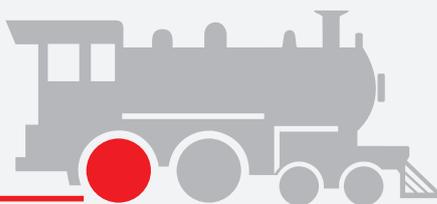


сетевое издание

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.

«МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЕЛОНЕ»

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Дзюба Ю.В., Охотников А.Л.

«МОБИЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ»

Дышленко С.Г.

«СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ»

Щенников А.Н.

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА»

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Ознамец В.В.

«ГЕОМОНИТОРИНГ НА ТРАНСПОРТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА»

Шлапак В.В., Лонский И.И.

«ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ГЕОИНФОРМАТИКИ»

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Шайтура С.В.

«ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ»

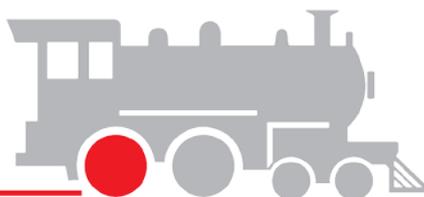
Буравцев А.В.

«ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА

КАК СЛОЖНАЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА»

№ 1

Март 2018



Стратегия развития железных дорог

- Лёвин Борис Алексеевич, Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич*
Моделирование рельефа на основе триангуляции Делоне 3

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

- Дзюба Юрий Владимирович, Охотников Андрей Леонидович*
Мобильное управление подвижными объектами 16

- Дышленко Сергей Геннадьевич*
Ситуационный анализ в транспортной сети 26

- Щенников Алексей Николаевич*
Интеллектуальное управление в сфере транспорта 34

Геоинформационные технологии и системы на транспорте

- Ознамец Владимир Владимирович*
Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА 43

- Шлапак Василий Викторович, Лонский Иван Иванович*
Транспортные сети и их исследование методами геоинформатики 54

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

- Шайтура Сергей Владимирович*
Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги 62

- Буравцев Алексей Владимирович*
Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система 69

УДК: 656, 004.89, 656.052

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ ДЕЛОНЕ

- 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 дает анализ и описывает методику работы алгоритмов моделирования рельефа. Это моделирование является необходимым при проектировании трас и строительстве железных дорог. В качестве объекта анализа рассмотрены алгоритмы триангуляции Делоне. Описаны основные работы в этом направлении Г.Ф. Вороного, отмечена связь его метода с полигонами А. Тиссена. Статья раскрывает сущность метода триангуляции Делоне. Статья описывает два алгоритма реализации данного метода. Итеративный алгоритм и алгоритм развертывающейся линии. Отмечены проблемы этих алгоритмов. Дается оценка вычислительной сложности.
- Ключевые слова:** транспорт, цифровое моделирование, цифровизация, триангуляция Делоне, алгоритм, вычислительная сложность

MODELING OF THE BASIC RELIEF BASED ON DELAUNAY TRIANGULATION

- 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 «NIAS»,
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIAS",
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article analyzes and describes the methodology of the terrain modeling algorithms. The modeling of the relief is necessary for the design of tracks and the construction of railways. As an object of analysis, algorithms of Delaunay triangulation are considered. Paper describes the main work of G.F. Voronoi, is shown the connection between his method and A. Thyssen's polygons. The article reveals the essence of the Delaunay triangulation method. The article describes two algorithms for implementing this method. Iterative algorithm and the algorithm of the unfolding line. The problems of these algorithms are noted. The article gives an estimate of computational complexity.
- Keywords:** transport, digital modeling, digitalization, Delaunay triangulation, algorithm, computational complexity.

Введение.

Одним из эффективных методов геодезического обеспечения строительства и ремонта участков железных дорог являются цифровые модели местности. В свою очередь, цифровые модели

местности требуют эффективного и точного метода построения цифровой модели рельефа. Цифровые модели местности служат основой построения цифровой модели пути [1], что в условиях цифровизации и цифровой экономики является важным направлением исследований. Для построения цифровых моделей поверхности широко применяют метод Вороного-Делоне. Русский математик Г.Ф. Вороной (1868-1908) начал математические исследования в области кристаллографии, которые продолжил советский математик Б.Н. Делоне (1890-1980). Они решали вопросы оптимального размещения некоего пространственного симплекса в пространственном теле произвольной формы.

Достаточно долго их работы были основными в области моделирования объемных тел. Развитием работ Вороного занялся А. Г. Тиссен (1872-1956). Он трансформировал и упростил задачи Вороного из сложной пространственной трехмерной ситуации в информационную ситуацию описания поверхности. Возникли полигоны Тиссена или как часто их называют TIN. Некоторые молодые российские ученые в области наук о Земле, не знающие историю и науку собственной страны, упоминают только полигоны Тиссена или TIN. За рубежом при упоминании полигонов Тиссена всегда делается ссылка на Вороного-Делоне, как первоисточника идеи. Принципиальным между подходом Вороного и Делоне является то, что Вороной исследовал многоугольники, а Делоне сузил область исследования только до треугольников.

Триангуляция Делоне.

Основы триангуляция Б.Н. Делоне связывают с его работой 1934 года [2] и позже [3]. Эта триангуляция является оптимальной по упорядоченному вектору минимальных углов треугольников. Входящие в неё треугольники проверяются на соответствие условию Делоне. На основе подхода Делоне, задачу моделирования поверхности формулируют следующим образом: дана поверхность S , определенная в n -мерном пространстве (в земных условиях для геодезических работ моделирование поверхностей производится в трёхмерном пространстве), дано множество $N(x,y,z)$ точек, принадлежащих поверхности $S(x,y,z)$. Требуется построить аппроксимирующую поверхность $S' \approx S$, на которой N_i принадлежит S' , так, что для произвольной точки $M(x,y,z)$, принадлежащей S' , выполняется условие: нормаль, из M на S , имеет минимальную длину.

Другими словами, имея исходную поверхность как набор хаотических точек, необходимо получить другую поверхность как систематизированный набор точек и получить функцию F , такую, что $S' = F(N)$. По существу с позиций системного подхода решается задача перехода от хаоса к системе. Следует напомнить, что в математике симплексом называют простейшую фигуру в соответствующем пространстве. На плоскости симплексом является треугольник, а не квадрат. В трехмерном пространстве симплексом является тетраэдр. Оба симплекса участвуют алгоритмах триангуляции Делоне.

В соответствии с точкой зрения Делоне: триангуляцией набора N точек, называется система симплексов или примыкающих друг к другу треугольников, таких, что вершинами любого треугольника являются точки из набора N , и ребра треугольников не могут пересекаться в других точках, не принадлежащих N . Точки и ребра, принадлежащие выпуклой оболочке $CH(S)$, называются граничными, остальные – внутренними.

Обозначим общее количество внутренних точек через v . Основным свойством триангуляции является то, что при любом способе триангуляции общее число треугольников остаётся постоянным и равным $K = n + v - 2$. Важно подчеркнуть, что триангуляция по Делоне - это есть некая система и систематизация. Существуют разные виды триангуляции, для которых существуют разные условия. Триангуляция удовлетворяет условию Делоне, если описанная окружность, проведенная вокруг

любого треугольника из набора K , не содержит внутри других точек набора N . Отсутствие попадания точки точно на любую описанную окружность приводит к единственной триангуляции, удовлетворяющей условию Делоне, рисунок 1.

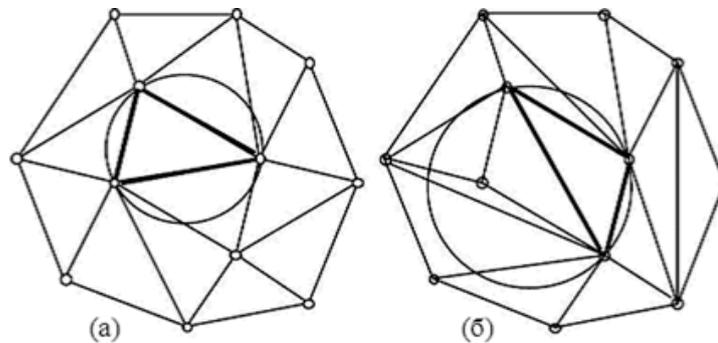


Рисунок 1. Виды триангуляции. а) Триангуляция Делоне; б) Триангуляция с нарушением условия Делоне.

Триангуляция Делоне имеет два важных свойства [4]:

- она имеет максимальную сумму минимальных углов составляющих треугольников среди всех возможных триангуляций исходного множества;
- она имеет минимальную сумму радиусов описанных вокруг треугольников окружностей среди всех возможных триангуляций.

Результатом триангуляции всегда является плоская фигура, все внутренние области которой являются треугольниками. При построении моделей поверхности рельефа местности используются отметки высот местности, которые, по сути, являются точками экстремума рельефа, поэтому применение трехмерной триангуляции Делоне позволяет построить каркасную модель рельефа местности. Триангуляция Делоне позволяет получить модель, обладающую наивысшим качеством аппроксимации заданной поверхности. Любой алгоритм построения триангуляции Делоне использует процедуру проверки треугольника на соответствие условию Делоне, рисунок 2.

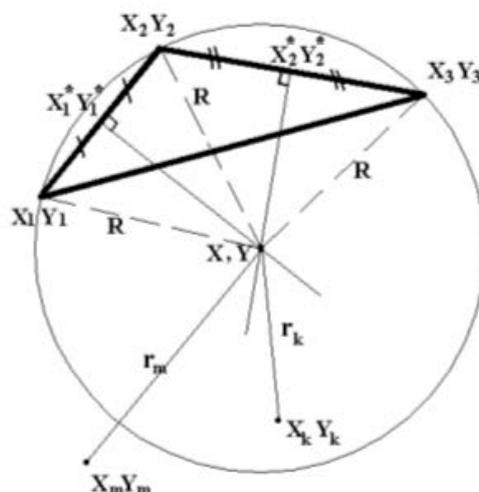


Рисунок 2. Проверка условия Делоне.

Проверка условия Делоне основана на проверке попадания точки во внутреннюю область окружности, описанной вокруг треугольника. На рисунке рис.2 изображен треугольник, вершинами

которого являются точки (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) . Рассмотрим задачу проверки попадания любой другой точки из набора S в область описанной окружности. Для этого вычислим координаты центра описанной окружности (X, Y) . Известно, что центр описанной окружности находится в точке пересечения прямых, перпендикулярных серединам сторон треугольника. На этом основании получим систему уравнений

$$\begin{cases} (X_3 - X_2) \left(\frac{X_2 + X_3}{2} - X \right) + (Y_3 - Y_2) \left(\frac{Y_2 + Y_3}{2} - Y \right) = 0; \\ (X_2 - X_1) \left(\frac{X_1 + X_2}{2} - X \right) + (Y_2 - Y_1) \left(\frac{Y_1 + Y_2}{2} - Y \right) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y – неизвестные. Если точки (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) не лежат на одной прямой, то существует единственное решение

$$\begin{aligned} X &= \frac{X_3^2(Y_1 - Y_2) + X_2^2(Y_3 - Y_1) + (Y_2 - Y_3)(X_1^2 + Y_1^2 - Y_1Y_2 - Y_1Y_3 + Y_2Y_3)}{2(X_3Y_1 - X_2Y_1 + X_1Y_2 - X_3Y_2 - X_1Y_3 + X_2Y_3)}; \\ Y &= \frac{X_1(X_3^2 - X_2^2 - Y_2^2 + Y_3^2) + X_1^2(X_2 - X_3) - X_2(X_3^2 - Y_1^2 + Y_3^2) + X_2^2X_3 + X_3(Y_2^2 - Y_1^2)}{-2(X_3Y_1 - X_2Y_1 + X_1Y_2 - X_3Y_2 - X_1Y_3 + X_2Y_3)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Радиус описанной окружности можно вычислить как расстояние от её центра до любой из вершин треугольника, например, так:

$$R = \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}. \quad (3)$$

Тогда, чтобы проверить попадание любой точки (X_k, Y_k) вовнутрь описанной окружности, достаточно проверить следующее условие:

$$\sqrt{(X - X_k)^2 + (Y - Y_k)^2} < R \quad (4)$$

Метод Вороного-Делоне. Основная задача моделирования рельефа состоит в нахождении метода, максимально информативно [5] отображать рельеф при минимальном количестве точек модели. Это условие можно рассматривать как условие информационного соответствия [6, 7] между реальным объектом (исходная поверхность) и его моделью (смоделированная поверхность). Метод упрощенно можно свести к нахождению системы дискретных точек, заполняющих пространство. Первоначально работы были выполнены Вороным, затем их развил и обобщил Делоне. Г.Ф. Вороной предложил разбиение пространства, содержащего точки (центры), на участки, в каждом из которых имелась точка, служащая основой построения многогранника, заполняющего пространство. То же самое условие как основу используют при построении полигонов Тиссена.

Разбиение Вороного включает понятия: плоскость, канал и узел Вороного. Для двух произвольных точек плоскость Вороного есть геометрическое место точек, равноудаленных от этих двух точек. Канал Вороного строится для трёх точек (треугольник). Канал Вороного есть геометрическое место точек, равноудаленных от этих трех точек. Узел Вороного строится для четырёх точек (тетраэдр). Узел Вороного есть геометрическое место точек, равноудаленных от этих четырёх точек.

При построении рельефа на нём могут быть выбраны точки, которые информативно отражают характерные точки рельефа. В плане эти точки могут образовывать сеть многоугольников. На рисунке 3 показан многогранник Вороного. Для точки i и окружающих её точек 1-5 строятся плоскости Вороного. Пересечения этих плоскостей образуют фигуру, называемую многогранником

Вороного. Внутри данного многогранника все точки пространства ближе к точке i , чем к любому другому центру. Следовательно, точка i может служить центром дискретизации пространства, заключенного в многограннике Вороного. Она может служить точкой цифровой модели, аппроксимирующей часть пространства, в том числе земную поверхность.

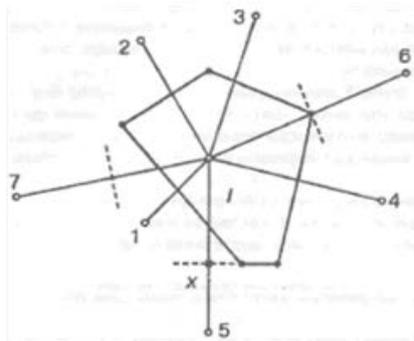


Рисунок 3. Многогранник Вороного

Множество многогранников Вороного образует набор точек, оптимально разделяющих произвольную поверхность в плане. Делоне развил эту теорию и рассмотрел случай, когда совокупность точек можно представить как набор треугольников. Очевидно, что через каждую тройку точек можно построить описанную окружность, рисунок 4. Центром этой окружности будет точка, лежащая на канале Вороного. Предположим, что плоские треугольники на рисунке 4 являются проекцией поверхности.

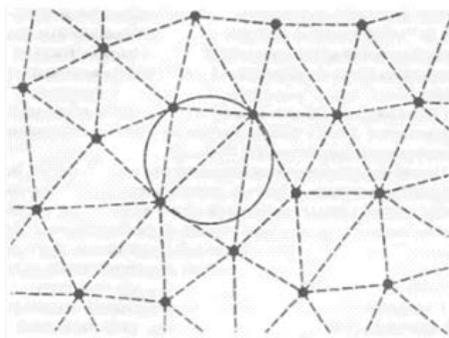


Рисунок 4. Разбиение Делоне

Эта поверхность пересекает канал Вороного, а точка пересечения имеет отметку высоты рельефа Z . На этих четырёх точках можно построить тетраэдр, который называют симплексом Делоне. Таким образом, можно построить совокупность тетраэдров, которые заполнят пространство без щелей и разрывов. Эта совокупность называется разбиением Делоне. Такое разбиение позволяет создать пространственную триангуляционную сеть, оптимально описывающую исходную поверхность. Такой подход может служить основой для построения цифровой модели рельефа [8] и разработке алгоритма на этой основе.

Итеративный алгоритм построения поверхности. Все итеративные методы и алгоритмы имеют в своей основе идею последовательного добавления уточняющего параметра в промежуточную модель. Для нашего случая это добавление точек построенную триангуляцию Делоне (рис.4). Это построение включает следующие этапы.

1. Построение выпуклой оболочки на основе сбора информации о местности.
2. Построение в плане триангуляционной сети.
3. Очередная точка носитель информации о высоте добавляется в уже построенную структуру триангуляции (рисунок 4), то есть находится треугольник сети, в который попадает эта точка.
4. Если точка попадает внутрь треугольника, то разделяют этот треугольник на три новых треугольника рисунок 5.

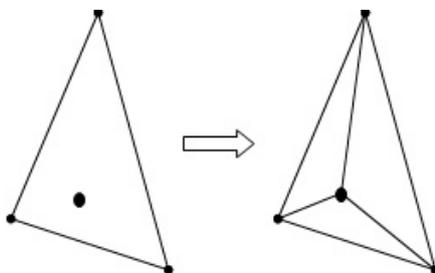


Рисунок 5. Инкрементное построение тетраэдра.

5. Если новая точка совпадает с одной из вершин на ранее построенном треугольнике, то ее пропускают и выбирают следующую.
6. Если точка попадает на некоторое ребро (рисунок 6), разделяющее два треугольника, то на ее основ строят четыре новых треугольника в плане.

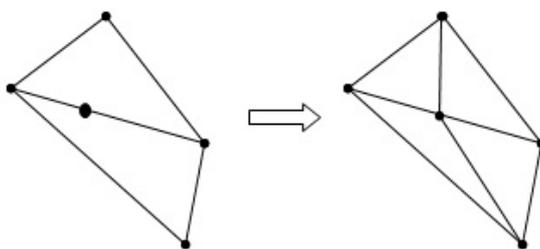


Рисунок 6. Сгущение сети

Этапы 4-6 в геодезии и фотограмметрии называют сгущением сети.

7. После завершения введения точек все новые треугольники проверяют на соответствие условию Делоне с соседними треугольниками. Если такое условие не выполняется, то осуществляют процедуру переброски ребра (рисунок 7), которая приводит к выполнению условия Делоне.

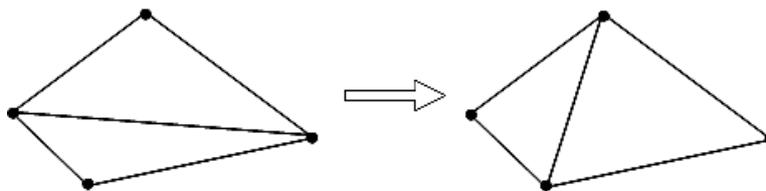


Рисунок 7. Переброска ребра

Вычислительная сложность данного алгоритма составляет $O(N \log N)$ [4]. Любое добавление новой точки в триангуляцию может нарушить условия Делоне, поэтому после добавления точки обычно сразу же производится локальная проверка триангуляции на условие Делоне. Эта проверка должна охватить все вновь построенные треугольники и соседние с ними. Количество таких перестроений в худшем случае может быть очень велико, что может привести к полному перестроению всей триангуляции. Поэтому трудоёмкость перестроений составляет $O(N)$. Однако среднее число таких перестроений на реальных данных составляет только около трех [9].

Поиск очередного треугольника реализуется последовательными переходами по связанным треугольникам. В худшем случае приходится пересекать все треугольники триангуляции, поэтому трудоёмкость такого поиска составляет $O(N)$. Однако в среднем для равномерного распределения нужно совершить только $O(N^{1/2})$ операций перехода [4].

Таким образом, наибольший вклад в трудоёмкость итеративного алгоритма даёт процедура поиска очередного треугольника. Поэтому общая сложность итеративного алгоритма составляет в худшем случае $O(N^2)$, а в среднем – $O(N^{3/2})$. Для снижения сложности можно усовершенствовать алгоритм путем ускорения поиска треугольника. Например, использовать для хранения треугольников не линейные структуры, а деревья. Тогда сложность поиска составит в среднем $O(\log N)$.

Триангуляция является триангуляцией Делоне, если все её ребра удовлетворяют условию Делоне. Поэтому каждый новый треугольник должен сразу проверяться на условие Делоне и, если необходимо, осуществлять переброску запрещенного ребра до разрешенного. В среднем при каждой перестройке происходит несколько перебросок ребер, но теоретически возможно, что множество перебросок охватит всю триангуляцию. Заметим, что алгоритм не может получиться в большом цикле, так как каждая переброска делается в большем угле вектора треугольника.

Алгоритм линии развертки. Разработано достаточно много алгоритмов реализующих метод триангуляции. Одним из интересных является алгоритм линии развертки Фортуна (Fortune's sweep-line) [10]. Термин развертка заимствован из радиолокации. На экране радиолокатора движется радиальная линия, которая выделяет все объекты, попадающие в зону наблюдений. В триангуляции Делоне это метод реализован путем движения линии плоскости. Линия развертки - это прямая линия, которую условно считают вертикальной и которая перемещаться слева направо по плоскости. Ее еще называют линией фронта. Граничное построение триангуляции называют линией берега или береговой линией. В любое время во время алгоритма входные точки слева от линии развертки будут включены в диаграмму Вороного, а точки справа от линии развертки еще не будут рассмотрены. Береговая линия не является прямой линией, а сложной, кривой слева от линии развертки, состоящей из кусков. На практике линию фронта пускают как слева направо, так и сверху вниз или снизу вверх.

На рисунке 8 показан принцип данного алгоритма. Последовательность действия показана на рис.8а, 8б, 8в, 8г. На этом рисунке линия развертки s движется снизу вверх. На рис.8а она уже прошла 14 точек. Береговая линия показана пунктиром. Окружение триангуляции выделено двумя полилиниями:

Нижняя полилиния представлена обозначением точка-тире и состоит из частей выпуклой оболочки. Назовем её нижняя выпуклая оболочка.

Верхняя полилиния или береговая линия (представлена пунктирной линией) рассматривается как продвижение фронта. Продвижение фронта отделяет вершины, включенные в триангуляцию от не включенных вершин. Ближайшая не включенная точка 15. Форма береговой линии зависит от

расположения точек, которые уже включены в триангуляцию.

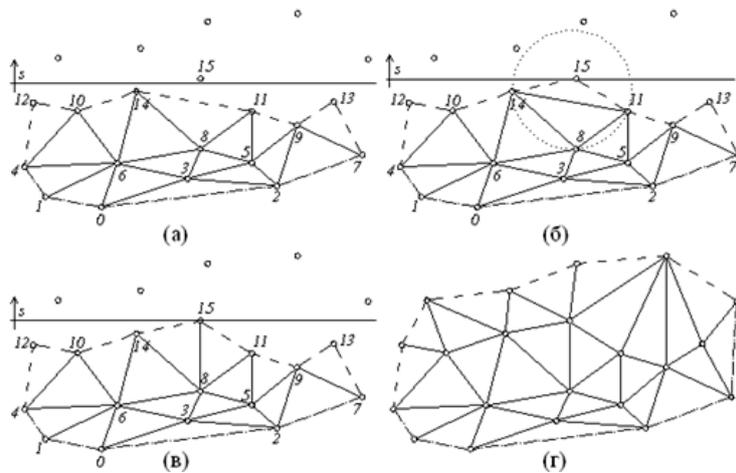


Рисунок 8. Основная идея алгоритма Fortune's sweep-line.

Нижняя выпуклая оболочка и продвижение фронта имеют точно две совместных вершины с минимальной и максимальной x -координат (вершины v_4 и v_7 на рис.8а). Все точки между нижней выпуклой оболочкой и продвижением фронта являются триангуляциями, соответствующими свойству пустого круга (условие Делоне). Когда линия развертки встречает очередную точку (вершина v_{15} на рис.8б), алгоритм выполняется следующим образом: вначале вертикальная проекция вершины v_{15} делается на продвижении фронта. Она попадает на ребро $v_{14}v_{11}$. В этом случае легко построить новый треугольник $\Delta_{15,11,14}$ и заменить продвижение фронта, что соответствует новой ситуации (рис.8б). К сожалению, нет гарантии, что новый треугольник $\Delta_{15,11,14}$ легален, и необходимо проверить его с соседом $\Delta_{8,14,11}$, соответствуют ли они свойству пустого круга. Как видно на рисунке рис.8в, свойство пустого круга нарушено, и диагональ изменена. Термин легальный треугольник применяют для обозначения треугольника, который соответствует условию Делоне.

