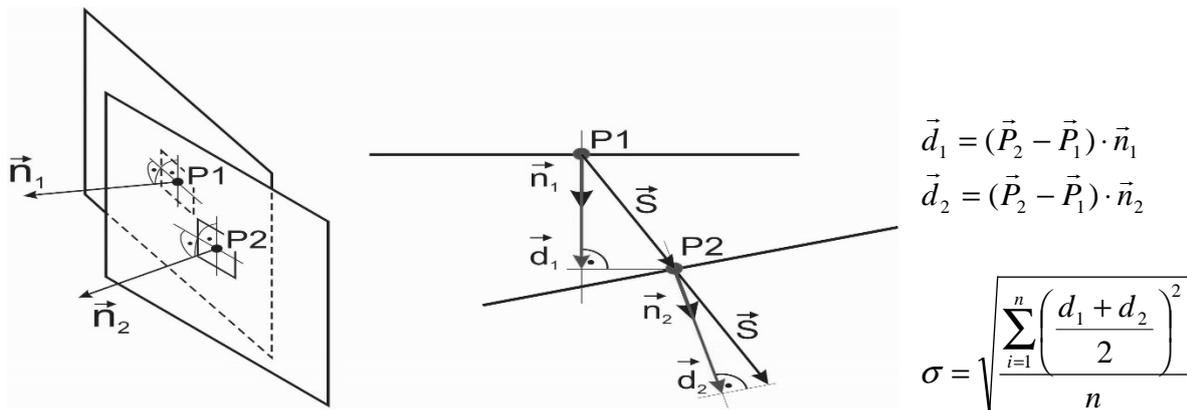


Рисунок 8 - Поверхности, проведенные через ТЛО и задающие вектор отклонения от оригинала.

Оценка точности привязки данных МЛС к высокоточной системе координат

Оценка точности привязки данных МЛС к высокоточной системе координат осуществляется с использованием стандартного алгоритма, встроенного в программное обеспечение Terrascan. Для этого в облаке лазерных точек определяется угол анкера с известными координатами (таблица 1).

Таблица 1.

Оценка точности привязки данных МЛС к высокоточной системе координат

Координата реперного объекта				Отклонение
№	X (м)	Y (м)	Z (м)	delta (мм)
557	6158152.96	7373572.40	181.63	17
558	6158151.54	7373572.95	181.72	8
561	6158137.92	7373529.70	182.08	16
562	6158136.49	7373530.21	182.13	18
565	6158122.41	7373479.81	182.52	31
566	6158120.96	7373480.26	182.53	39
571	6158107.28	7373429.93	183.03	22
572	6158105.83	7373430.37	183.03	28
575	6158091.04	7373376.84	183.60	32
576	6158089.59	7373377.28	183.60	37
578	6158075.89	7373327.42	184.13	49
579	6158074.43	7373327.86	184.12	51
582	6158066.86	7373297.78	184.39	43
583	6158065.40	7373298.21	184.39	45
584	6158065.40	7373298.21	184.39	43
608	6157956.26	7372980.36	186.28	61
611	6157936.65	7372940.83	186.42	44
612	6157935.32	7372941.59	186.34	34
среднее значение				27

Таким образом, данные МЛС, изначально имеющие точность абсолютного местоположения 20-30см, с помощью реперных объектов были перепривязаны с точностью 27мм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №17-20-02153 офи-м-РЖД.

Список литературы

1. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. Москва-Красноярск, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007
2. Серапинас Б.Б. Основы спутникового позиционирования. М.: Изд-во МГУ, 1998. 82 с.
3. Means J.E., Hopkins P.F., Jensen J.R. et al. Industry and academia explore remote sensing applications // J. For., 2001, 99 (6): 4–6.
4. Аникин И.В., Аджели М.А., Онегов В.Л. Метод нечеткого выделения контуров изображений. Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 2003.

УДК: 656.052

СИСТЕМНО-КАТЕГОРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

- Буравцев А. В.** зам. директора Института информационных технологий и автоматизированного проектирования, МТУ (МИРЭА), E-mail: mister_j@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья предлагает и исследует новый вид анализа систем – системный категориальный анализ. Показано различие между сложной и сложной прикладной системой. Доказано, что общее описание системы из теории систем исключает специфику прикладных систем и затрудняет анализ решения задач в прикладной области. Дана структура системного категориального анализа. Вводится определение системного категориального анализа. Показано применение категориального анализа при стратегическом планировании
- Ключевые слова:** категории, системный анализ, транспортные системы, прикладные системы, категориальный анализ

SYSTEMATICALLY CATEGORICAL ANALYSIS OF TRANSPORT SYSTEMS

- Buravtsev A.V.** Deputy Director of the Institute of Information Technologies and Computer-Aided Design, MTU (MIREA), Email: mister_j@mail.ru., Moscow, Russia
- Annotation.** The article suggests and explores a new kind of system analysis - systemic categorical analysis. Paper shows the difference between a complex system and a complex application system. The paper proves that the general description of the system from the theory of systems excludes the specifics of applied systems. Such a description makes it difficult to analyze the solution of problems in the applied field. Paper describes the structure of the system categorical analysis. Paper introduces the definition of systemic categorical analysis. Paper describes the application of categorical analysis in strategic planning.
- Keywords:** categories, systems analysis, transport systems, application systems, categorical analysis

Введение.

Современная теория систем оперирует понятием «сложная система» для проведения системного анализа. На практике существует большое число качественно разных сложных систем. Например, сложные организационно-технические системы [1], сложные социальные системы [2], сложные технические системы [3, 4], саморазвивающиеся системы [5], биологические системы [6], интеллектуальные системы [7], кибер-физические системы [8, 9] и т.д. Эти сложные системы применяются в разных прикладных областях. Они имеют свои отличительные признаки, которые являются существенными для решения задач своей прикладной области. По существу, в прикладной области абстрактная сложная система трансформируется в конкретную прикладную систему [10] или прикладную сложную систему. Для краткости можно сохранить термин «прикладная система», имея в виду «прикладную

сложную систему». Использование обобщенного понятия «сложная система» исключает специфику системы и сводит анализ сложных систем к общим свойствам и рассуждениям о системах.

