

Стратегия развития железных дорог

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.
«Оценка площадей в чрезвычайных
ситуациях с применением метода Монте-
Карло»

**Интеллектуальные системы
и технологии на транспорте**

Козлов А.В.
«Маршрутизация в сложных
транспортных сетях»

Андреева О.А.
«Кибернетическое зеркалирование
для управления предприятиями
транспортной инфраструктуры»

**Геоинформационные технологии и
системы на транспорте**

Ознамец В.В.
«Транспортный мониторинг»

Титов Е.К.
«Топологическое моделирование
на базе транспортных геоданных»

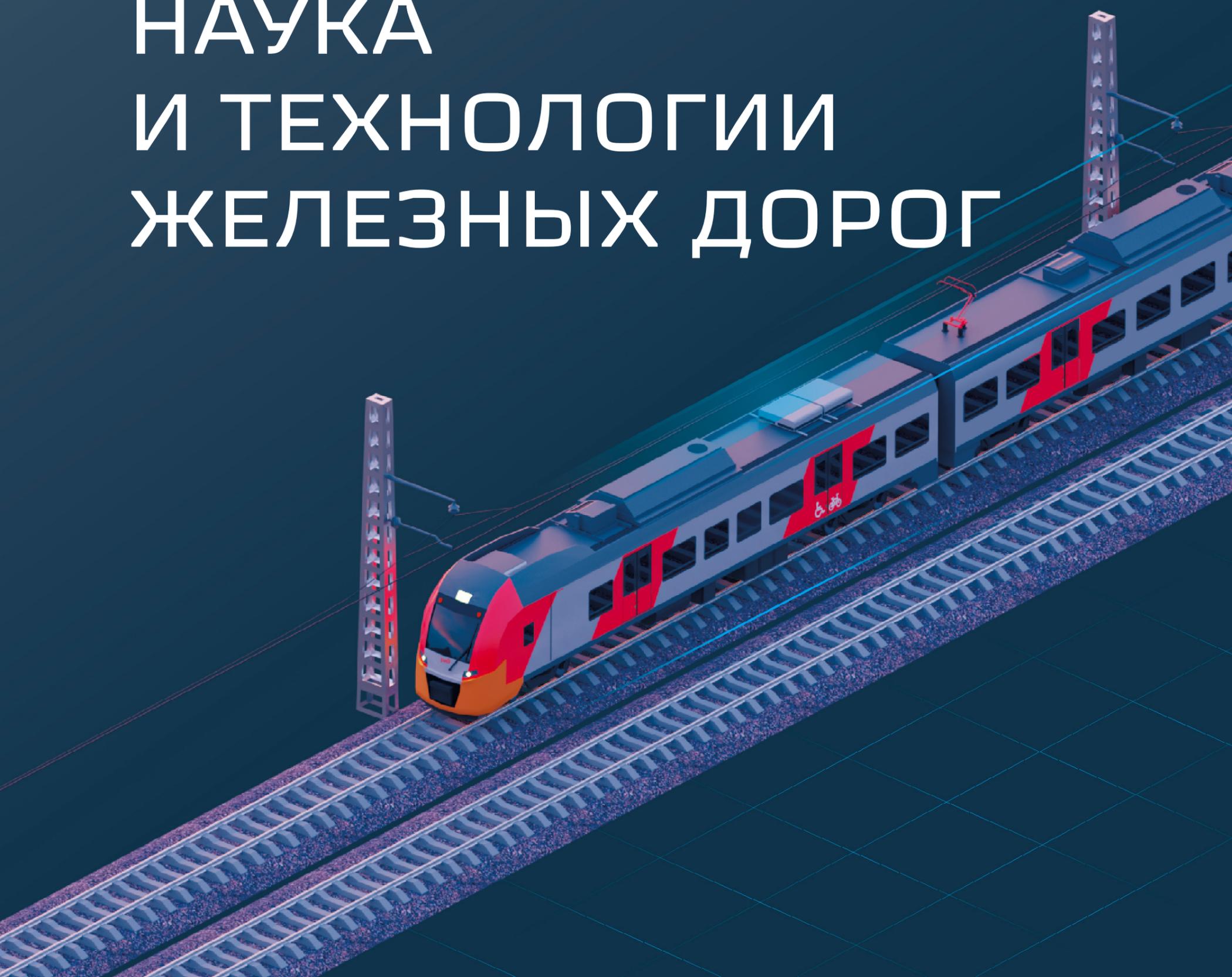
**Цифровые методы
на железнодорожном транспорте**

Дулин С.К., Дулина Н.Г.
«Структуризация текстовых
документов геоинформационного
портала железнодорожной отрасли»

**Организация работ и безопасность
движения на транспорте**

Коваленко Н.А., Ефимов Р.А.,
Бородин А.А.
«Анализ технической поддержки
на сортировочных станциях»

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



3 стр.

Стратегия развития железных дорог
«Оценка площадей в чрезвычайных ситуациях с применением метода Монте-Карло»
Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

28 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте
«Транспортный мониторинг»
Ознамец В.В.

11 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте
«Маршрутизация в сложных транспортных сетях»
Козлов А.В.,

38 стр.

Геоинформационные технологии и системы на транспорте
«Топологическое моделирование на базе транспортных геоданных»
Титов Е.К.

19 стр.

Интеллектуальные системы и технологии на транспорте
«Кибернетическое зеркалирование для управления предприятиями транспортной инфраструктуры»
Андреева О.А.

46 стр.

Цифровые методы на железнодорожном транспорте
«Структуризация текстовых документов геоинформационного портала железнодорожной отрасли»
Дулин С.К., Дулина Н.Г.

64 стр.

Организация работ и безопасность движения на транспорте
«Анализ технической поддержки на сортировочных станциях»
Коваленко Н.А., Ефимов Р.А.,
Бородин А.А.

3

УДК: 523.21

Стратегия развития железных дорог

Оценка площадей в чрезвычайных ситуациях с применением метода Монте-Карло

Estimation of areas in emergency situations using the Monte Carlo method

Розенберг И.Н. д.т.н., профессор, Научный руководитель, АО «НИИАС», E-mail: I.Rozenberg@vnias.ru, Москва, Россия

Цветков В.Я. д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

Rosenberg I.N D.ofSci.(Tech), Professor, Scientific director, JSC «NIAS», E-mail: I.Rozenberg@vnias.ru, Moscow, Russia

Tsvetkov V.Ya. D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC «NIAS», E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia



Аннотация. В статье описан метод оценки площадей участков, которые возникают при чрезвычайных ситуациях и препятствуют движению транспорта. Причиной появления таких участков могут быть движение земляных масс, селявые потоки, появление пожаров в зоне движения транспорта. Математическая модель расчета основана на применении метода Монте-Карло, технологическое решение основано на применении снимков с беспилотного летательного аппарата. Дополнительным условием работ является то, что в поле съемки должен попадать объект с известной площадью, и этот объект играет роль эталона при оценке площади участка произвольной формы. Метод исключает проведение трудоемких геодезических работ на местности, описаны условия применимости и ограничения данного метода. Описано статистическое моделирование, которое лежит в основе расчетов площади; приведен анализ погрешностей расчетов.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, чрезвычайные ситуации, ареал, поверхность, метод Монте-Карло, вычисления, площадь участка, погрешность определения.

Annotation. The article describes a method for assessing the areas of sites that arise in emergency situations and impede traffic. The reason for the appearance of such areas can be the movement of earth masses, mudflows, the appearance of fires in the traffic zone. The mathematical model of the calculation is based on the use of the Monte Carlo method. The technological solution to the problem is based on the use of images from an unmanned aerial vehicle. An additional condition for the work is that an object with a known area must fall into the survey field. This object plays the role of a reference when assessing the area of a plot of arbitrary shape. The method eliminates labor-intensive geodetic works on the ground. The conditions of applicability and limitations of this method are described. The statistical modeling that underlies the area calculations is described. The article contains an analysis of the calculation errors.

Keywords: transport, railway, emergencies, area, surface, Monte Carlo method, calculations, site area, determination error.

4

Введение

В практике эксплуатации железных дорог случаются чрезвычайные ситуации в полосе отвода или в зоне резервирования. Они связаны со сходом селей, движением земляных масс к полотну железной дороги, появлением пожаров в зоне движения транспорта или вблизи стационарных объектов транспортной инфраструктуры. Такие ситуации возникают при разливах нефтепродуктов в зоне железных дорог и представляют угрозу для функционирования железных дорог. Кроме того, возможно химическое заражение местности, которое требует определения границ участка заражения. При возникновении такой чрезвычайной ситуации возникает задача оценки площади участка, на котором эта ситуация существует. Для ликвидации последствий и оценки объемов работ на таких участках необходимо оценить площадь участка. Эта площадь является параметром для экономических расчетов и оценки стоимости работ по ликвидации последствий. Применение классических геодезических методов является трудоемкой и длительной по времени технологией.

Кроме того, в отдельных случаях зона чрезвычайной ситуации представляет угрозу для человека, а условия работ на ее границах исключают стабильное положение геодезических приборов. Без стабильного положения приборов измерения невозможны. Альтернативой геодезическому методу определения границ участка чрезвычайно ситуации является метод применения БПЛА для съемки поверхности [1-3]. Современные снимки, получаемые с БПЛА информативны и занимают объем до 200 Мбайт, что с одной стороны хорошо, но с другой представляет определенные трудности при их компьютерной обработке и компьютерном анализе.

Выбор метода получения информации

Классические методы аэрофотосъемки появляющихся участков не всегда приемлемы [4]. Это обусловлено рядом причин - длительность подготовки к аэрофотосъемке, возможное отсутствие близко расположенных аэродромов в зоне чрезвычайной ситуации; нерентабельности съемки небольших участков тяжелыми авианосителями; возможное погодное отсутствие условий полета для самолетов; возможное погодное отсутствие условий съемки; низкое качество съемки из-за смаза изображения, вызванного высокой скоростью самолетов.

Это мотивирует применение легких авианосите-

лей либо мотодельтапланов, управляемых человеком и способных нести аппаратуру до 120 кг, либо беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), несущих легкую цифровую аппаратуру высокого разрешения.

Кроме условий съемки возникают проблемы обработки снимков. При аэрофотосъемке получают стереопары (снимки с перекрытием 60%) [4] горизонтированных снимков, по которым можно определять пространственные координаты.

При съемке с БПЛА стереопары не получают, снимки могут иметь разные наклоны и являются одиночными. Классические фотограмметрические методы обработки аэрофотосъемки не приемлемы для обработки снимков с БПЛА из-за не соблюдения условия горизонтальной съемки и невозможности обеспечения требуемого перекрытия зоны поверхности на фотоснимках. Фактические снимки с БПЛА являются одиночными и требуют специальной методики обработки одиночных снимков [5, 6].

Принципиально по снимкам с БПЛА можно определить границы участка чрезвычайной ситуации как некой пространственной модели на основе методики трансформирования или линейно-угловых измерений. Кроме того, при попадании в область съемки водной поверхности она создает дополнительные условия, которые можно использовать при расчетах.

Использование снимков, полученных с БПЛА, позволяет решать задачу оценки площади участка в реальных единицах реальной поверхности. Авторы предлагают для этой цели использовать статистический подход, в частности метод Монте Карло. Он является апробированным методом, который применяют для решения задач в области математики, физики и т.п. На первый взгляд возникает проблема точности, поскольку метод дискретный, а площадь представляет собой непрерывный ареал. Но, как показывают расчеты, приведенные ниже, метод обеспечивает требуемую точность вычислений площади участка.

Постановка задачи

Рассмотрим ситуацию, в которой железная дорога проходит по берегу между горным массивом и водной поверхностью (рис.1). Условная граница горного массива показана штрихами. Железнодорожный путь обозначен параллельными линиями и символом ЖД. На рисунке показана береговая

5

линия (берег), отделяющая сушу от водной поверхности.

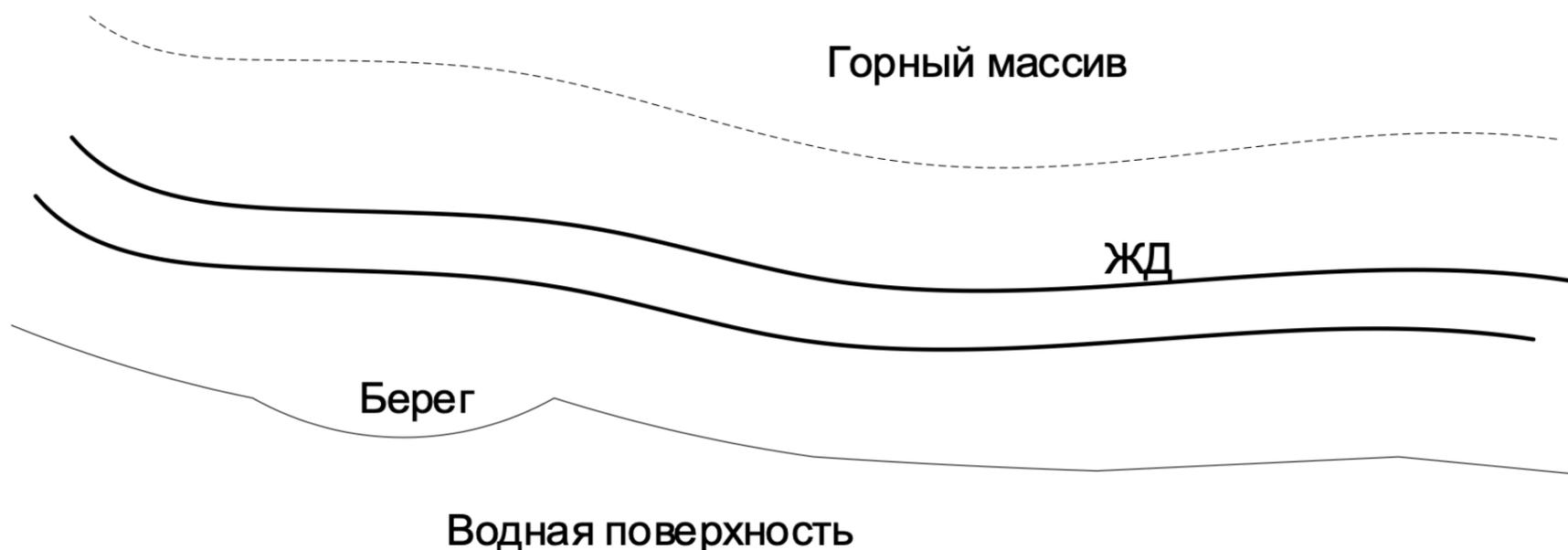


Рисунок 1. Ситуация прохождения железной дороги в прибрежной зоне.

Такая ситуация встречается на Северо-Кавказкой железной дороге, на берегу Байкала и в других местах. При сходе оползневой массы с горного массива возникает ситуация, показанная на рис.2.