Как результат, триангуляции Делоне получены между модифицированным продвижением фронта и нижней выпуклой оболочкой рис.8в. Рисунок рис.8г показывает ситуацию после того, как точки открыты линией фронта и включены в систему триангуляции. В этом случае, если продвижение фронта не является выпуклым и не соответствует верхней выпуклой оболочке. Для создания выпуклой оболочки добавляют треугольники и заканчивают процесс триангуляции.

Технологические процедуры алгоритма линии развертки. Технологические процедуры важны поскольку они не только описывают алгоритм, но и создают возможность его модификации и развития.

1. Начальный шаг. Сортировка исходных точек относительно y -координат. Иницируют продвижение фронта и нижней выпуклой оболочкой из трех первоначальных точек, которые ориентируют по часовой стрелке. Как показано на рисунке 9, возможно появление шести возможных конфигураций. Например, если x координата вершины v_0 между x координатой вершин v_1 и v_2 рис.9а, б), продвижение фронта имеет две вершины ($\{v_1, v_2\}$ или $\{v_2, v_1\}$), в этом случае нижняя выпуклая оболочка имеет три вершины ($\{v_1, v_0, v_2\}$ или $\{v_2, v_0, v_1\}$). Вершины в продвижении фронта и нижней выпуклой оболочке всегда расположены относительно x координаты.

2.Триангуляция. Очередная точка v проектируется вертикально на продвижении фронта. Возможем один из четырёх случаев: точка попадает на продвижение фронта, проекция точки не

попадает на продвижение фронта, точка v локализуется на продвижении фронта, точка v совпадает с одной из вершин на продвижении фронта.

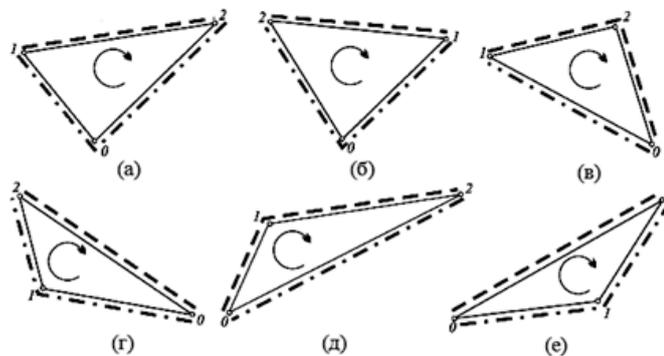


Рисунок 9. Начальная конфигурация точек

2.1. Точка попадает на продвижение фронта. Одно ребро продвижения фронта, на которое попадает вертикальная проекция точки v , определяет две вершины выражения L (слева вершина) и R (справа вершина), как на рисунке 10 а. Легко построить новый треугольник $\Delta_{v,R,L}$. От вершины L , соседнего треугольника $\Delta_{k,L,R}$ исходит прямое влияние, и надо проверить рекурсивно условие Делоне. Продвижение фронта обновляется вставкой вершины v между вершиной L и R рис.10 б.

Рассмотрим угол между векторами, который определяется вершинами v , R , $R1$ на рисунке 10 б. Если значение угла меньше, чем $\pi/2$, то строим еще треугольник $\Delta_{v,R1,R}$ рисунок 10 в. Проверим условие Делоне для нового треугольника с двумя соседними треугольниками $\Delta_{v,R,L}$ и $\Delta_{R1,I,R}$. Удалим вершину R из продвижения фронта рисунок 10 в) и повторим процесс для v , $R1$, $R2$, пока угол между ними не будет больше, чем $\pi/2$ рисунок 10 г. Треугольники, полученные таким способом, резко нарушают условие Делоне.

В некоторых случаях форма продвижения фронта становится похожей на бассейн, рисунок 11а. Способ обнаружения бассейна (чем раньше, тем лучше) следующий: определить вершины vR и $vR+$, являющиеся правыми соседями точки v на продвижении фронта, и вычислять угол θ на рисунке.11б. Если $\theta < 3\pi/4$, бассейн появляется, и тогда $vR+$ является левосторонней границей бассейна.

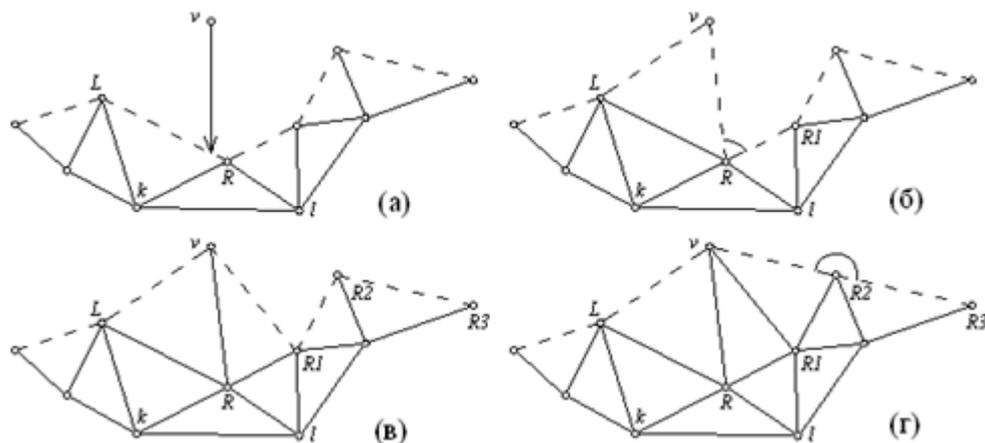


Рисунок 10. Продвижение фронта попадает на точку

Низ вершины бассейна v_b и правосторонняя граница бассейна v_a , определяются с помощью у-координат, как показано на рисунке 11в. В данном случае очень просто построить триангуляции для полилинии бассейна [11]. Окончательно продвижение фронта соединяет границу бассейна, и таким способом продвижение фронта сглаживается значительно рисунок 11г.

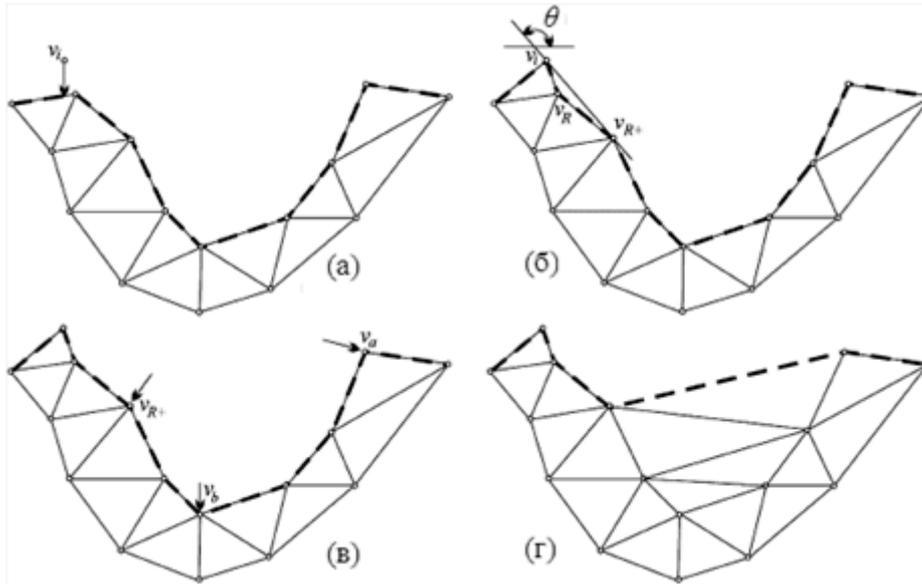


Рисунок 11. Форма линии фронта в виде бассейна

2.2. Проекция точки не попадает на продвижение фронта. Очередная точка v проектируется вертикально на продвижении фронта и, возможно, не попадает на левостороннее и правостороннее продвижения фронта. Рисунок 12 показывает случай непопадания v на левостороннее продвижение фронта. В этом случае новый треугольник $\Delta_{v,L1,L}$ построен и проверен условием Делоне. Новый треугольник на правостороннее продвижение фронта порождён как случай, когда проекция попадает на продвижение фронта.

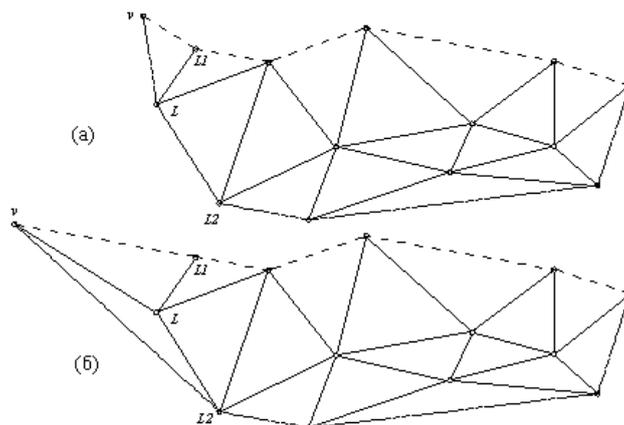


Рисунок 12. Проекция непопадания на продвижение фронта

2.3. Точка v локализуется на продвижении фронта. Рисунок 13 отображает эту ситуацию.

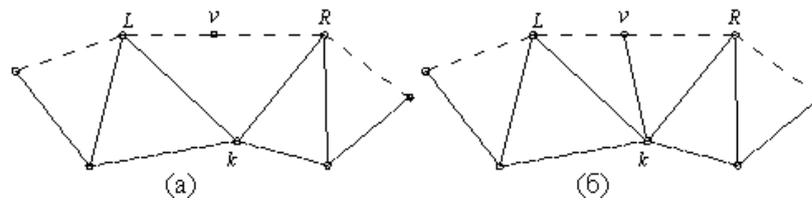


Рисунок 13. Решение особого случая

Это случай появляется, когда вершины v , L и R имеют одинаковую координату y . В этом случае разделим треугольник $\Delta_{L,R,k}$ на два треугольника $\Delta_{L,v,k}$ и $\Delta_{v,R,k}$, рисунок 13. Оба треугольника легализованы с соседними треугольниками и вершина v вставлена между L и R .

2.4. Точка v совпадает с одной из вершин на продвижении фронта. В этом случае точка v пропускается и выбирается следующая точка

3. Окончание триангуляции. Когда все точки зафиксированы, несколько вершин продвижения фронта остаются вогнутыми и несколько треугольников еще не построены рис.14а. При решении этой проблемы можно применять алгоритм сканирования Грэхема [12] или применять следующий метод. Взятые три вершины v_1 , v_2 , v_3 продвижения фронта рис.14а. вычисляют знак площади треугольника. Если знак положительный, эти вершины определяют новый треугольник, который порождён и проверен по условию Делоне. Средняя вершина v_2 удалена из продвижения фронта. Три следующих точки v_1 , v_3 , v_4 проверены. В случае, если знак площади отрицательный, идём дальше и рассматриваем вершины v_3 , v_4 , v_5 . Полная триангуляции Делоне показана на рисунке 14б.

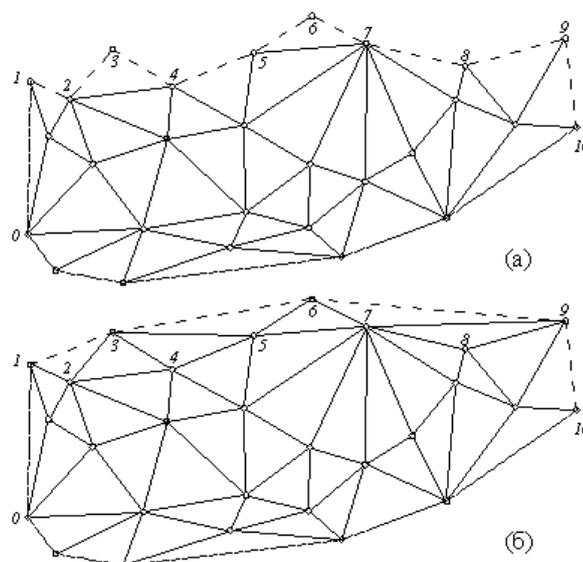


Рисунок 14. Переход продвижения фронта до верхней выпуклой оболочки

Сортировка всех исходных точек проходит по координате y . Используя Quicksort [12], сортировка выполняется в T_1 времени, определяемом по формуле (1).

$$T_1 = O(N \log N), \quad (5)$$

где N является числом исходных точек для триангуляции.

Вторая часть алгоритма, то есть построение триангуляции, включает следующее. Вход на хэш-

таблице для каждой точки выполняется в константе времени [12, 13]. Предполагают, что элементы на хэш-таблице $HashSize$, $HashSize > 0$, и m вершины расположены на продвижении фронта. Для локализации ребра на продвижении фронта в среднем нужно $m / HashSize$. Новый треугольник порождён и проверен по условию Делоне, эти операции сделаны в константе времени. Легализация новых треугольников выполняется в логарифмическом времени [11]. Сумма времени во второй части вычисляется по формуле:

$$T_2 = N (m / HashSize + \log N). \quad (6)$$

Обычно $m \ll N$, $HashSize \gg 1$. Поэтому $(m / HashSize) \ll N$ можно опускать, тогда

$$T_2 = O(N \log N).$$

Общее время для работы алгоритма:

$$T_{об.} = T_1 + T_2 = O(N \log N) + O(N \log N) = O(N \log N). \quad (7)$$

Заключение.

Итеративный алгоритм инкремента является самым простым. Идея алгоритма очень понятна и использует простую структуру данных. Если используется ациклическое дерево для хранения и поиска треугольника, тогда трудоёмкость алгоритма оценивается в среднем $O(N \log N)$. Вычислительный алгоритм очень простой, особенно при окончании процесса построения триангуляции, когда существует дерево поиска треугольника. Эта проблема очень важна для процесса редактирования и анализа цифровых моделей рельефа, например, когда нужно вставить или удалить несколько точек, построить профили и т.д. Но всё-таки алгоритм зависит от распределения исходных данных, в худшем случае алгоритм инкремента может выполняться с трудоёмкостью $O(N^2)$.

Алгоритм линии развертки Фортуна (Fortune's sweep-line) является одним из самых популярных методов ускорения для построения триангуляции. Он решает задачу триангуляции в режиме онлайн. Алгоритм выполняется с вычислительной сложностью $O(N \log N)$. В алгоритме существует N событий точки, самое большее $2N-5$ событий круга, но алгоритм требует использования очень сложных структур данных, например, нужна еще одна структура для сохранения очередного события, одно дерево для сохранения и поиска дуг параболы. Вычислительный алгоритм заматающей линии Фортуна очень сложен, так как нужно выполнять проверку $3N-5$ событий.

Большую часть времени выполнения алгоритмов занимает время нахождения треугольника, содержащего новую точку. Время нахождения треугольника зависит от общего количества треугольников. В среднем случае алгоритм инкремента нужно находить в $1/3$ количества треугольников, но алгоритм комбинации инкремента и заматающей линии находит треугольник только на хэш-таблице, поэтому он выполняется быстрее всего. В целом применяемые алгоритмы являются инструментом построения цифровых моделей трасс. Методически данный подход символизирует переход от хаотически расположенных точек (хаоса) к системе упорядоченных точек. Он являет собой пример пространственной систематизации и построения системы связанных точек.

Список литературы

1. Щербаков И. В. Разработка автоматизированной системы геодезического обеспечения строительства, реконструкции и эксплуатации железных дорог./ дис.к.т.н., спец 25.00.32 –

Новосибирск.: СГГА, 2017. – 125с.

2. Delaunay B. Sur la sphere vide //Izv. Akad. Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskii i Estestvennyka Nauk. – 1934. – Т. 7. – №. 793-800. – С. 1-2.

3. Делоне Б. Н. Геометрия положительных квадратичных форм //Успехи математических наук. – 1937. – №. 3. – С. 16-62.

4. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск. Издательство ТГУ. 2002.

5. Номоконов И.Б., Цветков В.Я. Многоаспектность информативности. // Дистанционное и виртуальное обучение– 2015. - №12. - с.74-80.

6. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017 - №4. – с.86-92

7. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1-3. – с.454-455.

8. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91.

9. Скворцов А.В., Костюк Ю.Л. Эффективные алгоритмы построения триангуляции Делоне // Геоинформатика. Теория и практика. Вып. 1. Томск: Издательство Томского университета, 1998. С. 22–47/

10. Steven Fortune. A sweepline algorithm for Voronoi diagrams. Proceedings of the second annual symposium on Computational geometry. Yorktown Heights, New York, United States, pp.313–322. 1986.

11. Mark de Berg, Marc van Kreveld, Marc Overmars, Otfried Schwarzkopf Computational Geometry: algorithms and applications. 2nd edition. Springer-Verlag, 2000, 367 p., ISBN 3-540-65620-0.

12. Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. Алгоритмы. Построение и анализ = Introduction to Algorithms. — 2-е изд. — “Вильямс”, 2005

13. Kenny Wong, Hausi A. Müller, An Efficient Implementation of Fortune's Plane-Sweep Algorithm for Voronoi Diagrams.

УДК: 334.71: 656: 338.245

МОБИЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

- Дзюба Ю.В.** Руководитель Центра стратегического анализа и развития, АО НИИАС, E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Москва, Россия
- Охотников А.Л.** Заместитель руководителя, Центр стратегического анализа и развития, АО НИИАС, E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья исследует вопросы мобильного управления подвижными объектами. Показано, что с мобильным управлением связано информационное управление. Основой мобильного управления объектами транспорта является ситуационное управление. Статья показывает, что ситуационное управление транспортом отличается от ситуационного управления в экономике. Статья описывает два типа информационных моделей, применяемых при управлении транспортом. Показаны особенности аналитических и статистических динамических моделей. Статья дает описание единого мобильного пространства.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, информационное управление, мобильное управление, информационные модели

MOBILE CONTROL OF MOBILE OBJECTS

- Dzuba Yu.V.** Head, Strategic analysis and development center, JSC "NIIAS", E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Moscow, Russia
- Okhotnikov A.L.** deputy head of Center, JSC "NIIAS", E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article explores the issues of mobile control of mobile objects. It is shown that information of management is connected with mobile management. The basis of mobile management of transport objects is situational management. The article shows that the situational transport management differs from situational management in the economy. The article describes two types of information models used in the management of transport. The features of analytical and statistical dynamic models are shown. The article gives a description of the single mobile space. Are shown the calculations the position of an object in this space.
- Keywords:** transport, management, information management, mobile management, information models

Введение.

Управление подвижными объектами [1-4] связано с моделированием и необходимостью учета пространственных и временных факторов. Современное информационное управление подвижными объектами связано с необходимостью создания информационного пространства и использования пространственно-временной информации для управления.

Наиболее остро проблема управления подвижными объектами связана с применением интеллектуальных транспортных систем [5-7] и интеллектуальных логистических систем [8]. Кроме того, необходимо создание нового типа информационных управленческих моделей, которые включали бы пространственную информацию как фактор управления. Управление подвижными объектами является основой современной концепции цифровой железной дороги.

Основные виды информационного управления, применимые к подвижным объектам.

Мобильное управление основано на использовании информационного подхода и поэтому в его основе лежит информационное управление [4, 9-11]. Информационная модель представляет собой относительно упрощенное описание объекта моделирования, но достаточно подробное в параметрах управления. Отношение между моделью и объектом моделирования определяется совокупностью признаков, которые сохраняются при моделировании. В работе [10] дана классификация моделей информационного управления. Это (а1) прямое (директивное) управление; (а2) управление по одному ключевому фактору с обратной связью, (а3) многопараметрическое информационное управление по нескольким факторам, (а4) информационное управление качеством продукции, (а5) управление с автоматическим выбором цели. Управление под пунктами а1, а2, а3, а5 применимы к управлению подвижными объектами.

(а1) Примерами директивного управления является регулирование движения с помощью сигнальных средств (светофоров).

(а2) Примерами управления по одному ключевому фактору с обратной связью является логистическая задача «just in time», когда основным (ключевым) показателем управления является время доставки груза.

(а3) Примерами многопараметрического информационного управления по нескольким факторам является доставка с учетом многих факторов. Например, при увеличении скорости увеличивается расход топлива (ресурса). При повышении мощности двигателя и высокой температуре возрастает риск перегрева двигателя и т.д.

Часто такие задачи связаны с логистикой, организацией цепочки доставки и управления этой цепочкой. Цель такого управления означает, что процессы направлены на доставку грузов с основными ключевыми показателями: *минимальные затраты, точное время, заданное место*. При этом все возможные варианты доставки известны априори.

(а5) Рассматривая управление с автоматическим выбором цели [12, 13], следует отметить, что управление по существу это решение управленческой задачи. Решение задач в общем случае подразделяется на решение задач первого рода [14] и решение задач второго рода [15]. Напомним, что задачами первого рода называют задачи, алгоритм которых определен до начала решения. Задачами второго рода называют задачи, путь решения которых неизвестен и определяется по мере завершения одного из этапов решения.

Такие задачи также связаны с логистикой, организацией цепочки доставки и управления этой цепочкой. Цель такого управления означает, что процессы направлены на доставку грузов с основными ключевыми показателями: *минимальные затраты, точное время, заданное место*. Однако в отличие от (а3) не все возможные варианты доставки известны априори. В этом случае используют эвристику или интеллектуальные системы.

Ситуационное мобильное управление.

Основой мобильного управления является ситуационное управление [17]. Ситуационное управление основано на применении модели информационной ситуации [18-22]. Сущность такого управления показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Мобильное управление

Информационная ситуация включает описание системы объектов и факторы, которые действуют на эту систему. Отличие информационной ситуации при управлении состоит в том, что она требует применения единой координатной среды и единого мобильного пространства. Применение информационной ситуации для управления возможно при наличии топосемантического соответствия [23] между положением объекта на местности и описанием этого положения в пространственной модели.

Детальный анализ объекта управления позволяет выделять его окружение, которое влияет на его поведение сильнее, чем другие факторы внешней среды. Это и есть модель информационной ситуации (рис.1). Это окружение, существенно влияет на систему объектов, в то время как остальная часть внешней среды влияет не так существенно. Модель информационной ситуации позволяет создать новую информационную модель - модель позиции объекта управления [22]. Модель информационной ситуации хорошо вписывается в теорию и технологию ситуационного управления [15, 24]. Различие состоит в том, что модель информационной ситуации опирается на информационное моделирование и информационные модели. Обычное ситуационное управление опирается на параметрические модели [24]. Не всякие параметрические модели можно отнести к информационным моделям [25]. Поэтому модель информационной ситуации – это перенесение моделирования и управления в информационное поле. Особенностью информационного ситуационного управления является опора не только на связи, но и на информационные отношения [26]. Применительно к управлению транспортом информационные отношения трансформируются в пространственные отношения [27, 28].

Объектами управления на транспорте являются подвижные и неподвижные объекты. Неподвижные объекты представляют собой сложные динамические производственно-коммерческие комплексы, включающие организационно-экономическую и производственно-технологическую деятельность в области не только снабжения, но и учета и распределения

основного производства и сопутствующих транспортных и вспомогательных операций. Характерной особенностью таких объектов являются распределение ресурсов на значительной территории. Подвижные объекты перемещаются в пространстве со значительной скоростью. Для их контроля и управления широко используют глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), радиорелейные системы, радиотехнические системы и мобильные навигационные системы (МНС).

В аспекте комплексного управления современное ситуационное управление на транспорте включает типовые задачи управления: управление потоками; оперативный контроль; анализ затрат; оптимизация доставки, оптимизация ресурсов. При ситуационном управлении транспортом необходимо работать с пространственно-временной информацией. Часто фактор ограничения времени принятия решений становится критическим. Это приводит к необходимости применения специальных методов управления: мультиагентное [29], когнитивное [30], семиотическое [31], субсидиарное [32].

Модели, применяемые при ситуационном управлении подвижными объектами. Выделяют два типа управленческих моделей: стационарные и динамические. Стационарные модели описывают стационарную ситуацию, динамические – ее изменяющуюся часть. Для моделирования в реальном режиме времени необходимы темпоральные модели, включающие временные характеристики как параметр. Это приводит к необходимости применения динамических цифровых моделей [33].