В сфере транспорта применяют также различные комплексные и сложные системы, которые тоже решают качественно разные задачи и дополняют друг друга. Перечислим некоторые прикладные системы. Европейская система управления железнодорожным движением (ERTMS) [11]. Европейская система управления поездом (ETCS) [12]. Сеть GSM-R, применяемую при управлении высокоскоростным движением [13] для обеспечения связи между поездами и радиоблоками. Ситуационные комнаты [14, 15] для управления движением. Интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом ИСУЖТ [16]. Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ). Комплексные системы учета и анализа отказа технических средств и нарушений технологии КАСАНТ/КАСАТ [17].

Комплекс стандартов ОАО "РЖД" "Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН) [18]. Программно-аппаратные бортовые комплексы обеспечения безопасности движения и маневровой работы – БЛОК, МАЛС, СОБ-400 [19], использующие электронную карту и навигационное определение объекта. Сведение всех перечисленных систем к единой модели системы невозможно. Можно констатировать бессилие общей теории систем перед многочисленными описаниями специализированных сложных прикладных систем. Анализ разнообразных сложных систем требует учета многих факторов из разных областей и учета разных категорий для общего анализа. Многие из этих факторов являются качественными и требуют категориальной оценки. Все это приводит к необходимости дифференциации системного анализа применительно к конкретным сложным системам и прикладным сложным системам.

Анализ понятия сложная система.

Первыми работами в области системного анализа следует считать труды А.А. Богданова [20], которые, однако не получили широкого распространения. Более широкий резонанс вызвали последующие труды американских ученых Берталанфи Л. [21], Месаровича М. [22], Акофа Р. [23], Оптнера С. [24] и др. [25]. Известны следующие определения систем:

- система — совокупность элементов, находящихся во взаимодействии (Л. Берталанфи);
- система — множество связанных действующих элементов (О. Ланге);
- система — множество объектов вместе с соотношениями между объектами и между их атрибутами (А. Холл и Р.Ф. Фейджин);
- система — множество объектов, на котором реализуется определенное отношение с фиксированными свойствами (О.И. Уемов).

В работе [26] система определяется как объект, который должен обладать следующими четырьмя свойствами: целостность и членимость; наличие существенных связей между элементами; определенная организация элементов, формирующая структуру системы; наконец, существование интегративных качеств [27] у системы в целом, которыми не обладают никакие отдельно взятые ее элементы. Такое определение полнее отражает основные свойства систем, но и оно недостаточно конкретно для практического использования.

Существует интуитивное понятие о системах, как о каких-то организованных множествах, характеризующихся порядком и определенностью, в противоположность бессистемности, как признаку хаоса и случайностей. Но и это понятие слишком общее для того, чтобы можно было

на основании его проводить какие-либо серьезные прикладные исследования.

В практической деятельности большое место занимают динамические системы, отражающие различные процессы, происходящие в природе, обществе и технических устройствах. С этих позиций представляется интересным общее определение системы, данное С. Оптнером [24]: «Система — это идущий процесс». Однако это определение является общим и не является категориальным. Большинство процессов (и систем) характеризуется определенным входом и выходом

Выход процесса отражает его результат. Вход процесса отражает исходные условия и факторы, под воздействием которых он происходит. Функциональная система отражает преобразование исходных ресурсов в конечные продукты. Под функциональной (*FS*) системой будем понимать систему с входом и выходом.

$$FS = \langle E, C, R, int, out \rangle, \quad (1)$$

Где: *E* элементы системы, *C* – связи в системе, *R* – отношения в системе, *int* - множество входов, *out* - множество выходов системы. Наличие входов и выходов системы отделяет систему от среды и позволяет моделировать информационное и физическое взаимодействие системы со средой. Описание (1) не включает категории. В широком смысле под сложной системой понимают множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом [28]. В системе все элементы связаны, образуют единство и обладают эмерджентностью [29]. Состав элементов системы зависит от области ее применения. Разбиение системы на элементы осуществляется по выбранному критерию делимости системы.

Особенности прикладных систем.

В силу специфики прикладные системы используют в своей области наборы категорий, которые не применимы к другим прикладным областям. Многие прикладные системы действуют в условиях рынка и конкуренции. В этих условиях адекватное построение модели и полный анализ такой системы являются важными факторами выживания системы. В этих условиях возникает необходимость введения и использования системно категориального анализа. Если переходит от абстрактной системы к абстрактной прикладной системе (*PS*), необходимо отметить наличие цели. В этом определении добавим к уже рассмотренному кортежу – множество целей *G*. Таким образом, *PS* представляет кортеж вида:

$$PS = \langle E, C, R, G, int, out \rangle, \quad (2)$$

Прикладная система может иметь несколько целей, т.е. быть многоцелевой [30]. Как правило, на текущий момент времени существует главная цель *G0* и вспомогательные цели *Gi*.

$$G(t) = \langle G0(t), G1, G2, Gi, \dots, Gn \rangle, \quad (3)$$

Выбор цели осуществляется по текущей информационной ситуации [31]. Границы информационной ситуации определить достаточно сложно. В качестве критерия, позволяющего определить эти границы, выбирают связи между системой и окружающей ситуацией. На практике используют категории «закрытая» и «открытая» система, подразумевающая наличие и отсутствие связей со средой.

Функционирование прикладной системы происходит в пределах жизненного цикла системы (ΔT). В этом случае рассматриваются процессы, происходящие в системе и в среде, учитывается динамика функционирования системы. Тогда вышеприведенное определение должно быть дополнено параметром ΔT - *жизненного цикла системы*:

$$PS = \langle E, C, R, G, int, out, \Delta T \rangle, \quad (4)$$

Вне интервала $[0-\Delta T]$ выражение (4) не имеет силы. Важной характеристикой прикладной является включение категориальных факторов (*Cat*), определяющих ее функционирование в данной предметной области. Включение этих факторов (*Cat*) в систему формирует специализированную прикладную систему, которая может быть описана как

$$PS = \langle E, C, R, G, int, out, \Delta T, Cat \rangle, \quad (5)$$

Выражение (5) описывает специализированную прикладную систему и отличается от общего описания прикладной системы (1).