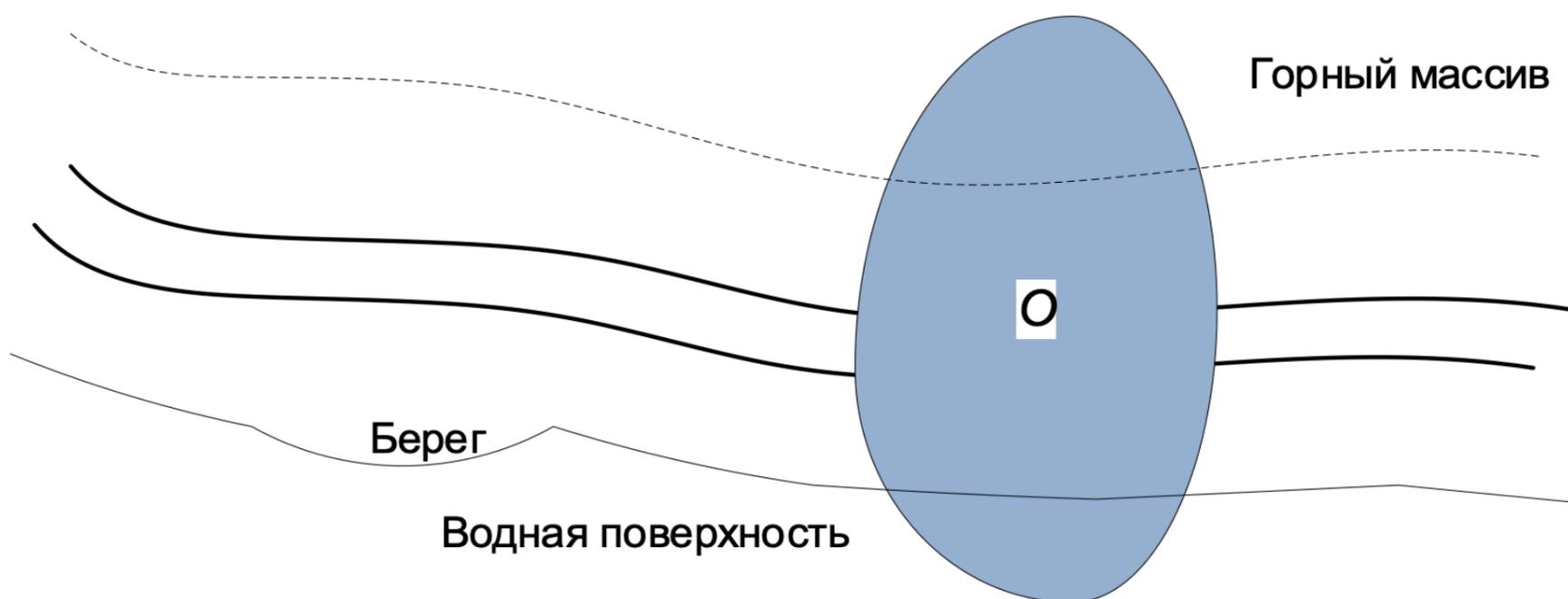


Рисунок 2. Сход оползневой массы на железную дорогу.

На рис.2 оползневая масса (O) выделена темным цветом. Границы оползневой массы в силу физического характера всегда близки к регулярной линии. Для аварийных работ представляет интерес либо участок между границей горного массива и береговой линией, либо весь участок оползневой массы (O). В методике это решается одинаково. Измерение границ оползневой массы по снимкам дает возможность определить площадь участка, который эта масса покрывает. При использовании снимков с БПЛА необходим эталонный объект. Этот эталонный объект может быть виртуальным или реальным. Реальный объект имеет площадь и реальные формы на местности. Виртуальный объект обозначается точками с известными координатами на местности. Эти точки могут существовать и надо только измерить их координаты. Эти точки можно установить с использованием геодезических методов и в первую очередь с помощью лазерной техники.

6

Решение задачи

Для реализации обоих вариантов метода по снимкам с БПЛА необходимо построение (интерполирование) [7] границ участка как двух стыкующихся кривых (рис.3)

На рис.3 показано, что контур, охватывающий ареал делится на две кривые $x=f1(y)$, $x=f2(y)$. Для улучшения восприятия на рис.3 справа они разделены. Если точка находится в ареале, то ее координаты будут находится между данными кривыми.

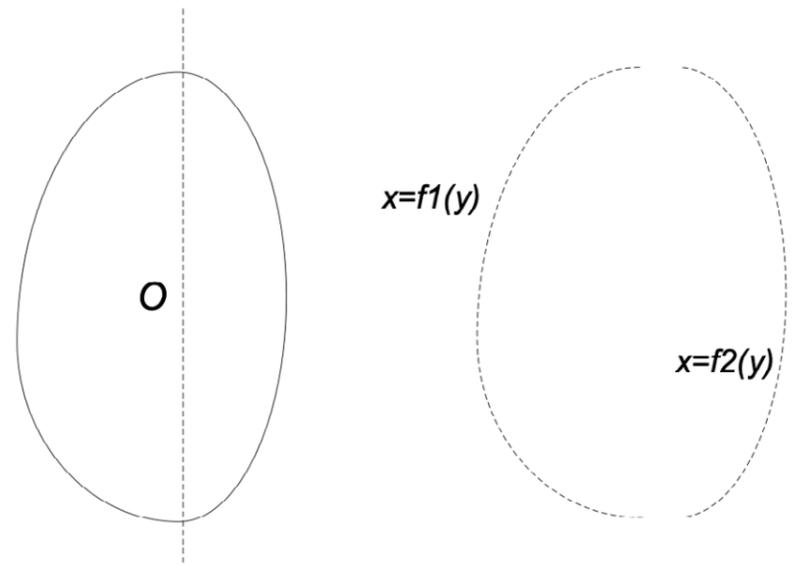


Рисунок 3. Условное деление границы оползневой массы на две стыкующие кривые.

Виртуальный эталон

Виртуальный эталон данной методики существенно отличается от классических виртуальных моделей [8-10]. В данном случае задается схематический виртуальный ареал. Эталон задается на местности как фигура правильной формы, которая охватывает оползневую массу. Эта фигура может быть задана с помощью лазерных дальнометров. С их помощью на местности можно определить четыре точки, которые задают прямоугольник, охватывающий оползневую территорию. В теоретическом плане предлагаемый метод основан на использовании трех множеств (рис.4).

$$A(N) = O(N_0) + E(NE)$$

Первое множество $A(N)$ - это множество условной эталонной области на поверхности, N - мощность этого множества. Второе множество $O(N_0)$ - это множество участка, в нашем случае оползневой массы. Оно является подмножеством $A(N)$. Величина N_0 - относительная мощность этого множества.

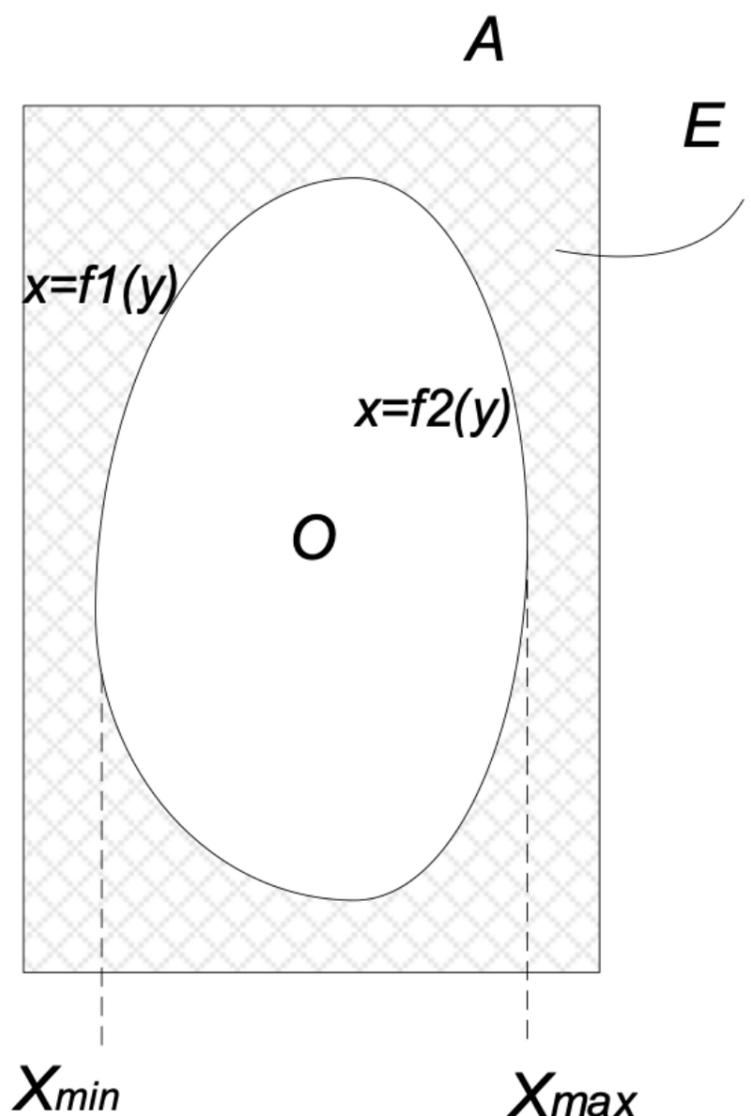


Рисунок 4. Три множества, используемые в расчетах

7

Третье множество $E(N_E)$ - это подмножество $A(N)$, точки которого лежат вне множества O . Величина N_E - относительная мощность этого подмножества. Таким образом, сущность метода заключается в нахождении трех групп точек, M_A , M_O , M_E , принадлежащих трем множествам $A(N)$; $E(N_E)$; $O(N_O)$.

$$\begin{aligned} M_A(x_m, y_m) &\in A(N); \\ M_E(x_m, y_m) &\in E(N_E); \\ M_O(x_m, y_m) &\in O(N_O) \\ N &= N_O + N_E \end{aligned}$$

Метод Монте Карло [11-13] позволяет оценить сравнительную мощность множеств и на этом основании получить сравнительную, но точную оценку площади. Метод включает два этапа. Первый этап связан с получением пространственной информации для построения границ. Второй этап связан с имитационным моделированием на основе метода Монте Карло.

Получение пространственной информации основано на получении снимков с БПЛА, на которых изображен оползневый участок и граничные точки эталонного участка. Полученный снимок содержит изображение эталонного участка и исследуемый объект (рис.4).

Координаты граничных точек определяемого участка должны быть измерены и по ним должны построены аппроксимирующие смыкающиеся функции границ $x=f_1(y)$, $x=f_2(y)$. Эти функции задаются либо табличным методом как полилинии, либо путем поиска аналитической зависимости. Две функции необходимы для однозначного определения границ анализируемого участка.

Еще одним условием применения метода является предположение того, что площадь участка на местности и его изображение на снимке пропорциональны. Это означает, что отсутствуют существенные геометрические искажения формы и площади участка на снимке. Такие искажения появляются при перспективной съемке, но устраняются при плановой съемке.

Для расчета применяют датчик случайных чисел [14] с равномерным распределением, который охватывает эталонный участок на снимке. Метод основан на том, что на модель эталонной области случайным образом «бросают точку» со «случайными» координатами. Область бросания задается границами интервалов случайных чисел и является известной. Эту область назовем эталоном A . Границы и площадь эталона A на поверхности считаются известными. Границы изображения эталонной области на снимке также известны.

Метод Монте-Карло состоит в том, что датчик случайных чисел задает «случайную точку» $M(x_m, y_m)$ на модели эталона A . Часть точек попадает на ареал O , часть точек попадет на ареал E вне ареала O , но в эталон A . В этой методике точка $M(x_m, y_m)$ всегда попадает в площадь эталона.

$$\forall M(x_m, y_m) \in A, \quad (1)$$

Рассмотрим первое отношение (D_1) - отношение реальной площади эталона (S_a) к количеству случайных точек на его изображении (N_a) или наоборот.

$$D_1 = S_a / N_a, \quad (2)$$

Количество точек на изображении эталоне всегда пропорционально его площади, но в зависимости от плотности точек оно будет разным. Плотность точек определяется числом бросаний. Чем больше серия бросаний, тем выше плотность точек на эталоне и, соответственно, на O и на E . На эталонном ареале находится ареал O с четкими границами, площадь которого на местности неизвестна, но по снимку определяема.

Введем второе отношение (D_2) - отношение реальной площади оползневого участка (S_o) к количеству случайных точек (N_o) на его изображении.

$$D_2 = S_o / N_o, \quad (3)$$

Количество точек на изображении оползневого участка (O) всегда пропорционально его площади. В серии бросаний часть точек попадают в площадь объекта, а часть вне объекта, но все попадают в эталон. В соответствии с законом больших чисел с ростом числа испытаний пределы двух отмеченных отношений площади к числу точек становятся равными друг другу.

Формализуем виртуальный вариант. В виртуальном варианте ареальный объект O (участок поверхности) находится внутри виртуального эталона. В реальном варианте рядом с искомым участком находится другой объект G . Его площадь известна, он располагается поблизости от объекта O . Объект G виден на снимке вместе с объектом O . На рис.4 приведен виртуальный вариант. Он моделирует ситуацию, когда объект (O) находится внутри виртуального эталонного объекта (A). Виртуальный объект может присутствовать в виде четырех точек с известными координатами. Площадь эталонного объекта на местности известна,

8

на снимке известны границы обеих объектов.

В расчете участвуют следующие параметры: S_A - площадь эталона A на местности, S_{PA} - площадь модели (изображения на снимке) эталона A на снимке, S_O - искомая площадь объекта O на местности, S_{PO} - площадь модели объекта O на снимке, N - общее количество точек в испытаниях, N_O - количество точек, попавших в зону объекта на модели, N_E - количество точек, вне объекта на модели эталона A . В начале вычислений.

$$N = N_O = N_E = 0$$

В результате статистического моделирования

$$N \neq 0, N_O \neq 0, N_E \neq 0, \\ \text{Всегда } N = N_O + N_E$$

Для информационной ситуации рис.4 задают функции границ. Дополнительно к границам задают область существования участка O по координате x в виде интервала $[x_{\min}, x_{\max}]$ минимального и максимального значения x .

Каждая точка $M(x, y)$ имеет случайные координаты x_m, y_m , по которым определяют, где эта точка находится в поле объекта или за его пределами. Математически границы участка O на модели задают двумя условиями в зависимости от выбранной информационной ситуации. Для информационной ситуации (рис.4) поиск положения точки $M(x, y)$ задают следующим образом. Условие «слева – справа» (рис.4) задается через координату $x_i = f_1(y_m)$ $x_j = f_2(y_m)$

В одном случае для $M(x_m, y_m)$

$$(x_{\min} < x_m < x_{\max}) \wedge (f_1(y_m) < x_m < f_2(y_m)) \rightarrow M(x_m, y_m) \in O, (4)$$

В этом случае счетчик точек определяемого участка увеличивается на единицу

$$N_O = N_O + 1$$

В альтернативном случае для $M(x_m, y_m)$

$$M(x_m, y_m) \in E, (5)$$

В этом случае счетчик точек вне области объекта увеличивается на единицу.

$$N_E = N_E + 1$$

При каждом испытании

$$N = N + 1$$

В ходе моделирования проводят $N = N_O + N_E > 1000$ испытаний. В современных компьютерах эта операция длится доли секунд. После завершения испытаний определяют «условную точечную площадь» участка. Его оценивают исходя из того, что

$$S_A \sim k_1 S_{PA} \approx N, (6)$$

Выражение (6) говорит о том, что площадь эталона A пропорциональна (k_1) площади эталона на снимке S_{PA} и пропорциональна общему количеству точек N , которые были использованы в расчетах. Дополнительно к выражению (5) существует другая пропорциональность

$$S_O \sim k_2 S_{PO} \approx N_O, (7)$$

Величины k_1, k_2 при больших числах N равны единице. Величина α при больших числах N является постоянной для двух отношений

$$\alpha = S_A / N = S_O / N_O, (8)$$

Она называется отношением непрерывной и дискретной площадей. Эти построения определяют неизвестную площадь объекта O согласно выражению (9)

$$S_O = S_A N_{AO} / N = \alpha N_{AO}, (9)$$

Оценим погрешность метода. Метод является итеративным, поэтому его погрешность связана с его сходимостью [15-17]. Для оценки погрешности необходимо провести добавочные ($K \ll N$) испытания. С помощью добавочных испытаний можно сравнить оценку площадей до и после испытаний. Если оценка точная, то добавочные испытания не внесут изменения в ее оценку. Используем сравнение между вычислением площади участка $S_O(N)$ при N - испытаниях и новой площадью участка $S_O(N_A + K)$ при $N + K$ испытаниях.

$$\delta S_O = [S_O(N) - S_O(N + K)], (10)$$

При дополнительных K испытаниях часть точек K_O попадет в площадь участка. Использование формул (7), (8), (9) позволяет вывести оценку относительной ошибки ξ .

$$\xi_s = \{(N_{AO}K - N K_O) / (N [N_{AO} + K_O])\}, (11)$$

9

Числовой пример

Пример 1. Количество испытаний $N=1000$, количество точек, попавших на участок по снимку $N_{AO}=500$. Количество дополнительных испытаний $K=20$, количество дополнительных точек, попавших на участок $K_0=10$. Выражение (10) дает значение $\xi=0$. Это идеальный вариант расчета и дополнительных вычислений.