Примерами стационарных моделей являются: модель объема земляных работ, модель автодорожной трассы или железнодорожного пути, модель инженерного сооружения и т.д. [34]. Стационарные модели описывают условно неподвижные объекты. Условность состоит в том, что все модели меняют свое состояние, но с разной скоростью. Для стационарных объектов фактор времени не столь существенный как для подвижных объектов. Стационарные модели описывают объекты транспортной инфраструктуры. Они отражают среду, в которой перемещаются подвижные объекты и материальные потоки. Но эта среда влияет и может оказывать влияние на характер перемещения объектов.

Стационарные модели, это модели в которых отсутствуют временные отношения или эти отношения не являются существенными при управлении подвижным объектом. Фактор времени для таких моделей не является важной переменной, влияющей на изменение ситуации такого объекта управления.

Основная функция статических моделей – описывать неизменную часть информационной ситуации (рис.1) на определенный период времени. В них фактор времени играет констатирующую роль. Наряду с этими моделями существуют модели, в которых временной фактор играет существенную роль. Это модели: мониторинга деформаций; контроля оползневых процессов; контроля перемещения транспортных объектов, мониторинга транспортных объектов [35] и другие. Эти модели называют динамическими, поскольку фактор времени является важной переменной, влияющей на изменение ситуации объекта управления.

Основная функция динамических цифровых моделей [36] – отражать изменение состояния объекта или его положения в пространстве. Обе модели дополняют друг друга в общей информационной ситуации. Если состояние объекта управления неизменно, то необходимость в динамической цифровой модели отпадает. Формально стационарная модель объекта (СМО) и динамическая модель объекта (ДМО) описывается как функция F от параметров в виде моделей:

$$СМО = F1(X, Y, Z, P), \quad (1)$$

$$ДМО = F2(X(t), Y(t), Z(t), P(t)), \quad (2)$$

В выражениях (1), (2): X, Y, Z - координаты модели; P_i – набор параметров, характеризующий особенности объекта. Параметр t характеризует время. Динамические модели не только допускают изменение параметров и структур во времени, но и служат для описания временных процессов (рис.1). Построение динамических моделей для задач управления более сложно, чем построение статических моделей. Они менее детерминированы и более стохастичны.

Динамические модели (ДМО) делятся на две категории аналитические и статистические. Для описания аналитических ДМО применяют аналитические функции вида (2). Такая модель в обобщенно форме записывается как $F(t)$.

Наиболее простое аналитическое описание динамической модели $F(t)$ включает четыре компонента и может строиться по аддитивному или мультипликативному принципам. Если составляющие временного процесса $F(t)$ - независимы, то модель строится по аддитивному принципу, приведенному ниже:

$$F(t) = f_{TP}(t) + \varphi(t) + Q(t) + \varepsilon(t)$$

В такой типичной динамической модели применяют следующие компоненты:

$f_{TP}(t)$ – тренд, тенденция изменения.

$\varphi(t)$ - циклическая или сезонная составляющая.

$Q(t)$ - конъюнктурная или разовая составляющая.

$\varepsilon(t)$ - случайная составляющая.

Когда составляющие временного процесса $F(t)$ влияют друг на друга, усиливают или ослабляют друг друга, то модель строится по мультипликативному принципу:

$$F(t) = f_{TP}(t) \varphi(t) Q(t) + \varepsilon(t) \quad (3)$$

Для описания статистических ДМО применяют временные ряды, а непрерывный параметр t заменяют на индексруемый дискретный параметр. Дискретная модель представляет собой не одну модель, а ряд моделей, связанных между собой описанием одного объекта или явления, но различающимся по каким-либо параметрам относительно разным временным интервалам. Статистические модели описывают с помощью выражений:

$$ДМО(t_i) = F(X_i, Y_i, Z_i, P_i, t_i), \quad (4)$$

В выражении (4) t_i - время наблюдения, i - номер цикла наблюдения. На практике сначала находят временные ряды, затем, если это возможно, строят аналитические функции. Применение динамических цифровых моделей в дополнение к стационарным позволяет оптимизировать решение задач управления подвижными объектами. Однако применение понятий стационарные и динамические модели данных требует указания периода времени, который используется в процессе исследований или указания альтернативной модели при сравнении ее с исходной моделью.

Единая мобильная и координатная среда. Как уже отмечалось (рисунок 1) информационная транспортная ситуация включает единую координатную среду и единую

навигационную среду. На рисунках 2 и 3 поясняется функционирование единой мобильной среды.

На рисунке 2 представлена информационная транспортная ситуация, которая служит для позиционирования подвижного железнодорожного объекта. Эта информационная ситуация содержит движущийся по железнодорожному пути 7 подвижной объект (ПО) 6 с приемником-передатчиком (ПППО) 5, установленные по пути следования подвижного объекта базовые станции (БС) 1, 2, и 3 и станцию измерения (ИС) 4. Локализация объекта основана на использовании разностно-дальномерного метода.

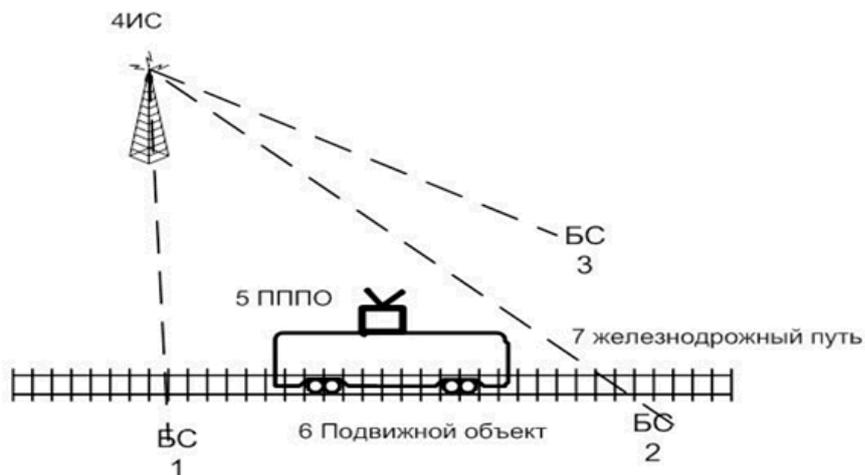


Рисунок 2. Информационная транспортная ситуация

Для управления вдоль железнодорожного пути создается сеть базовых станций (БС-1, 2, 3) с эталонными сигналами фиксированной частоты с постоянными параметрами. Подвижный объект 6 имеет приемник-передатчик помехозащищенного сигнала 5.

На рисунке 3 показана схема расчета положения подвижного объекта [37].

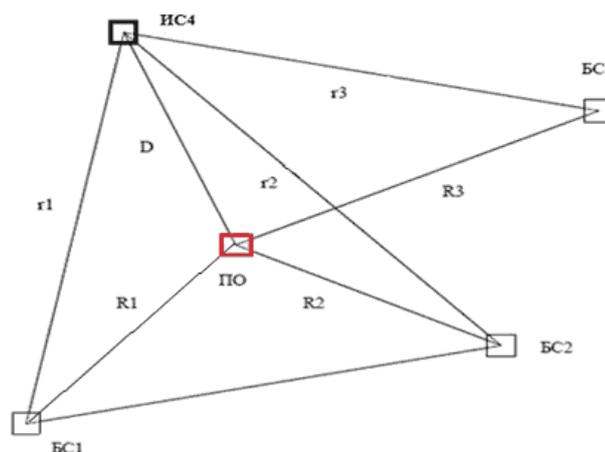


Рисунок 3. Схема расчета положения объекта

Сигнал от базовой станции (БС1) поступает по расстоянию r_1 за время t_1 в измерительную станцию (ИС4) (рисунок 3). Одновременно другой сигнал от базовой станции (БС1) поступает по расстоянию R_1 за время t_1 в подвижный объект (ПО). После получения сигнала подвижный

объект перенаправляет сигнал на измерительную станцию. Сигнал от подвижного объекта (ПО) до измерительной станции (ИС) преодолевает расстояние D за время Dt . Путь $R_i + D$ больше чем r_i . Поэтому общее время (T_1) прохождения этого пути больше чем t_1 . Это обуславливает задержку сигнала. Время прохождения сигнала пропорционально его пути. Расстояния от базовых станций до подвижного объекта вычисляются:

$$R_1 = r_1 - D + \Delta R_1.$$

$$\Delta R_1 = (T_1 - t_1) v$$

$$R_2 = r_2 - D + \Delta R_2$$

$$\Delta R_2 = (T_2 - t_2) v$$

$$R_3 = r_3 - D + \Delta R_3$$

$$\Delta R_3 = (T_3 - t_3) v$$

Где v - скорость электромагнитных волн. Так как расстояние D неизвестно, используется разностный метод, при котором D сокращается.

$$R_1 - R_2 = r_1 - r_2 + \Delta R_1 - \Delta R_2$$

$$R_1 - R_3 = r_1 - r_3 + \Delta R_1 - \Delta R_3$$

При реализации разностно-дальномерного метода измеряемыми параметрами являются временные задержки D_1 , D_2 и D_3 распространения сигнала приемника-передатчика подвижного объекта (ПППО 5) не менее чем до трех базовых станций (БС 1, 2, 3) сети, относительно их синхронизированных временных шкал, с рассчитываемыми параметрами - дальности от базовых станций до места расположения ПППО.

Координаты станции измерения (ИС) и базовых станций (БС) известны. Первая БС посылает импульс на ПППО и на станцию измерения. На ПППО и на станции измерения отмечается время прибытия сигнала; значение времени, отмеченное на ПППО, отправляется на станцию измерения. Эта операция совершается три раза с разными БС. Одним из важных факторов определения является время согласования. Оно определяется условием, чтобы ПО не успел переместиться на значительное расстояние. После того, как данные о времени поступления сигналов собраны, производят расчеты. Для вычисления координат ПО решают систему уравнений:

$$R_1 - r_1 = v(T_1 - t_1 + dt)$$

$$R_2 - r_2 = v(T_2 - t_2 + dt) \quad (5)$$

$$R_3 - r_3 = v(T_3 - t_3 + dt),$$

где R_i - расстояние от БС $_i$ до ПО, r_i - расстояние от БС $_i$ до станции измерения, T_i - время поступления сигнала на ПППО, t_i - время поступления сигнала от ПППО на станцию измерения, $i=1,2,3$. v - скорость распространения радиоволн, dt - смещение во времени между ПО и станцией измерения. В системе три неизвестные величины R_i можно выразить через x , y - координаты БС и dt . Для проведения измерений необходимо синхронизировать время всех БС.

Схема вычисления координат точки P подвижного объекта основана на простых тригонометрических расчетах и решении прямой засечки [38, 39]. Для координаты X точки P — X_p имеет место следующее соотношение.

$$R_1 \cos \varphi_1 = (X_p - X_1)$$

или

$$X_p = R_1 \cos \varphi_1 + X_1$$

$$\text{Где } \varphi_1 = \varphi_{12} + d\varphi_1$$

Угол φ_1 определяется по составляющим его углам

$$\varphi_{12} = \arctg(DY_{12}/DX_{12})$$

$$R_2^2 = R_1^2 + L_{12}^2 - 2 L_{12} R_2 \cos d\varphi_1$$

Или

$$\cos d\varphi_1 = (R_1^2 + L_{12}^2 - R_2^2) / 2 L_{12} R_2$$

Данный метод однозначно определяет положение точки подвижного объекта P (X_p , Y_p).

Заключение.

Современное управление транспортом требует высокой автоматизации управления, включающей локализацию объектов управления за короткие периоды времени. Человеческий интеллект не в состоянии решить эти задачи. Для решения подобной задачи необходимо создавать новые модели и методы управления. В данной статье предлагается новая модель информационной транспортной ситуации и модель мобильного информационного пространства. Эти модели повышают оперативность локализации объекта, оперативность анализа ситуации и оперативность принятия решений. Информационная транспортная ситуация может иметь множество видов и множество функций. Она может служить основой описания ситуации вокруг подвижного объекта, основой управления подвижным объектом и основой изучения транспортной инфраструктуры. Мобильное информационное пространство должно включать единую координатную среду и единое навигационное поле [40].

Список литературы

1. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - с.50-54.
2. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. P. 40-44
3. Розенберг И.Н. Дистанционное управление подвижными объектами // Славянский форум, 2016. -3(13). – с.236-242.
4. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.11-24
5. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 - 297 с
6. Александров А.В. Интеллектуальное управление // Славянский форум, 2016. -1(11). – с.15-22.
7. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.45-53

8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – с.107-109
9. Елсуков П.Ю. Управление с использованием информационных методов // Государственный советник. – 2015. - №2. – с29-33.
10. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 -201с. ISBN: 978-3-659-18089-7.
11. Охотников А. Л. , Павловский А.А. Информационное моделирование при ведении кадастра транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.34-44.
12. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с65-68
13. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. 2012, Vol.(2), № 2, p.140-143.
14. Щенников А.Е. Модели прямых алгоритмов // Славянский форум. - 2017. -4(18). – с.103-109.
15. Цветков В.Я. Решение задач второго рода с использованием информационного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. - №11. (часть2) – с.191-195.
17. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – с/42-46.
18. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций// Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - с.4- 11.
19. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181
20. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5.(23) - с.64-68.
21. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – с.198-203
22. Потапов А. С. Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. - 2017. - 1(15). – с.283-289.
23. Розенберг И.Н. Топосемантическое информационное соответствие в пространственном моделировании // Науки о Земле. – 2017. - № 3. - с.64-73.
24. Пospelов Д. А. Большие системы. Ситуационное управление. – М.: Наука, 1975.
25. Цветков В.Я. Информационные и не информационные модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. №8-1. – с.104-105.
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. Васютинская С.Ю. Пространственные отношения в кадастре // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (12). – с.91-96
28. Кулагин В.П. Геореференция как описание пространственных отношений// Славянский форум, 2015. - 4(10) – с.175-183.
29. Безгубова Ю. О. Мультиагентное управление распределенными информационными потоками // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №1(9). – с.113-119.

30. Розенберг И.Н. Когнитивное управление транспортом // Государственный советник. – 2015. - №2. – с47-52.
31. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.275-282
32. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. - 2015. - № 3. - с. 297-301.
33. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. - №8. – с. 48-51.
34. Охотников А. Л. , Павловский А.А. Информационное моделирование при ведении кадастра транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.34-44.
35. Охотников А. Л. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – с.35-47/
36. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91
37. Розенберг Е.И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б.В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU 95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010.
38. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I А-М.
39. Дышленко С.Г. Пространственные задачи определения координат объектов железнодорожного транспорта // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.31-38.
40. Цветков В.Я. Спутниковое навигационное поле // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №3-3. – с.502.

УДК: 656

СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Дышленко С.Г. к.т.н., зав. сектором Прикладных систем Отдела математического обеспечения, НИИСИ РАН, E-mail: dishlenko@yandex.ru, Москва, Россия

Аннотация. Статья анализирует маршрутизацию потоков в транспортных сетях. Показано, что современное состояние сетей характеризуется динамикой изменения условий в сети. Статья вводит понятие двух топологий для транспортной сети: структурную топологию, пропускную топологию. Динамика сети требует оперативных методов маршрутизации транспортной сети. В статье предложено применить методы маршрутизации транспортной сети с использованием методов маршрутизации из области коммуникационных сетей. Алгоритм Дейкстры взят за основу маршрутизации в транспортной сети. Статья вводит новый термин информационная топологическая ситуация.

Keywords: транспортная сеть, маршрутизация, информационная ситуация, динамическая сеть, графы, алгоритм Дейкстры

SITUATIONAL ANALYSIS IN THE TRANSPORT NETWORK

Dyshlenko S.G. Ph.D., Head of Sector "Applied Systems", Department of Mathematical Support", NIISI RAS, E-mail: dishlenko@yandex.ru, Moscow Russia

Annotation. The article analyzes the routing of flows in transport networks. It is shown that the current state of networks is characterized by the dynamics of changing conditions in the network. The article introduces the concept of two topologies for a transport network: structural topology, throughput topology. The dynamics of the network requires operational methods for routing the transport network. The article proposes to apply the methods of routing the transport network using routing methods from the field of communication networks. The Dijkstra algorithm is taken as the basis for routing in the transport network. The article introduces a new term information topological situation.

Keywords: transport network, routing, information situation, network dynamics, graphs, Dijkstra algorithm

Введение.

Транспортной сетью называют граф, имеющий один вход и один выход. Эта модель описывает реальные транспортные сети и различные схемы поиска и решения задач в вычислительных системах. Современные реальные транспортные сети (ТС) характеризуются интенсификацией транспортных потоков и динамикой смены ситуации в сети.

Это требует разработки новых методов повышения быстродействия и надежности маршрутов в сети [1-3]. В частности, создание единой транспортной сети и применение единой транспортной политики [4] требует согласования изменения маршрутов. Для этого необходимо совершенствование методов управления потоками в транспортной системе. Международные транспортные коридоры являются примером гетерогенных транспортных сетей и реализации единой транспортной политики. Развитие единой транспортной политики невозможно требует

специальных методов маршрутизации в транспортных сетях. Развитие реальных транспортных сетей характеризуется динамикой информационной ситуации в сети. Основными причинами динамики являются изменения на отдельных звеньях сети и изменение пропускной способности, как в большую, так и в меньшую сторону. Обеспечение скоростного и надежного обмена потоками между узлами ТС при жестких требованиях к задержкам доставки является одной из важнейших проблем логистики. Для повышения качества логистических сервисов необходимо использовать модели и алгоритмы адаптивной маршрутизации, которые выбирают маршруты применительно к текущей ситуации сети.

Ситуационный анализ в сети.

Ситуационный анализ в сети связан с пространственным анализом и с ситуационным анализом в геоинформатике. Ситуационный анализ в сети связан с применением модели информационная ситуация. Применение информационных технологий [5, 6] привело к появлению ряда специальных информационных моделей. Это модели информационных конструкций [7, 8], информационных процессов [9], информационных ситуаций [10-12], информационных взаимодействий [13]. Эффективность сети определяется рациональной маршрутизацией и выбором оптимальных маршрутов перемещения по сети. Классическая транспортная задача не содержит условия для практического использования в динамических сетях. Реальная практика перемещения в транспортной сети содержит неопределенность о ситуациях в сети и характеризуется динамикой условий на разных узлах.

Для поиска маршрутов используем понятие ситуационного сетевого анализа [14]. Этот вида анализа связан с введением модели пространственной информационной ситуации [15] или параметрической информационной ситуации.

$$IS = F[PI(t), Str, P2(t), L(P, Str)] \quad (1)$$

В выражение (1) входят такие характеристики: IS – параметрическая информационная ситуация или - ISP или пространственная информационная ситуация - SIS ; $PI(t)$ - стационарные параметры, которые слабо меняются с течением времени; Str – начальная структура сети, которую можно называть информационной конструкцией сети [8]; $P2(t)$ – динамические параметры, которые существенно меняются с течением времени; L – длина маршрута, которая зависит от параметров сети и текущей структуры.

Сетевой информационной ситуацией ISN назовем совокупность характеристик сети, складывающуюся на момент принятия решений. В начальный момент времени сетевая информационная ситуация характеризуется зависимостью параметров от этого момента времени.

$$ISN = IS(t=t_0) \quad (2).$$

В сети существует две топологии: структурная и пропускная. Структурная топология сети есть информационная конструкция или неориентированный граф $IC = G(V, A)$. Пропускная топология сети TN , это топология, которая создает возможность перевозки грузов [16] нужного объема и в допустимый срок. Это, как правило, ориентированный граф или мультиграф.

$$IC = G(V, A) \quad (3)$$

$$TN = (V, A, s, t), \quad (4)$$

Выражения (3), (4) включают V — множества вершин и A — множества дуг и метки s и t , которые характеризуют допустимые маршруты перевозки грузов. Особую важность имеет эффективная маршрутизация перевозки грузов в условиях динамических отключений и отказов отдельных элементов сети. Это связано с пробками и авариями. В связи с этим особое значение приобретают подходы по поиску быстрой смены маршрутов.

Полная архитектура анализа транспортной сети [2, 3] требует больших ресурсов для обеспечения потребностей по передаче растущих объемов трафика для большого числа узлов. Информационная ситуация локализует область сети и уменьшает объем анализа. Эту часть сети можно назвать топологической информационной ситуацией. В коммуникационных системах существуют методы программно-конфигурируемых сетей (ПКС) [17], которые при трансформации в транспортные сети, позволяют создать гибкость в управлении материальными потоками данных за счет адаптивной маршрутизации.

Основная идея адаптивного управления маршрутизацией состоит в том, чтобы, не изменяя структурной топологии сети, отделить управление перевозками от жесткой единственной, заранее заданной, схемы маршрутов. Реализация этого возможна за счет использования методов анализа коммуникационных сетей [17] и создания программного обеспечения, учитывающего динамическую информационную топологическую ситуацию. Внедрение адаптивного управления создает условия для перевозки при наличии динамики сети [18]. В этом случае управление потоками происходит с помощью методов оптимизации и конфигурирования. Методы оптимизации помогают можно найти оптимальный маршрут. Методы конфигурации помогают сконфигурировать маршрут для максимального числа пользователей [19, 20]. Технология ПКС дала стимул к разработке новых методов управления потоками данных в сети и внедрению новых алгоритмов адаптивной маршрутизации.

При использовании ПКС пропускная способность сети динамически меняется, что требует к относительно частой рассылке информации о ситуации $P2(t)$ в сети между перевозчиком и администратором перевозок. Применение и использование стационарной маршрутизации в этом случае оказывается неэффективным. Изменения характеристик сети, модификация структуры сети, включение в нее новых узлов или исключение узлов сети приводят к полному пересчету оптимальных маршрутов перевозки. Разработка новых методов и алгоритмов адаптивной маршрутизации и логистических потоков позволяет повысить надежность транспортной сети и обеспечить требуемые условия перевозки.

Под адаптивной маршрутизацией транспортной сети будем понимать методы поиска оптимальных маршрутов, для динамически изменяющейся ситуации сети. Это достигается путем частичного изменения оптимальных маршрутов за счет использования дополнительной информации о параметрах сети. Существует прямая зависимость производительности грузопотока в сети от оптимальности маршрутов.

На практике из-за высокой динамики ситуации в сети и частого обновления информации об изменениях в сети рассчитать оптимальный маршрут перевозки довольно сложно. Большинство методов маршрутизации используют при выборе маршрута передачи критерий минимальной задержки передачи доставки или максимальной пропускной способности маршрута. Задача создания гибкой системы маршрутизации является актуальной и может быть решена на основе разработки специализированного математического и программного обеспечения адаптивной маршрутизации. Метод адаптивной маршрутизации уменьшает

размерность задачи нахождения оптимальных маршрутов и сокращает вычислительную сложность решения задачи поиска кратчайших путей с учетом динамических изменений в сети.

Алгоритм Дейкстры

В качестве основы маршрутизации используют метод поиска кратчайшего маршрута при заданных условиях. Термин «кратчайший» может означать множество критериев: кратчайший по расстоянию, кратчайший по времени, кратчайший по риску, кратчайший по объему перевозимого груза и так далее.

Один из алгоритмов нахождения кратчайшего пути предложил Эдгар Дейкстра (Edsger Dijkstra) в 1959 г. [21]. Алгоритм находит кратчайшие пути от одной из заданных вершин графа до всех остальных. Он работает для графов, не имеющих ребер с отрицательными весами. В общем случае этот метод основан на приписывании вершинам временных меток, причем метка вершины дает верхнюю границу длины пути от некоторой вершины V_0 к рассматриваемой вершине. Эти метки постепенно уменьшаются с помощью некоторой итерационной процедуры, и на каждом шаге итерации только одна из временных пометок становится постоянной. Последнее указывает на то, что пометка уже не является верхней границей, а дает точную длину кратчайшего пути от t к рассматриваемой вершине. Алгоритм Дейкстры имеет следующую последовательность.

1. Первичная инициализация (рисунок 1). Выбирается исходная вершина V_b , от которой откладываются маршруты до всех остальных вершин графа. Всем вершинам $V_j \neq V_b$ присваиваются временные метки $d(V_j) = \infty$. Исходной вершине присваивается пометка $d(V_b) = 0$, и эта пометка считается постоянной. Присвоить $t = b$.

2. Обновление пометок. Для всех вершин V_j , инцидентных вершине V_t и имеющих временные метки, изменить метки в соответствии с выражением

$$d_j = \min(d_t, \min\{d_l + w_{t,j}\}),$$

где d_l - пометка вершины с номером l ($l = 1 \dots V_i$), d_t - пометка текущей вершины, d_j - пометка вершины, смежной с текущей вершиной, $w_{t,j}$ - вес ребра, связывающего узел V_t с вершиной V_j .