Сущность системно категориального подхода

Системный подход, зародившийся в первой половине прошлого столетия, является общепризнанным методом решения различных сложных задач в информационных ситуациях, характеризующихся совместным действием большого числа факторов различной природы. Например, при решении производственных задач, кроме вопросов о техническом обеспечении (оборудование, энергия, сырье, вспомогательные материалы) необходимо учитывать ряд факторов социального характера, связанных с обеспечением предприятия рабочей силой, а также решать вопросы подбора, расстановки, обучения и производственного и управленческого персонала. При этом одновременно приходится решать социальные задачи по организации столовых, отдыха, медицинского обслуживания и многое другое. Очевидно, что большое количество различных по своей природе факторов оказывают свое влияние на экологическую сферу. Однако важной чертой сложных систем, которые обходили стороной, является явное описание категориальных или качественных факторов.

Системно категориальный анализ – это категориальный анализ, рассматривающий категории как связанную систему, а не разрозненную совокупность. Он требует дифференциации категорий и нахождения связей между ними.

Категория более общее понятие по отношению к качеству. Решать задачи учета и использования факторов можно только с позиций категориального учения о связи и взаимопроникновении различных явлений, четкого понятия причинно-следственных связей, понятия центров ответственности и других положений. Представляет интерес получение сравнительных категориальных оценок для сопоставления прикладных систем друг с другом. На рисунке 1 показано отношение категорий и качеств системы.

Категории делятся на качественные и количественные. Категориальный анализ широко используется в психологии и языкознании. Он трактуется как учение, исследующее природу и область применения категорий. Различает фундаментальные категории (например, пространство и время) и прикладные категории (например, класс, закономерность). Категориальный анализ предполагает, что каждой прикладной области свойственны свои категории и лишь немногие из них выполняют в разных областях одинаковые функции.

При исследовании систем или системно категориальном анализе при переходе из одной предметной области в другую одна категория становится на место другой, либо меняется содержание самой категории. Считается, что категориальный анализ является частью онтологии.

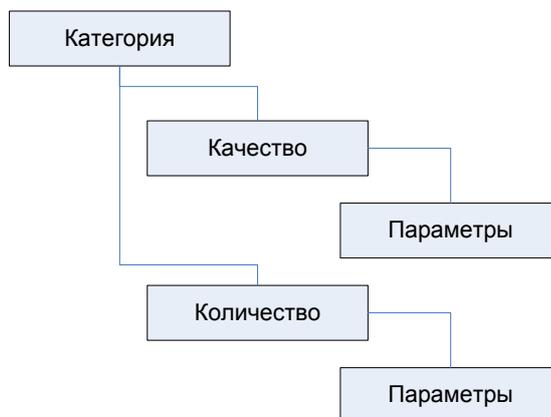


Рисунок 1 - Отношение категорий и параметров системы.

Системно категориальный анализ к исследованию сложных систем проводится с учетом целостности данной системы и ее связей с окружающей средой. Это является отличием системно категориального анализа от системного анализа. Целью системного анализа является исследование системы. Целью системно категориального анализа является исследование связей системы с окружающей средой выделение системных категорий и категорий связей системы. Фактически системный категориальный анализ исследует объект и информационную ситуацию как связанные системы.

При анализе категорий важно определить, является ли она закономерной или случайной, устойчива она или неустойчива, т.е. является ли она устойчивой или случайной. Системный категориальный анализ на первом этапе включает декомпозицию системы и информационной ситуации вокруг нее. Системный категориальный анализ на втором этапе включает синтез категорий в систему и создание системной модели категорий.

При решении задачи синтеза системный категориальный анализ должен давать возможность создавать такие совокупности категорий, которые обеспечивали бы ее устойчивое функционирование системы. Таким образом, при рассмотрении категорий, прежде всего, необходимо остановиться на определенной модели прикладной системы, включающей специфику ее применения в данной области.

Если система динамическая, то на текущий момент времени выделяют категории миссии или доминирующие категории (можно одну - Cd), входные категории (Cin), системные (внутренние) категории ($Csys$), выходные категории (Cou), целевые категории (Cg), ситуационные категории ($Gsit$). В категориальном представлении структура система предстанет в виде, приведенном на рис.2.

В категориальном представлении структура системы представляет собой три вложенные части: миссия, ситуация, система. Такая схема удобна для концептуального анализа [32, 33] и для сопоставления разных систем по категориальным признакам. Схема на рисунке 2 подчеркивает важность информационной ситуации вокруг системы. Результат, достигнутый в информационной ситуации, может быть не целевым, а промежуточным. Может быть несколько

выходных категорий C_{ou} , которые ведут к достижению целевой категории C_g .

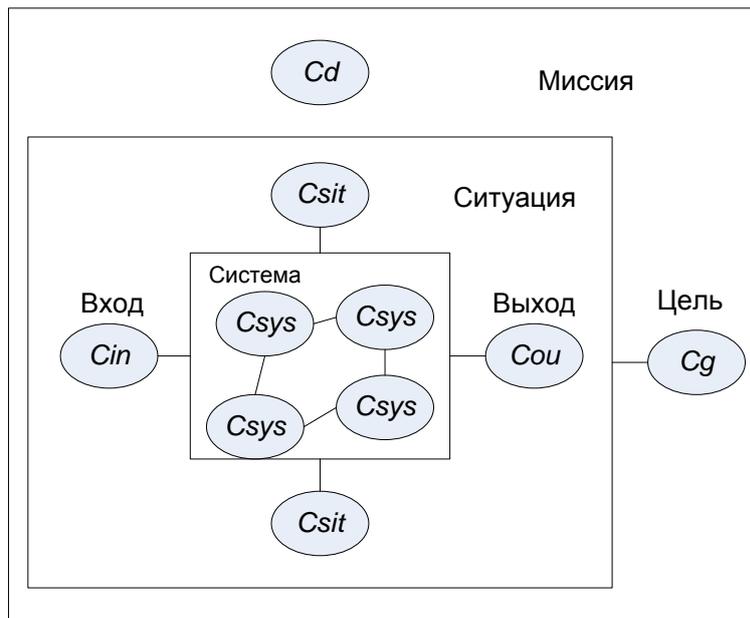


Рисунок 2 - Сложная система в категориальном представлении

Категория – миссия C_d является основой стратегического анализа и приложения сложной системы. Именно она отличает абстрактную сложную систему от прикладной специализированной сложной системы.