Пример 2. Первоначальное число испытаний $N=1000$ из них на участок попало $N_{AO}=500$ точек. Количество новых бросаний $K=20$ из них $K_0=5$ точек попало на участок. Относительная погрешность $\lambda=0.009$ или 0.9% от площади измеряемого участка. В этом случае можно проводить дополнительные «бросания».

При современных вычислительных ресурсах число N можно увеличивать на порядки, но в основе испытаний и моделирования должна лежать разумная достаточность. Если погрешность не превышает допуск, то расчеты можно завершать.

Для второго варианта на снимке изображены два участка. Один участок (O) с неизвестной площадью, другой участок G с известной площадью. Можно считать, что участок G находится внутри эталона (B), который по площади и форме совпадает с эталоном (A). Методика расчета аналогична рассмотренной и описана в [18].

Заключение

В настоящее время широко применяют цифровые и информационные модели [19] как дискретные модели местности. Большая часть информационных моделей имеет проволочную или точечную структуру. Данная модель относится к редким ареальным информационным моделям. Она может быть реализована средствами ГИС и встроена в информационную модель [20], предназначенную для обработки в ГИС. Предлагаемый метод может быть применен в геотехническом мониторинге [21] для контроля зоны вокруг пространственного объекта и изучения динамики изменения этой зоны.

Предлагаемый метод является дискретным и сравнительным. Его особенностью является то, что площадь участка определяется без определения его точных границ на местности. Основой является сравнение изображения участков на снимке. На основе сравнения площадей по снимку вычисляют площадь участка при известной площади на местности эталона. Предложенный метод позволяет определять по фотоснимкам площадь участков

любой формы на земной поверхности. Метод можно использовать при расчете площадей ареальных объектов по тепловым или радиолокационным снимкам. Метод может быть использован для оценки площади участков загрязнений на море. Метод может быть использован для оценки площади участков при геотехническом мониторинге и при мониторинге береговых линий. Метод может быть использован для оценки площади участков в земельном кадастре [18] и мониторинге земель. Предложенный метод позволяет не только определять геометрические характеристики ареальных объектов, но и решать математические задачи [22-24]: рассчитывать определенные интегралы для областей, границы которых можно задать в виде набора стыкующихся функций $x_i=f_1(y_m)$, $x_j=f_2(y_m)$ или $y_i=f_3(x_m)$, $y_j=f_4(x_m)$. Учитывая простоту алгоритма, он может быть встроено в любые программные комплексы для расчета площадей на земной поверхности.

10

Список литературы

1. Ознамец В.В., Белоконев Г.В. Пространственное моделирование с применением БПЛА // Науки о Земле. – 2019. - №1. – С.4-15.
2. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Мониторинг транспортной инфраструктуры и использованием интеллектуальных БПЛА // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 8. С. 18-21
3. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.43-53.
4. Бородко А.В., Бугаевский Л.М., Верещака Т.В., Запрягаева Л.А., Иванова Л.Г., Книжников Ю.Ф., Савиных В.П., Спиридонов А.И., Филатов В.Н., Цветков В.Я. ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАДАСТР / Энциклопедия. В 2 томах. - Москва, Картоцентр-геодезиздат, 2008. Том II, Н-Я.
5. Ознамец В.В. Обработка снимков с БПЛА с помощью проективных алгоритмов // // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. № 2. С.74-81.
6. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Определение условной береговой линии по снимкам беспилотного летательного аппарата // Информация и космос. 2019.- №1. – С.126-131.
7. Исмоилова М. Н., Имомова Ш. М. Интерполяция функции // Вестник науки и образования. – 2020. – №. 3-3 (81).
8. Tsvetkov V. Ya. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, 1(11), pp. 35-44.
9. Kobets A. J. et al. Virtual modeling, stereolithography, and intraoperative CT guidance for the optimization of sagittal synostosis reconstruction: a technical note // Child's Nervous System. – 2018. – Т. 34. – №. 5. – С. 965-970.
10. Martynov V. et al. Methods of virtual modeling of dynamic educational programs in terms different manufacturing sectors requirements //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1084. – №. 1. – С. 012006.
11. Халиков А. Р. и др. Моделирование методом Монте-Карло процессов диффузии в трехкомпонентных сплавах // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62. – №. 4. – С. 119-124.
12. Мигов Д. А., Винс Д. В. Параллельная реализация и имитационное моделирование оценки надёжности сети методом Монте-Карло // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – №. 47.
13. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. Из практики применения метода Монте-Карло // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2017. – Т. 83. – №. 3. – С. 65-70.
14. Киселева Э. В. Датчики случайных чисел // Путь в науку. Математика. – 2020. – С. 42-44.
15. Reddi S. J., Kale S., Kumar S. On the convergence of adam and beyond // arXiv preprint arXiv:1904.09237. – 2019.
16. Alistarh D. et al. The convergence of sparsified gradient methods // arXiv preprint arXiv:1809.10505. – 2018.
17. Li X. et al. On the convergence of fedavg on non-iid data // arXiv preprint arXiv:1907.02189. – 2019.
18. Сельманова Н.Н., Цветков В.Я. Применение статистического метода для вычисления площади ареального объекта // Перспективы науки и образования. - 2018. - №1(31). - С.55-60.
19. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №3. - С.85-91.
20. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. - №2. - С.118-122.
21. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. - 2012. - №4. - С.054-058.
22. Бакаева О. А. Анализ процессов компьютерного моделирования вычисления числа Пи методом Монте-Карло // Вестник Чувашского университета. – 2018. – №. 3.
23. Краковский Ю. М., Гуляев А. С. Вычисление показателей эффективности при производстве зерна и зернобобовых культур на основе метода Монте-Карло // Инженерный вестник Дона. – 2021. – №. 2 (74). – С. 115-123.
24. Константинов Ю. В. Вычисление кратных интегралов методами Монте-Карло и квази -Монте-Карло // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства. – 2019. – С. 464-468.

11

УДК: 656.02; 004.8

Интеллектуальные системы и технологии
на транспорте

Маршрутизация в сложных транспортных сетях

Routing in complex transport networks

Козлов А. В. Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Москва, Россия

Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: avkozlov82@bk.ru, Moscow, Russia



Аннотация. В статье исследуется маршрутизация в сложных транспортных сетях, раскрывается понятие сложных транспортных сетей. Примером сложной транспортной сети является, например, мегаполис, содержащий разные виды транспорта и стохастические потоки. Показано, что маршрутизация в сложных сетях является многоцелевой и многокритериальной, рассмотрена роль связей и отношений при динамической маршрутизации. Вводится понятие глубины анализа сети, выделены основные уровни управления объектами в транспортной сети мегаполиса: управление одиночными объектами, группами объектов, управление доменами и междоменное управление. Обоснована целесообразность использования модели информационной ситуации при маршрутизации. **Ключевые слова:** транспорт, транспортная сеть, управление, многоцелевое управление, маршрутизация, мегаполис.

Annotation. The article examines routing in complex transport networks, reveals the concept of complex transport networks. An example of a complex transport network is, for example, a metropolis containing different types of transport and stochastic flows. It is shown that routing in complex networks is multi-purpose and multi-criteria, the role of links and relations in dynamic routing is considered. The concept of the depth of network analysis is introduced, the main levels of object management in the transport network of a metropolis are highlighted: management of single objects, groups of objects, domain management and cross-domain management. The expediency of using the information situation model for routing has been substantiated. **Keywords:** transport, transport network, management, multipurpose management, routing, metropolis.

12

Введение

Маршрутизация в сложных транспортных сетях [1-3] связана с анализом потоков в транспортных сетях и анализом целевой функции перемещения транспортного средства. Формально сложные транспортные сети являются аналогами сложных систем [4]. Физически сложные транспортные сети – это сети с большим количеством узлов и ребер, которые создают сложную структуру, анализировать которую невозможно с помощью простых алгоритмов и затруднительно с помощью человеческого интеллекта [5].

С позиций логики сложная сеть, точнее потоки в ней, не описывается простыми выражениями математической логики. С позиций комбинаторики [6, 7] в сложной сети возможно большое количество вариантов движения, которые исключают однозначное формирование маршрута. С вероятностных позиций [8, 9] в сложной сети возможно существование большого числа случайных факторов, которые могут существенно менять условия перемещения транспортного объекта по сети.

Примером сложной сети является транспортная сеть мегаполиса [12, 13]. При анализе потоков сети используют понятие трафик. Трафик полисемическое понятие применяемое в разных областях. В телекоммуникационных системах трафиком называют количество коммуникационных пакетов (сообщений) и попыток установления соединений, проходящих через коммуникационные системы. На транспорте трафиком называют объём транспортных средств, движущихся по конкретному маршруту, или объём транспортных средств обслуживаемых данным транспортным узлом. В информационно-вычислительных сетях трафиком называют либо объём информации, передаваемой через сеть за определённый период времени либо отношение объём информации к единице времени.

В сайтостроении трафиком называют либо информационный объём, проходящей через сервер, либо количество пользователей сетевого ресурса за определённый период времени. Наибольшее развитие получили методы оценки и оптимизации трафика в информационно-вычислительных сетях. Опыт оптимизации трафика в ИВС можно использовать для оптимизации трафика на транспорте. Как сложная сеть интерес представляет структура мегаполиса в которой происходит движение связанное со стохастическими факторами. Как альтернативу можно представить движение поездов по железной дороге, которое регламен-

тировано и имеет детерминированный характер. При этом транспортный трафик иногда обозначает не столько транспортные средства, сколько объём грузов перевозимый этими средствами. Особенностью управления в транспортных сетях является необходимость использования пространственной информации [10] и пространственного управления [11].

Мегаполис как сеть

Существует большое число работ по анализу мегаполиса и управления транспортом в условиях мегаполиса [12-14]. Структурно мегаполис представляет собой сеть которая имеет узлы и связывающие эти узлы дуги. При движении объекта по сложной сети для узлов сети, по отношению к объекту перемещения можно использовать понятия применяемые в метамоделировании [13, 14]: постфиксный узел, инфиксный узел, префиксный узел (рис.1). Постфиксный узел – это пройденный узел. Инфиксный узел – это промежуточный узел. Префиксный узел – это узел, который предстоит пройти. Ребра могут быть только префиксные и постфиксные. Таких узлов может быть несколько и задача заключается в построении оптимального маршрута на основе имеющихся условий для данного узла.



Рисунок 1. Фрагмент сети с узлами разных типов.

На рис.1 в узле 2 находится перемещающийся объект, для объекта этот узел инфиксный. Узел 1 – это постфиксный узел для объекта. Узел 3 – это постфиксный узел, для объекта в узле 2. По мере перемещения типы узлов могут меняться. Таких узлов может быть несколько и задача маршрутизации заключается в построении оптимального маршрута на основе имеющихся условий для данного узла. Можно ввести понятие глубина анализа сети - глубина анализа равна единице, если при анализе выбирать по одному инфиксному и префиксному узлу. При скоростном движении можно выбирать подваузла. При сложном стохастическом движении возникает необходимость выбирать по три узла позади и впереди. В мегаполисе воз-

13

никает задача управления отдельными объектами, которые движутся в сложной сети. В сложных условиях управления объектами в мегаполисе возникают стохастические ситуации окружающие подвижный объект.

Системы управления транспортом в мегаполисе оперативно выполняют три функции: восприятие, интерпретация, оперативные действия. При этом используют когнитивный и аналитический подход. Это приводит к тому, что управления в сети мегаполиса используют алгоритмический и когнитивный [17, 18] уровень. Сложность сети мегаполиса требует применения для анализа ситуаций пространственную и когнитивную логику. Сеть мегаполиса как сложная сеть включает материальные и информационные потоки, протекающие в динамических условиях.

Система управления в сети мегаполиса включает три качественных объекта: ситуация, транспортное средство, пункт управления. При автоведении [19] пункт управления находится в транспортном средстве, но все равно сохраняется как качественный фактор.

В сложной ситуации применяют несколько алгоритмов управления объектом в сети. Такие алгоритмы можно классифицировать на центральные, автономные (субсидиарные), связующие и «эгоцентрические». Применение этих алгоритмов зависит от ситуации, окружающей объект сети и от соотношения внешних и внутренних целей подвижного объекта.

При движении в стационарных условиях центральный алгоритм задает оптимальную стратегию. Центральный алгоритм на первое место ставит выполнение плана и достижение внешней цели согласностратегическому плану. Автономный алгоритм на первое место ставит существование объекта и его живучесть, на второе место ставит достижение плана, при условии сохранения живучести системы. Связующий алгоритм на первое место ставит комплементарность [20] центрального и автономного алгоритма. Эгоцентрический алгоритм на первое место ставит существование объекта безотносительно к планам и другим алгоритмам. Согласование всех алгоритмов является важным фактором существования системы. Согласование всех алгоритмов основано на логике, на логическом следовании или секвенции. Это приводит к понятию секвенциальный анализ [21, 22] и секвентивное управление.

Движение в нестационарных условиях существенно меняет эффективность центрального алгоритма,

поскольку он не в состоянии учесть все изменения условий движения. В этом случае возникают ситуации, когда автономный алгоритм должен выходить на первый план и брать на себя ответственность за управление движением.

Маршрутизация транспортных сетей

Маршрутизацией обозначают схему передвижения материального или информационного потока через транспортную сеть. Полагают движение от входа (источника потока) к выходу (пункту назначения). При этом, как правило, на пути встречается, по крайней мере, несколько узлов.

Маршрутизация часто противопоставляется объединению сетей с помощью моста, которое, в популярном понимании этого способа, выполняет точно такие же функции. Основное различие между ними заключается в том, что объединение с помощью моста имеет место на Уровне 2 эталонной модели ISO, в то время как маршрутизация встречается на Уровне 3 [23]. Этой разницей объясняется то, что маршрутизация и объединение по мостовой схеме используют различную информацию в процессе ее перемещения от источника к месту назначения. Результатом этого является то, что маршрутизация и объединение с помощью моста выполняют свои задачи разными способами; фактически, имеется несколько различных видов маршрутизации и объединения с помощью мостов.