3. Превращение текущей метки в постоянную пометку. Среди всех вершин с временными пометками найти такую вершину, для которой

$$d_l^* = \min\{d_j\},$$

где d_l^* - постоянная пометка вершины с номером l ($l = 1 \dots V_i$).

4. Фиксация метки. Считать пометку вершины V_j^* постоянной и положить $V_t = V_j^*$.

5. Проверка завершающего условия. Если все вершины имеют постоянные метки, то алгоритм завершает свою работу. Иначе перейти к пункту 2.

Маршруты можно найти, применяя рекурсивную процедуру, реализующую выражение

$$d_l^* = \min\{d_j^*\} + w_{j,k},$$

где $w_{j,k}$ - вес ребра, соединяющего вершину V_j с вершиной V_k .

Вычислительная сложность алгоритма Дейкстры равна $O(V^2)$ операций, где V - количество узлов в транспортной сети. Алгоритм Дейкстры реализует класс DijkstraAlgorithm.

В конструктор класса передается список смежности, хранящий веса ребер между вершинами, и список вершин. В конструкторе инициализируются переменные и коллекции для работы алгоритма.

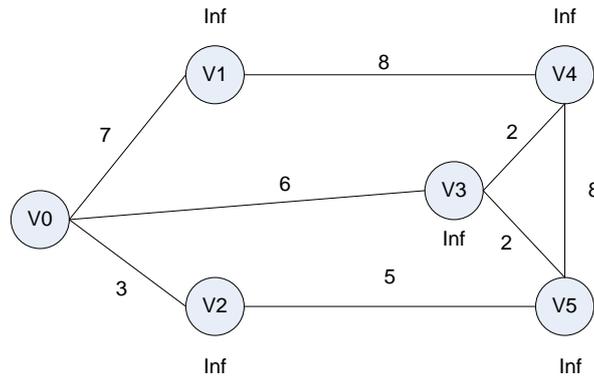


Рисунок 1. Модель исходного графа

Неопределенность выражена штриховкой. На рисунке 2. приведен результат первой итерации.

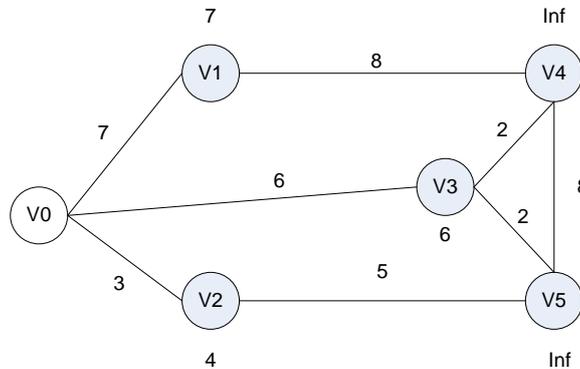


Рисунок 2. Первая итерация графа

Вершина V_0 определена, что выражено снятием штриховки. Для нее определены три возможных маршрута. Минимальную временную метку имеет вершина V_2 . У данной вершины имеется только одна смежная вершина V_5 с временной пометкой. После обновления пометки вершины V_5 ($3 + 5 = 8$), пометка вершины V_2 считается постоянной. На рисунке 3 приведена вторая итерация

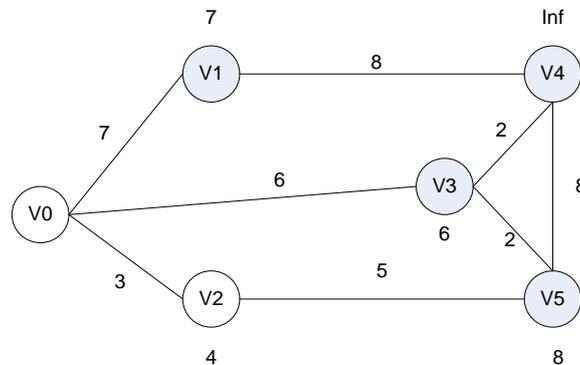


Рисунок 3. Вторая итерация графа

После второй итерации определены маршруты для двух вершин V_0 и V_2 , что показано

снятием штриховки. Неопределенной является вершина V_4 . После того как все метки постоянные, алгоритм завершает свою работу. На рисунке 4 приведен окончательный результат.

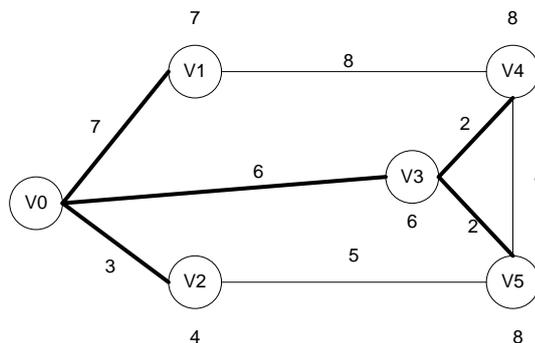


Рисунок 4. Результат работы алгоритма Дейкстры.

Утолщенные линии показывают минимальные маршруты. Вычислительная сложность расчетов составила $O(V) = O(6) = 36$. Из рис. 4 видно, что от вершины V_0 к вершине V_5 ведут два одинаковых маршрута с минимальной оценкой: $V_0 - V_3 - V_5$ и $V_0 - V_2 - V_5$. Поэтому алгоритм Дейкстры осуществляет произвольный выбор одного из таких маршрутов.

Дополнительным методом маршрутизации пространственных сетей является применение геоинформационных систем [22, 23]. С позиций геоинформатики ТС являются распределенными геотехническими системами [24]. Для управления пространственными распределенными системами необходима пространственная информация и геоданные.

Это приводит к необходимости применения пространственного управления [25] в такой сети. Геотехнические системы исследуют методами ГИС-технологий, поэтому возрастает роль геоинформатики как средства формирования пространственной информации и средства управления. Рост сложности транспортных систем [26, 27] приводит к задаче многоцелевого управления [28, 29] и специальной задаче управления подвижными объектами. Непосредственное применение многих математических моделей в практике управления транспортом невозможно из-за отсутствия необходимых пространственных данных. Недостаток соответствующей теоретической базы требует применения ГИС как программный инструмент оптимизации транспортных сетей. Решение прикладных задач с помощью ГИС связано с отбором полезной информации из огромных информационных массивов, накопление которых идет непрерывно. Эти задачи решает ГИС «Панорама» [23, 30], которая позже стала называться ГИС «Карта».

Заключение

Традиционное представление топологии сети в виде одного графа имеет ограничения. Это обусловлено тем, что формальная топология сети не соответствует топологии возможных перевозок. Топология возможных перевозок является динамической и зависит от времени. Кроме того, при большом числе узлов соответствующая матрица сети имеет большую размерность и затрудняет математический анализ в сети. Переход к модели информационной ситуации на порядки снижает время анализа. Но методы, подобные рассмотренному методу, применимы для локальных участков сети, то есть только для информационных ситуаций. Алгоритмы адаптивной маршрутизации используют при построении таблиц маршрутизации два распространенных алгоритма – Дейкстры и Йена с вычислительной сложностью $O(V^2)$ и

$O(V^3)$ соответственно.

Метод маршрутизации фактически означает выделение части сети из структурной топологии сети в пропускную топологию сети. Вся сеть может быть рассмотрена как стационарная информационная конструкция, имеющая полную топологию. Динамика внешней среды приводит к тому, что периодически то или иное звено сети теряет пропускную способность и реальная модель сети, пригодная для перевозки грузов отражается как информационная ситуация или локальный участок сети. Таким образом информационная конструкция сети отражает формальную топологию, а информационная ситуация на заданный момент времени отражает и задает фактическую топологию, обеспечивающую перевозку.

Предлагаемый метод маршрутизации преобразует сетевидную структуру, задаваемую информационной ситуацией, в еще более простую структуру радиально узловых сети. Как показано в [2], радиально узловая сеть обеспечивает надежность на коротких временах эксплуатации, а долговременную надежность обеспечивает сетевидная структура. В данном методе информационная конструкция или полная топология обеспечивает долговременную надежность. Локальную надежность обеспечивает информационная ситуация и выделенные из нее схемы маршрутов. Таким образом, данный метод позволяет выделять из всей сети рабочую область, пригодную для решения задач транспортировки на конкретный момент времени. Это повышает оперативность и надежность управленческого анализа и контроль за перевозкой грузов.

Список литературы

1. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Генерализация транспортных сетей на основе редуцированного подхода // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.3-10.
2. Егунов М. М., Шувалов В. П. Анализ структурной надёжности транспортной сети // Вестник СибГУТИ. – 2012. – № 1. – С. 54-60.
3. Холодов Я. А. и др. Моделирование транспортных потоков—актуальные проблемы и перспективы их решения // ТРУДЫ МФТИ. – 2010. – Т. 2. – №. 4. – С. 152.
4. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.22-26.
5. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.60-75.
6. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - с.50-54.
7. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – с.39-44.
8. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014, Vol (5), № 3. - p.147-152.
9. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - с.4- 11
10. Лёвин Б. А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – с.2-10.
11. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170
12. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский

форум. - 2017. -2(16). – с.39-44.

13. Tsvetkov V. Ya. Information Interaction as a Mechanism of Semantic Gap Elimination // European researcher. Series A. 2013. № 4-1 (45). - p. 782-786.

14. Розенберг И.Н. Информационная ситуация как сложная система // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – с.69-77

15. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – с.198-203.

16. Цветков В.Я. Логистика информационных потоков в распределенных системах // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.34-44

17. Корячко В.П., Перепелкин Д.А. Анализ и проектирование маршрутов передачи данных в корпоративных сетях. – М.: Горячая линия –Телеком, 2012 – 236с.

18. Цветков В.Я., Алпатов А. Н. Управление распределенными транспортными потоками // Государственный советник. – 2014. - №3. – с55-60

19. Андреев К. П., Терентьев В. В. Информационное моделирование в проектировании транспортных сетей городов //Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2016. – №. 117-2. – С. 108-110.

20. Бабичева Т. С. и др. Двухстадийная модель равновесного распределения транспортных потоков //Труды Московского физико-технического института. – 2015. – Т. 7. – №. 3. – С. 31-41.

21. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs // Numerische mathematik. – 1959. – Т. 1. – № 1. – С. 269-271.

22. Соколов А. П., Герасимов Ю. Ю. Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов //Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2009. – №. 3.

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

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

25. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с. 268-274.

26. Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов - М.: Изд-во АСВ. – 2005.

27. Бутов А. В. и др. Транспортные системы. Моделирование и управление. СПб //Судостроение. – 2001.

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

29. Хоменюк В. В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. – М.: Наука, 1983.

30. Цветков В.Я., Дышленко С.Г. Особенности проектирования ГИС-пользователя на основе базового комплекта ГИС «Карта 2011» // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. – 8(68). – с.79-84.

УДК: 656.052

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА

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

Аннотация. Статья исследует интеллектуального управления в области транспорта. Показано, что интеллектуальное управление является объективной необходимостью. Интеллектуальное управление основано на семиотическом подходе. Интеллектуальное управление включает три уровня: концептуальный, информационный и операционный. Статья раскрывает содержание семиотической системы. Описана статическая и динамическая компоненты семиотической системы. Показана связь между информационными моделями и семиотической системой.

Ключевые слова: транспорт, управление, интеллектуальное управление, прикладная семиотика, информационные модели

INTELLIGENT CONTROL IN TRANSPORT

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

Annotation. The article explores intellectual management in the field of transport. The article proves that intellectual management is an objective necessity. Intellectual management is based on a semiotic approach. Intellectual management includes three levels: conceptual, information and operational. The article reveals the content of the semiotic system. The article describes the static and dynamic components of the semiotic system. The article describes the relationship between information models and the semiotic system.

Keywords: transport, management, intellectual management, applied semiotics, information models

Введение.

Интеллектуальное управление является этапом в развитии теории и практики управления. Оно интегрирует семиотическое [1], когнитивное [2-4], информационное [5, 6], организационное [7] и ситуационное [8, 9] управление. В аспекте школ управления оно относится к управлению при непредвиденных обстоятельствах. В интеллектуальном управлении транспортом выделяют применение интеллектуальных систем и интеллектуальных технологий. Основными системами управления являются интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [10, 11], которые в настоящее время уступают технологиям Интернет-вещей и кибер-физическим системам [12]. Интеллектуальные технологии интегрируют семиотическое управление [13, 14] и когнитивное управление, эвристическое управление, управление с применением метода прецедентов и др. Интеллектуальное семиотическое управление основано на разных формах логики, системами правил, эволюционными алгоритмами. Интеллектуальное когнитивное управление моделирует человеческое мышление и поведение с использованием

ассоциативных каналов и неявных знаний [15]. Интеллектуальное управление является единственным инструментом принятия решений в условиях неопределенности [16], больших данных и повышенных требований к оперативности. Интеллектуальное информационное управление рассматривается как информационная поддержка интеллектуального управления с помощью информационных моделей и технологий. Следует отметить, что в России часто интеллектуальным управлением называют автоматизированное управление. Это особенно ярко проявляется на конференциях по интеллектуальным транспортным системам. Обычное АСУ называют интеллектуальным управлением без какого либо признака интеллектуальности. Использование искусственных нейронных сетей также называют интеллектуальным управлением.

Необходимость интеллектуального управления.

Развитие общества и усложнение и задач управления создают ситуацию, при которой старые методы управления становятся не эффективными. Возникает необходимость решения новых задач управления, которые старыми технологиями решить нельзя. Примером является высокоскоростное движение и проблема Big Date «больших данных» [17], которую часто трактуют неправильно. Эта проблема создает информационный барьер [18, 19] для технологий автоматизированного, организационного и информационного управления.

Для решения этой проблемы разработаны многочисленные программные средства, которые эту проблему полностью не решают, но помогают частично снимать напряжение и упрощать решение задачи. Эти программные средства обозначают таким же термином Big Date. В литературе по транспорту часто термином Big Date обозначают не проблему, а программное обеспечение для ее решения. При этом термином Big Date (фактически говорят о программном обеспечении) обозначают некое достижение в области обработки и управления. Но в реальности никакого достижения нет. Есть необходимость или информационная потребность в обработке данных большого объема и высокой сложности. Программное обеспечение Big Date частично эту потребность удовлетворяет.

Для современного управления характерен также рост слабо структурированной информации, что приводит к необходимости когнитивного моделирования и когнитивного управления. В совокупности описанные трудности обуславливают переход к интеллектуальному управлению [20, 21], которое интегрирует методы решения сложных и оперативных задач.

Однако интеллектуальное управление, в свою очередь, приводит к необходимости применения технологий управления знаниями [22]. Именно управление, основанное на знаниях, является основой интеллектуального управления. В связи с этим следует отметить еще один пробел. В литературе по управлению транспортом часто говорят о «цифровизации», не понимая ее сущность. Если использовать подход основоположника цифровой экономики Д. Тапскота [23], то цифровизация это в первую очередь знания, а во вторую очередь дискретные модели. В отечественной транспортной литературе под цифровизацией понимают только дискретные модели и цифровые технологии.

Основой интеллектуального управления являются интеллектуальные системы и интеллектуальные технологии. Интеллектуальная система — это техническая или программно-техническая система, способная получать не технические или алгоритмические, а творческие решения задач, принадлежащие конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Упрощенно структура интеллектуальной системы включает: базу

знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс [24]. Решатель является главной составляющей интеллектуальной системы. Однако он выполняет функции не арифметических решений, а разработки логических схем. В логиках первого порядка решателем называют механизм получения решений логических выражений [15]. В мультиагентных системах, которые относят к области искусственного интеллекта, также используют понятие решателя. Агентом называют [26] решатель задач, который представляет собой программную сущность, способную действовать в интересах достижения поставленных целей. В символическом моделировании решателем (*s-solver*) называют значение специализации сообщения. Одним из первых в России ввел это понятие Ефимов Е.И. [27]. Из этого краткого перечня следует важность решателя для интеллектуальных систем и интеллектуальных технологий.

Интеллектуальное управление и прикладная семиотика.

Семиотика является методической основой интеллектуального управления. Она изучает природу, виды и функции знаков, знаковые системы и знаковую деятельность человека, знаковую сущность естественных и искусственных языков с целью построения общей теории знаковых систем. Иногда упрощенно говорят о знаках. Но главным в семиотике являются именно знаковые системы. В области семиотики существует направление "прикладная семиотика", основоположником которого является Д.А. Поспелов [1, 28].

В семиотике выделяют две сферы приложения знаковых систем: познания и коммуникации. Это делит семиотику на две части: семиотика познания; семиотика смысловых конструкций. Смысловые конструкции можно рассматривать как разновидность информационных конструкций. Основой интеллектуального управления служит семиотическая система. Согласно Поспелову [1, 28] семиотической системой W называется упорядоченная восьмерка множеств:

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle, \quad (1)$$

где

T - множество базовых знаков;

R – набор синтаксических правил;

A - множество знаний о предметной области;

P – набор правил вывода решений (прагматических правил);

τ - правила изменения множества T ;

ρ - правила изменения множества R ;

α - правила изменения множества A ;

π - правила изменения множества P .

Первые два множества порождают искусственный язык системы W , а τ и ρ осуществляют его изменение. Правила α изменяют множество знаний о предметной области. Если полагать, что знания включают аксиомы формальной системы (которую образуют первые четыре элемента из W), то правила α , по существу, изменяют интерпретацию основных символов и, следовательно, правильно построенных формул языка семиотической системы W . Первые четыре множества образуют формальную семиотическую систему FS , элементы с пятого по восьмой образуют правила изменения формальной семиотической системы. Этим они обеспечивают адаптацию семиотической системы, «подстраивая» ее для решения новых задач и проблем, которые в рамках системы FS решить не удастся. Именно это отличает интеллектуальное управление от автоматизированного управления. В автоматизированном

управлении схема управления жесткая. Адаптивность может вноситься извне, подобно, тому как в алгоритме делают изменения программисты.

Отсюда, семиотическая система (1) может быть определена как составная динамическая система: $W = \langle FSi, MFsi \rangle$, где FSi - определяет ядро и состояние семиотической системы, а $MFsi$ – правило смены ее состояния. При этом следует отметить, что такая семиотическая система описывает как управляющую систему (интеллектуальную систему) так и объект управления, то есть состояние объекта управления и его динамику. В управляющей системе она описывает процессы управления, а в объекте описывает процессы поведения.

При рассмотрении динамических систем, например транспорт, семиотической системе можно дать новую интерпретацию. Составная динамическая система: $W = \langle FSi, MFsi \rangle$ включает два компонента: статический FSi , который определяет состояние в информационной ситуации или информационную позицию, динамический $MFsi$, который определяет правила перехода объекта управления из одной информационной позиции в другую.

Правила $MFsi = (\tau, \rho, \alpha, \pi)$, меняющие состояние формальной системы (объекта управления) связаны зависимостью, существующей в элементах семиотического треугольника (треугольника Фреге) [29]. Это означает, что применение одного из правил из этой четверки приводит к применению оставшихся правил. Зависимости эти сложны, их аналитическое представление может быть разным и это представляет трудность для аналитика. Исследование зависимостей $MFsi = (\tau, \rho, \alpha, \pi)$ является основной задачей семиотических систем искусственного интеллекта. Более простым является применение информационного подхода и информационного моделирования.

Описания формальных систем управления в виде динамических компонент $MFsi$ создают свойства открытости систем. Они создают адаптивность объекта управления к меняющемуся внешним условиям. Это позволяет расширить возможности поддержки принятия решений в условиях неопределенности и противоречивости исходной информации [28].

Неопределенность как причина применения интеллектуального управления. Традиционные методы управления основаны на предположении, что информация о состоянии и поведении объекта управления точно соответствует его поведению и состоянию. Методы, основанные на этом предположении, создают классическую теорию управления. Однако в условиях увеличения объемов, роста неструктурированной информации и воздействия внешней среды – появляются нарушения этого условия. Возникает информационная неопределенность [30-32].

Это связано с тем, что любая модель объекта управления представляет собой упрощенное описание реального объекта, его состояния и его поведения. Степень упрощения может быть допустимой или создавать неопределенность. В динамике поведения объекта управления некоторые характеристики объекта могут значительно изменяться в процессе его функционирования. Все это создает неопределенности различных моделей описания объекта и затрудняет управление им, включая интеллектуальное. Типовую модель управления, положенную в основу алгоритма управления или совокупность установленных правил управления, называют номинальной.

В условиях значимой неопределенности классические методы теории управления оказываются неприменимыми или дают неудовлетворительные результаты. В этих случаях необходимо применение специальных методов анализа и синтеза систем управления объектами с неопределенными моделями. Первым этапом является оценка вида и значения

неопределенности. Выделяют основные типы неопределенностей управленческих моделей: параметрическая, функциональная, структурная и ситуационная.

Параметрическая неопределенность означает, что неизвестными или неточно определенными являются параметры модели. Например, вместо точечных значений имеют место интервальные значения. При переходе к информационно измерительным системам можно говорить об отсутствии информационной определенности параметров. Поэтому во многих случаях реальные значения параметров могут существенно отличаться от принятых номинальных

Функциональная неопределенность означает, что функциональная модель объекта либо не адекватно описывает его функции, либо содержит неучтенные функциональные зависимости (чаще всего заикливание или паразитические обратные связи).

Структурная неопределенность означает, что структура модели управления или структура объекта управления. структура взаимодействия объекта управления со внешней средой - является неточно установленной или меняется с течением времени. Структурная неопределенность означает также, что при известной формальной структуре не определены отношения между элементами структуры. Структурная неопределенность означает, что при известной структуре не согласованы информационные потоки для данной структуры, то есть отсутствует информационное соответствие между потоками и структурой. Структурная неопределенность может приводить к наличию у объекта паразитной динамики.

Ситуационная неопределенность означает, что ситуация в которой находится объект управления описана неточной или не корректно. Она дает точной информации о позиции объекта в ситуации и его состоянии.

Многоуровневое управление.

Современные системы интеллектуального управления обязаны обеспечить автономную работу связанных технических объектов. Интеллектуальная система решает сложные задачи: планирование, целеполагание, прогнозирование и прочее. Для универсальности, адаптации и точности решений целесообразно применение многоцелевого [33] интеллектуального управления. Необходимость решения задач на разных уровнях приводит к многоуровневой архитектуре интеллектуальной системы.

Многоуровневая архитектура интеллектуальной системы управления состоит из трех уровней: концептуального, информационного и операционного (рис.1). Система, построенная по такой архитектуре, управляет поведением сложных технических объектов в условиях автономного и коллективного взаимодействия. Концептуальный уровень является ответственным за реализацию высших интеллектуальных функций

На концептуальном уровне используется семиотическое представление знаний и осуществляется обмен сообщениями с остальными уровнями. Информационный и операционный уровни содержат модули, поддерживающие интеллектуальные и информационные процедуры и трансформирующие их в управленческие решения.

Основной задачей управления на концептуальном уровне является хранение, приобретение и использование знаний, представленных в обобщенном виде.

Составная динамическая система: $W = \langle FSi, MFsi \rangle$ содержит два компонента: статический FSi , который определяет систему знаков динамический $MFsi$, который определяет систему правил (рисунок 1).

Приобретение знаний основывается на модели реальной ситуации во внешней среде. К

высшим интеллектуальным функциям относят функции постановки главной цели и подцелей, планирования поведения и распределения воздействий в общем плане действий.