Основные принципы системно-категориального анализа.

По принятой модели прикладной системы можно сформулировать основные принципы, согласно которым должен выполняться системно категориальный анализ. Эти принципы следующие.

Максимальный учет полезных входов. Этот принцип означает, что полезные категории факторы на входе системы будут включены в основной процесс функционирования системы в информационной ситуации, соответствующий ее целям.

Минимальное восприятие входных помех. Этот принцип означает, что необходимо предусмотреть возможные помехи в заданной информационной ситуации. Они должны быть формализованы как вредные категории факторы на входе системы

Максимум полезности от выходов. Полезные выходы определяют эффективность системы, то есть соответствие результатов целям

Минимум вредных закликиваний в системе. Вредные циклы представляют собой помехи для функционирования системы и бесполезную трату ресурсов.

Системная организация элементов категориального ядра. Это означает, что существует категориальное ядро, категории которого являются системно образующими. Категориальное ядро образует замкнутый контур, который служит основой системы.

Информационное соответствие потоков в системе. Это означает, что протекание информационных и материальных потоков в системе должно соответствовать набору ее целей.

Адаптивность системы. Существуют категории, благодаря которым система может развиваться и само развиваться.

Категории не следует отождествлять с качествами. Категории (рисунок 1) включают

качественные и количественные характеристики. Качество одна из составляющих категорий.

Системно категориальный анализ повышает оперативность анализа и стратегического планирования. Например, комплексные системы учета и анализа отказа технических средств и нарушений технологии КАСАНТ/КАСАТ [17] и комплексные системы (УРРАН) [18] имеют общую категорию миссию – надежность. По этому признаку они могут быть отнесены к общей системе категории Систему АСУ ЖД и ИСУЖТ [16] имеют общую категорию миссию – управление движением. Общая миссия категория дает основание использовать общие ресурсы и трансформировать системы одинаковых категорий. Сходство категорий дает возможность оперативного использования ресурсов и использования существующих систем для трансформации в новые системы при стратегическом планировании и управлении.

Системно категориальный анализ (СКА) – это анализ прикладных сложных систем, который позволяет создавать систему связанных категорий как модель объекта исследования, описывающую объект как систему и позволять соотносить этот объект с родственной системой категориальных объектов.

Заключение.

Категориальный анализ является прикладным анализом. Он обобщает качественные и количественные параметры. Категориальный анализ может быть межклассовым, поскольку в нем доминирующим признаком является миссия или функция системы. Одинаковые миссии могут иметь системы разных классов. Системно категориальный анализ позволяет решать задачи при управлении транспортом на основе концептуального оперативного анализа, в этом одно из его основных преимуществ. СКА позволяет: представить любой исследуемый объект как объект-систему категорий; получить систему объектов одной категории – миссии; исследовать особенности системы объектов данной категории – миссии; устанавливать сходства между системами объектов разных категорий; усиливать системологизацию науки, развивать философские учения, законы и категории. Системно категориальный анализ имеет сходство с генерализацией. Он укрупненно описывает системы, исключая мелкие детали. Системно категориальный анализ учитывает специфику прикладной сложной системы в виде категорий. СКА позволяет изучать любой материальный или идеальный объект как в его всеобщей связи и обусловленности, так в системе объектов одинаковых категорий.

Список литературы

1. Буравцев А.В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -3(3). – с.48-58.
2. Eagle N., Pentland A. S. Reality mining: sensing complex social systems //Personal and ubiquitous computing. – 2006. – Т. 10. – №. 4. – С. 255-268.
3. Giffin M. et al. Change propagation analysis in complex technical systems //Journal of Mechanical Design. – 2009. – Т. 131. – №. 8. – С. 081001
4. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10-4. – с.670-670.
5. Степин В. С. Саморазвивающиеся системы и философия синергетики //Экономические стратегии. – 2009. – Т. 11. – №. 7. – С. 24-35
6. Hunter I. W., Korenberg M. J. The identification of nonlinear biological systems: Wiener and Hammerstein cascade models //Biological cybernetics. – 1986. – Т. 55. – №. 2. – С. 135-144

7. Schramm D. A. Artificial intelligence system : пат. 4670848 США. – 1987.
8. Rajkumar R. R. et al. Cyber-physical systems: the next computing revolution //Proceedings of the 47th Design Automation Conference. – ACM, 2010. – С. 731-736.
- 9 Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетецентрическое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -2 (19). – с.86-92
- 10 Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №3 - с.78- 85.
11. Barger P., Schön W., Bouali M. A study of railway ERTMS safety with colored Petri nets //The European Safety and Reliability Conference (ESREL'09). – Taylor & Francis Group, 2009. – Т. 2. – С. 1303--1309.
12. Murphy E. The application of ERTMS/ETCS systems //IRSE Technical Convention, Melbourne. – 2007.
- 13 He R. et al. High-speed railway communications: From GSM-R to LTE-R //Ieee vehicular technology magazine. – 2016. – Т. 11. – №. 3. – С. 49-58.
14. Giri J. et al. The situation room: Control center analytics for enhanced situational awareness //IEEE Power and Energy Magazine. – 2012. – Т. 10. – №. 5. – С. 24-39.
15. Koumpis A., Roberts B. A framework for Situation Room Analysis and Exploration of its Application Potential in the IT Sector //Proceedings of First International Conference on Performance Measures, Benchmarking and Best Practices in New Economy (Business Excellence'03). – 2003.
- 16 Матюхин В.Г., Шабунин А.Б. Единая интеллектуальная система управления и автоматизации производственных процессов на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ). // Труды пятой научно-технической конференции с международным участием Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2016. - М.: ОАО НИИАС, 2016. - с.9-11.
17. Замышляев А. М., Прошин Г. Б., Горелик А. А. Система КАСАНТ: второй этап внедрения //Автоматика, связь, информатика. – 2009. – №. 7. – С. 9-13..
18. Гапанович В. А. и др. Внедрение методологии УРРАН в хозяйстве АТ //Автоматика, связь, информатика. – 2012. – №. 4. – С. 12-15
19. Розенберг И.Н. Основные направления развития ОАО «НИИАС». Прошлое, настоящее, будущее. // Труды пятой научно-технической конференции с международным участием Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2016. - М.: ОАО НИИАС, 2016. - с.3-8.
20. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука. СПб: Книга. Ч. 1. 1913. 255 с.
21. Берталанфи Л. Общая теория систем — критический обзор // Исследования по общей теории систем / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1969. - с.23—82.
22. Месарович М., Мако Д., Такахара Н. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер. с англ. М.: Мир, 1973. - 344 с.
23. Акофф Р. Искусство решения проблем / Пер. с англ. М.: Мир, 1982 -219 с.
24. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1969. - 216 с.
25. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Методология анализа и проектирования сложных информационных систем. - М.: Просвещение, 2005. - 264с.
26. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.