Маршрутизация включает в себя два основных компонента: определение оптимальных трактов маршрутизации и транспортировка информационных групп (обычно называемых пакетами) через сеть. Определение маршрута в сложной сети является очень сложным процессом. Программные реализации алгоритмов маршрутизации в стационарных условиях основаны на расчете показателей одного оптимального маршрута для определения доставки к пункту назначения. Программные реализации алгоритмов маршрутизации в не стационарных условиях основаны на расчете нескольких маршрутов для определения возможных квазиоптимальных маршрутов.

В настоящее время для решения задач маршрутизации широко применяют информационные модели [24], информационные системы и геоинформационные системы, для которых применяют специальные информационные модели [25]

Для упрощения определения маршрута, алгоритмы маршрутизации инициализируют и поддержива-

14

ют таблицы маршрутизации, в которых содержится маршрутная информация. Алгоритмы маршрутизации заполняют маршрутные таблицы неким множеством информации. В этих таблицах информация может обновляться, что создает возможность адаптации маршрута к меняющимся внешним условиям. Кроме того, информация изменяется в зависимости от используемого алгоритма маршрутизации.

Для нахождения маршрутов применяют специальные системы маршрутизаторы или роутеры. Роутеры работают ситуационным методом. На рис.2 приведена примерная схема перемещения объекта в сети.

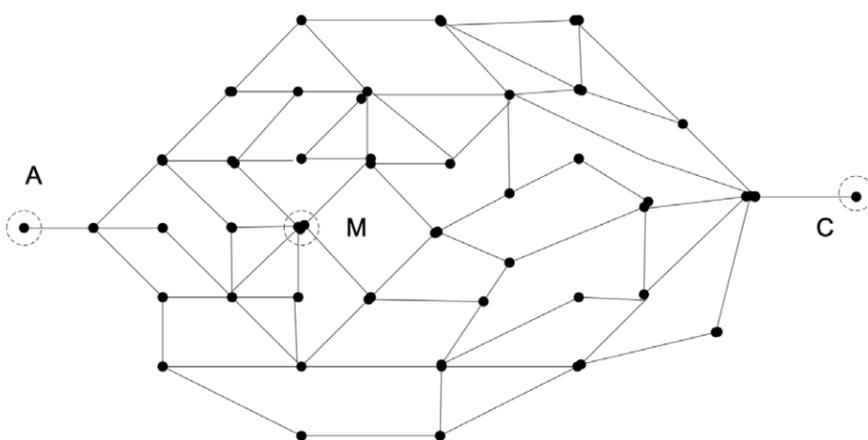


Рисунок 2. Модель транспортной сети и перемещение объекта.

На рис. 2 приведена типовая ситуация перемещения объекта в сети. При стационарных условиях существует оптимальный маршрут (по времени, по расстоянию, по безопасности) согласно которому движется транспортное средство. При изменении условий оптимальность маршрута нарушается и возникает необходимость выбирать новый маршрут. На рисунке 2 показано что объект находится в некоем узле М, в то время как ему следует достичь узел С. Роутер начинает анализировать ситуацию для выбора нового маршрута. Его первая реакция: «Пункт назначения → следующий узел».

То есть ставится задача - на какой следующий узел следует направить объект, чтобы в итоге оптимально достичь конечного узла. Алгоритм анализа ситуации сообщает роутеру, что определенный пункт назначения может быть оптимально достигнут путем отправки объекта в определенный узел на пути к конечному пункту назначения анализ может происходить на ближайшем узле (можно – нельзя перемещаться). Анализ может происходить на трех ближайших узлах. С увеличением количества узлов анализа в геометрической прогрессии растет объ-

ем вычислений и время анализа. В этом проявляется так называемое «проклятие размерности» которое исключает возможность анализа всех маршрутов сложной сети. При моделировании транспортных потоков [26] анализ информации на ближайших узлах происходит с учетом связей, на дальних узлах с учетом отношений [27]. По существу, для построения нового маршрута необходимо каждый раз извлекать неявное знание [28] в текущей ситуации. При перемещении нескольких объектов задача усложняется тем что для каждого объекта существует свой маршрутизатор, а для пункта управления необходимо согласовать работу разных маршрутизаторов. В этом случае возникает необходимость управления группами подвижных объектов [29] и необходимость много целевого управления [30].

В пунктах управления может содержаться также и другая информация. Например, о желательности какого-либо объекта или маршрута, о приоритете объекта или маршрута, о смене приоритета объекта или маршрута.

При автоматизированной или интеллектуальной системе управления маршрутизаторы сравнивают показатели, чтобы определить оптимальные маршруты. Показатели могут отличаться друг от друга в зависимости от использованной схемы алгоритма маршрутизации. В сложной сети маршрутизаторы сообщаются друг с другом (и поддерживают свои маршрутные таблицы) путем передачи различных сообщений.

Одним из видов таких сообщений является сообщение об «обновлении маршрутизации». Обновления маршрутизации обычно включают всю маршрутную таблицу или ее часть. Анализируя информацию об обновлении маршрутизации, поступающую от всех маршрутизаторов, любой из них может построить топологию маршрута в физической сети. Анализ информации о сети осуществляется не со всех узлов, а только от узлов окружения объекта. Это приводит к необходимости использовать модель информационной ситуации [31, 32].

Алгоритмы ситуационного анализа сравнительно просты и в основном одинаковы для большинства методов маршрутизации. В большинстве случаев вычислитель подвижного объекта (кибер-физическое управление) или главная вычислительная машина центра управления (централизованное управление) определяет необходимость перемещения объекта отправки на другой узел, необязательно ближайший, а связанный с инфиксным

15

узлом 2-я, 3-я узлами. Это фактически локальная дискретная оптимизация движения. По мере того, как объект (объекты) продвигается через сложную сеть, его физический адрес (адреса объектов) меняется, однако идентификатор объекта остается неизменным. Алгоритмы маршрутизации могут быть классифицированы по типам. Рассмотрим эти типы.

Статические или динамические алгоритмы. Распределение статических таблиц маршрутизации устанавливается центром управления движением до начала перемещения и движения. Оно не меняется, если только центр управления движением не изменит его. Алгоритмы, использующие статические маршруты, просты для разработки и хорошо работают в ситуациях, для которых трафик сети предсказуем, а схема сети относительно проста. Однако эти системы маршрутизации не могут реагировать на существенные изменения в сети, поэтому они, как правило, считаются непригодными для крупных, постоянно изменяющихся сетей мегаполисов. Алгоритмы, использующие статические маршруты, решают задачу «от начала до конца» и анализируют много узлов в сети.

Большинство реальных алгоритмов маршрутизации в сложных и объемных сетях - динамические. Динамические алгоритмы маршрутизации подстраиваются к изменяющимся ситуациям в сети в масштабе реального времени. Они выполняют это путем анализа поступающих сообщений об обновлении маршрутизации. Если в сообщении указывается, что имело место изменение условий движения в сети, программы маршрутизации пересчитывают маршруты и рассылают новые сообщения о корректировке маршрутизации.

Динамические алгоритмы маршрутизации могут дополнять статические маршруты там, где это уместно. Например, можно разработать маршрутизатор последнего обращения, в который отсылаются все неотправленные по определенному маршруту пакеты. Такой маршрутизатор выполняет роль хранилища неотправленных пакетов, гарантируя, что все сообщения будут хотя бы определенным образом обработаны.

Одно маршрутные или многомаршрутные алгоритмы. Некоторые сложные протоколы маршрутизации обеспечивают множество маршрутов к одному и тому же пункту назначения. Такие многомаршрутные алгоритмы делают возможной мультиплексную передачу трафика по многочисленным линиям; одномаршрутные алгоритмы не могут делать этого. Преимущества многомаршрут-

ных алгоритмов очевидны - они могут обеспечить значительно большую пропускную способность и надежность.

Одноуровневые или стратифицированные алгоритмы. Некоторые алгоритмы маршрутизации оперируют в плоском информационном пространстве параметров, в то время как другие используют многомерные информационные пространства [33]. Многомерность информационного пространства определяется качеством и категориями параметров. Например, на транспорте информационное пространство создается с помощью радиорелейных [34] или спутниковых систем [35]. Эти качественно разные пространства создают многомерность. Если параметры одного качества или принадлежат к одной категории, то пространство параметров является одномерным. Для многомерных пространств и ситуаций применяют метод стратификации [36], который существенно упрощает анализ. Примером стратифицированного анализа является применение геоинформационных систем, в которых сложная информация разбивается на слои и анализ осуществляют по слоям, а потом сводят воедино результаты, накладывая их друг на друга посредством процедуры оверлея или концептуального смешивания.

В одноуровневой системе все маршрутизаторы подвижных объектов равны по отношению друг к другу. В стратифицированной системе маршрутизации маршрутизаторы наивысшего иерархического уровня формируют то, что составляет базу маршрутизации (backbone). Объекты из не базовых маршрутизаторов перемещаются к базовым и пропускаются через их маршруты, пока не достигнут пункта назначения.

Системы маршрутизации нескольких или многих объектов часто устанавливают логические группы узлов, называемых доменами, или областями. Обычно домен в транспортных сетях принадлежит одной транспортной кампании.

В стратифицированных системах одни маршрутизаторы какого-либо домена могут общаться с маршрутизаторами других доменов, в то время как другие маршрутизаторы этого домена могут поддерживать связь только в пределах своего домена. В очень крупных сетях могут существовать дополнительные уровни.

Основным преимуществом стратифицированной маршрутизации является то, что она объединяет разные транспортные компании и следовательно, очень хорошо поддерживает их схемы трафика. Большая часть внутри доменной маршрутизации

16

имеет место в пределах групп небольших компаний. Внутридоменным маршрутизаторам необходимо знать только базу маршрутизаторов в пределах своего домена, поэтому их алгоритмы маршрутизации могут быть упрощенными. Соответственно может быть уменьшен и трафик обновления маршрутизации, зависящий от используемого алгоритма маршрутизации.

Алгоритмы с интеллектом. Существует централизованный и субсидиарный подход к маршрутизации. В централизованном подходе некоторые алгоритмы маршрутизации предполагают, что конечный узел доставки определяет весь маршрут. Обычно это называют маршрутизацией от узла доставки. В другом подходе маршрутизации от источника роутеры действуют просто как устройства хранения и пересылки объекта, безо глубокого анализа ситуации отсылая его к следующему узлу. Другие алгоритмы предполагают, что главные вычислительные машины центра управления движением ничего не знают о маршрутах. При использовании этих алгоритмов маршрутизаторы определяют маршрут через сложную сеть, базируясь на своих собственных расчетах.

В централизованной системе интеллект маршрутизации находится в главной вычислительной машине. В субсидиарной системе интеллектом маршрутизации наделены маршрутизаторы. Ярким примером второго подхода являются мультиагентные системы. В мегаполисе именно этот подход является доминирующим. В сложной ситуации водитель транспортного средства принимает решение самостоятельно, то есть субсидиарно.

Компромисс между маршрутизацией с интеллектом в центре и маршрутизацией с интеллектом в маршрутизаторе объекта достигается путем сопоставления оптимальности маршрута с непроизводительными затратами трафика. Системы с интеллектом в центре управления движением чаще выбирают наилучшие маршруты, т.к. они, как правило, находят все возможные маршруты к пункту назначения, прежде чем маршрут будет отослан. Затем они выбирают наилучший маршрут, основываясь на определении оптимальности данной конкретной системы. Однако акт определения всех маршрутов часто требует значительного трафика поиска и большого объема времени.

Одним из подходов к выбору маршрута являются генетические алгоритмы. Основная составляющая генетических алгоритмов - цикл, состоящий из случайных мутаций генотипов, их комбинаций (кроссинговера) и отбора из полученных вариантов

по критерию оптимизации. В роли генотипа выступает любой вектор значений, подлежащий оптимизации. Применительно к направленной маршрутизации генотип может быть представлен вектором, составленным из условных номеров выбранных ветвей условных переходов, а критерием отбора - максимальная «близость» задаваемого таким вектором пути выполнения к пути, на котором возникает ошибка. Это означает использование интеллектуального подхода и интеллектуализацию управления транспортом [28-30].

Внутри доменные или междоменные алгоритмы. Некоторые алгоритмы маршрутизации действуют только в пределах доменов; другие - как в пределах доменов, так и между ними. Природа этих двух типов алгоритмов различная. Поэтому понятно, что оптимальный алгоритм внутри доменной маршрутизации не обязательно будет оптимальным алгоритмом между доменной маршрутизации.

Заключение

Управление движением в сложных сетях требует с одной стороны обоснованной маршрутизации с другой стороны оперативной маршрутизации. Обоснованная маршрутизация требует максимум времени. Оперативная маршрутизация требует минимум времени. В решении этого противоречия состоит маршрутизация в нестационарных условиях. Необходимо различать направленную и не направленную маршрутизацию. Направленная маршрутизация характерная для транспортной сети и имеет четко выраженное начало и конец. Не направленная маршрутизация характерная для многоадресной доставки без приоритета.

Например, завоз продуктов в магазины, доставка почта или сбор грибов в лесу, работа датчика случайных чисел. Алгоритмы и приоритеты этих видов маршрутизации существенно различаются. Маршрут транспортного средства в мегаполисе является сложной комбинаторной дискретной системой. Для такой системы нештатная ситуация может возникать в результате какой-либо конкретной комбинации внешних факторов. Управление в сложных сетях требует применения моделей информационной ситуации на разных этапах маршрутизации. Информационные ситуации задают условия маршрутизации. Особенность маршрутизации в динамических сетях состоит в том, что маршруты в таких сетях не являются жесткими, а построены на системе правил взаимодействия.

17

Список литературы

1. Павлов Д. А. Моделирование крупномасштабной транспортной сети предфрактальными графами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 131.
2. Шайтура С. В. Распределенное управление в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – Т. 1. – № 3. – С.25-34.
3. Нестерова Н.С., Гончарук С.М. Мультимодальная транспортная сеть как элемент единой транспортной системы страны и её регионов // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1. – С. 66-73.
4. Цветков В.Я. Теория систем. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88с.
5. Кудж С.А., Цветков В.Я. Факторы когнитивной сложности // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 6 (10). – С.34-41.
6. Bargheer T., Coronado F., Vieira P. Octagons I: combinatorics and non-planar resummations // Journal of High Energy Physics. – 2019. – Т. 2019. – № 8. – С. 1-51.
7. Bannai E. et al. Algebraic combinatorics. – De Gruyter, 2021.
8. Тягунов А.М., Цветков В.Я. Вероятностная логика в алгоритмизации // Славянский форум. 2021, 2(32). С.234-243.
9. Тягунов А. М. Алгоритмы вероятностной и пространственной логики. – Saarbrücken, 2021. – 153 с.
10. Козлов А.В. Пространственное управление с применением геоданных // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4. – 4(16). – С.16-26.
11. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. – 2(8) – С.268-274.
12. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.27-33.
13. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.40-47.
14. Кужелев П.Д. Комплексное управление мегаполисом // Государственный советник. – 2015. – №3. – С.14-18.
15. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodeling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 25. С. 395-402
16. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е. Мета моделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. – №1. – С.112-119.
17. Болбаков Р. Г. Основы когнитивного управления // Государственный советник. – 2015. – №1. – С.45-49.
18. Цветков В.Я. Когнитивные аспекты построения виртуальных образовательных моделей // Перспективы науки и образования. – 2013. – №3. – С.38-46.
19. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4. – 3(15). – С.44-52.
20. Щенников А. Н. Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.17-25.
21. Воронин Д. А. Модифицированный метод секвенциального анализа // В мире научных открытий. – 2011. – № 3. – С. 258-266.
22. Тутов Е. Б., Грищенко И. Н., Шиховцева И. В. Некоторые аспекты формализации понятий секвенциального анализа // Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – № 2-4. – С. 95-96.
23. Якубайтис Э.А. информационные сети и системы. Справочная книга. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 368с.
24. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.85-91.
25. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №2. – С.118-122.
26. Рогов И. Е. Моделирование транспортных потоков // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.26-38.
27. Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // Славянский форум, 2016. – 2(12). – С.272-276.