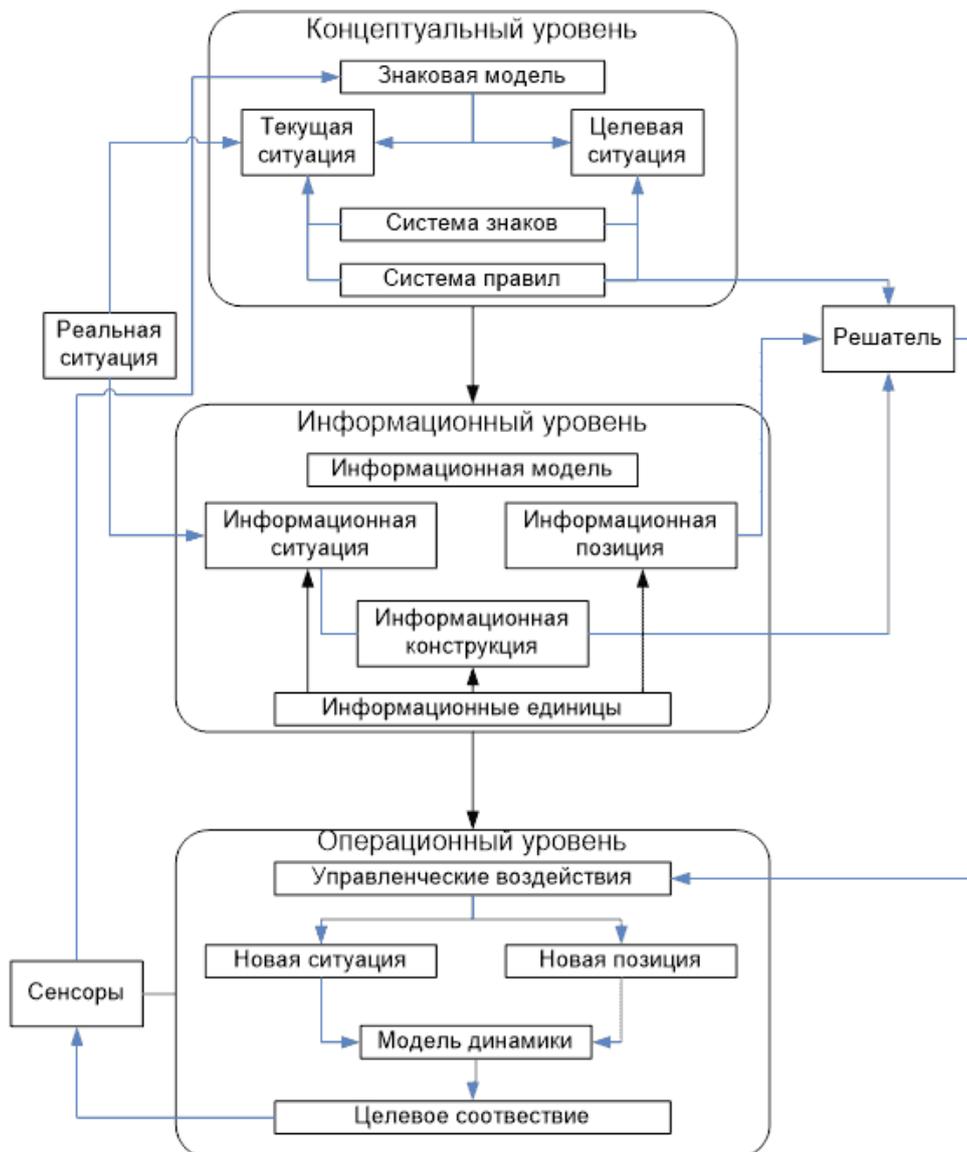


Рисунок 1. Многоуровневое интеллектуальное управление.

На информационном уровне управления решаются задачи информационного управления, основными из которых являются: построение информационной модели ситуации [34], информационной позиции объекта в ситуации [35]. Эти модели соответствуют компоненте *FSi*. На информационном уровне решается задача построения информационной конструкции [36, 37], которая является обобщением системы правил концептуального уровня и соответствует компоненте *Mfsi*. Языковая среда семиотического управления на информационном уровне реализуется применением различных информационных единиц. Эти единицы служат основой построения информационной ситуации, информационной позиции и информационной конструкции.

На операционном уровне реализуют управленческие решения или управленческие воздействия. Управленческие воздействия в обязательном порядке меняют информационную

позицию объекта управления. Управленческие воздействия могут менять, если это необходимо, информационную ситуацию объекта управления. В то же время менять информационную ситуацию, чаще всего, нет необходимости. Основной задачей этого уровня изменение состояния и позиции объекта управления и сообщение об изменениях на концептуальный уровень.

Многоуровневая архитектура включает в себя ряд когнитивных функций человека. Она опирается на использование информационного подхода [38-40] к интеллектуальному управлению. При этом необходимо отметить различие между интеллектуальными и информационными технологиями. Информационные технологии выполняют функции поддержки интеллектуального управления. Основную роль играют интеллектуальные технологии принятия решений. Они дают возможность наряду с решением или в ходе получения решения осуществлять поиск новых знаний и накопления интеллектуальных ресурсов. Информационные технологии создают только информационные ресурсы. Это означает, что знания, формализованные в явном виде, будучи освоенными, могут стать частью опыта и частью базы знаний и быть использованы им для решения задач и принятия решений.

Заключение.

Интеллектуальные технологии и системы необходимо рассматривать как средство преодоления информационного барьера, обусловленного в первую очередь сложностью, во вторую объемом информации и неспособностью человека получить адекватное решение. Интеллектуальное управление необходимо при управлении сложными объектами, для которых трудно или невозможно найти точные формальные модели описания. Ядром интеллектуального управления являются семиотические модели [42, 43]. Информационные модели выполняют функции поддержки. Методы интеллектуального управления разнообразны и применимы к техническим, когнитивным и транспортным системам [44, 45]. Интеллектуальное управление широко применяют для многоцелевого управления [33, 46]. Современное интеллектуальное управление интегрируют в облачные платформы и сервисы [47]. При управлении распределенными организациями и корпорациями возникает необходимость учета пространственных отношений и пространственных знаний. Еще одной проблемой является ограниченное количество интеллектуальных технологий работы с неявными знаниями. Технически проблема управления знаниями связана трансформацией информационных ресурсов в интеллектуальные ресурсы и трансформацией неявных знаний.

Список литературы

1. Пospelов Д.А. Прикладная семиотика и искусственный интеллект// Программные продукты и системы. – 1996. – №3. – С.10-13
2. Цветков В.Я. Когнитивное управление. Монография - М.: МАКС Пресс, 2017. - 72с. ISBN 978-5-317-05434-2
3. Болбаков Р. Г. Основы когнитивного управления // Государственный советник. – 2015. - №1. – с45-49
4. Розенберг И.Н. Когнитивное управление транспортом // Государственный советник. – 2015. - №2. – с47-52.
5. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 -201с
6. Александров А. В. Информационное моделирование в управлении банковской

деятельностью // Славянский форум, 2015. - 3(9) - с.13-19.

7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – с. 584

8. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – с42-46.

9. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 2(2). – с.2-10

10. Осипов Г. С. и др. Интеллектуальное управление транспортными средствами: стандарты, проекты, реализации //Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – №. 6. – С. 34-43.

11. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – с.45-53.

12. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – с.3-15

13. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике. Новости искусственного интеллекта. 2002, № 6.

14. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.275-282.

15. Сигов А. С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типологизация // Вестник Российской Академии Наук, 2015, том 85, № 9, - с.800–804.

16. Никифоров В. О., Слита О. В., Ушаков А. В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.

17. McAfee A., Brynjolfsson E. Big data: the management revolution //Harvard business review. – 2012. – №. 90. – С. 60-6, 68, 128.

18. Цветков В.Я Маркелов В.М., Романов И.А. Преодоление информационных барьеров // Дистанционное и виртуальное обучение. 2012. № 11. С. 4-7.

19. Forbes L. S., Kaiser G. W. Habitat choice in breeding seabirds: when to cross the information barrier //Oikos. – 1994. – С. 377-384.

20. Tsvetkov V. Ya. Intelligent control technology. // Russian Journal of Sociology, 2015, Vol. (2), Is. 2.-p.97-104. DOI: 10.13187/rjs.2015.2.97 www.ejournal32.com.

21. Zilouchian A., Jamshidi M. Intelligent control systems using soft computing methodologies. – CRC Press, Inc., 2000

22. Alavi M., Leidner D. E. Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues //MIS quarterly. – 2001. – p.107-136.

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

24. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. - М.: Радио и связь, 1989. -184с.

25. De Moura L., Bjørner N. Z3: An efficient SMT solver //Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – С. 337-340.

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

27. Ефимов Е.И. Решатель интеллектуальных задач - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 320с.

28. Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // Новости искусственного

интеллекта. - 1999. - №1.

29. Барабашев А. Г. Треугольник Фреге и существование математических объектов //Историко-математические исследования. Вторая серия. – 1997. – №. 2. – С. 37.

30. Цветков В.Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации // Информационные технологии. - 2015. - №1. -с.3-7.

31. Буравцев А.В. Серый управленческий анализ // Перспективы науки и образования. - 2017. - №5(29). - с.74-79.

32. Раев В.К. Дихотомический метод уменьшения информационной неопределенности // Перспективы науки и образования. - 2017. - №2(26). - с.7-11.

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

34. 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

35. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170

36. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с. ISBN 978 -5-317-05244-7.

37. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014, Vol (5), № 3. - p.147-152.

38. Цветков В.Я., Корнаков А.Н. Информационный подход в управлении // Успехи современного естествознания. - 2010. - №3. – с.137-138

39. Коваленко Н.И. Информационный подход при построении картины мира // Перспективы науки и образования. - 2015. -№6. - с.7-11.

40. Пеньков В. Е. Информационный подход: философские и методологические основания //Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2008. – №. 5. – С. 25-27

42. Поспелов Д.А. Семиотические модели: успехи и перспективы// Кибернетика. – 1976. – №6. – С.114-123.

43. Поспелов Д.А. Семиотические модели в управлении. Кибернетика. Дела практические. - М.: Наука, 1984. – С.70-87

44. Снитюк В. Е., Юрченко К. Н. Интеллектуальное управление оцениванием знаний //ВЕ Снитюк, КН Юрченко.– Черкассы. – 2013.

45. Пугачев И. Н., Маркелов Г. Я. Интеллектуальное управление транспортными системами городов //Транспорт и сервис: сб. науч. трудов.–Калининград: Изд-во имени И. Канта. – 2014. – №. 2. – С. 58-66.

46. Атиенсия В., Дивеев А. И. Синтез интеллектуальной системы многоцелевого управления //Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №. 6.

47. Грибова В.В. и др. Облачная платформа для разработки и управления интеллектуальными системами //Международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем»(OSTIS-2011).-Минск: БГУИР. – 2011. – С. 5-14.

УДК: 656, 004.89, 656.052

ГЕОМОНИТОРИНГ НА ТРАНСПОРТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

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

Аннотация. Статья исследует применение беспилотных летательных аппаратов для геомониторинга объектов транспортной инфраструктуры. Описана эволюция создания беспилотных летательных аппаратов. Раскрывается содержание геомониторинга как комплексного мониторинга, включающего разные виды технологий. Показано значение геоданных для данного мониторинга. Статья описывает технологические аспекты применения БПЛА, в частности, описано влияние смаза изображения на точность определения положения объекта мониторинга. Показано, что для мониторинга инфраструктуры ЖД целесообразно использование мини носителей. Даны технические характеристики носителей. Раскрывается пример мониторинга на конкретной технологии.

Ключевые слова: транспорт, мониторинг, геомониторинг, транспортная инфраструктура, БПЛА.

GEOMONITORING IN TRANSPORT WITH THE USE OF UAV

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

Annotation. The article explores the use of unmanned aerial vehicles for geomonitoring of transport infrastructure facilities. Paper describes the evolution of the creation of unmanned aerial vehicles. The article discloses the content of geomonitoring as an integrated monitoring, including various types of technologies. The article notes the importance of geodata for this monitoring. The article describes the technological aspects of UAV application, in particular the influence of image blur on the accuracy of positioning of the monitoring object. The article proves that it is reasonable to use mini-carriers to monitor the transport infrastructure. The article describes the technical characteristics of carriers. An example of specific monitoring is described.

Keywords: transport, monitoring, geomonitoring, transport infrastructure, UAV

Введение.

Использование методов воздушного мониторинга для диагностики состояния железнодорожных путей не является новой идеей [1]. Достаточно сказать, что еще во время Великой Отечественной войны аэрофотосъемка фактически выполняла функции мониторинга. В настоящее время ведутся работы по применению беспилотных летательных аппаратов

(БПЛА) для решения задач железной дороги [2, 3]. Накапливается опыт по применению БПЛА для топографо-геодезических изысканий на транспорте [4]. Накапливается опыт по применению БПЛА для крупномасштабного картографирования [5]. Следует отметить, что практические идеи беспилотной авиации пришли из космической отрасли. Как известно, пространство свыше 100 км над территорией любой страны считается космическим, а не воздушным и является экстерриториальным. Это дает возможность осуществлять в этом пространстве действия без согласования с другими странами. Страны с космическими технологиями могут иметь преимущество в военном аспекте в космосе. С этой целью в США был разработан тяжелый беспилотный воздушно-космический самолет Boeing X37B (США) [6, 7], который может применяться для разных целей: наблюдения, запуска спутников и нанесения ударов по территории противника. Это определило развитие БПЛА за рубежом в первую очередь для военных целей. Не случайно, что стандарты передачи информации с БПЛА определены стандартами НАТО [8]. В СССР и России также велись работы по созданию телемеханических самолетов для мониторинга и наблюдения как прообраз современных беспилотных летательных аппаратов [9]. В настоящее время развитие науки и техники, элементной базы создало условия для применения БПЛА при решении ряда практических задач. При этом одной из важнейших задач является предотвращение террористических актов на железной дороге [2, 3].

Геомониторинг как комплексный мониторинг

Геомониторинг является совокупностью технологий, принципов, методов определения геометрических и физических параметров объектов, явлений и процессов на земной поверхности и подземной ситуации. Как система геомониторинг является основой определения местоположения и навигации подвижных объектов геопространства, включая транспорт, инфраструктуру, окружающую среду и технику. Геомониторинг является средством геодезического обеспечения изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений.

Для геомониторинга выделяют поле или область мониторинга, в которой осуществляют мониторинг. В некоторых случаях выделяют часть поля мониторинга, которая наиболее существенно влияет на состояние объекта мониторинга. Эту локальную часть поля называют информационной ситуацией [10, 11]. Информационная ситуация помогает описать и понять поведение объекта мониторинга. При геомониторинге выделяют методы или технологии мониторинга, а также в отдельных случаях модель объекта мониторинга.

Геомониторинг транспортной инфраструктуры с помощью БПЛА является локальным мониторингом по масштабу и основан не геоинформационном мониторинге по технологиям. Современный геоинформационный мониторинг является интегрированной технологией, которая объединяет разные технологии: наблюдения, обработки и анализа [12, 13]. Геоинформационный мониторинг, как наиболее общий вид мониторинга, выполняет еще одну функцию. Она обусловлена тем, что в современном исследовании окружающей среды характерно наличие существенно разных методов сбора информации. Различие методов и технологий сбора порождает разнообразие форм и форматов представления собираемых данных. Это и определяет функцию геоинформационного мониторинга - унификация разных данных в единую интегрированную среду. Именно эта функция позволяет осуществлять комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры, в отличие от специализированных

видов мониторинга. Таким образом, в геомониторинге и всех его частных видах функция наблюдения включает сбор информации и ее унификацию. Структура геоинформационного мониторинга приведена на рисунке 1.

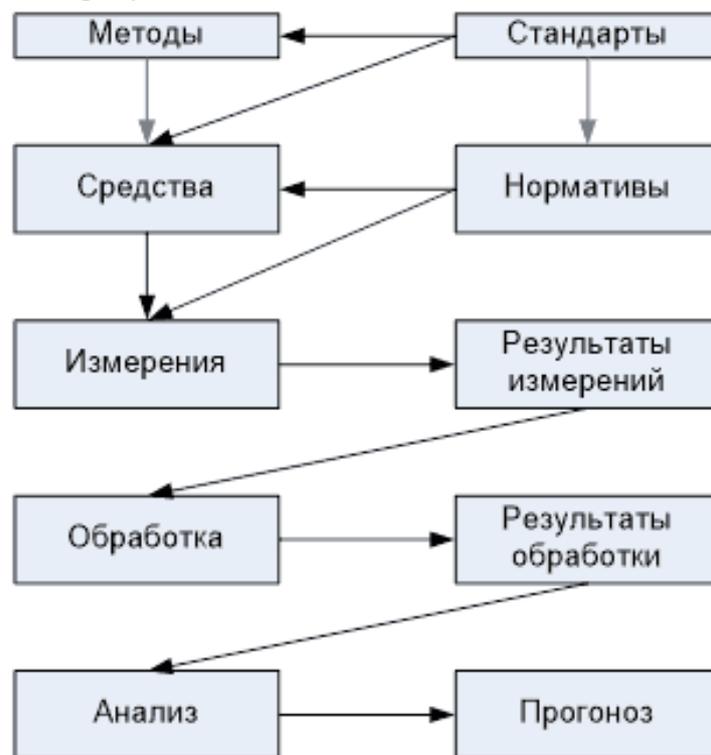


Рисунок 1. Структура геоинформационного мониторинга с БПЛА

Применение геоинформационного мониторинга требует применения пространственных моделей [14], учета пространственных отношений [15] и интеграцию всех данных в виде геоданных [16, 17].

Геоинформационный мониторинг позволяет принимать оперативные и стратегические решения, в частности он позволяет решать две качественно различные задачи прогнозирования: поисковое и нормативное прогнозирование.

Поисковое прогнозирование - это анализ перспектив развития существующих тенденций разработки природных ресурсов (водных, минерально-сырьевых, лесных) на определенный период и определение на этой основе вероятных состояний объектов управления в будущем при условии сохранения существующих тенденций в неизменном состоянии или проведения тех или иных мероприятий с помощью управленческих воздействий.

Нормативное прогнозирование заключается в рациональном анализе путей оптимального использования источников минерального сырья. Этот вид прогнозов отвечает на вопрос: “Что можно или нужно сделать для того, чтобы достичь поставленных целей или решить поставленные задачи?”.

Технологические аспекты применения БПЛА.

Одним из основных видов мониторинга является телевизионная съемка или воздушная цифровая съемка. При съемке с воздушных объектов возникает проблема смаза изображения и анаморфотности снимков. В таблице 1 приведен расчет смаза изображения на снимке для камеры с фокусным расстоянием 50 мм, высоты съемки 100 м, времени экспозиции 0.1 сек и

разных скоростях полета БПЛА.

Смаз изображения фактически означает погрешность изображения, которая мешает распознать объекты на местности. Для высоты 100м погрешность (полоса) 0.5 мм на снимке соответствует полосе 1 м на местности. Это означает, объекты менее 1 м будут неразличимы. Для смаза изображения 3мм будут не различимы объекты длиной до 6 м. Это ограничивает скорость съемки или наблюдений на такой высоте. Подъем БПЛА на 1 км в 10 раз снижает погрешность, но при этом падает различимость на самом изображении.

Таблица 1.

Зависимость смаза изображения в зависимости от скорости БПЛА

Скорость полета км/час	Смаз изображения (мм)
36	0.5
72	1.0
108	1.5
144	2.0
216	3.0

Технические средства БПЛА.

Технические средства БПЛА создавались, в первую очередь, для военных целей и это отражает их специфику. Для съемки с большой высоты может быть использован беспилотный летательный аппарат MQ-1C «Серый орел», рисунок 2.



Рисунок 2. Беспилотный летательный аппарат «Серый орел»

Скорость устройства составляет 250 км/час, взлетная масса 1450 кг, продолжительность полета 30 часов, максимальная высота полета 8850 м. Устройство может нести профессиональную аэрофотосъемочную аппаратуру (160 кг) и дополнительно телевизионную аппаратуру, инфракрасные датчики, содержат радар AN/ZPY-1 Starlite и другие сенсоры.

Использование такого устройства для мониторинга ЖД не выгодно из-за его высокой стоимости (8 млн.\$), поэтому для практического мониторинга используют более дешевые и простые устройства.

Поскольку съемка железнодорожных путей и полосы отвода ведется с небольшой высоты, то приемлемыми становятся три варианта: БПЛА - мини самолёт, БПЛА – мини дирижабль, БПЛА

- мини вертолет. По понятным причинам мы не можем описывать отечественные разработки. БПЛА - мини самолет приведен на рисунке 3.



Рисунок 4. БПЛА – минисамолет

Характеристики этого устройства следующие: взлетный вес 1,7 кг, дальность полета 10 км, скорость до 95 км/ч, максимальная высота полета 5 км, длина 0.96 м., размах крыльев 1.5 м., продолжительность полета 1 ч. На рисунке 5 приведен минидирижабль.

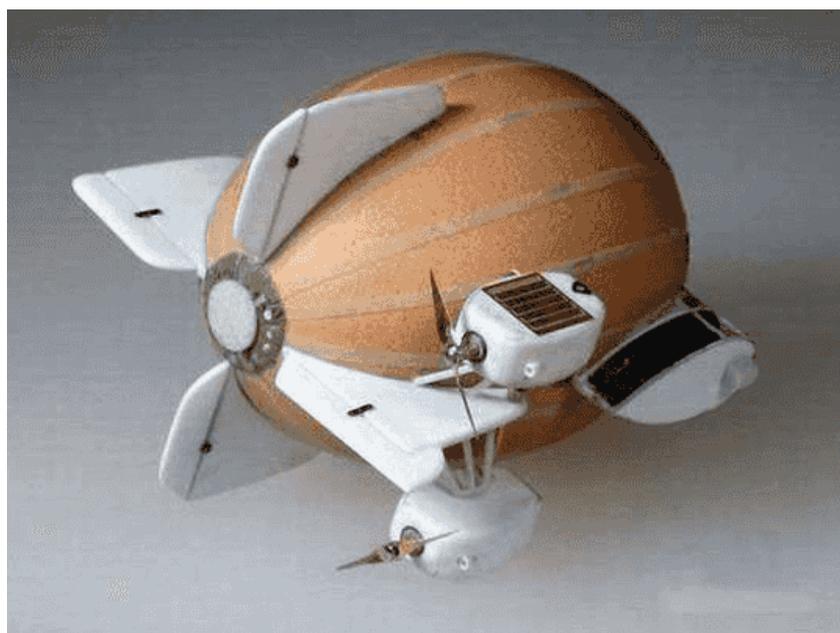


Рисунок 5. Минидирижабль как средство мониторинга транспортной инфраструктуры.

Мини дирижабль обладает нулевой плавучестью, поэтому снабжен двигателями и сенсорами для наблюдения. Преимуществом этого носителя является возможность зависания над объектом. Недостатком является высокая парусность и влияние ветра, что создает вибрации при наблюдении. Тем не менее, этот носитель является незаменимым средством мониторинга в горной местности и при мониторинге высотных опор и сооружений, куда ограничена человеческая доступность или попадание человека требует значительных временных и материальных затрат.

На рисунке 6 приведен мини вертолёт как средство мониторинга.



Рисунок 6. Модель БПЛА - мини вертолёт [18].

Технология геомониторинга

Геомониторинг решает задачи геодезического обеспечения оценки состояния окружающей среды, в первую очередь, опасных процессов и явлений, способствующих возникновению кризисных ситуаций. Эти задачи в геомониторинге в настоящее время решают чаще всего с применением беспилотных летательных аппаратов типа мини вертолет. Такой беспилотный летательный аппарат (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) представляет собой беспилотный воздушный носитель, который может управляться дистанционным радиосигналом или автономно летать в зависимости от траектории полета, которая заранее запрограммирована. БПЛА может нести разные датчики, такие как GPS, компас, лазерный сканер и цифровую камеру. С этими датчиками, он может использоваться в различных миссиях в различных областях, таких как мониторинг загрязнений, мониторинг стихийных бедствий, мониторинг особо опасных объектов типа АЭС. Для повышения точности позиционирования для регулярного мониторинга с помощью БПЛА устанавливают базовые станции как для спутниковой навигации. Мониторинг с помощью БПЛА является новым видом геомониторинга, поскольку исследует наземные пространственные объекты с помощью фотограмметрической технологии и технологий использующих другие сенсоры.

На практике БПЛА используют индивидуально или группами [19]. Для мониторинга целесообразно использование мини-вертолетов или мини-дирижаблей, поскольку для мониторинга иногда важно зависать над объектом и делать серию снимков или проводить телевизионную трансляцию информационной ситуации. Телевизионное наблюдение как метод геодезического измерения исследовано в диссертации Буюкяна [20].