27. Цветков В.Я. Ресурсность и интегративность сложной организационно технической системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5 -4. – с.676-676.
28. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. - 2014. - 1(5). - с.252 -257.
29. Цветков В.Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
30. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143
31. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170.
32. Болдырев Н. Н. Проблемы концептуального анализа //Когнитивные исследования языка. – 2010. – №. 6-С. – С. 34-38.
33. Chalmers D. J., Jackson F. Conceptual analysis and reductive explanation //The Philosophical Review. – 2001. – Т. 110. – №. 3. – С. 315-360.

УДК: 519.688

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В РЕЛЬСОВОМ ПОЛОТНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРИТЕЛЕЙ GPGPU

- Хохлов Н. И.** к.ф.-м.н., с.н.с., Московский физико-технический институт, E-mail: khokhlov.ni@mipt.ru, Москва, Россия
- Фаворская А. В.** к.ф.-м.н., с.н.с. Московский физико-технический институт, E-mail: aleanera@yandex.ru, Москва, Россия
- Иванов А. М.** инженер, Московский физико-технический институт, E-mail: ip-e@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В работе рассматривается применение сеточно-характеристического метода для моделирования распространения динамических волновых возмущений в элементах железнодорожных путей. Данный метод применяется для компьютерного моделирования ультразвуковой диагностики рельс, расчетов динамических возмущений при движении состава и моделирования других динамических возмущений. Алгоритм реализован в виде программного комплекса, работающего на современных ЭВМ с использованием графических сопроцессоров GPGPU. В качестве примера рассмотрена задача распространения ультразвуковых волн в профиле железнодорожного рельса Р-65, имеющего дефект - горизонтальное расслоение металла головки рельса. Путем численного моделирования показана зависимость отклика от пьезоэлемента от размера дефекта.
- Ключевые слова:** сеточно-характеристический метод, ультразвуковая дефектоскопия, дефекты рельсового полотна, компьютерное моделирование, графические ускорители

SIMULATION OF THE DISTRIBUTION OF DYNAMIC WAVE PERTURBATIONS IN THE RAIL LEAF WITH THE USE OF GPGPU ACCELERATORS

- Khokhlov. N. I.** Ph.D., Senior Scientific Researcher, Moscow Institute of Physics and Technology, E-mail: khokhlov.ni@mipt.ru, Moscow, Russia
- Favorskaya A. V.** Ph.D., Senior Scientific Researcher, Moscow Institute of Physics and Technology, E-mail: aleanera@yandex.ru, Moscow, Russia
- Ivanov A. M.** Engineer, Moscow Institute of Physics and Technology, E-mail: ip-e@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The application of the grid-characteristic method for modeling the propagation of dynamic wave disturbances in railway track elements is considered. This method is used for computer simulation of ultrasonic rail diagnostics, calculation of dynamic perturbations in the motion of the composition and modeling of other dynamic perturbations. The algorithm is implemented in the form of a software package running on modern computers using GPGPU graphics coprocessors. As an example of the operation of the algorithm, the problem of propagation of ultrasonic waves in the profile of the railroad rail P-65, which has a defect-the horizontal stratification of the metal of the rail head, is considered.

Keywords: grid-characteristic method, ultrasonic flaw detection, rail track defects, computer simulation, graphic accelerators

Введение

Железнодорожные пути играют существенную роль как в области пассажирских, так и грузовых перевозок во всём мире. В виду этого актуальной задачей является обеспечение их безопасности и безаварийности. Поскольку в последнее время предъявляются повышенные требования к скорости движения подвижного состава и к осевым нагрузкам, важной задачей является разработка новых методов оценки безопасности движения в данных условиях. Существенным фактором при этом является износ подвижных частей, в частности колёсной пары, а также состояние железнодорожного полотна. Для оценки влияния данных дефектов на путь одним из перспективных подходов является аналитический расчёт и компьютерное моделирование.

В настоящей работе предлагается использовать сеточно-характеристический метод, позволяющий провести высокоточное полноволновое моделирование динамического процесса движения подвижного состава [1]. Кроме того, специально разработанная технология позволяет также учесть микротрещины, образующиеся в рельсах и просадки балласта.

Компьютерное моделирование широко применяется для решения такого рода задач. В статьях [2, 3] обсуждаются различные виды дефектов в рельсах и методы их исследования. Различные системы мониторинга и контроля могут оценивать качество профиля рельса, изучать стадию его износа, обнаруживать изменения в расположении шпал, отсутствие болтов, повреждение поверхности, в том числе повреждение, обусловленное контактом колеса и рельса, волнообразные деформации верха железнодорожного полотна.

Остановимся подробнее на ультразвуковом методе. Он зарекомендовал себя как качественное средство высокоскоростного (до 70 км/ч) обнаружения глубоких поверхностных (глубже, чем 4 мм) и внутренних дефектов, особенно в головке и шейке рельса. В настоящее время этот метод развивается, и существует несколько модификаций: ЕМАТ, ультразвуковой, ультразвуковой фазированной и лазерный ультразвуковой. В развитии данных методов большое значение имеет компьютерное моделирование процессов распространения динамических волновых возмущений в гетерогенных средах, в том числе в рельсовом полотне. Существует несколько подходов к численному моделированию этих процессов. Например, в работах [4] использовался метод конечных элементов.