18

28. Цветков В. Я. Анализ неявного знания // Перспективы науки и образования- 2014. - №1 (7). – С.56-60.
29. Козлов А.В., Матчин В.Т. Методы и алгоритмы управления группами подвижных объектов // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.15-28.
30. Козлов А.В. Многоцелевое субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 2(10). – С.17-28.
31. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
32. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
33. Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1-3. – С.455-456.
34. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – с.43-50.
35. Ознамец В.В. Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – с.22-31
36. Карганов В. В., Кудряшов В. А., Расчесова А. Г. Эффективность сети связи на основе ее стратификации, как сложной системы. – 2017.

19

УДК: 528.9; 004.94

Интеллектуальные системы и технологии
на транспорте

Кибернетическое зеркалирование для управления предприятиями транспортной инфраструктуры

Cyber mirroring for transport infrastructure enterprise management

Андреева О.А., Соискатель, МИИГАиК, E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Москва, Россия

Andreeva O.A., Postgraduate student, MIIGAiK, E-mail: andreeva_olga@inbox.ru, Moscow, Russia



Аннотация. В статье исследуется кибернетическое управление объектами транспортной инфраструктуры на основе технологии цифровых двойников и концепции IEM (intelligent enterprise managing). Модель цифрового двойника (digital twin) представляет собой синтез реального и виртуального предприятия в киберпространстве. В основу модели такого предприятия положена технология «зеркалирования», заимствованная их теории репликации баз данных. Реальное и виртуальное предприятие обмениваются информацией и взаимодействуют друг с другом. Кибернетическое управление является этапом развития цифрового управления. Статья формализует основные принципы кибернетического управления. Описаны пять аксиом IEM. Зеркалирование позволяет отражать все реальные процессы в киберпространство. В киберпространстве на основе системы стандартизованных правил управления и стандартизации моделируются оптимальные процессы производства и передаются на реальное предприятие.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, управление, виртуальное управление, социальная кибернетика, технология взаимного отображения, киберпространство.

Annotation. The article examines cyber management of transport infrastructure facilities based on digital twins technology and the concept of IEM (intelligent enterprise managing). The digital twin model is a synthesis of a real enterprise and a virtual enterprise in cyberspace. It is shown that the model of such an enterprise is based on the “mirroring” technology borrowed from their theory of database replication. Real and virtual enterprises exchange information and interact with each other. Cyber governance is a stage in the development of digital governance. The article formalizes the basic principles of cyber governance. Five axioms of the IEM are described. Mirroring allows you to reflect all real processes in cyber space. In cyberspace, based on a system of standardized management and standardization rules, optimal production processes are modeled and transferred to a real enterprise.

Keywords: transport, transport infrastructure, control, virtual control, social cybernetics, technology of mutual display, cyberspace.

20

Введение

Использование технологий Интернета вещей [1, 2] кибер-физических систем [3, 4], технологии Industry 4.0 [5] - привело к формированию направления в управлении, которое называется социальная кибернетика [6, 7]. Цифровые технологии привели к появлению цифрового управления [8, 9] и цифровой трансформации бизнеса [10]. Идеи социальной кибернетики привели к кибернетическому управлению. Использование идей репликации из теории баз данных, теории виртуализации предприятий и возможностей интернета вещей привело к формированию технологии Mutual mapping [11]. «Технология взаимного отображения» или «Mutual mapping» является этапом в технологиях управления организациями. Ядром технологии являются цифровые двойники [12]. Используя технологию зеркалирования из теории баз данных, можно утверждать, что Mutual mapping — кибернетический аналог двустороннего зеркала или кибернетическое отражение. Его называют цифровым двойником материального предприятия. Кибернетическое отражение и материальный оригинал равноправны.

Как отражение изменяется синхронно с оригиналом, так и управляемое предприятие в реальном времени проецирует на себя изменения цифрового двойника. Это и определяет название «взаимное отображение». Mutual mapping — развитие концепции digital twin, реализуемая IEM-системой технология управления произвольной организацией любого масштаба и сложности посредством создания ее виртуальной модели (кибернетического отражения), и последующего непрерывного взаимного mapping независимо друг от друга изменяющихся параметров материального оригинала и цифрового отражения в режиме реального времени

Mutual mapping как новая концепция управления

Технология mutual mapping — новый уровень развития концепции digital twin (цифрового двойника), трансформирующий ее в универсальный механизм управления организациями любого масштаба и сложности. Реализуемая в рамках операционной системы предприятия, mutual mapping предполагает создание цифрового двойника (кибернетического отражения) объекта транспортной инфраструктуры. Объект транспортной инфраструктуры является оригиналом. Его цифровой двойник жестко связан с оригиналом. После их создания запускается процесс взаимного (mutual) обмена изменениями (отображения — mapping). «Технология взаимного отображения» создает цифрового двойника (digital twin) реального предприятия в киберпространстве. Цифровой двойник в киберпространстве - это аналог «зеркала» из теории реплицирования баз данных [13, 14]. Однако в отличие от пассивного зеркала в области баз данных или в пространстве данных, цифровой двойник предприятия является активной моделью в киберпространстве и активизирует все действия, происходящие в реальном пространстве предприятия

Предприятие-оригинал и его цифровой двойник эволюционируют параллельно, при этом двусторонний процесс обмена изменениями происходит в режиме реального времени. Предприятие транспортной инфраструктуры и его «зеркало» цифровой двойник образуют замкнутую мета-систему (рис.1). Это означает что при создании подобной платформы необходимо использовать метамоделирование и мета модели [15, 16]

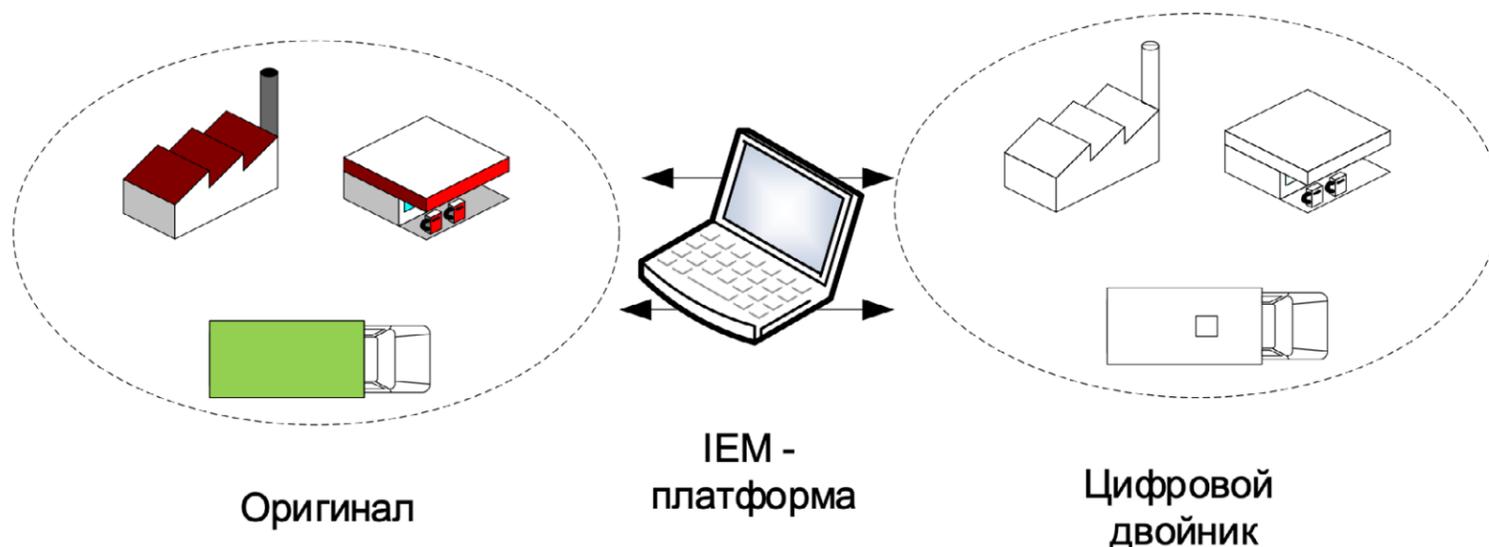


Рисунок 1.
Мета-система mutual mapping

Мета-система (рис.1) состоит из двух равноправных дихотомических, но не оппозиционных, систем, одной из которых является физическая организация транспортной инфраструктуры, а другой ее цифровое зеркало или цифровой двойник.

$$\text{ПТИ (rp)} \rightarrow \text{ЦЗД (vp)} \quad (1)$$

Выражение (1) говорит о том, что состояние реального предприятия транспортной инфраструктуры (ПТИ), описываемое реальными параметрами (rp) передается в его цифровой зеркальный двойник (ЦЗД) и в его виртуальные параметры (vp).

Система эта является саморазвивающейся. В виртуальном пространстве цифрового двойника оперативно проводится анализ, принимаются решения по измерению состояния цифрового двойника и формируются управляющие параметры (cp) для передачи в ПТИ.

$$\text{ЦЗД (cp)} \rightarrow \text{ПТИ (npr)} \quad (2)$$

Выражение (2) говорит о том, что управляющие параметры (cp) цифрового зеркального двойника передаются в реальное предприятие транспортной инфраструктуры и формируют его новое состояние за счет изменения и обновления его параметров на новые параметры (npr).

Взаимодействие, определяемое выражениями (1), (2) происходит непрерывно и это определяет непрерывность управления реальным предприятием. Однако модель взаимодействия, определяемая только выражениями (1), (2) является закрытой.

Состояние любого предприятия транспортной инфраструктуры с течением времени изменяется под влиянием колоссального количества внешних и внутренних факторов (ВВФ): поставщиков, потребителей, конкурентов, автоматических компьютерных сервисов и самоуправляемого производственного и логистического оборудования.

$$\text{ВВФ} \rightarrow \text{ПТИ (rp+dp)} \quad (3)$$

Выражение (3) говорит о том, что внешние и внутренние факторы (ВВФ) при воздействии на предприятие транспортной инфраструктуры влекут измерение его параметров (rp+dp).

При этом все изменения материального оригинала реплицируются в ее цифровой двойник в он-лайн-режиме.

$$\text{ПТИ (rp+dp)} \rightarrow \text{ЦЗД (cp+ dcp)} \quad (4)$$

Выражение (4) говорит о том, что изменение параметров предприятия транспортной инфраструктуры передается в цифровое зеркало и влечет реакцию цифрового зеркала в виде формирования компенсирующих управляющих параметров (dcp). Таким образом, все события эволюции предприятия транспортной инфраструктуры отражаются в ее цифровом двойнике. Соответственно, эти изменения мотивируют выработку компенсирующих воздействий, которые передают в оригинал

$$\text{ЦЗД (cp+ dcp)} \rightarrow \text{ПТИ (pss)} \quad (5)$$

Выражение (5) говорит о том, что компенсирующие параметры (dcp) воздействуют на состояние предприятия транспортной инфраструктуры приводят к формированию параметров стабильного состояния (pss).

Все события эволюции цифрового двойника, отражаются в материальном объекте. Они отражаются либо через действия организационной системы (руководимые и контролируемые IEM-системой), либо через директивно управляемые программами цифрового двойника промышленные роботы, конвейеры, автоматические кассы, складские погрузчики и другое.

Выражение (3), (4), (5) представляют собой модель открытой саморазвивающейся системы. При этом осуществляется двустороннее «зеркалирование». Оно состоит в том, что информация из реального пространства предприятия переносится в киберпространство двойника и, наоборот, информация из киберпространства переносится в реальное пространство предприятия. Кибернетический двойник предприятия и его оригинал равноправны. Двойственность зеркалирования в том, что не только отражение изменяется синхронно с оригиналом, но и управляемое предприятие в режиме он-лайн копирует в себя изменения цифрового двойника [17]. Это отражается термином «взаимное отображение». Исследование технологии Mutual mapping и связанной с ней концепции систем IEM открывает дополнительные возможности для управления и производства.

Интеллектуальная операционная система предприятия

Основой цифрового зеркалирования является IEM. Система IEM (intelligent enterprise managing) является интеллектуальной операционной системой предприятия. Буквально это означает интеллекту-

22

альное управление предприятием [18, 19]. Она пришла на смену ERP — системам планирования ресурсов.

Парадигма IEM заключается в разработке комплекса теорем формальной кибернетики и социальной кибернетики, моделирующих эволюцию и ориентированных на эффективное функционирование предприятия в открытой среде.

В процессе развития концепция IEM была трансформирована в тезисные принципы — 5 императивов IEM. Различают общую и частные системы IEM. Общая система IEM — универсальная метамодель высокой абстракции. Локальные системы IEM представляют собой решения, получаемые применением универсальных принципов IEM к условиям конкретного предприятия транспортной инфраструктуры.

Основные компоненты IEM показаны на рис.2. Это целостность (Integrity), замкнутость (Completeness), систематика или упорядоченность (Orderliness), симметрия (Symmetry), универсальность (Universality).

Целостность (Integrity) трактуют также как монолитность. Монолитность IEM системы гарантирует достоверность данных системы. Достоверность в математическом смысле означает, что либо достоверны (D) все данные, содержащиеся в инфоконтейнере IEM, либо они же недостоверны ($\neg D$) все вместе. Промежуточные состояния исключены. Этот принцип формализовано отражен в выражении (6).

$$D \vee \neg D = 1 \quad (6)$$



Рисунок 2. Компоненты IEM

Замкнутость (Completeness) означает закрытость и защищенность хранилища данных IEM системы — Вся информация помещена в плотно замкнутый контейнер, внутри которой функционирует предприятие. IEM Система инкапсулирует всю интерпретируемую информацию об исполнении бизнес-процессов компании. Если обозначить данные предприятия как D, а внешние воздействия как E, то принцип замкнутости можно записать в виде выражения (7).

$$D \cap E = \emptyset \quad (7)$$

Упорядоченность (Orderliness). Императив упорядоченности IEM понуждает к стандартизации всех бизнес-процессов, вводимых в контур системы. В правильной методологии внедрения — всех цепочек создания стоимости предприятия. Одновременное упорядочивание всех цепочек создания стоимости — кристаллизация предприятия из состояния расплывчатой неопределенности в прозрачно формализованную управляемость.