Автором доказано, что метод видео измерений, основанный на компьютерной обработке изображения наблюдаемого объекта в стандартном телевизионном видеосигнале, обеспечивает выполнение высокоточных, длительных, оперативных, непрерывных и периодических измерений с выдачей конечного результата решаемой задачи в автоматизированном режиме и в реальном времени. Исследования [20] показали возможность решения следующих задач на основе видео измерений, которые могут быть получены и с БПЛА.

Это следующие возможности и задачи: мониторинг плановых и крутильных колебаний высотного сооружения; контроль плановых координат точек сооружения в местной координатной системе; контроль положения объекта относительно заданного (проектного) направления; мониторинг деформаций несущих конструкций (тубингов) тоннельного сооружения; измерение весовых деформаций наклоняемого массивного узла сооружения; контроль геометрии внутренней вертикальной цилиндрической поверхности, измерение наклона контролируемого объекта;

В целом в работе [20] заложены теоретические и технологические основы обработки данных с БПЛА для геомониторинга и решения задач на железной дороге. Пример технологии мониторинга описан в [21] как результат групповой операции системы вертолетов для обнаружения и мониторинга лесных пожаров с помощью телевизионного наблюдения. В целом система с БПЛА [21] контролировала и вычисляла расстояния от огня до домов и дороги. Их система состояла из камеры и датчиков для получения информации о положении вертолета и окружающей среды. Осмотр и получение наземных снимков с помощью указаний от БПЛА, несущего мультисенсоры, описан в [22].

Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) увеличила число технических средств, которые могут использоваться для геомониторинга. Особенно эффективно это средство при оперативном анализе последствий стихийных бедствий. БПЛА, как правило, дешевле и более универсальны, чем традиционные методы дистанционного зондирования, и поэтому они могут рассматриваться как хорошая альтернатива для получения изображений и других физических параметров до, во время и после события естественной опасности. Эта технология зарекомендовала себя на небольших участках (несколько км). Выделяют три основных направления применения БПЛА: сбор данных до и после событий, экстренную поддержку терпящим бедствие и геомониторинг.

Эти устройства обслуживаются двумя основными сервисами [23]: Служба наблюдения (Observation Service - SOS) и система обслуживания датчиков (Sensor Service Grid - SSG). Служба наблюдения датчиков работает на сенсорных станциях, которые обрабатывают сбор данных в этой области. Система обслуживания датчиков - это информационная система, к которой можно получить доступ из Интернета. Она предоставляет данные, полученные от датчиков, и синхронизируется со станции SOS и предоставляет доступ к SOS станций, поддерживающих удаленную конфигурацию, а также мониторинг станций из Интернета.

Система осуществляет мониторинг в режиме реального времени. Информация собирается с помощью датчиков и видеорегистраторов или цифровых камер. Данные мониторинга (видеоизображения) доступны для просмотра оператору наземной станции, а также удаленным пользователям через Интернет через Sensor Service Grid (SSG). Отметим некоторые особенности технологии применения БПЛА. Для использования технологии были разработаны специальные методы автоматического панорамного сшивания изображений с использованием инвариантных функций.

Система мониторинга с применением БПЛА является многопоточковой. При такой схеме каждое устройство имеет разную скорость передачи данных. Например, для GPS обеспечивается 1 запись в секунду, тогда как гироскоп делает 180 записей в секунду [23]. Но в целом система является многоканальной. Этот метод позволяет системе передавать данные с максимальной скоростью для каждого устройства, потому что ему не нужно ждать завершения работы других устройств.

И наоборот, метод генерирует асинхронные данные, потому что ему необходим дополнительный процесс для синхронизации всех данных со временем. В случае несоответствия согласования времени для разных устройств или не задержки работы более миллисекундного уровня, возможно применение интерполяции для устранения эта проблемы, а также для получения более точных результатов. Поскольку это исследование фокусируется на создании системы реального времени, линейной алгоритм интерполяции был применен в процессе обработки информации.

При создании платформы БПЛА, есть несколько проблем. Одним из наиболее важных моментов является макетирование положения всех сенсорных устройств. Макет должен быть правильно выровнен, чтобы центр силы тяжести остался в центре БПЛА. Хорошая планировка и позиционный дизайн также упрощает подключение линий питания и расположения внутреннего аккумулятора. Кроме того, макет должен быть адаптивным, чтобы все коммуникации и линии питания можно было бы легко подключить. Макет должен обеспечить легкий доступ к батарее, чтобы ее можно было легко изменить ручным методом при посадке БПЛА.

Еще одна критическая точка - это общий вес платформы, включая все оборудование. В экспериментах вертолет имеет полезную нагрузку приблизительно 3-4 кг. Это накладывает ограничения на вес каждого устройства. Наконец, поскольку батарея имеет небольшую емкость и не может иметь большой размер, мощность потребления каждого оборудования должна быть сведено к минимуму. Как показано на рисунке 7 [23], существует множество устройств, которые помещают на БПЛА, например мини-ПК, выступающего в качестве основного контроллера для подачи данных от всех датчиков, а также для обеспечения доступа к наземной станции.



Рисунок 7. Аппаратное обеспечение БПЛА [280].

На рис. 7 показаны следующие виды аппаратного обеспечения БПЛА:

1 - USB hub. 2 - плата питания. 3 – аккумулятор. 4 - Web камера. 5 - лазерный дальномер. 6 - Мини ПК. 7 - цифровая камера. 8 - плата датчика А / D. 9 - контроллер руля управления. 10 – сервопривод. 11 - приемник GPS. 12 - гироскоп. Цифровая камера, лазерный дальномер, гироскоп и GPS приемник являются основными датчиками для наблюдения. Используется плата контроллера ARM для управления сервомеханизмом для перемещения позиции веб-камеры. Аккумулятор (3) Li-Io может подавать питание на один час.

Платформа [22] была изготовлена из алюминия с меньшим весом, чем платформа из металла. Она также была просверлена, чтобы сделать ее более легкой и улучшить поток воздуха [22] для исключения нагрева. Режим выдержки затвора на 1/800 и ISO AUTO. Выяснилось, что цифровая камера на низкой высоте может фиксировать изображения с частотой примерно 20 секунд на наземное изображение. При движении на большей высоте время подготовки и съемки составляет 50-60 секунд на изображение. Предположительно это могло произойти из-за влияния функции автофокусировки камеры. Поскольку, чем выше съемка тем меньше объекты стали на Земле и тем длительнее происходит процесс автофокусировки. Кроме того, вибрация воздуха также влияет на качество и время автофокусировки камеры. Опыт показал, что предельный диапазон съемки объектов на местности 200 - 300 метров, а предельная высота съемки 50-60 метров. Скорость вертолета составляла 5 м/с; время мониторинга составляет 15 минут.

Заключение

Геомониторинг [24, 25] является комплексной технологией, включающей разные реализации для разных задач. Геомониторинг осуществляет контроль устойчивости сооружений, оценивает и снижает риска и последствия природных и техногенных катастроф, в том числе чрезвычайных ситуаций и терактов.

Геомониторинг использует системы и методы накопления, обработки, хранения, передачи и использования геоданных. Он широко применяет геоинформационные системы и технологии. Геомониторинг использует геоданные, хранение которых организовано в инфраструктурах пространственных данных, территориальных банках данных, базах данных земель сельскохозяйственного назначения. Это требует использования специальных технологий сбора и организации геоданных [26-28].

Геомониторинг широко применяет глобальные навигационные спутниковые системы, которые являются основой большинства технологий геомониторинга с БПЛА.

Специфическим видом геомониторинга является мониторинг подвижных объектов. Его особенность в переносе центра тяжести сбора информации от геодезических технологий к комплексным и фотограмметрическим технологиям. Геомониторинг подвижных объектов требует создания единой координатной среды [29]. Геомониторинг подвижных объектов разделяется на пассивный и активный мониторинг. Пассивный геомониторинг подвижных объектов решает только задачи мониторинга. Активный геомониторинг подвижных объектов решает задачи мониторинга и управления подвижными объектами. Активный геомониторинг требует создания единой координатно-временной среды.

Наличие службы БПЛА будет способствовать повышению безопасности железнодорожного движения, а в случае возникновения аварий с подвижным составом – скорейшей ликвидации их последствий. Для использования в системе ОАО РЖД и снижения предполагаемых затрат есть прямой смысл использовать уже готовые или проектируемые типы БПЛА, которые

предназначены для Вооруженных Сил РФ или МЧС [2, 30].

Список литературы

1. Eyre-Walker R. E. A., Earp G. K. Application of Aerial Photography to Obtain Ideal Data for Condition Based Risk Management of Rail Networks, The 4th IET International Conference on Railway Condition Monitoring 18–20 June 2008, Conference Centre, Derby, UK

2. Лёвин Б.А., Бугаев А.С., Ивашов С.И., Разевиг В.В. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 2 (46). С. 152-157.

3. Проект РФФИ-РЖД № 11–07–13112-офим-2011-РЖД «Применение ДПЛА для получения изображений железнодорожных путей и полосы отвода в целях обеспечения безопасности движения и предотвращения террористических актов».

4. Карпович М., Герштейн Л.М., Паневин Н.В., Карпович А.М. Применение БПЛА при проведении топографо-геодезических изысканий // Транспортная стратегия - XXI век. 2013. № 22. С. 66-68.

5. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3Д - крупномасштабных карт // Славянский форум. 2015. № 4 (10). С. 224-231.

6. Савиных В. П., Цветков В. Я., Окологемное космическое пространство в военном аспекте // Науки о Земле. - -2013. - № 1. - с.24-31.

7. Бармин И., Савиных В., Цветков В., Рубашка В. Война в космосе как предчувствие // Военно-промышленный курьер. – 2013. - №32 (500) – с5

8. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2010. № 3. С. 80-87.

9. Бочинин Д.А., Тарасов А.В. Советские телемеханические самолеты как прообраз современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013. № 638. С. 54-56

10. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p.2166- 2170

11. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – с.198-

12. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №5. - с.151 -155.

13. Охотников А. Л. Геоинформационный мониторинг транспортных объектов // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – с.35-47

14. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. Series A. 2013. №10-1(60). с.2386-2392.

15. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике// Науки о Земле. - 2012. - №1. - с.59-61.

16. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - с.12- 14

17. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук, 2014, том 84, № 9, с. 826–829.

18. http://www.parkflyer.ru/ru/blogs/view_entry/1030/

19. Захаров М.В., Киричек Р.В., Парамонов А.И. Задача распределения ресурсов в группах БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1 (9). С. 62-70.

20. Буюкян С. П. Разработка теоретических основ и методов решения специальных задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений / дис., д.т.н., спец 25.00.32. – М.: АО ГСПИ «Росатом», 2016 – 168с.
21. Ollero, A., Alcazar, J., Cuesta, F., Nogales, C., 2003. Helicopter Teleoperation for Aerial Monitoring in the COMETS Multi-UAV System, in: 3rd Iarp Workshop on Service, Assistive and Personal
22. Nagai, M., Tianen, C., Shibasaki, R., Kumagai, H., Ahmed, A., 2009. Uav-borne 3-d mapping system by multisensor integration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47 (3), pp.2371-2388.
23. A. Witayangkurn, M. Nagai, K. Honda, M. Daile, R. Shibasaki Real-time monitoring system using unmanned aerial vehicle integrated with sensor observation service // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland, p.107-112.
24. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геомониторинг арктических территорий // Науки о Земле». – 2015. - № 2. – 49-61
25. Маркелов В.М., Цветков В. Я. Геомониторинг// Славянский форум, 2015. - 2(8) - с.177-184
26. Кудж. С.А. Добыча геоданных // Науки о Земле № 2-3, 2013 – с 82-84
27. Кудж А.С. Сбор и измерение геоданных в науках о Земле// Славянский форум. - 2013. – 2(4). - с.135-139
28. Маркелов В. М. Добыча данных и геоданных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №2 (10). – с.126-131
29. Розенберг И.Н. Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 - 67с
30. Лёвин Б.А., Бугаев А.С., Ивашов С.И., Разевиг В.В. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 2 (46). С. 152-157.

УДК: 656, 004.89, 656.052

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ ГЕОИНФОРМАТИКИ

- Шлапак В.В.** к.т.н., доцент, декан геодезического факультета, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: geofak@miigaik.ru, Москва, Россия
- Лонский И.И.** к.т.н., доцент, заведующий кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: lonski@inbox.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья исследует применение геоинформатики для анализа транспортных сетей. Описана география транспортных сетей. Описаны основные особенности геоинформатики. Показано значение ГИС для анализа транспортных сетей. Статья анализирует объекты большой протяженности как специфический вид объектов, входящих в транспортные сети. Дается геодезическое различие между объектами малой протяженности и объектами большой протяженности.
- Ключевые слова:** транспорт, транспортные сети, геоинформатика, анализ, объекты большой протяженности

TRANSPORT NETWORKS AND THEIR RESEARCH BY METHODS OF GEOINFORMATICS

- Shlapak V.V.** PhD, Assoc. Professor, Head of the faculty, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: geofak@miigaik.ru, Moscow, Russia
- Lonskiy I.I.** PhD, Assoc. Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), E-mail: lonski@inbox.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** Annotation. In the article, the study of the modification of geoinformatics for analysis of transport networks was carried out. The geography of transport networks is described. The main features of geoinformatics are described. The value of GIS for the analysis of transport networks is shown. In the article, long-range objects are analyzed as a specific type of objects included in transport networks. A geodesic distinction is made between objects of short length and objects of great length
- Keywords:** transport, transport networks, geoinformatics, analysis, long-range objects

Введение.

Как и всякая наука геоинформатика имеет основную область исследований и основной метод исследований. Определение области и метода содержится в названии геоинформатики. Термин "геоинформатика" состоит из двух частей "гео" и "информатика" [1, 2]. Первая часть "гео" определяет область исследования науки - процессы, объекты и явления, происходящие на земной поверхности. В геоинформатике используют геоданные, в которых содержится информация о пространственном положении объектов, их свойствах и времени, для которого эти свойства имели место. "Информатика" в составе термина "геоинформатика" определяет

основной метод исследования: объекты исследования изучаются на основе компьютерных технологий, при этом привлекаются данные математики, картографии, геодезии и других наук, занимается изучением и развитием систем сбора, передачи, обработки и хранения информации с помощью автоматизированных методов обработки и автоматизированных систем. В информатике выделяют два основных аспекта: научный и прикладной (технологический). Научный аспект связан с разработкой концепций, теоретических основ, методов моделирования, организацией моделей и структур данных.

В связи с тесной взаимосвязью информатики и геоинформатики в ней выделяют также два аспекта. Это соответствует делению геоинформатики на фундаментальную [1] или общую [3] и прикладную [3]. Геоинформатика как метод исследования интегрирует ряд наук о Земле, включая географию. Это позволяет изучать пространственно протяженные объекты, включая такие как транспортные сети.

География транспортных сетей

География транспортных сетей – одна из старейших отраслей социально-экономической географии – зародилась в Германии в середине XIX века. Основателем ее считается немецкий географ и путешественник Иоган Коль, который, объединив Германию, Великобританию, Францию, Россию, Голландию, Австро-Венгрию, США и Канаду, смог обобщить типы транспортной организации пространства в этих странах. В настоящее время применяют более широкое название география транспорта [5, 6].

В своей фундаментальной книге “Транспорт и поселение людей в их зависимости от форм земной поверхности” (1841г.) И.Коль рассмотрел особенности влияния физико-географических факторов (рельефа, формы контура территории) на транспортную проходимость пространства, возможности сообщений, рисунок транспортных путей, а также влияния политических, культурных и экономических факторов на концентрацию населения и транспортных связей. Эта работа заложила основу теоретического фундамента географии транспорта.

Сама же отрасль этой науки сформировалась в конце XIX – начале XX века благодаря работам немецких антропогеографов: Ф. Ратцеля, А. Геттнера, К. Хассерта, К. Дове. Так сложилась наиболее популярная немецкая школа географии транспорта, ее основные положения используются как фундамент современной теории.

Впервые термин “география транспорта” был введен в 1888 г. Гетцем, который определил ее как науку об изучении расстояний на земной поверхности. Именно благодаря Гетцему возникла идея рассматривать транспорт как средство преодоления расстояний. Эту идею наиболее плодотворно развил Ф. Ратцель, основоположник немецкой антропогеографии и политической географии, называя транспорт “покорители пространства”.

Несколько иные подходы к изучению транспорта сложились в российской географии. Здесь вплоть до 30-х годов преобладали идеи, заимствованные из немецкой географии, однако затем, наряду с природным, стали считаться ведущими для формирования транспортных сетей экономический и политический факторы.

Н.Н. Колосовский [7], И.В. Никольский [8], Г.А. Гольц [9], П.М. Полян [10] изучали направление и размеры грузопотока, пассажирские перевозки, экономическое районирование территории, влияние конфигураций транспортных сетей на население и производство и т.д. В настоящее время географию транспорта России условно можно разделить на несколько частей:

- теоретическая (изучение механизмов образования транспортных потоков, сетей, сети и иерархии узлов, формирование и изменение зон тяготения);

- география отдельных видов транспорта (железнодорожного, автомобильного, воздушного, морского, речного, трубопроводного, телекоммуникаций);
- география инфраструктуры;
- региональная география транспорта (описание транспорта отдельных регионов и стран);
- социальная география транспорта.

Транспортные сети - важнейший элемент региональной структуры. От их организации и конфигурации зависят надежность и эффективность функционирования региональных хозяйственных механизмов и систем [11, 12]. Анализ сетей позволяют проводить современные геоинформационные системы [13-16].

С середины 90-х годов геоинформационные системы приобрели статус стратегического резерва в экономике тех стран, которые вступили в период становления информационного общества. ГИС является развивающейся самой перспективной информационной системой для решения задач управления, бизнеса и мониторинга, включая транспортные сети. При анализе транспортных сетей геоинформационные технологии имеют следующие преимущества перед другими информационными технологиями:

- наличие средств создания и объединения графических и табличных баз данных;
- обеспечение многоаспектного визуального представления и пространственного анализа сетевых объектов;
- визуализация информации баз данных в виде тематических карт, графиков и диаграмм;
- возможность прямой привязки друг к другу в режиме HotLink всех атрибутивных и графических данных.

Успешно и выгодно использование ГИС-технологий при анализе массовых перевозок грузов и людей, при анализе пропускной способности транспортных сетей, анализе существующих и потенциальных рынков и районов сбыта продукции и других сфер деловой активности. Конечная цель использования ГИС отвечает требованиям классического маркетинга – наилучшее удовлетворение потребностей и запросов клиентов, причем как в настоящем, так и в будущем. Применение геоинформационных технологий в сфере транспорта [17, 18] имеет место две тенденции:

- возможность оперировать известными понятиями, не прибегая к специальным знаниям в области геоинформатики, что упрощает работу с ГИС;
- применение геоинформационных методов для решения транспортных задач напрямую в разных приложениях. Это требует изучения пользователем основ геоинформатики, в результате этой тенденции появились новые направления в бизнесе – геомаркетинг, бизнес – география и т. д.

С помощью геомаркетинговых [19, 20] исследований бизнесмены Великобритании, Франции, Германии, США и других развитых стран открывают новые торговые точки, осуществляют операции с недвижимостью, ресторанного бизнеса, деятельность коммунальных служб, банковско-финансовой индустрии, на основе демографического анализа и моделирования развивают транспортную сеть, особенно наиболее популярные маршруты.

Одной из острых проблем является создание современных высококачественных транспортных систем с высоким уровнем обслуживания. Строительство таких дорог должно носить своевременный и повсеместный характер. Первым шагом при достижении этой цели должны стать геоинформационные исследования, охватывающие различные области:

- исследования, проводимые в целях определения спроса на строительство дорог;

- анализ и отслеживание текущего состояния и тенденций изменения рынка;
- планирование деловой активности;
- выбор кратчайших и наиболее безопасных маршрутов;
- оптимальный выбор местоположения торговых точек, бензоколонок, гостиниц и т. д.;
- поддержка принятия решения;
- анализ риска материальных вложений и урегулирование разногласий;

Перспективы использования геоинформационных технологий высокие вследствие того, что в завоевании внешнеэкономических рынков качественно новый уровень приобретает транспортное обеспечение. Становится общепринятым использование ГИС в области транспортного планирования, особенно при планировании протяженных транспортных сетей. ГИС стимулировала появление новых методов и технологий в проектировании транспортных сетей, в частности проектирования транспортных коммуникаций. Такое название получил современный процесс выбора трассы для основных транспортных магистралей и иных дорог с учетом многочисленных требований. Одним из перспективных направлений является применение систем спутниковой навигации для контроля и управления транспортными объектами и грузопотоками [21].

При постановке и решении задач, проектирования и принятия решений в системе железнодорожного или автомобильного транспорта надо знать структуру и связи дорожно-транспортного комплекса исследуемого района и строить соответствующие модели. В ряде случаев перепроектировка, или модернизация имеющейся сети может оказаться много эффективнее создания новой, а новая должна стать более экономичной, чем существующая. Выбор проекта по модернизации или радикально реконструкции позволяют осуществить геоинформационные исследования и геоинформационный анализ [22].

Для оптимизации решений в этой области необходимо применение графовых и сетевых моделей. Сетевые модели используют графовые представления. Вершинам графа сопоставляют некоторые типы сущности, представляемые таблицами, а дуги – типы связей. Многие типы сетевых моделей используют для описания экономических, транспортных и организационных систем.

К элементам ГИС технологий при решении некоторых транспортных задач необходимо применение методов геомаркетинга. Геомаркетинговые исследования объединяют в себе:

- построение сетевой модели, применяемой при анализе транспортных сетей, на основе теории графов;
- использование методов структурного анализа;
- организацию автоматизации обработки данных;
- маркетинговые исследования и характеристики транспортных сетей для решения конкретных вопросов.

Геомаркетинг транспорта- связующее звено в неразрывное целое бизнес и геоинформационные технологии. Геомаркетинговые исследования транспортных сетей – это средство, которое должно предшествовать любому проекту в области транспорта: строительству дороги, комплекса услуг, торговых точек, промышленных областей и зон отдыха.

Анализ транспортных сетей требует непрерывного развития, так как сегодня система транспорта – сложная пространственная организация территориальных систем и транспортных предприятий в условиях рынка. Модель этой сложной системы состоит из транспортной сети,

сети транспортных узлов, сети потоков, транспортно-географических отношений.

Эффективное применение геоинформатики для исследования транспортных сетей возможно на основе программных и технологических средств ГИС. В современных условиях широкого использования информации исследование транспортных сетей сопряжено с большим количеством структурированной связанной информации. Хранение и эффективное использование этой информации возможно только на основе использования баз данных.

ГИС являются средством накопления, обработки, анализа, представления и отображения геопространственных данных. Наличие доступной для восприятия и обобщения информации позволяет ответственным работникам сосредоточить свои усилия на поиске решения, не тратя значительного времени на сбор и осмысливание разнородных данных. Можно достаточно быстро рассмотреть несколько вариантов решения и выбрать наиболее эффективный. Кроме этого, визуализация с помощью ГИС пространственных данных позволяет оценивать большой объем данных в совокупности, что невозможно при изучении и анализе данных, хранящихся в таблицах.

При использовании ГИС требуемая для принятия решений информация может быть представлена в лаконичной картографической форме с дополнительными текстовыми пояснениями, графиками и диаграммами. ГИС позволяет значительно облегчить процесс выбора управленческого решения. Принятие решений является важной частью любой управленческой деятельности [23]. ГИС - это не инструмент для выдачи решений, а средство, помогающее ускорить и повысить эффективность процедуры принятия решений, обеспечивающее ответы на запросы и функции анализа пространственных и атрибутивных данных, представления результатов анализа в наглядном и удобном для восприятия виде.

Объекты большой протяженности

Прежде чем говорить об объектах большой протяженности (ОБП), остановимся на объектах, которые не относятся к таковым, или назовем их объектами малой протяженности (ОМП). На рисунках 1 и 2 поясняется различие между ними. При небольших протяженностях (рисунок 1.) поверхность Земли рассматривают как плоскость, что дает возможность применять Декартову систему координат.