Сравнение полученных результатов с физическими экспериментами позволяет подтвердить возможность оценки остаточных напряжений в сварных соединениях. В статье [5] использовалась масс-пружинная модель упругого тела для 1D, 2D и 3D случая. В работе [6] авторы получают отражение от поперечного дефекта в верхушке рельса. Также они обсудили зависимость от ее размера и ориентации. В работе [7] автор метод полуаналитических конечных элементов (SAFE) для моделирования распространения волн в волноводах с произвольными профилями. В статьях [8, 9] использовался подход с ориентированными волнами и его применение для проверки железных дорог. В статье [10] авторы моделировали распространение упругих волн в рельсе и получили динамическую волновую картину скоростей и напряжений с различными видами дефектов. В статье [11] авторы SAFE моделировали распространение волн в верхней части рельса, создаваемое лазером. Анализ

полученных результатов позволяет найти отдельные моды, предположительно чувствительные к некоторым видам дефектов в верхушке рельса.

Но следует отметить, что в упомянутых статьях компьютерное моделирование проводилось, в основном, с использованием закрытого программного обеспечения (ABAQUS, ANSYS и т.д.). Отсутствие детального понимания использованных численных алгоритмов и отсутствие возможности оценить правильность расчетов существенно уменьшают ценность полученных результатов. Мы предлагаем сетно-характеристический подход для численного моделирования распространения динамических волновых возмущений в элементах железнодорожных путей.

Математическая модель и методы

В работе решаются полная система уравнений, описывающих состояние сплошной линейно-упругой среды и полная система уравнений, описывающая акустическое поля. Компоненты скорости движения \bar{v} и симметричного тензора напряжений Коши σ в линейно-упругой среде описываются следующей системой уравнений [12,13]

$$\rho \partial_t \bar{v} = (\nabla \cdot \sigma)^T, \tag{1}$$

$$\partial_t \sigma = \lambda (\nabla \cdot \bar{v}) \mathbf{I} + \mu (\nabla \otimes \bar{v} + (\nabla \otimes \bar{v})^T). \tag{2}$$

В (1), (2) λ, μ – параметры Ламе, определяющие свойства упругого материала, $\bar{a} \otimes \bar{b}$ – тензорное произведение векторов \bar{a} и \bar{b} , $(\bar{a} \otimes \bar{b})^{ij} = a^i b^j$, \mathbf{I} - единичный тензор второго ранга.

Скорость продольных волн в линейно-упругой среде можно найти по формуле $c_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$, а

скорость поперечных волн вычисляется в соответствии с $c_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$.

Реализованы граничные условия с заданной скоростью границы, с заданной внешней силой, смешанные граничные условия, контактные условия полного сцепления, свободного скольжения, контакт между жидкостью и твердым телом. Возникающие повреждения (трещины) учитываются путем использования критерия Мизеса [14].

Для численного решения системы (1), (2) используется сеточно-характеристический метод на криволинейных структурных сетках [15], позволяющий строить корректные численные алгоритмы для расчета граничных точек и точек, лежащих на поверхностях раздела двух сред с разными параметрами Ламе и (или) плотностями. Систему (1), (2) в двумерном случае можно представить в следующем виде

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + \mathbf{A}_1 \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_1} + \mathbf{A}_2 \frac{\partial \bar{q}}{\partial x_2} = 0. \tag{3}$$

В (3) под вектором \bar{q} понимается вектор, составленный из двух компонент скорости и трех компонент симметричного тензора напряжений $\bar{q} \in \{v_1, v_2, \sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}\}^T$.

Используя метод расщепления по пространственным координатам решение системы (7) сводится к последовательному решению двух одномерных систем, которые решаются используя сеточно-характеристические схемы 2-4 порядка точности [15].

Программный комплекс

Для решения указанных задач был реализован программный комплекс, большинство вычислений производятся с четвертым порядком точности по пространству, однако на разделах

сред и на границах порядок понижается до первого. Реализован как двумерный, так и трехмерный случай уравнения упругости. Работа программного комплекса разделена на два этапа: ввод параметров задачи из конфигурационного файла основной цикл интегрирования по времени. В качестве параметров задается используемый решатель, размерность задачи (2D, 3D), используемое число узлов, размер и количество шагов по времени, граничные условия. Отдельно задаются параметры сетки: декартова, криволинейная, координаты ее узлов, характеристики материала. В данном программном комплексе имеется возможность расчета неоднородных сред с различными параметрами материалов. Кроме этого сеточно-характеристический метод реализован на структурированных сетках. Это позволяет производить моделирование распространения волн в объемах с более сложной геометрией.

Программный комплекс распараллелен для работы на современных графических ускорителях GPGPU. На рисунке 1 приведен график ускорения работы алгоритма для различных графических устройств по сравнению с одним центральным процессором. Максимальное полученное ускорение по сравнению с CPU на одном графическом процессоре – в 55 раз на GeForce GTX 780 Ti в вычислениях с одинарной точностью и в 44 раза на Tesla K80 в вычислениях с двойной точностью.

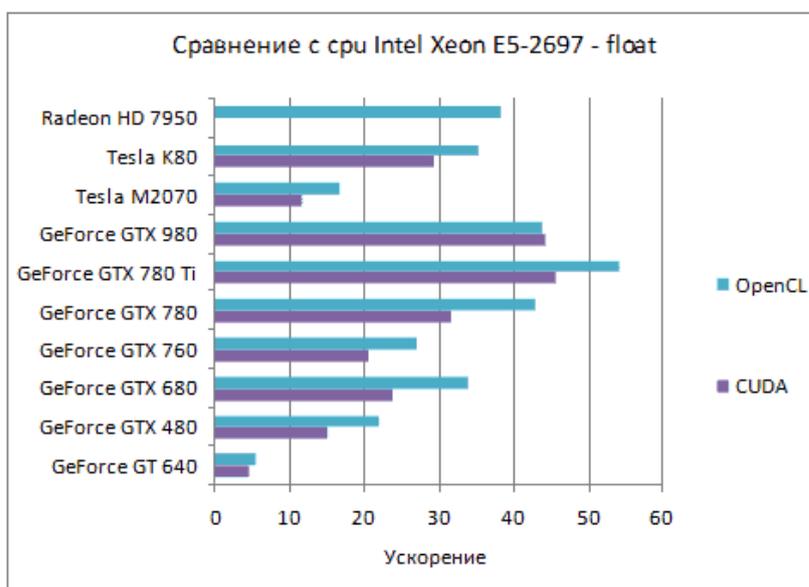


Рисунок 1 - Ускорение алгоритма при использовании различных графических устройств.