Если существует язык управления Lc, включающий стандартный алфавит стандартизованные операции и правила формирования операций, то множество цепочек создания стоимости (ЦСС) принадлежит этому языку. Этот принцип формализовано отражен в выражении (8)

$$\text{ЦСС} \subseteq L_c \quad (8)$$

Симметрия (Symmetry) означает динамическую симметричную модель реальной и цифровой системы предприятия. IEM Система реализует симметричную цифровую модель, взаимно-однозначное кибернетическое отражение управляемого предприятия. Реальная модель предприятия RME создается в пространстве реальных параметров RP. Цифровая модель предприятия DME создается в пространстве цифровых параметров DP. Между ними с позиций информации I существует информационное соответствие, показанное в выражении (9).

$$I(RME) = I(DME) \quad (9)$$

Выражение (9) описывает информационное состояние. С позиций логики [I] модели реального и цифрового предприятия эквивалентны, что показано в выражении (10)

$$RME(RP) = DME(DP) \quad (10)$$

23

Выражение (10) описывает информационное и логическое состояние. Параметры виртуальной IEM-модели эволюционируют синхронно с изменениями живого бизнеса. Этот динамический процесс показан в выражении (11).

$$\Delta S(RME) \rightarrow \Delta RP \quad (11)$$

Выражение (11) означает, что изменение состояния реального предприятия $\Delta S(RME)$ в реальном пространстве влечет изменение параметров ΔRP реального предприятия. Это изменение ΔRP влечет изменение параметров ΔDP в виртуальном цифровом пространстве. Этот причинно-следственный процесс отражен выражением (12).

$$\Delta RP \rightarrow \Delta DP \quad (12)$$

Изменение параметров ΔDP цифрового предприятия влечет изменение состояния цифрового предприятия $\Delta S(RME)$ в виртуальном пространстве. Этот управленческий процесс отражен выражением (13).

$$\Delta DP \rightarrow \Delta S(DME) \quad (13)$$

Изменение состояния цифрового предприятия при отражении на множество языка управления (правил управления) вырабатывает управляющие воздействия на цифровое предприятие. Этот управленческий процесс отражен выражением (14).

$$\Delta S(DME) \cap L_c \rightarrow C_d(DME) \quad (14)$$

Управляющие воздействия на цифровое предприятие реплицируются в пространство реального предприятия и создают управляющие воздействия на реальное предприятие. Этот управленческий процесс отражен выражением (15).

$$C_d(DME) \rightarrow C_d(RME) \quad (15)$$

Управляющие воздействия на реальное предприятие переводят его в новое состояние S^* . Этот управленческий процесс отражен выражением (16).

$$C_d(RME) \rightarrow S^*(RME) \quad (16)$$

новое состояние S^* соответствует целевому состоянию S_c . Этот информационный процесс отражен выражением (17).

$$S^*(RME) = S_c(RME) \quad (17)$$

Таким образом осуществляется управление реальным предприятием, в ходе которого используют: причинно-следственные связи, модели состояний, правила эквивалентности и управленческие процессы. Совокупность выражений (9) – (17) отражает управляющую цепочку управления реальным предприятием с помощью цифрового двойника.

Универсальность (Universality). Универсальность раскрывает качественное содержание языка управления. Этот язык не является произвольным, а включает стандарты управления, стандартизованные правила управления, допустимые критерии оптимальности. Еще раз следует подчеркнуть, что этот язык не язык дескриптивного описания, а язык кибернетического управления, который включает правила, нормативы и правила построения новых правил.

Кибернетика IEM системы моделирует произвольное предприятие в не только в пространстве параметров, но и в пространстве технологических цепочек (правил производства). Фактически она моделирует «цепочки создания стоимости» (ЦСС value chains). И это делает кибернетическое управление, согласно «теореме кибернетически-оптимального управления» IEM наилучшим возможным управлением. Способность к оптимальному моделированию произвольных бизнес-процессов естественным образом приводит как к универсальной функциональности. В цифровом пространстве DME может быть реализован любой логически непротиворечивый функционал. Таким образом, единая IEM система

а) заменяет любые частно-функциональные системы (ERP, CRM, WMS, MES, BPM, PAS, ...) — все сразу и одновременно,

б) предоставляя их функционал с ранее недостижимым уровнем качества, так и к универсальной отраслевой применимости (в сущности, эквивалент предыдущего): в бизнесе любой отрасли, масштаба и сложности операций.

Совокупность моделей «цепочки создания стоимости» (ЦСС) фактически является моделью искусственной нейронной сети. Она задает универсальный функционал управленческих решений. Это обеспечивает высокое интеллектуальное качество управления предприятием. При этом качество предоставляемого IEM системой функционала будет выше любого узко специализированного решения. Это обусловлено тем, что управленческий язык системы включает все возможные управленческие

24

ситуации и правила действия в этих ситуациях. В итоге, IEM система гарантирует наивысшую возможную эффективность решения любой формулируемой задачи в сфере управления бизнес-процессами произвольной организации.

Применение пространственной информации в управлении

Особенность управления предприятиями транспортной инфраструктуры состоит в необходимости применения пространственной информации для управления. Применение пространственной информации влечет необходимость использования методов геоинформатики [20]. Головной организацией по применению геоинформатики в РЖД является АО НИИАС. Применение пространственной информации для управления содержит два качественных этапа: подготовительный и оперативный. Подготовительный этап включает сбор информации и формирование моделей, которые могут использоваться в ГИС, ситуационных центрах. Для работы в ГИС необходимо формировать специальные информационные модели [21]. Для оперативной работы по управлению подвижными объектами и анализа состояния стационарных объектов транспортной инфраструктуры необходимо трехмерное моделирование и трехмерные модели [22, 23].

В технологиях автоведения поездов [24, 25] и при решении задач прогнозирования применяют виртуальные модели [24, 25] и виртуальное моделирование. Пространственная информация используется в различных комбинациях таких как смешанная реальность [28] и дополненная реальность [29].

Использование пространственной информации включает две дополняющие задачи: размещение объектов транспортной инфраструктуры [30] и управление объектами транспортной инфраструктуры, включая подвижные объекты [31]. В настоящее время для управления подвижными объектами используют космические технологии [32], которые опираются на пространственную координатную основу.

Транспортная сфера характеризуется сетевыми структурами [33], поэтому для управления объектами транспортной инфраструктуры необходимы сетевые пространственные модели. На рис.3. приведена региональная система управления объектами транспортной инфраструктуры. Ядром системы является региональная ГИС, которая содержит набор карт и возможность их модификации и преобразования. Исходными материалами служат данные различных баз данных.

Оперативная информация поступает в базу геоданных (БГД), из которой берется для принятия решений.

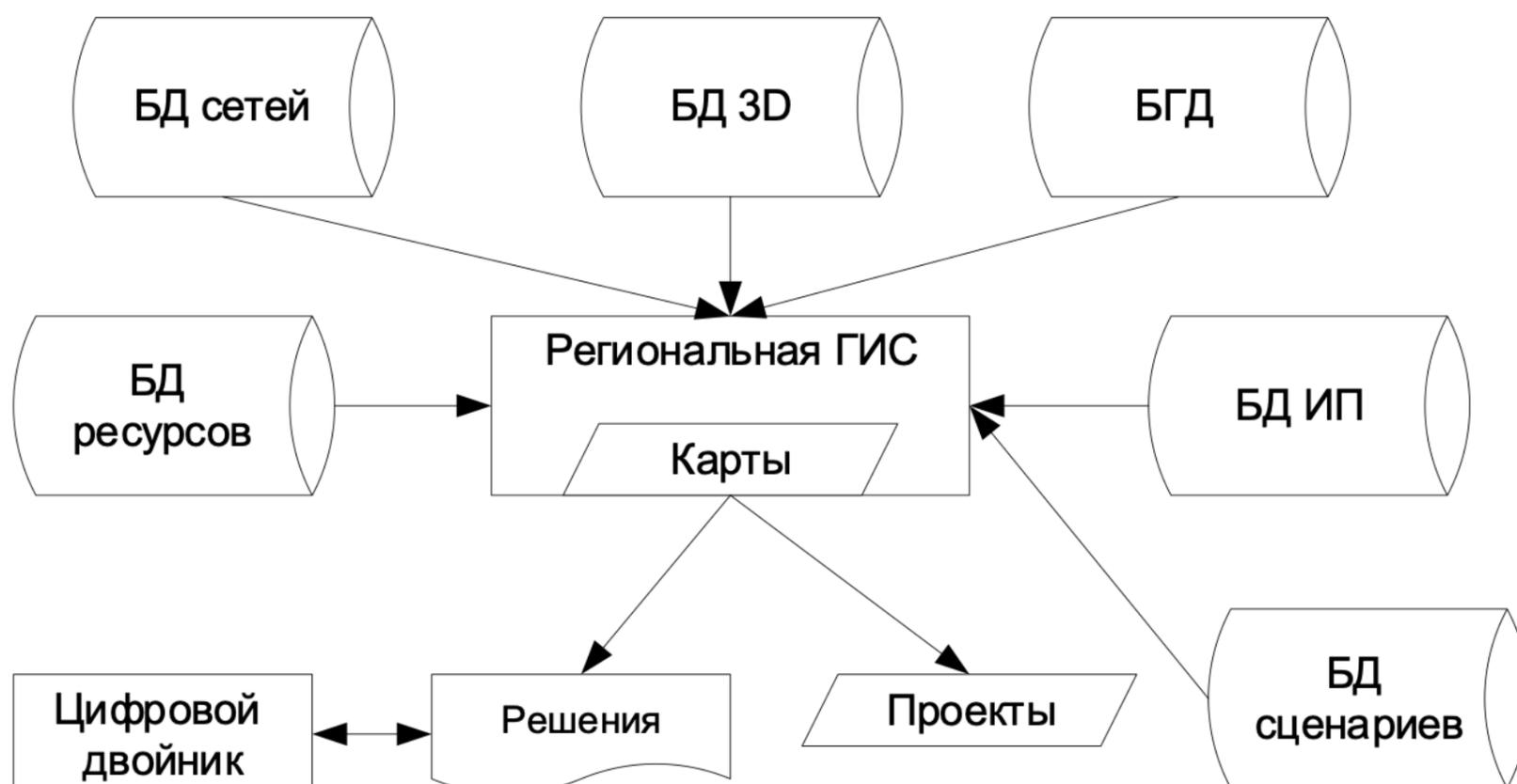


Рисунок 3. Региональная система управления транспортной инфраструктурой

25

В систему входят две базы данных моделей. Первая база - это база сетевых моделей или сетей (БД сетей), вторая база данных это база данных трехмерных объектов транспортной инфраструктуры (БД 3D). Для управления нужны ресурсы. С этой целью в системе регионального управления имеется БД ресурсов. Развитие любой отрасли предполагает использование инвестиций. С этой целью в системе регионального управления имеется база инвестиционных проектов (БД ИП). Для учета возможного развития событий в региональной системе имеется база стереотипов или база сценариев. Комплексная обработка информации с учетом всех перечисленных источников дает возможность формировать обоснованные проекты или решения. Решения могут формироваться с использованием технологии цифрового зеркалирования. Для этой цели в систему включается цифровой двойник, в который вводится та же информация, что и региональную ГИС.

Заключение

Существует ряд ограничений применения данной технологии. Оно обусловлено ростом сложности модели с ростом связей внутри предприятия. Это ограничение связано с применяемыми вычислительными ресурсами. Также ограничением является масштаб предприятия или совокупность управляемых предприятий. В настоящее время большие масштабы и высокая сложность создают проблему больших данных, которая является информационным барьером для управления, но решается путем обработки геоданных. Для распределенных сетевых моделей характерна асинхронность информационных потоков и значимые времена задержки. Более перспективными являются субсидиарные предприятия, которые являются аналогами природных мультиагентных систем.

Кибернетическое управление является новым шагом в развитии управления. Модель цифрового двойника позволяет создать цифровое киберпространство, которое управляемости контролирует материальное производство. За рамками рассмотрения данной работы осталась теорема «кибернетически оптимального управления». Однако задача данной статьи состояла в том, чтобы раскрыть технологическую сущность модели и формально описать основные принципы, которые в конкретных ситуациях будут детализироваться и расширяться. Однако пока этот подход применим только для предприятий среднего масштаба и локализо-

ванных в одном географическом месте. Проект IEM на транспорте целесообразно реализовать как проект сложной интегрированной системы с включением в нее транспортных кибер-физических систем.

26

Список литературы

1. Popkova E. G. et al. The model of state management of economy on the basis of the internet of things // *Ubiquitous Computing and the Internet of Things: Prerequisites for the Development of ICT.* – Springer, Cham, 2019. – С.1137-1144.
2. Dai H. N., Zheng Z., Zhang Y. Blockchain for Internet of Things: A survey // *IEEE Internet of Things Journal.* – 2019. – Т. 6. – № 5. – С.8076-8094.
3. Xu L. D., Duan L. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey // *Enterprise Information Systems.* – 2019. – Т. 13. – № 2. – С.148-169.
4. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // *Перспективы науки и образования.* – 2017. – №3(27). – С.55-60.
5. Javaid M. et al. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic // *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews.* – 2020. – Т. 14. – № 4. – С. 419-422.
6. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Социальная кибернетика в цифровизации транспортной инфраструктуры // *Наука и технологии железных дорог.* 2020. Т.4.– 3(15). – С.3-14.
7. Кудж С.А. Цветков В.Я. Развитие социальной кибернетики // *Славянский форум.* -2020. – 3(29). – С.96-106.
8. Ожерельева Т. А. Цифровое управление // *Славянский форум.* -2020. – 3(29). – С.44-55.
9. Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Sultaeva N. L. Digital Enterprise Management in Cyberspace. 2nd International Scientific and Practical Conference “Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth” (MTDE 2020). *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 138, 361-365.
10. Matt C., Hess T., Benlian A. Digital transformation strategies // *Business & Information Systems Engineering.* – 2015. – Т. 57. – № 5. – С. 339-343.
11. Funke K., Banhatti R. D. Coupling model and MIGRATION concept–Equivalence and mutual mapping // *Journal of non-crystalline solids.* – 2007. – Т. 353. – № 41-43. – С. 3845-3852.
12. Rasheed A., San O., Kvamsdal T. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective // *Ieee Access.* – 2020. – Т. 8. – С 21980-22012.
13. Цветков В. Я. Цифровое управление предприятием в кибер пространстве // *Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях.* – Бургас, 2020. – С.12-19.
14. Дворников В. С., Тюрин К. А., Елисеев А. С. Программное средство зеркалирования файлов в инфраструктуре VMware vSphere (VM-file-mirror v1. 2). – 2018. Патент: RU 2018666989.
15. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodeling in the information field // *Amazonia Investiga.* 2020. Т. 9. № 25. С.395-402.
16. Song L. K., Bai G. C., Li X. Q. A novel metamodeling approach for probabilistic LCF estimation of turbine disk // *Engineering Failure Analysis.* – 2021. – Т. 120. – С.105074.
17. Lenard M. J., Akhter S. H., Alam P. Mapping mutual fund investor characteristics and modeling switching behavior // *Financial Services Review.* – 2003.
18. Ryu K., Jung M. Fractal Approach to Managing Intelligent Enterprise // *Creating Knowledge Based Organizations.* – Igi Global, 2004. – С.312-348.
19. Quinn J. B. The intelligent enterprise a new paradigm // *Academy of Management Perspectives.* – 2005. – Т. 19. – № 4. – С.109-121.
20. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // *Геодезия и картография.* – 2013. – №4. – С.52-57.
21. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.* -2005. – №2. – С.118-122.
22. Андреева О.А. Трехмерное моделирование объектов транспортной инфраструктуры // *Наука и технологии железных дорог.* 2021. Т. 5. №1 (17). – С.32-41.
23. Дышленко С.Г. Трехмерное моделирование в ГИС // *Перспективы науки и образования.* - 2014. – №2. – С.28-33.
24. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // *Наука и технологии железных дорог.* 2020. Т.4.– 3(15). – С.44-52.