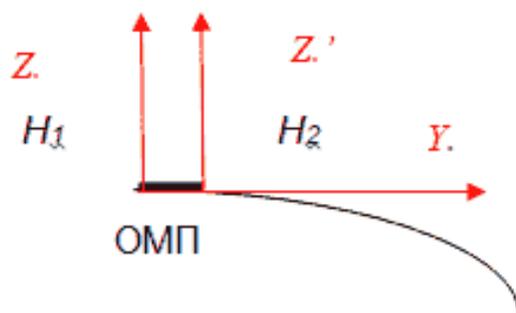


Рисунок 1. Геометрическое свойство объекта малой протяженности

Для ОМП основной является прямоугольная система декартовых координат - X, Y, Z. При перемещении вдоль такого объекта направление высот сохраняется и в разных точках ОМП вектора Z, Z' –параллельны. Это дает возможность применять оптические методы измерений, используемые в геодезии (нивелиры, теодолиты, лазерные светодальномеры). Для проектных задач можно применять программные средства САПР, например Автокад, которые используют

прямоугольные координатные системы.

Поверхность Земли криволинейна, поэтому на практике направление вертикали определяется гравиметрически, т.е. при достаточно большом перемещении по поверхности Земли ось Z в одной точке не будет параллельна оси Z' в другой точке. Это является характерным признаком ОБП. При большой протяженности возникает необходимость учета кривизны Земли (рисунок 2).

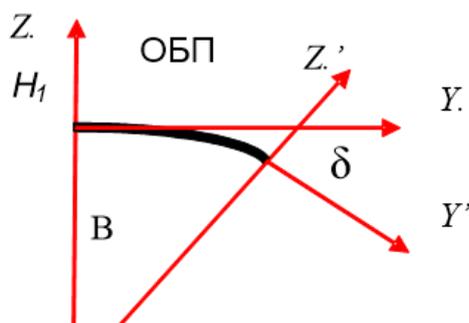


Рисунок 2. Геометрическая особенность объекта большой протяженности

В этом случае применение оптических методов измерений, используемых в геодезии (нивелиры, теодолиты, лазерные светодальномеры) приводит к методической ошибке δ (рис.2). Соответственно применение декартовой системы координат приводит к методическим ошибкам. В свою очередь, применение САПР с прямоугольными системами координат становится недопустимым. Следовательно, необходимо применять либо ГИС либо информационную систему цифровых моделей, учитывающих криволинейность поверхности Земли. Рассмотренная особенность дает основание сделать следующее заключение.

Если, направление вертикали в разных точках объекта не параллельно самой себе, вследствие кривизны Земли, то такой объект будем называть объектом большой протяженности.

Следует отметить, что в различных источниках указываются разные оценки протяженности, при которых следует учитывать кривизну Земли. Наиболее часто [24] указывают размер 22 км. В других источниках говорят о расстоянии 3,6 км [25 стр.147].

Для того, чтобы прояснить данную ситуацию, авторами было проведено исследование, на основании которого были получены данные, в которых рассчитана величина δ (рисунок 2). В таблице 1. даны погрешности определения высоты при расположении ОБП по меридиану или по вертикалу.

Таблица 1.

Влияние кривизны Земли вдоль меридиана на погрешность определения высоты геометрическими методами

Протяженность ОБП (м)	Отклонение δ (м)	Отклонение относительно дуги в %
500	0,01962	0,003924011
1000	0,07848	0,007848022
2000	0,313921	0,015696044
3000	0,706322	0,023544066
3600	1,017104	0,028252879
5000	1,962005	0,039240109
10000	7,84802	0,078480205

20000	31,39206	0,156960313
22000	37,98439	0,172656315
30000	70,63207	0,235440228
40000	125,5679	0,313919853
50000	196,1995	0,392399091
100000	784,7861	0,784786099

Таблица 1 дает основание выбирать протяженность ОБП в зависимости от требуемой точности определения высоты и длинны отрезка измерения.

Аналогично можно рассчитать погрешности при рассмотрении протяженности ОБП вдоль параллелей. Радиусы параллелей уменьшаются в зависимости от увеличения широты и это увеличивает влияние кривизны Земли. Чем больше значение широты, тем меньше радиус, тем существеннее влияние кривизны

Большинство транспортных сетей России расположены в пределах между 50 градусов Северной широты. Радиус кривизны параллели R рассчитывают по формуле [24, 25]

□ и 60

$$R = a \cos B / (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$$

B - широта, a - радиус большой полуоси = 6378245 м

e^2 - квадрат эксцентриситета меридианного эллипса = 0.006738525415.

Эти данные дают основание сделать вывод о том, что справочные данные в упомянутых источниках литературы не являются достаточно обоснованными или применимыми к каким-то специальным задачам. По мнению авторов, оценку кривизны Земли следует выполнять с использованием таблиц, а не какого-то одного значения.

Заключение

Геоинформатика является оптимальным инструментом анализа транспортных сетей. При исследовании транспортных сетей целесообразно применять теорию графов. Объекты большой протяженности разнообразны и существенно отличаются друг от друга. Одними из типичных ОБП являются транспортные сети. Исследование транспортных сетей является незавершенным и требует дальнейшего развития.

Список литературы

1. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I А-М
2. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии - М.: Финансы и статистика, 1998. -288с.
3. Монахов С.В., Савиных В.П., Цветков В.Я. Общая геоинформатика. - М.: Макс Пресс 2004 - 100с.
4. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. - М.: МаксПресс 2005 -360 с
5. Rodrigue J. P., Comtois C., Slack B. The geography of transport systems. – Routledge, 2009.
6. Rodrigue J. P., Comtois C., Slack B. The geography of transport systems. – Taylor & Francis, 2016.
7. Колосовский Н. Н. Теория экономического районирования. – " Мысль", 1969.

8. Никольский И. В. География транспорта СССР. – Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1960.
9. Гольц Г. А. Транспорт и расселение. – Изд-во "Наука", 1981.
10. Василевский Л. И., Полян П. М. Системно-структурный подход и экономическая география // Системные исследования. Ежегодник. – 1978. – Т. 1078. – С. 242-200.
11. Кулибанов Ю. М. и др. Транспортные сети России (системный анализ, управление, перспективы). – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций", 1999.
12. Селиверстов С. А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 2 (24).
13. Бугаевский Л. М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. - М.: "Златоуст", 2000 - 224с
14. Омельченко А.С. ГИС как человеко-машинная система и семь принципов академика Глушкова // Геодезия и аэрофотосъемка. 2006.- №3 - с. 127-133
15. Раклов В. П. Картография и ГИС // учеб.пособие/ВП Раклов.-М.: Академический проспект. – 2011
16. Цветков В.Я. Системный анализ ГИС// Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №1(9). – с.97-103
17. Розенберг Игорь Наумович Геоинформационные системы на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. - №4-2012.- с. 86-90
18. Кужелев П.Д. Геоинформационный мониторинг на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. – 2014. - № 3. - с.83-90
19. Цветков В.Я. Геомаркетинг: Прикладные задачи и методы.- М.: Финансы и статистика, 2002. - 240с.
20. Ковальчук А.В., Перский Г.С., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Геомаркетинг. - М.: МГТУ им. Баумана, 2006 - 95 с.
21. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – с43-50.
22. Майоров А.А. Системный геоинформационный анализ // Перспективы науки и образования- 2014. - №4. – с.38-43
23. Лонский, И.И. Применение ГИС для прогнозирования ситуаций и принятия управленческих решений/ И.И.Лонский, Д.А.Назаренко// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.-№4.-М.:МИИГАиК.-2005.-с.119-126.
24. Боканова А.Н. Геодезия. -М.: Недра, 1987. - 228 с.
25. Топографо-геодезические термины. Справочник. / Б.С. Кузьмин. Ф.Я. Герасимов, В.М. Молоканов и др. - М.: Недра, 1989. - 260 с

УДК: 517.977.1

ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Шайтура С.В.

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

Аннотация

Статья описывает особенности координатного обеспечения цифровой железной дороги при ее большой протяженности. Большой протяженностью называют объект, лежащий в двух и более координатных зонах. Статья описывает обеспечивающие подсистемы цифровой железной дороги. Описаны свойства цифровой железной дороги. Раскрывается содержание проекции Гаусса-Крюгера как основы пространственного построения объектов на поверхности Земли. Показаны принципы построения координатных зон. Описаны проблемы нестыковки объектов на границах координатных зон.

Ключевые слова:

цифровая железная дорога, координатное обеспечение, подсистемы поддержки, координатные зоны

THE PROBLEMS OF COORDINATE MAINTENANCE OF THE DIGITAL RAILWAY

Shaytura S.V.

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

Annotation

The article describes the features of coordinate maintenance of the digital railway with its long extension. A large extension is an object that lies in two or more coordinate zones. The article describes the supporting subsystems of the digital railway. The article describes the properties of the digital railway. The content of the Gauss-Krueger projection as the basis for the spatial construction of objects on the surface of the Earth is disclosed. The principles of construction of coordinate zones are shown. The article describes the problem of inconsistencies in the coordinates of objects at the boundaries of coordinate zones.

Keywords:

digital railway, coordinate support, subsystems of support, coordinate zones

Введение.

Создание цифровой железной дороги (ЦЖД) в большой стране отличается от создания ЦЖД в маленькой стране, например, такой как Дания. С пространственных позиций маленькие страны лежат в одной зоне и при этом не возникает проблем преобразования координат при переходе из одной зоны в другую. С пространственных позиций маленькие страны являются плоскими. Управление в них также может быть «плоским», то есть двухмерной системе координат. Кривизна Земли в таком управлении не учитывается. В большой стране возникает проблема координатных преобразований при переходе из одной зоны в другую. При перемещении на большие расстояния необходимо учитывать кривизну Земли и применять не «плоское», а пространственное управление в трехмерной системе координат.

Особенности и обеспечивающие подсистемы ЦЖД.

Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система должна иметь ряд обеспечивающих подсистем: систему единства времени, единую координатную среду, единую коммуникационную среду, единую управленческую среду, единую радиопрозрачную среду. В системе ЦЖД существует два вида управления: внешнее управление или центрическое и внутреннее самоуправление или субсидиарное [1-3]. Внешнее управление осуществляется «Центром» управления. Внутреннее управление осуществляется самим подвижным объектом

Объекты ЦЖД должны обладать адаптивностью, ситуативностью, самоуправляемостью, коммуникативностью, ресурсностью, интеллектуальностью, когнитивностью, распределенностью.

Адаптивность подвижного объекта ЦЖД (ПОЦЖД) состоит в его возможности самостоятельно без указания диспетчерской службы приспособляться и менять характер движения в зависимости от изменения условий движения.

Ситуативность подвижного объекта ЦЖД (ПОЦЖД) состоит в его способности анализа информационной ситуации [4], как его окружения и как основы для самоуправления движением.

Самоуправляемость подвижного объекта (ПОЦЖД) состоит в его способности к самостоятельному принятию решений. Это свойство возможно при наличии у ПОЦЖД полномочий принятия решений без согласования с центром. В теории управления такое управление называют субсидиарным.

Коммуникативность подвижного объекта (ПОЦЖД) состоит в его возможности обмена информацией между ПОЦЖД, между ПОЦЖД и Центром, между ПОЦЖД и внешней радио-прозрачной средой.

Ресурсность подвижного объекта (ПОЦЖД) состоит в наличии в нем внутренних ресурсов (резервов) для их использования в случае возникновения нештатных ситуаций и использования внутренних ресурсов для преодоления проблем.

Интеллектуальность ПОЦЖД является условной или ограниченной в сравнении с интеллектуальными транспортными системами. Она обусловлена наличием в нем распределенной системы анализа, собственными вычислительными ресурсами и наличием интеллектуальной системы принятия решений. Интеллектуальность ПОЦЖД создает возможность оперативного принятия решений в ситуациях, при которых человеческий интеллект не способен принять решение в такие же временные сроки. Интеллектуальность ПОЦЖД означает возможность оперативного принятия решений в нештатных ситуациях, которые ранее в практике движения и управления не встречались. Интеллектуальность ПОЦЖД означает возможность не только принятия решений в нештатных ситуациях, но и накопления опыта в виде запоминания прецедента и выработки новых правил.

Когнитивность ПОЦЖД означает возможность подключения человеческого интеллекта или моделей принятия решений человеком к системе внутреннего управления.

Распределенность ПОЦЖД означает применения распределенной системы анализа и управления подвижным составом, которая имеет своим аналогом технологию интернета вещей.

Рассмотрим обеспечивающие подсистемы. Система единства времени нужна для согласования движения совокупности ПОЦЖД и для контроля и управления всей системой ЦЖД из центра. Единая коммуникационная среда нужна для беспрепятственного прохождения информационных потоков между ПОЦЖД и между ПОЦЖД и Центром. Единая

радиопрозрачная среда нужна для обеспечения информацией о нахождении объектов по отношению друг к другу и по отношению к системе координат ЦЖД.

Единая управленческая среда формируется как синтез всех перечисленных сред, включая координатную среду. Единая управленческая среда означает, что Центр управления в любой момент времени осведомлен о положении и состоянии всех подвижных объектов ЦЖД и о состоянии инфраструктуры ЦЖД. С понятием единой управленческой среды связана система мониторинга транспортных объектов, которая является частью управления и управленческой среды.

В заключение оставлена на рассмотрение единая координатная среда, поскольку именно в ней возникает проблематика. Единая координатная среда решает три задачи. Первая задача состоит в создании технологической и математической среды или информационного пространства, в котором существует возможность оперативного определения координат любого объекта подвижного и неподвижного. Вторая задача состоит в создании пространственного описания или пространственной трехмерной модели ЦЖД и ее инфраструктуры с необходимой точностью. Эту задачу можно назвать задачей статического информационного описания. При решении этой задачи возникает необходимость использования геоданных, как пространственного средства описания и системного объекта [5]. Третья задача Единой координатной среды состоит в позиционировании всех ПОЦЖД в реальном режиме времени. Эту задачу можно назвать задачей динамического информационного описания. При управлении железной дорогой она связана с динамической моделью геоданных [6]. Проблем больших стран связана с созданием единой координатной среды, когда возникает необходимость перехода из одной зоны в другую.

Проекция Гаусса — Крюгера.

Вся земная поверхность разбита на зоны ограниченные меридианами отстоящими друг от друга на 6° , с порядковой нумерацией начиная от Гринвичского меридиана на восток. Всего 60 зон [7-9]. Для каждой зоны точкой отсчёта является пересечение осевого меридиана с экватором. Такая схема основана на проекции Гаусса — Крюгера. На рисунке 1 показана координатная зона как область, ограниченная двумя меридианами часть земной поверхности, изображаемая на плоскости в прямоугольных координатах проекции Гаусса – Крюгера. Она имеет размеры в 6° или 3° по долготе. Средний меридиан зоны является осью абсцисс, экватор – осью ординат [10, 11].

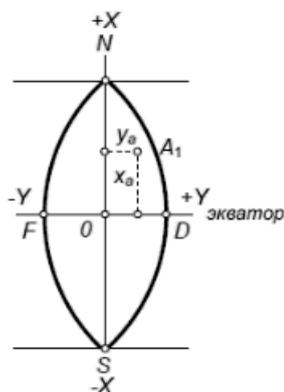


Рисунок 1. Координатная зона.

Проекция Гаусса - Крюгера - поперечная цилиндрическая равноугольная проекция, созданная немецкими учёными К. Гауссом и Л. Крюгером. Применение проекции даёт

возможность изобразить участки земной поверхности и построить на этой территории систему плоских координат. Эта система является основной при проведении инженерных и топографо-геодезических работ и выносе проектов в натуру.

В результате исследований было установлено, что оптимальные размеры территории должны быть разбиты на зоны и ограничиваться меридианами, отстоящими друг от друга на 6° . Эту фигуру называют сфероидальный двуугольник. Его размеры: 180° по широте (от полюса до полюса), и 6° по долготе. Несмотря на то, что площадь зоны в проекции (зоны Гаусса) будет увеличенной, относительные искажения длин в отдалённых от среднего меридиана точках экватора на границе зоны составит $1/800$. Максимальные искажения длин в пределах зоны составляет $+0,14\%$, а площадей — $+0,27\%$, а в пределах.

Максимальные искажения длин в пределах зоны составляет $+0,14\%$, а площадей — $+0,27\%$, а в пределах России — ещё меньше (примерно $1/1400$). Таким образом, искажения длин и площадей в пределах зоны меньше, чем искажения, возникающие при печати карты за счёт деформации бумаги. Изображение зоны в проекции Гаусса практически не имеет искажений и допускает любые карто- и морфометрические работы.

В проекции Гаусса-Крюгера издается большая часть топографических карт в России. Эта проекция основана на предварительном разбиении поверхности эллипсоида на зоны и последующем проектировании каждой зоны на цилиндрическую поверхность, что создает особый тип развертки эллипсоида (рис.2.) . В данной проекции без искажений изображается один, осевой меридиан. Территория вне осевого меридиана искажается конформно, то есть с сохранением форм бесконечно-малых участков. По мере удаления от осевого меридиана искажения масштаба нарастают. Поэтому в данной проекции изображают территорию, расположенную вдоль осевого меридиана, шириною по долготе 6° . Территории, простирающиеся в направлении параллелей, делят на координатные зоны и изображают по частям. При этом каждая зона имеет свою систему координат, что усложняет решение задач на стыках между зонами. Для железнодорожной магистрали проекция удобна только в том случае, если магистраль расположена в одной зоне, то есть имеет направление, близкое к направлению меридиана [12]. На рисунке 2 схематически показано изображение координатных линий на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера.

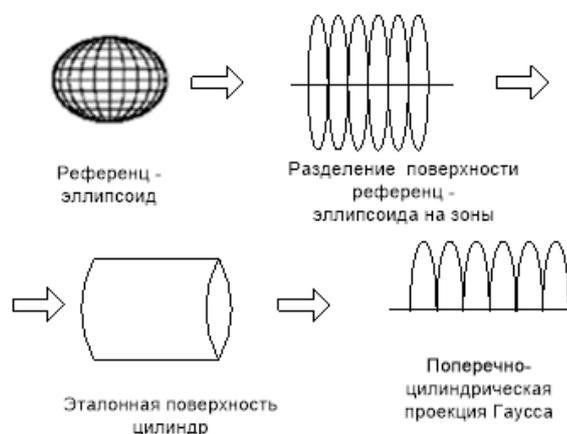


Рисунок 2. Построение поперечно-цилиндрической проекции Гаусса

Осевой меридиан и экватор изображаются прямыми линиями. Начало координат - в их пересечении. Ось x направлена по осевому меридиану в сторону северного полюса P , ось y – по экватору на восток. Меридианы и параллели изображаются кривыми $L=\text{const}$ и $B=\text{const}$. Чтобы в западной половине зоны не иметь отрицательных значений ординат y , к ним прибавляют одинаковое число (обычно 500 км).

Существующие в России железные и автомобильные дороги, линии ЛЭП, трубопроводы различного назначения могут проходить через несколько координатных зон, которые имеют значительные искажения на краях зон, что создаёт значительные проблемы при расчетах на границах зон.

На рисунке 3. показано влияние искажений на границах соседних зон на изображение объекта большой протяженности. Один и тот же объект «А» изображается в двух соседних зонах в виде двух разорванных графических частей A_1 в первой зоне и A_2 во второй.

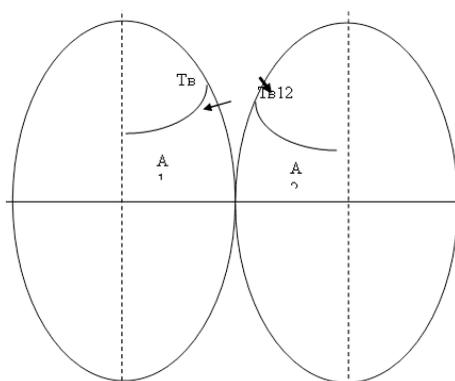


Рисунок 3. Влияние искажений на границах зон на картографическое отображение протяженных объектов

Пунктиром показаны осевые меридианы. Наличие искажений может привести к тому, что точка входа первой части объекта T_{12} во вторую зону не совпадет с частью объекта A_2 , точка входа второй части объекта T_{21} в первую зону не совпадет с частью объекта A_1 . Это практически исключает использование мелкомасштабных карт для анализа ОБП.

Один из подходов состоит в том, чтобы создать базу данных содержащую разномасштабную классифицированную информации, позволяющую работать в местных системах координат в крупных масштабах и привязывать результаты обработки к классификационной системе топографических карт в последующем.

Следует отметить такие важные исследования в этой части как использование специальных картографических проекций, таких как косоугольная картографическая проекция профессора В.А. Коуги, дающая минимальные искажения для выбранного направления (магистральной) линейного объекта и соответствующая ей система прямоугольных координат. Проекция и система координат ориентированы на применение самых современных – спутниковых технологий построения опорных геодезических сетей и информационных технологий математической обработки измерений.

При пространственном управлении необходимо использовать цифровые модели [13]. По мнению автора настоящей работы, цифровые модели имеют ряд преимуществ перед картографическими проекциями.

Во-первых, они свободны от искажений, присущих картографическим проекциям. Во

вторых, они могут вычисляться в геоцентрических координатах и непрерывно преобразовываться в системы местных координат вдоль всего протяженного объекта, если в этом возникнет такая необходимость. Этим исключается зависимость от зон.

Однако при этом возникает проблема, обусловленная необходимостью сопоставимости старых и новых информационных источников. В настоящее время используется документация (включающая карты и планы), которая опирается на существующую с давних времен разграфку систему номенклатуры топографических карт.

Необходимо обеспечить сопоставимость новой проектной документации (на основе цифровых моделей и карт и моделей обеспечивающих контроль за безопасностью движения на основе спутниковых радионавигационных систем) со старыми картами, хранящимися в архивах и фондах железных дорог. Это осуществляется использованием базы данных, в которой создана единая система классификации, опирающаяся как на старую номенклатуру карт, и включающую систему классификации цифровых карт и цифровых моделей.

Заключение.

Особенность картографического представления пространственной информации (использование поперечной цилиндрической проекции Гаусса) создает трудности при стыковке крупномасштабной информации на границах зон, размеры которых 550 км по экватору. Эта проблема не возникает для стран, лежащих внутри одной зоны, но возникает для протяженных объектов, длина которых превышает 550 км. Это имеет прямое отношение к РЖД. Для эффективного использования ЦЖД необходимо переходить от картографического обеспечения к трехмерным цифровым моделям. Для их эффективного и стандартизованного использования необходимо разработать систему их классификации и системы их стандартов обмена. Геоданные представляют собой вид данных, включающих топологию и пространственную информацию их применение также является перспективным направлением развития ЦЖД.

Список литературы

1. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - с.40-43.
2. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - с.165-169.
3. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления // Государственный советник. – 2017. - №1. – с.10-15.
4. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181.
5. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук, 2014, том 84, № 9, с. 826–829.
6. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. - №8. – с. 48-51
7. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР. Энциклопедия. В 2 томах. / Под редакцией А.В. Бородко, В.П. Савиных. - Москва, 2008. Том I А-М
8. Христов В. К. Координаты Гаусса-Крюгера на эллипсоиде вращения. – Геодезиздат, 1957.
9. Закатов П. С. Курс высшей геодезии //М.: Недра. – 1976. – С. 346-347.
10. Афонин К. Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса-Крюгера //Интерэкспо Гео-

Сибирь. – 2009. – Т. 1. – №. 1.

11. Макаров А. П. Исследование формулы масштаба в проекции Гаусса-Крюгера для 12-градусных координатных зон // Геодезия и картография. – 2014. – №. 9. – С. 2-4.

12. Цветков В. Я., Омельченко А.С Особенности построения моделей объектов большой протяженности в геоинформатике. // Фундаментальные исследования. - 2006. - №4. - с.17.

13. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – с.82-91

УДК: 656.052

ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА КАК СЛОЖНАЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

- Буравцев А. В.** зам. директора Института информационных технологий и автоматизированного проектирования, МТУ (МИРЭА), E-mail: mister_j@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья анализирует цифровую железную дорогу. Раскрываются особенности цифровизации. Используется системный подход для анализа цифровой железной дороги. Статья дает несколько формальных моделей описания цифровой железной дороги. Описано многоцелевое управление транспортными средствами. Описано применение метрики Холстеда для оценки сложности вычислительной компоненты цифровой железной дороги.
- Ключевые слова:** транспорт, цифровая железная дорога сложные системы, сложные организационно технические системы, многоцелевое управление, интеллектуальное управление

DIGITAL RAILWAY AS A COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

- 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 analyzes the digital railway. The article reveals the features of digitalization. The article applies a systematic approach for analyzing the digital railway. The article provides several formal models for describing the digital railway. The multi-purpose management of vehicles is described. The application of the Halstead metric to evaluate the complexity of the computational component of the digital railway.
- Keywords:** transport, digital railway complex systems, complex organizational technical systems, multipurpose management, intelligent control

Введение.