На основе полученных результатов можно сделать выводы о возможности применения графических процессоров для такого рода задач. Также стоит отметить о хороших результатах для процессоров от производителя AMD и технологии OpenCL, в то время как большинство работ используют технологию CUDA для графических процессоров от NVidia.

Пример работы программного комплекса

В качестве примера работ алгоритма рассмотрим задачу распространения ультразвуковых волн в профиле железнодорожного рельса Р-65. Предполагалось наличие растущего дефекта с кодом 30Г [16] (горизонтальное расслоение металла головки рельса, рисунок 2) ровно посередине головки рельса.

Пьезоэлемент, возбуждающий сигнал, моделировался с помощью приложения к площадке размером 15 мм на горизонтальной поверхности головки рельса внешней силы, изменяющейся

по синусоидальному закону (длина волны излучателя составляет 1 мм, частота излучателя равняется 6.25 МГц). Амплитуда внешней силы – 1 Н. Начальная фаза – 0. Материал рельса – сталь, с параметрами $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, $c_p = 6250.1282 \text{ м/с}$, $c_s = 3188.5210 \text{ м/с}$.

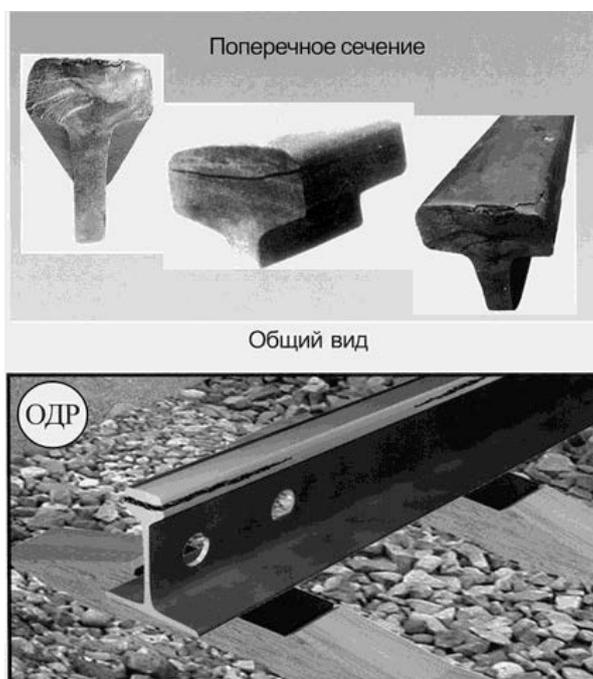


Рисунок 2 - Горизонтальное расслоение металла головки рельса, код дефекта 30 Г.

Гармонический сигнал модулировался прямоугольным меандром, длительностью, равной 10 периодам с частотой, равной 6.25 МГц. Схема расположения пьезоэлемента (обозначен линией на верхней поверхности рельса), датчика регистрации (обозначен точкой на верхней поверхности рельса) и трещины (обозначена линией в головке рельса) приведена на рисунке 3.

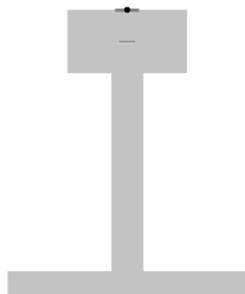


Рисунок 3 - Постановка задачи.

Приемник сигнала предполагался точечным и расположенным на поверхности головки рельса на оси симметрии. Приемник сигнала измерял компоненты скорости. Шаг по пространству равнялся $5 \cdot 10^{-5}$ м, а шаг по времени – $7.5 \cdot 10^{-9}$ с. Использовалась структурированная сетка с $3.1 \cdot 10^6$ квадратных ячеек.

Результаты численного моделирования

Расслоение располагалось на расстоянии 20 мм от поверхности головки и моделировалось с помощью свободной границы (рисунок 3). Рассматривался растущий дефект, для его

моделирования исследовался отклик от трещин различной длины: 1 мм, 2 мм, 5 мм, 7 мм, 10 мм, 12 мм, 15 мм, 20 мм, 25 мм, 40 мм и 74 мм.

На рисунке 4. приведены результаты численного моделирования распространения ультразвуковых волн в профиле железнодорожного рельса. Градацией серого показан модуль скорости, а волновые картины приведены в момент времени $5.25 \cdot 10^{-6}$ с.

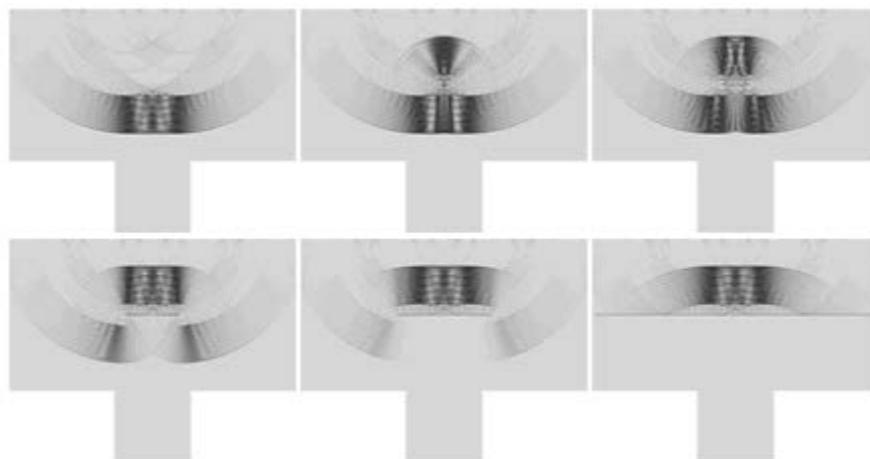


Рисунок 4 - Волновая картина в рельсе при различных длинах трещин:
1 – рельс без дефекта; 2 – размер трещины 2мм; 3 – размер трещины 7 мм;
4- размер трещины 12 мм; 5 – размер трещины 25 мм; 6 – размер трещины 74 мм.