27

25. Костроминов А. М. и др. Применение RFID-технологий в системе автоведения поездов метрополитена // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2009. – № 3.
26. Tsvetkov V. Ya. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, 1(11), pp.35-44.
27. I. P. Deshko, K.G. Kryazhenkov, E. E. Cheharin. Virtual Technologies // Modeling of Artificial Intelligence. 2016, 1 (9), p.33-43.
28. Болбаков Р.Г., Мордвинов В.А., Сеницын А.В. Смешанная реальность как образовательный ресурс // Образовательные ресурсы и технологии –2020. – № 4 (33). – С. 7-16.
29. Фешина Е. В., Гонатаев Р. Г. Дополненная реальность: настоящее и перспективы развития // Наука XXI века: проблемы, перспективы и актуальные вопросы развития общества, образования и науки. – 2018. – С.343-348.
30. Розенберг И.Н., Старостина Т.А. Решение задач размещения с нечеткими данными с использованием геоинформационных систем. - М. Научный мир, 2006. - 208с.
31. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
32. Розенберг И.Н., Тони О.В., Цветков В.Я. Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий // Транспорт Российской Федерации. - 2010. -№ 6. - С.54-57.
33. Дышленко С.Г. Модели построения маршрутов в транспортной сети // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 4(8). – С.48 -56.

28

УДК: 528.02; 528.06

Геоинформационные технологии и системы
на транспорте

Транспортный мониторинг

Transport monitoring

Ознамец В. В. к.т.н., профессор, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),

E-mail: voznam@bk.ru, Москва, Россия

Oznamets V. V. PhD, Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK),

E-mail: voznam@bk.ru, Moscow, Russia



Аннотация. В статье исследуется транспортный мониторинг как специальное направление, объединяющее разные виды мониторинга. Выделены два основных направления транспортного мониторинга: космический мониторинг транспорта и геотехнический мониторинг транспорта. Каждое из направлений имеет свою специфику и дополняет другое направление, раскрыта структура и содержание транспортного мониторинга. Дается системный анализ мониторинга, описывается структура и содержание транспортного мониторинга. Описано содержание космический мониторинг транспорта. Раскрывается содержание и геотехнический мониторинг транспорта. Показано различие между и геотехническим мониторингом и геотехническим мониторингом транспорта. Показано, что цифровая трансформация общества вызывает изменение в мониторинге транспорта. **Ключевые слова:** транспорт, геотехнический мониторинг, космический мониторинг, геоинформационный мониторинг, транспортный мониторинг.

Annotation. The article examines transport monitoring as a special area that combines different types of monitoring. There are two main directions of transport monitoring: space monitoring of transport and geotechnical monitoring of transport. Each of the directions has its own specifics and complements the other direction. A systematic analysis of monitoring is given. The article describes the structure and content of transport monitoring. The content of space monitoring of transport is described. The content and geotechnical monitoring of transport are revealed. The difference between both geotechnical monitoring and geotechnical monitoring of transport is shown. The article shows that the digital transformation of society is causing a change in transport monitoring.

Keywords: transport, geotechnical monitoring, space monitoring, geoinformation monitoring, transport monitoring.

29

Введение

Стратегическая задача развития РЖД включает переход на цифровые методы контроля и управления железных дорог [1]. Для цифровых методов управления транспортом [2-6] требуется техническая и информационная поддержка, включающая мониторинг. Мониторинг в системе управления движением и транспортной инфраструктурой выполняет функции поддержки. При мониторинге транспорта применяют разные виды мониторинга: геодезический [7] геоинформационный мониторинг [8], космический мониторинг [9, 10], глобальный мониторинг [11], комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры [12] и другие.

С другой стороны, эти виды мониторинга могут применяться и в других направлениях - в строительстве, кадастре, землепользовании, недропользовании, городском управлении и т.д. Это мотивирует выделение транспортного мониторинга как самостоятельного направления, объединяющего разные виды мониторинга. Решающих задачи, связанные с развитием и управлением транспортной инфраструктуры. Мониторинг применяют для: исследования экологического состояния [13]; для контроля движения; контроля объектов недвижимости, контроля пожароопасных ситуаций и так далее.

Структура и содержание транспортного мониторинга

Транспортный мониторинг является комплексом технологий и методов, которые объединяет общая цель - поддержка транспортной инфраструктуры. Транспортный мониторинг использует космические средства и наземные технологии и методы. В соответствии с этим в нем можно выделить космическое и наземное направление. На рис.1 приведена интеграционная структура транспортного мониторинга. В ней выделено космическое и наземное направление. Космическое направление представлено космическим мониторингом транспорта. Наземное направление представлено геотехническим мониторингом транспорта.

Основная характеристика космического мониторинга - глобальность. Космический мониторинг как метод глобального мониторинга земной поверхности имеет ряд преимуществ, к главным из которых относятся [9, 14]: обзорность наблюдения; получение информации на большие территории, что недоступно для наземных методов; наблюдение труднодоступных областей; получение информа-

ции в широком диапазоне электромагнитных волн. На рис.1 показано, что космический мониторинг получает информацию в оптическом диапазоне, радиолокационном диапазоне, в инфракрасном диапазоне, в диапазоне лазерного излучения. На один объект можно получить информацию в разных диапазонах, которая дополняет друг друга. Космическая информация является целостной системой, позволяющей дублировать информацию, получаемую по разным каналам. Здесь можно выделить системное свойство космической информации, которое позволяет рассматривать ее как сложную систему. По этой причине космические методы являются важным инструментом получения глобальной пространственной информации. Особенностью транспортного мониторинга является то, что отслеживает не только объекты, но и материальные потоки, то есть решает задачи логистики.

Термин «глобальная пространственная информация» является новым, и он свойственен только космической информации. Большое значение космические методы занимают при создании и эксплуатации цифровой железной дороги [2-6].

В космическом мониторинге следует выделить как отдельное направление космический мониторинг транспорта [15]. Космический мониторинг транспорта интегрирует все виды информации в единую целостную систему геоданных [16] на основе методологии геоинформатики. Отличие космического мониторинга транспорта в том, что космический мониторинг транспорта использует также методы космической геоинформатики.

Геотехнический мониторинг - это общее понятие, которое включает геотехнический мониторинг транспорта. Геотехнический мониторинг включает наблюдение за геотехническими объектами на земной поверхности. Он дополняет космический мониторинг. Геотехнический мониторинг транспорта включает геодезический, геоинформационный, логистический виды мониторинга. Он также включает экологический мониторинг, который на рис.1 не показан. Геотехнический мониторинг транспорта отличается от геодезического мониторинга тем, что он включает и использует множество сенсоров и датчиков, которые к геодезическому оборудованию не относятся. Геоинформационный мониторинг в геотехническом мониторинге транспорта решает проблемы интеграции данных. Фактически это означает, что в геотехническом мониторинге транспорта, как и в геоинформационном мониторинге, применяют геоданные.

30



Рисунок 1. Структурная схема транспортного мониторинга.

С помощью информационно-измерительных систем [17] геотехнический мониторинг обследует объекты транспортной инфраструктуры. С помощью моделирования геотехнический мониторинг исследует грузопотоки. Это определяет важность моделирования и моделей. Транспортный мониторинг служит основой развития интегрированной логистики [18].

Геотехнический мониторинг имеет технологические и информационные характеристики. Информационные характеристики геотехнического мониторинга описывают конкретные условия проведения мониторинга и характеристики объекта мониторинга. Технологические характеристики мониторинга описывают технологию работ и общую структуру мониторинга, безотносительно к конкретному объекту. При мониторинге выделяют следующие технологические характеристики: цель мониторинга; информационное поле мониторинга [15], объект мониторинга, методы или технологии мониторинга, модель объекта мониторинга. Эта структура показана на рис.2.

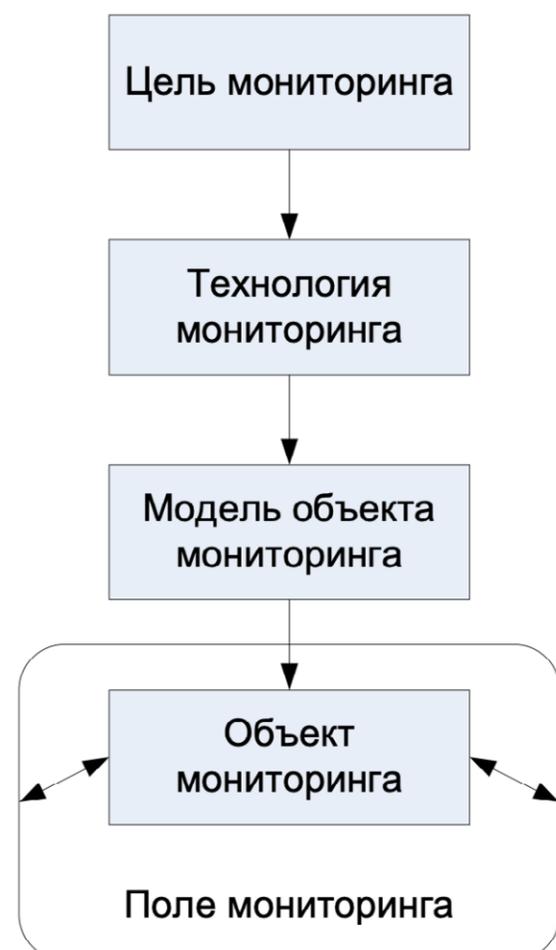


Рисунок 2. Общие характеристики мониторинга

31

Важнейшим технологическим параметром является цель мониторинга. Она вытекает из задач мониторинга. В зависимости от цели и имеющихся ресурсов определяют технологию мониторинга. Модель объекта мониторинга строят формируют основе опыта. Она, как правило, является неполной или инфологической [19].

Модели и моделирование при транспортном мониторинге

Модели и моделирование являются основой обработке информации в транспортном мониторинге. При этом мониторинге выделяют следующие информационные модели: информационную конструкцию, информационную модель ситуации; метамодель, модель информационного взаимодействия; информационные единицы, цифровые модели, модели процессов и пр.

В транспортном мониторинге применяют геоинформационные системы. Это накладывает требования к информационным моделям. Они должны быть приспособлены к применению в ГИС [20] и способствовать интеграции разных данных в единую информационную основу [21, 22].

Методической основой транспортного мониторинга является геоинформационный мониторинг. Соответственно, геоинформационное моделирование [23-25] является основой моделирования транспортного мониторинга.

Большое значение в транспортном мониторинге имеет цифровое моделирование [26-28], которое применяют для моделирования рельефа и объектов инфраструктуры. Специфическое место занимает геоинформационное моделирование по данным мобильного лазерного сканирования. Также особое место занимает ситуационное моделирование [29-31], которое используют при составлении прогнозов при транспортном мониторинге.

В транспортном мониторинге большое значение имеет обработка изображений и визуальное моделирование. Многие изображения требуют когнитивного анализа. В силу этого в этом мониторинге применяют также когнитивное моделирование [32, 33].

При анализе в транспортном мониторинге возникает необходимость обобщений и построения концептуальных конструкций. Эти задачи решает метамоделирование [34, 35]

Технологические компоненты транспортного мониторинга

Транспортный мониторинг представляет собой сложную технологическую систему. Он является целостной системой со всеми системными признаками. В нем происходит интеграция разных видов данных. Структура транспортного мониторинга как технологической системы приведена на рис.3.

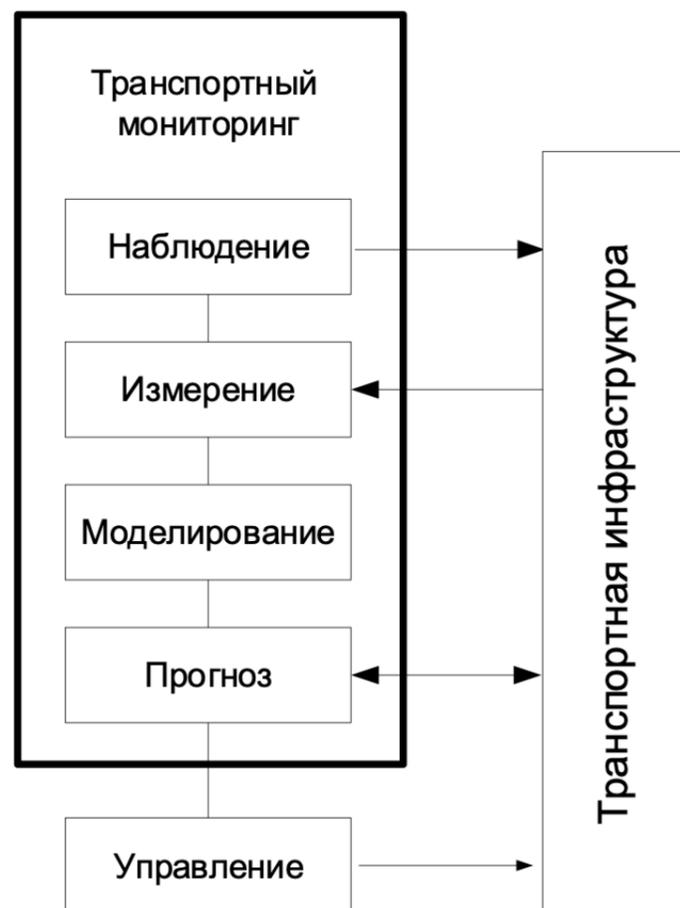


Рисунок 3. Технологические компоненты транспортного мониторинга.

Следует напомнить, что существуют разные типы сложных систем: технические, организационные, технологические, организационно-технические. Транспортный мониторинг всегда содержит технологическую систему. Он, как правило, содержит множество комплементарных технологий. Поэтому особенностью его развития является диверсификация или дифференциация.

Одним из важных факторов транспортного мониторинга является повышение скорости обработки информации и управления. Другим фактором является возможность подключения новых технологий к системе мониторинга, таких как использование БПЛА [36], технологии «интернета вещей» [37], облачные вычисления [38] и другие. При этом включение новых технологий в систему транспортного мониторинга не нарушает его целостности как системы мониторинга. Транспортный мониторинг применяют для разных целей. Это требует систематизации и классификации мониторинга. В таблице 1 приведена классификация мониторинга транспортных объектов.

32

Классификация транспортного мониторинга

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

Таблица 1

33

Дадим пояснение некоторым видам мониторинга. По активности мониторинга выделяют: 1. Активный мониторинг. 2. Пассивный мониторинг. Активный мониторинг означает, что объект мониторинга имеет некий источник излучения, который характеризует данный объект. Например, радиотехническая идентификационная метка. Этот сигнал поступает в систему мониторинга, где дает информацию о нахождении объекта. Пассивный мониторинг включает дистанционное наблюдение объекта без контакта с ним. В этом случае система мониторинга посылает сигнал, который отражается от объекта. По масштабу мониторинга разделяют: 1. Глобальный мониторинг. 2. Межнациональный мониторинг. 3. Национальный мониторинг. 4. Региональный мониторинг. 5. Локальный мониторинг. Глобальный мониторинг применяют для изучения процессов и явлений, протекающих в масштабе земного шара. Он исследует глобальные изменения на земной поверхности. Организация глобального мониторинга окружающей среды осуществляется в рамках программ ООН и Всемирной метеорологической организации. Глобальный мониторинг широко применяют для управления транспортными средствами, перемещающимися на большие расстояния.