Цифровая революция произошла в начале 80-х годов, но цифровые технологии не потеряли своей актуальности и продолжают развиваться. В сфере транспорта цифровые технологии охватывают инфраструктуру, транспорт и логистику [1]. Как один из результатов развития цифровых технологий появилась модель цифровой железной дороги. Другое направление, которое привело к появлению феномена цифровой железной дороги это цифровая экономика. Третье направление, которое связано с цифровой железной дорогой - автоматизация управления транспортными системами. Четвертое направление, которое привело к появлению цифровой железной дороги как системы – интеллектуальные транспортные системы [2, 3]. Пятое объединенное направление, которое способствовало созданию цифровой железной дороги - распределенные системы [4], технологии Интернета вещей [5] и транспортные киберфизические системы [6]. Шестое направление, которое помогло реализовать технологии цифровой железной дороги это системная инженерия и программная инженерия [7]. Таким

образом, цифровая железная дорога (ЦЖД) представляет собой интегрированный комплекс и является многоаспектным понятием. Сводить такой комплекс к одному направлению – некорректно и это впадение в известную «догму одномерности», когда сложное полисемическое явление обозначают одним словом или одним определением.

Следует отметить терминологическую особенность Широко применяемые в геоинформатике и других науках термины цифрование, дигитализация, цифровизация соответствует английскому термину digitalization. В России термин дигитализация стандартизован в ГОСТ Р 52438-2005. В цифровой экономике применяют термин digitization, который буквально означает отцифровка. Однако в области экономики и транспорта в России ему ставят другой русский эквивалент, не стандартизованный термин «цифровизация». С точки зрения лингвистики это не верно, но с технологической точки зрения оправдано, чтобы отличить классическую дигитализацию (в геоинформатике) от цифровых методов управления в ЦЖД. В российской литературе термин «цифровизация» используют, но не поясняют. Контекстно вытекает, что он обозначает технологию получения дискретной информации для обработки ее на компьютере и хранении в базе данных.. Цифровизация в первоисточнике имеет иное значение, о котором в российских публикациях не говорят. Исходя из направлений развития, цифровая железная дорога может быть рассмотрена как комплексная сложная система, в частности как сложная организационно техническая система. Это дает основание применять системный анализ и системный подход при ее исследовании.

Сложные организационно технические системы.

Сложные организационно технические системы (ЦЖД) также как и ЦЖД являются интеграцией разных направлений. В первую очередь это организационные системы [8]. Организационная система является методологической основой СОТОС и ЦЖД, поэтому целесообразно рассмотреть ее особенности.

Под организационной системой (ОС) понимают объединение, которое реализует некоторую программу или цель, и действующих на основе определенных процедур и правил [8]. Наличие процедур и правил, которые регламентируют совместную деятельность участников организации, является ключевым свойством и отличает организацию от коллектива или группы. Как система организационная система обладает внутренней упорядоченностью, информационной согласованностью взаимодействия и наличием дифференцированных и автономных частей образующих структуру [9]. Данные свойства ОС приобретает благодаря внутренним и внешним информационным взаимодействиям, ведущим к образованию и совершенствованию взаимосвязей между частями целого [9]. Применительно к ОС совокупность процедур, законов и правил, регламентирующих взаимодействие участников ОС называются механизмом информационного взаимодействия, а сочетание процедур анализа и принятия управленческих решений – механизмом управления. Эти механизмы определяют, как члены организации принимают решения и как ведут себя по отношению друг к другу.

При выборе той или иной процедуры принятия решений, управляющий орган должен уметь предсказывать поведение управляемых субъектов – их реакцию на управляющие воздействия. Для этого используется информационное моделирование [10, 11], а для транспорта пространственное моделирование [12], при котором создаются и анализируются модели исследуемых объектов.

С помощью адекватной модели можно проанализировать реакции управляемой системы, а потом выбрать и использовать то управляющее воздействие, которое приведет к требуемой

реакции. Использование моделей и механизмов управления позволяет предсказывать поведение управляемых субъектов, а с точки зрения последних – делает предсказуемым поведение управляющего органа. За счет использования механизмов анализа и информационного взаимодействия происходит снижение неопределенности, что является одним из ключевых свойств любой организационной системы. Это является важным фактором управления ЦЖД.

Модель организационной структуры описывается:

- составом ее участников, т.е. ее элементов;
- структурой, т.е. совокупности управляющих, технологических, информационных и других связей между ее участниками;
- множеством допустимых стратегий ее участников, отражающих различные виды ограничений и норм их совместной деятельности;
- предпочтениями ее участников;
- информированностью, т.е. обладанием участниками информацией о существенных параметрах в момент принятия решений касающихся выбираемых стратегий;
- порядком функционирования, т.е. последовательностью получения информации и выбором стратегий участниками системы.

ОС используются для решения задач, у которых заведомо отсутствуют схемы решения по причине их (новизны и проблематичности). Примерами ОС служат различного рода проектные, управленческие и другие подобные организации, а также коллективы людей и даже в некоторых случаях отдельный человек. Основными структурными элементами ОС являются люди, которые осуществляют преобразование ресурсов данной системы.

К организационным относят также социотехнические системы, которые включают социально-экономические, транспортные [13], фискальные [14] и другие подобные системы. Организационная система относится к классу сложных систем, при наличии масштабности и сложности. Управление данными системами, как правило, происходит при наличии различного вида неопределенностей, при условии жестких временных ограничений, при недостаточном объеме знания закономерностей функционирования системы и постоянном изменении обстановки, в которой она функционирует. Развитием или усложнением организационных систем являются сложные организационно-технические системы.

Современные системы управления на транспорте, действуют в более сложных и масштабных ситуациях, чем ранее. Источником сложности ситуаций служит качественное многообразие взаимосвязанных событий и объектов, и топологическое строение структур сети, в которой находятся объекты управления. Сложность мешает объективно связать причины и следствия и затрудняет использование логики первого порядка. Сложные организационно-технические системы (СОТС) являются результатом интеграции сложных систем [15, 16]. Их применение требует интеграции знаний из разных областей и учета множества факторов. Некоторые из факторов нематериальны и не всегда поддаются количественной оценке. Например, как эффективно используются информационные ресурсы данной организации в сравнении с другими организациями, насколько сравнительно эффективно качественное управление, насколько когнитивной или интеллектуальной является система управления. Качественные факторы и их оценки часто получают на основе когнитивных методов, что и предопределяет название таких систем как организационно-технические. В настоящее время сложные организационно-технические системы нуждаются в развитии. Как системы они занимают промежуточное состояние между автоматизированными системами и интеллектуальными

системами. По масштабу они относятся к сложным и большим системам.

Особенности ЦЖД как сложной системы.

В силу специфики ЦЖД оперируют характеристиками, которые не применимы к другим системам управления. Многие сложные организационно-технические системы действуют в условиях конкуренции или противодействия. В этих условиях саморазвитие ЦЖД является важным фактором выживания и достижения цели. В этих условиях возникает необходимость введения элемента саморазвития и самообучения в систему ЦЖД. Сложность задач решаемых ЦЖД приводит к необходимости применения интеллектуальных технологий или интеллектуальных транспортных систем. При внимательном рассмотрении ЦЖД включает две части подвижную и стационарную. Стационарная включает инфраструктуру с цифровыми, информационными и интеллектуальными технологиями. Подвижная часть включает «умный поезд» который многие решения принимает за такие короткие сроки, за которые человек не способен даже воспринять информацию.

Следовательно, ЦЖД работает за порогами когнитивных факторов восприимчивости и интерпретируемости ситуации человеком. Этим создается интеллектуальное преимущество ЦЖД перед человеком. Полное преимущество ЦЖД складывается из совокупности локальных преимуществ системы в различных сферах деятельности: материальной, энергетической и информационной. Достижение интеллектуального и информационного преимущества [17] является важным фактором ЦЖД. Впервые феномен интеллектуального преимущества, выраженный через увеличение оперативности действий и синергию результата действий был выявлен военными. Одной из причин не учета этой характеристики при управлении является отсутствие обоснованной концепции интеллектуального управления и не желание чиновников управленцев признавать преимущество за системой по отношению к человеку.

В широком смысле под ЦЖД понимают множество мини систем, находящихся в отношениях и связях друг с другом. В совокупности эти автономные системы образуют целостность, единство и обладают эмерджентностью [18]. Совместное действие и взаимодействие мини систем ЦЖД может изменяться в зависимости от информационной ситуации и целей. Необходимо отличать понятие «ЦЖД», как технический объект от понятия ЦЖД как технологический объект [19].

Для формального описания ЦЖД воспользуемся аппаратом теории систем. По мере усложнения формальное определение будет усложняться. В качестве первого описания рассмотрим систему ЦЖД как модель

$$\text{ЦЖД} = \langle E, C, R \rangle, \quad (1)$$

где E – множество минисистем; C – множество связей между мини системами. R – множество отношений в ЦЖД. Выражение (1) определяет ЦЖД как совокупность мини систем, взаимодействующих друг с другом и со средой. Второе описание включает структуру ЦЖД [20]

$$\text{ЦЖД} = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R \rangle, \quad (2)$$

где Ps – совокупность подсистем ЦЖД; Pr – совокупность частей ЦЖД. Str – структура ЦЖД. Остальное то же, что и в (1). Это определение указывает, что ЦЖД состоит из разнородных частей и имеет структуру. Если переходит от абстрактной системы к конкретной

ЦЖД, необходимо отметить наличие цели. В этом определении добавим к уже рассмотренному кортежу – множество целей G . Таким образом, ЦЖД представляет кортеж вида:

$$\text{ЦЖД} = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G \rangle, \quad (3)$$

Реальная система ЦЖД может иметь несколько целей, то есть быть многоцелевой [21, 22]. Эта модель ЦЖД является закрытой. Поэтому следующее определение ЦЖД включает входы и выходы.

$$\text{ЦЖД} = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out \rangle, \quad (4)$$

В выражении (4): int - множество входов, out - множество выходов системы. Наличие входов и выходов системы отделяет ЦЖД от среды и позволяет моделировать взаимодействие ЦЖД со средой. Границы взаимодействия со средой во многих случаях определить сложно. В качестве критерия, позволяющего определить эти границы, выбирают силу связей между элементами. Это позволяет выделить из системы части и определить границы ЦЖД. ЦЖД как система существует, когда сила связей между мини системами ЦЖД сильнее силы связей со средой. В ряде случаев используют понятия «закрытая» (3) и «открытая» (4) система, подразумевающая наличие и отсутствие связей со средой. Закрытые системы можно рассматривать как некоторую абстракцию, применяемую для целей исследования.

В ряде случаев необходимо учитывать, что функционирование ЦЖД происходит в пределах некоторого интервала времени. В большом это интервал жизненного цикла ЦЖД (LC). В малом это интервал достижения ЦЖД своих локальных целей (ΔT). В этом случае рассматриваются процессы, происходящие в ЦЖД и в среде, учитывается динамика функционирования ЦЖД. При этом определение должно быть дополнено параметром LC -жизненного цикла системы и временем достижения цели (ΔT):

$$\text{ЦЖД} = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T, LC \rangle, \quad (5)$$

. Важной характеристикой ЦЖД является включение когнитивных факторов [23, 24] в ее функционирование. При этом когнитивные факторы могут функционировать как часть интеллектуальной системы. А не как человеческое участие. Включение когнитивного фактора Cog в систему формирует полную системную модель ЦЖД, которая может быть описана как

$$\text{ЦЖД} = \langle Ps, Pr, Str, E, C, R, G, int, out, \Delta T, LC, Cog \rangle, \quad (6)$$

Выражение (6) описывает модель ЦЖД и показывает, что она является усложнением сложной системы (выражения 1-5). Поскольку ЦЖД обладает свойством эмергентности, ее нельзя исследовать, только на основе анализа ее частей. Исследование системы только методом декомпозиции, т. е. методом разложения целого на части, является недостаточным, так как оно сводится к исследованию лишь ее отдельных частей. Исследование будет полным в том случае, когда будет применен метод интеграции, позволяющий синтезировать целое из элементов ЦЖД.

Оценка сравнительных характеристик ЦЖД.

Представляет интерес получение сравнительных оценок ЦЖД для сопоставления друг с

другом и внутреннего сопоставления. ЦЖД представляет собой технологическую, программную и техническую системы. Рассматривая ЦЖД как вычислительную систему можно сделать оценить ее сложность на основе метода Холстеда. Следует отметить наиболее известные методы оценки программно- вычислительных: метрика Холстеда [25], метрика Джилба [26], цикломатическая сложность МакКейба [27]. Данные характеристики основаны на количественном подсчете лексем языка программирования или языка интеллектуального программирования, а также оценке сложности графа информационных потоков. Концепция Холстеда состоит в том, что вычислительная программа есть набор операторов и операндов. То есть с вычислительных позиций можно рассматривать ЦЖД как совокупность операторов и связанных с ними операндов. Метрики Холстеда основаны на подсчёте этих совокупностей. Основная проблема анализа - что считать «оператором», а что «операндом»? Авторы работы [28] предлагают считать операндами переменные, параметры и константы, а синтаксические элементы языка, названия атрибутов этих элементов считать операторами. При переносе этих идей в информационное поле [29, 30] операндами становятся декларативные информационные единицы. Соответственно, прескриптивные [31] информационные единицы можно считать операторами. Входными данными метода Холстеда являются следующие характеристики:

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

n_2 - количество уникальных операндов, описывающих модель ЦЖД.

N_1 - общее количество встречающихся в исходном коде операторов.

N_2 - общее количество встречающихся в исходном коде операндов.

Все остальные характеристики рассчитываются на основе этих параметров выше значениях. Длина (N) алгоритмической или интеллектуальной части ЦЖД как программы P рассчитывается по формуле:

$$N = N_1 + N_2$$

Длина дескриптора ЦЖД определяется как $n = n_1 + n_2$

Информационная длина программы рассчитывается по формуле $N' = n_1 \log_2 n_1 + n_2 \log_2 n_2$

Позже было разработано выражение [32], дающее более точные оценочные характеристики на примере некоторых языков. Формула информационной длины программы по Дженсену имеет вид:

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

Объем (V) программы (в нашем случае алгоритмической части ЦЖД) определяется Холстедом в своей книге [33] как: Подходящая метрика размера любой реализации любого процесса; Количество возможных вариантов реализации процесса. Параметр V вычисляется по следующей формуле:

$$V = N \log_2 n$$

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

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

Критерий L_P отражает уровень эффективности реализации вычислительного процесса. Известно, что один и тот же вычислительный процесс можно реализовать различными способами. Поэтому данная характеристика применима для сравнения между двумя одинаковыми алгоритмами, выполненными на одном и том же формальном языке с помощью разных подходов. Значение L_P находится на интервале $[0; 1]$. Если считать, что формализованные процессы являются эталонными (для одного случая это допустимо) то для этого случая $L_P = 1$. Принятие единичного уровня ЦЖД не противоречит понятиям метрик Холстеда. Сложность ЦЖД, согласно Холстеду, D обратно пропорциональна её уровню:

$$D = 1 / L_P$$

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

$$I = V L_P$$

Использование ЦЖД для многоцелевого управления.

Управление с выбором цели является сложным видом управления, который часто возникает при управлении транспортными объектами. Примером является появление информационной ситуации в процессе перевозки, когда возникает необходимость изменения маршрута доставки груза или перегрузки с одного вида транспорта на другой. Многоцелевое управление является многокритериальным. Множества критериев часто по-разному организованы, что приводит к многовариантности выбора целей. Многоцелевым управлением называют управление [34] при котором существует несколько возможных целей и выбор конкретной цели осуществляют исходя из оперативной информационной ситуации [35-37]. Выбор цели означает решение задачи доставки груза от точки погрузки до точки разгрузки, при переменном критерии оптимизация [34]. Например, при перевозках могут возникать информационные ситуации с разными условиями оптимальности.

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

Ситуация 2. Оптимальность — минимальное время доставки А→ Б.

Ситуация 3. Оптимальность — минимальная стоимость доставки А→ Б.

Ситуация 4. Оптимальность — минимизация затрат на аренду склада Б.

Ситуация 5. Оптимальность — минимизация риска перевозки груза А→ Б.

Ситуации 1-5 являются основанием для применения многоцелевого управления. При этом возможно множество вариантов и комбинаций ситуаций, которые также требуют многоцелевого управления. Внешняя среда оказывает воздействия на объект управления. В аспекте изменения цели можно оценить воздействия внешней среды или внешних факторов по двум альтернативным критериям: существенным или несущественным по выбору цели [35].

Существенным по выбору цели называют воздействие на объект, которое требует изменения

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

Следует также подчеркнуть различие между вектором многих целей и вектором цели. Вектор многих целей – это вектор, компонентами которого являются параметры разных целей. Вектор цели – это вектор, компонентами которого являются ключевые показатели одной цели. Многоцелевое управление включает три группы: векторные, матричные, многомерные методы.

Векторное многоцелевое управление означает, что существует вектор выбора цели с компонентами (C_i) и динамический вектор набора целей с компонентами (T_i) . При этом между (C_i) и (T_i) существует однозначное соответствие. Такая ситуация означает тому, что вектору условий (C_i) соответствует вектор целей (T_i) . Эта группа многоцелевого управления описывается с помощью правил Ru выбора целей и является нормативной.

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

или

$$Ru: \quad \text{Op1} | C_i > \rightarrow | T_i >$$

Оба вектора имеют одинаковую вариантность, то есть они оба являются векторами-столбцами. $Op1$ – оператор линейного преобразования. Здесь $i=1, n$; n - число целей. Этот вид управления наиболее простой.

Матричное многоцелевое управление означает, что существует множество условий выбора цели (C_i) и множество целей (T) , множество факторов изменения условий выбора целей (W_k) . Такая ситуация приводит к тому, что вектору условий (C_i) и множеству факторов изменения условий выбора целей (W_k) соответствует матрица целей (T_{ik}) . Матрица целей формируется как результат векторного произведения ковариантного вектора C_i (вектора столбца) на контрвариантный вектор W_k (вектор строку). То есть

$$[T_{ik}] = | C_i > < W_k |$$

Векторное произведение некоммутативно и перемножение этих векторов в обратном порядке понижает ранг и приводит к получению некой скалярной величины, то есть

$$\Phi = < C_i | W_i >$$

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

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

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

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

Поэтому во многих случаях при перевозке грузов необходимо учитывать все связанные факторы в комплексе, что возможно только при использовании предварительного коррелятивного анализа [38]. Учет коррелятивных факторов, в том числе и латентного характера, позволяет учитывать динамику критериев оптимальности и выбирать правильную цель при изменении ситуации. Другими словами, ключевые факторы вектора цели, которые при первичном решении задачи считают стационарными и независимыми, при изменении состояния объекта или изменении внешней среды могут влиять друг на друга и становиться зависимыми и нестационарными.

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

Рассматривая управление с автоматическим выбором цели, следует отметить, что управление согласно правилам Ru требует решения задач первого рода. Управление согласно правилам Rum требует решения задач второго рода [39]. Решение задач второго рода при управлении транспортом возможно только при применении ЦЖД.

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

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

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

Заключение.

Комплексы ЦЖД являются одним из сложных систем. Они позволяют решать задачи при управлении, не приемлемые для других систем [40]. Проведенный анализ показал, что ЦЖД является самоорганизующейся, динамической системой, предназначенной для решения сложных задач с учетом выбора нескольких целей. ЦЖД характеризуются допустимой изменчивостью структуры и выполняемых функций, а также использованием человеко-машинных комплексов. Элементы ЦЖД являются самоуправляемыми в пределах заданной системы правил. Можно выделить основные направления развития применения ЦЖД. Развитие ЦЖД сопряжено с изучением и использованием закономерностей информационного поля. Важным направлением является применение методов когнитивного машинного управления в технологиях ЦЖД. Существенным является проблема обработки больших данных и больших

графов как возможных маршрутов движения. Основой развития ЦЖД является исследование и применение модели информационной ситуации и сопряженных с ней моделей информационного преимущества и информационной позиции. Важным направлением развития ЦЖД является применение метода прецедентов и эвристического управления для анализа и управления. Развитие ЦЖД связано с системным анализом и развитием теории сложных систем.

Список литературы

1. Markelov V.M. The Application of Information Units in Logistics// *European Journal of Technology and Design*, 2014, Vol.(6), № 4, p. 176-183.
2. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – 4(4). – с.45-53.
3. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297 с. ISBN: 978-3-659-15742-4.
4. Таненбаум Э. и др. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2003.
5. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
6. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – 3(3). – с.3-15.
7. Дешко И.П., Кряженков К.Г., Цветков В.Я. Системная и программная инженерия: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 80 с.
8. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – с. 584.
9. Ильичёв Л. Ф., Федосеев П. Н., Ковалёв С. М., Панов В. Г. *Философский энциклопедический словарь*. — М.: Сов. Энциклопедия, 1983. — с. 840.
10. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // *Наука и технологии железных дорог*. – 2017. – 2(2). – с.2-10.
11. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // *Наука и технологии железных дорог*. - 2017. -2(2). – с.60-75.
12. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // *European researcher. Series A*. 2013. №10-1(60). с.2386-2392.
13. Буравцев А.В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // *Наука и технологии железных дорог*. - 2017. -3(3). – с.48-58.
14. Буравцев А.В. Фискальная кадастровая подсистема // *Науки о Земле*. – 2017. - № 3. - с.74-85.
15. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А. Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой- М.: МаксПресс, 2010.-136с.
16. Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы // *Перспективы науки и образования*. - 2015. - №2. – с.44-50.
17. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // *European researcher. Series A*. 2014, Vol.(86), № 11-1, pp.1901-1909.
18. Цветков В.Я. Эмерджентизм // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
19. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // *Перспективы науки и образования*- 2014. - №1. – с38-43.

20. Воронин А. А., Мишин С. П. Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №. 8. – С. 136-150.
21. Кужелев П.Д. Интеллектуальное многоцелевое управление // Государственный советник. – 2014. - №4. – с65-68.
22. Атиенсия В., Дивеев А. И. Синтез интеллектуальной системы многоцелевого управления // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – №. 6.
23. Номоконов И.Б. Когнитивные методы при лучевой диагностике. Монография - М.: МАКС Пресс, 2016. - 60с.
24. Александров А.В. Когнитивные информационные конструкции // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №4 (16). – с.92-98
25. Magel K., Kluczny R. M., Harrison W. A., Dekock A. R. Applying software complexity metrics to program maintenance. — 1982.
26. Gilb T., Finzi S. Principles of software engineering management. Vol. 11. —Addison-Wesley Reading, MA, 1988.
27. McCabe T. J. A complexity measure // IEEE Transactions on software Engineering.— 1976. — No. 4. — pp. 308–320.
28. Karus S., Dumas M. Predicting the maintainability of XSL transformations // Science of Computer Programming. — 2011. — Vol. 76, no. 12. — Pp. 1161–1176.
29. Цветков В. Я. Естественное и искусственное информационное поле// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2014. - №5, ч.2. – с.178 -180.
30. Кудж С.А. Информационное поле: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с. ISBN 978-5-317-05530-1.
31. Цветков В.Я. Дескриптивные и прескриптивные информационные модели // Дистанционное и виртуальное обучение– 2015. - №7. - с.48- 54.
32. Singh G., Singh D., Singh V. A study of software metrics // IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management. — 2011. — Vol. 11. —Pp. 22–27.
33. Halstead M. H. Elements of software science. Vol. 7. — Elsevier New York, 1977.
34. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
35. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций// Дистанционное и виртуальное обучение- 2014. - №5. - с.4- 11.
36. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – с.176-181.
37. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – с.39-44.
38. Кудж С.А. Коррелятивный анализ как метод познания // Перспективы науки и образования- 2013. -№5. – с.9 -13.
39. Цветков В.Я. Решение задач второго рода с использованием информационного подхода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. - №11-2. – с.191-195.
40. Коваленко Н.И. Учёт неопределённости при управлении транспортным комплексом // Государственный советник. – 2014. - №3. – с.50-54.