На рисунках 5 и 6 приведены сейсмотрассы (зависимости компонент скорости от времени) для трещин различной длины, на рисунке 5 – зависимости горизонтальной компоненты скорости от времени, а на рисунке 6 – вертикальной компоненты.

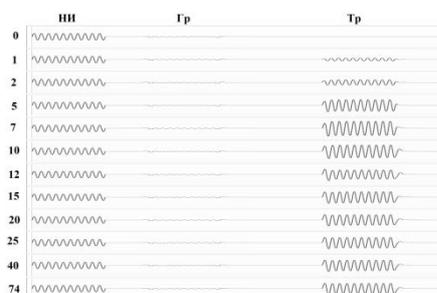


Рисунок 5 - Волновая картина в рельсе с горизонтальным расслоением головки при различных длинах трещин: вертикальная компонента скорости.

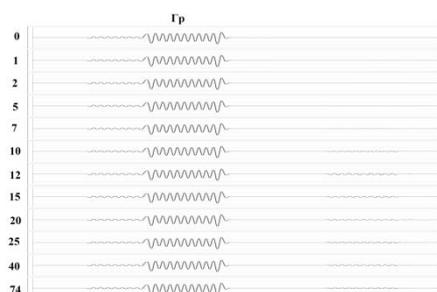


Рисунок 6 - Волновая картина в рельсе с горизонтальным расслоением головки при различных длинах трещин: горизонтальная компонента скорости.

На рисунках 5 и 6 буквами «НИ» обозначен начальный импульс, буквами «Гр» – волны, возникающие от углов пьезоэлемента, буквами «Тр» – отклик от горизонтального расслоения головки.

Можно сделать выводы о том, что эффективнее всего определять наличие дефекта по вертикальной компоненте скорости или по его модулю и видно дефект начиная с размера 5 мм. В то время как отклик от дефекта на сейсмотрассах с горизонтальной компонентой скорости практически неразличим для всех длин трещин.

Заключение

В работе рассмотрен программный комплекс на основе сеточно-характеристического подхода, предназначенный для моделирования распространения динамических волновых возмущений в элементах железнодорожных путей. Данный метод может быть использован для проведения компьютерного моделирования ультразвуковой диагностики рельс, расчетов динамических возмущений при движении состава и расчета других динамических возмущений. Алгоритм распараллелен для использования на современных графических сопроцессорах, что делает возможным проведение компьютерного моделирования в приемлемые сроки на персональных рабочих станциях. В качестве примера работы алгоритма рассмотрена задача распространения ультразвуковых волн в профиле железнодорожного рельса Р-65, имеющего дефект - горизонтальное расслоение металла головки рельса. Путем численного моделирования показана зависимость отклика от пьезоэлемента от размера дефекта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-03057 офи_м_РЖД.

Список литературы:

1. И. Б. Петров, А. В. Фаворская, Н. И. Хохлов, В. А. Миряха, А. В. Санников, В. И. Голубев, «Мониторинг состояния подвижного состава с помощью высокопроизводительных вычислительных систем и высокоточных вычислительных методов», Матем. моделирование, - Т. 26, №7, 2014г. - С.19–32.
2. D.F. Cannon, K.O. Edel, S.L. Grassie, K. Sawley, "Rail defects: an overview" Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures – Т.26, №10, 2003г., - С.865-886.
3. M.P. Papaalias, C. Roberts, C.L. Davis, "A review on non-destructive evaluation of rails: State-of-the-art and future development", Journal of Rail and Rapid Transit,- Т.222, №4, 2008г. – С.367-384.
4. Z. Wen, X. Jin, W. Zhang, "Contact-impact stress analysis of rail joint region using the dynamic finite element method", Wear – Т.258, №7, 2005г., - С.1301-1309
5. L. Gavrić, "Computation of propagative waves in free rail using a finite element technique", Journal of Sound and Vibration, - Т.185, №3, 1995г. – С.531-543.
6. I. Bartoli, F.L. di Scalea, M. Fateh, E. Viola, "Modeling guided wave propagation with application to the long-range defect detection in railroad tracks", NDT&E International, - Т.38, №5, 2005г. – С.325-334.
7. I. Bartoli, A. Marzani, F.L. di Scalea, E. Viola, "Modeling wave propagation in damped waveguides of arbitrary cross-section", NDT&E International, - Т.295, №3-5, 2006г., - С.685-707.
8. S. Coccia, "Ultrasonic guided waves for structural health monitoring and application to rail inspection prototype for the Federal Railroad Administration", - ProQuest, 2007.

9. S. Mariani, et al., "Non-contact air-coupled ultrasonic guided wave inspection of rails", - Structural Health Monitoring, 2013.
10. G. Zumpano, M. Meo, "A new damage detection technique based on wave propagation for rails", Intern. Journal of Solids and Structures,- №43, 2006г., - С.1023-1046.
11. S. Coccia, I. Bartoli, A. Marzani, F.L. di Scalea, S. Salamone, M. Fateh, "Numerical and experimental study of guided waves for detection of defects in the rail head", NDT&E International, №.44, 2011г., - С.93-100.
12. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Изд. "Мир", 1975 г., 872 с.
13. Петров И.Б., Фаворская А.В., Квасов И.Е., Санников А.В. Сеточно-характеристический метод с интерполяцией высоких порядков на тетраэдральных иерархических сетках с кратным шагом по времени // Математическое моделирование. - Т. 25, №2, 2013 г., С. 42-52.
14. Новацкий В. Волновые задачи теории пластичности. – М.: Изд. "Мир", 1978 г., 307 с.
15. Голубев, В.И., Петров, И.Б., Хохлов, Н.И. Численное моделирование сейсмической активности сеточно-характеристическим методом // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2013. – Т. 53, № 10. – С. 1709 – 1720.
16. Грицык, В.И. Дефекты рельсов железнодорожного пути / В.И. Грицык – М.: Маршрут, 2005. – 80 с.