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

Региональный мониторинг применяют для наблюдения в рамках субъектов Федерации и особых экономических зон. Целью интегрированного регионального мониторинга является контроль за транспортом и перевозками внутри данного региона и оценка эффективности внутренних перевозок. Мониторинг транспорта мегаполиса [39] относится к этому виду мониторинга. Этот мониторинг применяют при управлении устойчивым развитием территорий.

Локальный мониторинг или мониторинг объектов применяют к отдельным объектам, транспортная инфраструктура. Контроль эффективного использования транспорта и транспортной инфраструктуры – важнейшая задача локального мониторинга. Один из видов локального мониторинга предпола-

гает установку бортового блока на транспортные средства. С помощью передачи сигналов спутников через сеть GSM система мониторинга считывает координаты местонахождения транспорта, что позволяет осуществлять контроль перемещения транспорта. Здесь следует отметить связь спутниковых и наземных мобильных технологий. Функции контроля транспортных маршрутов дают возможность отслеживать нарушения в движении транспортных объектов в реальном времени.

Геоданные в транспортном мониторинге

Транспортный мониторинг представляет собой сложный комплекс интеграции космического геоинформационного, воздушного и геотехнического мониторинга. Основу организации такого комплекса составляют модели данных и информационные модели ситуаций. Основой интеграции данных служат геоданные. Модель геоданных при мониторинге показывает, какую важную роль играют правильные компоненты: «место», «время», «тема» при управлении транспортом и инфраструктурой. Геоданные применяют в геоинформатике, где накоплен большой опыт их использования, для мониторинга. Применение геоданных включает использование таких новаций как интеллектуальный анализ данных [40, 41], моделирование пространственных и визуальных данных [42], цифровое моделирование [43], ситуационное моделирование [44] и пространственный анализ данных.

Анализ данных транспортного геоинформационного мониторинга позволяет решать тактические и стратегические задачи. Например, данные по прошедшему году служат основой формирования плана за этот год. При использовании интегрированного мониторинга можно выделить два вида моделей: оперативные и тактические. Тактический подход имеет ограниченное приложение на небольших территориальных участках движения транспорта. Его преимущество необходимости обработки малого объема информации и в оперативности. Стратегический подход в транспортном мониторинге опирается на глобальные координатные системы. Он анализирует информацию на большой территории по всему маршруту. Он использует не только местные системы координат, но и координаты, связанные с геоцентрической системой. Его преимущество в возможности глубокого анализа. Ярким примером этого подхода является применение глобальных навигационных спутнико-

34

вых систем. Однако недостатком является необходимость обработки большого объема данных.

При транспортном мониторинге подвижный объект можно отслеживать в реальном времени в любой точке мира. Информация о задержке движения посылается всем заинтересованным лицам. Если появляется необходимость в изменении маршрута движения, это можно сделать оперативно. С появлением цифровой железной дороги и цифровой логистики [45] стало легче устранять потери в движении и сбои в доставке грузов. Транспортный мониторинг позволяет прогнозировать погодные условия и учитывать их при планировании движения. От точки опрвления до точки прибытия весь путь отображается в цифровом виде.

Транспортный геоинформационный мониторинг является сложной системой. Это является преимуществом, поскольку можно использовать системный подход для анализа технологий мониторинга и для анализа собранной информации.

При организации системы мониторинга его можно также рассматривать как сложную организационно-техническую систему. Это упрощает управление такой системой, поскольку можно использовать опыт СОТС. Расширение скоростных режимов движения и рост объемов перевозок повышают требования к системам мониторинга. Для интегрированного мониторинга адаптация к повышению скорости движения не представляет большой проблемы.

Транспортный мониторинг как прикладная система

Транспортный мониторинг применяют для решения разных задач: контроль движения транспортных средств; контроль экологического состояния среды; контроль объектов недвижимости, контроль пожароопасных ситуаций, контроль за транспортной инфраструктурой и прочее. С этих позиций транспортный мониторинг можно рассматривать как прикладную систему [46], которая решает прикладные задачи.

Типовая прикладная задача контроль расхода топлива. Она решается с помощью мониторинга и GPS системы «АвтоТрекер» [47]. Датчик расхода топлива в системе «АвтоТрекер» является беспроводным. Такое свойство позволяет его помещать в топливные баки любой формы. Он позволяет определять место слива и точное время слива.

Беспроводная связь обеспечивает непрерывную

передачу данных. Существуют многочисленные направления для применения этого подхода в секторе транспорта. Поясним некоторые направления.

Общественный транспорт

Технологические инновации, такие как «Интернет вещей», призваны модернизировать инфраструктуру общественного транспорта. Расписание автобусов становится доступным любому пользователю приложения к мобильному телефону. Поезда смогут отправлять данные в местный транспортный узел о необходимости помощи устройствам или вагонам.

Связь с транспортным средством

С помощью транспортного мониторинга подвижные объекты получают потоки данных от транспортных узлов и спутников. Система интернета вещей сообщит о неполадках. Автомобили широко используют спутниковую навигацию, для нахождения оптимального маршрута до пункта назначения.

Управление трафиком

Использование транспортного мониторинга и спутниковых данных уменьшает заторы на дорогах за счет мультиагентного алгоритма. Водители, информированные о пробках выбирают другой маршрут, а навигатор исключает маршрут с заторами.

Использование БПЛА

В транспортном мониторинге есть много возможностей применения БПЛА. Существуют системы разгрузки и погрузки, которые для малых грузов являются альтернативой подъемным кранам. Существуют более легкие беспилотники мониторинга дорог [48]. Они используют видеокамеры и цифровые камеры для визуального анализа дорожной ситуации.

Обслуживание дорог в зимний период

Сектор зимнего обслуживания дорог потребляет около 75 млрд. евро в Европе. Транспортный мониторинг с использованием космических технологий позволяет решать эти задачи.

35

Интеллектуальный мониторинг груза - RTICM

Транспортный мониторинг имеет условия для внедрения интеллектуального мониторинга. Такой мониторинг [49] RTICM - Real Time Intelligent Cargo Monitoring выполняет интеллектуальную обработку данных и контролирует цепочки грузов и цепочки доставки грузов. В настоящее время эта технология внедрена в систему доставки почтовых отправлений.

Заключение

Потребности массовых потребителей в транспортном мониторинге существуют и продолжают расти. Транспортный мониторинг применяет интегрированные геоинформационные системы, системы электронного обмена данными, системы спутниковой навигации и системы интеллектуальной обработки информации. Транспортный мониторинг является целостной сложной системой. В силу этого для него применимо системное управление и системный анализ геоданных. Основными мотивами развития транспортного мониторинга являются сокращение транспортных расходов, сокращение транзакционных издержек и улучшение качества обслуживания. На изменение содержания «транспортного мониторинга» повлияло также развитие геодезии и геоинформатики в других сферах. Появились геодезическая астрономия, космическая геодезия и космическая геоинформатика, которые внесли коррективы в транспортный мониторинг. Цифровая трансформация транспорта является инновационным комплексом технологией, повышающим эффективность транспорта обеспечения в любой стране. Цифровизация транспорта включает получение и использование пространственных знаний. В процессах цифровой трансформации транспортный мониторинг становится еще более сложной системой. Системный аспект дает основание рассматривать «транспортный мониторинг» как сложную организационно-техническую систему. Цифровая трансформация связывает транспортный мониторинг с бизнес геодезией [50] и с геосервисом.

36

Список литературы

1. Тягунов А. М. Цифровая трансформация в сфере транспорта. // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т.5. 2(18). - С.13-21.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.
3. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. - 2018. - 1(5). - С.69-79.
4. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181- 185.
5. Розенберг Е. Н. Цифровая железная дорога-ближайшее будущее // Автоматика, связь, информатика. - 2016. - № 10. - С. 4-7.
6. Урусов А. В. Цифровая железная дорога // Автоматика, связь, информатика. - 2018. - № 1. - С. 6-8.
7. Брынь М. Я., Никитчин А. А., Толстов Е. Г. Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. - 2010. - № 4 (29).
8. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №5. - С.151 -155.
9. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.48-55.
10. Бондур В.Г., Цветков В.Я. Дифференциация космического мониторинга объектов транспорта. // Перспективы науки и образования. - 2015. - №5 (17). - С.130-135.
11. I.V. Barmin, V.P. Kulagin, V.P. Savinykh, V.Ya. Tsvetkov. Near_Earth Space as an Object of Global Monitoring // Solar System Research, 2014, Vol. 48, No. 7, pp. 531–535. DOI: 10.1134/S003809461407003X.
12. Лёвин Б.А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. - 2017. - 1(1). - С.14-21.
13. Затягалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. - 2014. - №5(8). - С.94-99.
14. Савиных В.П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. - 2015. - №1(13). - С.56-62.
15. Бондур В.Г., Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Космический мониторинг транспортных объектов. Учебное пособие. - М.: МГУПС (МИИТ), 2015. - 72с.
16. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С.50-51.
17. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 94 с.
18. Булгаков С.В. Интегрированная логистика // Наука и технологии железных дорог. - 2018. - 3(7).-С.57-63.
19. Раев В.К. Инфодемологические модели как инструмент исследования // Славянский форум. -2020. - 3(29). - С.56-66.
20. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. - №2. - С.118-122.
21. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. - 2014. - 2 (6). - С.51 -55.
22. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №4. - С.150-154.
23. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. - 2(24). - С.7-12.
24. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 1999. - №4. - С.147 -157.
25. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование с использованием МЛС // Славянский форум. -2019. - 3(25). - С.7-18.
26. Павлов А.И. Цифровое моделирование пространственных объектов // Славянский форум, 2015. - 4(10)

37

– С.275-282.

27. Сеницын А.В. Цифровое моделирование железнодорожного пути // Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.84-90.

28. Бучкин В.А. Цифровое моделирование и геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.15-23.

29. Титов Е.К. Информационное ситуационное моделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С. 162-171.

30. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.

31. Савиных В.П. Пространственное ситуационное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. № 1. С. 92-104.

32. Рогов И.Е. Когнитивное метамоделирование // Славянский форум. 2021, 3(33). С. 115-128.

33. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С.3-9.

34. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов Е.К., Рогов И.Е. Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. - №1. – С .112-119.

35. Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P. Metamodelling in the information field // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 25. С.395-402.

36. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.43-53.

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

38. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. - №3. – С.110-115.

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

40. Hand D. J. Principles of data mining // Drug safety. – 2007. – Т. 30. – №. 7. – С. 621-622.

41. Шайтура С.В. Интеллектуальный анализ геоданных // Перспективы науки и образования. - 2015. - №6. - С.24-30.

42. Шорыгин С.М. Визуальное моделирование в информационных технологиях // Перспективы науки и образования- 2014. - №6. – С.19-25.

43. Рувинов И. Р. Применение цифровых моделей в материально техническом обеспечении // Науки о Земле. – 2013. – №. 1. – С.018-023.

44. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле.-№4-2012.-С.72-76.

45. Лёвин Б. А., Ефимова О. В. Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – №. 2. – С.142-149.

46. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №3. - С.76- 85.

47. Сатовский Б. Система "Автотрекер": возможности и эффективность // Логистика. – 2008. –№. 4.–С.24-25.

48. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.43-53.

49. <https://business.esa.int/projects/rticm>. Дата просмотра 20.08.2021.

50. Ознамец В.В. Развитие «Бизнес геодезии» // Науки о Земле. – 2018. - №2. – С.81-89.

Геоинформационные технологии и системы
на транспорте

Топологическое моделирование на базе транспортных геоданных

Topological modeling based on transport geodata

Титов Е.К., Зам. директора, ООО «Функция ИТ», E-mail: sergejs.tit@yandex.ru, Белгород, Россия

Titov E.K., Deputy Director, «IT Function» LLC, E-mail: sergejs.tit@yandex.ru, Belgorod, Russia.



Аннотация. Статья посвящена исследованию топологических моделей для решения транспортных задач. Топологическая модель геоданных описывает информационную неопределенность, и может применяться, когда плановые условия перевозки нарушены. Статья вводит два новых понятия: транспортные геоданные и информационная топологическая ситуация, рассмотрено ядро информационной топологической ситуации. Топологическое моделирование на транспортных геоданных позволяет в едином комплексе анализировать структуры, потоки и семантику потоков. Наиболее сложную форму топологическое моделирование на транспортных геоданных приобретает для автомобильного транспорта. Рассмотрено применение ГИС для моделирования топологии, показано различие между обычной топологией и топологией при моделировании транспортных потоков.

Ключевые слова: транспорт, пространственное моделирование, топология, транспортные геоданные, информационная ситуация, скользящая пространственная модель.

Annotation. The article is devoted to the study of topological models for solving transport problems. A topological geodata model describes information uncertainty and can be applied when the planned transportation conditions are violated. The article introduces two new concepts: transport geodata and information topological situation, the core of the information topological situation is considered. Topological modeling based on transport geodata allows analyzing the structures, flows and semantics of flows in a single complex. Topological modeling based on transport geodata takes on the most complex form for road transport. The application of GIS for modeling topology is considered, the difference between conventional topology and topology when modeling traffic flows is shown.

Keywords: transport, spatial modeling, topology, transport geodata, information situation, sliding spatial model.

39

Введение

В настоящее время геоданные [1-4] являются важным информационным ресурсом [5], применяемым в налогообложении [6], при мониторинге, при получении знаний [7], проектировании, а также в управлении [8-11]. Геоданные являются атрибутом геоинформатики и разрабатываются и развиваются в соответствии с развитием геоинформатики [12] и появлением новых задач, требующих геоданных нового вида. Транспортные геоданные как раз есть новый вид геоданных который возник как информационная потребность [13] решения задач в сфере транспорта. Управление подвижными объектами [14] использует топологические схемы.

Эти схемы можно представить как топологическое описание и как топологическую логическую модель [15, 16]. Топологическая логическая модель

также может быть рассмотрена как новый вид геоданных. Геоданные содержат топологию, поэтому служат основой построения топологических моделей. Транспортные геоданные это в первую очередь геоданные описывающие транспортную инфраструктуру и соответственно транспортную топологию. Обычно считают, что исходные условия перевозки и условия реализации перевозки не меняются. В рамках такой модели геоданных граф перевозки – простой граф. Если условия реализации перевозки меняются, то такую модель описывает мультиграф. В этом случае топологическая модель геоданных содержит информацию об изменении условий перевозки. Это значит, что топологическая модель геоданных может применяться когда плановые условия перевозки нарушены [17].

Информационная ситуация как топологическая модель

Объекты транспорта всегда двигаются в ситуации, размер которой зависит от скорости объекта. Это приводит к необходимости использования модели информационной ситуации [18, 19]. Модель информационной ситуации применяется в управлении [20, 21]. С понятием информационной ситуации связано понятие ядра ситуации. Ядро ситуации это - главный объект в ситуации. В топологическом представлении это основной узел. Для топологической сети ядром является узел, в котором находится подвижный объект. На рис.1 показан фрагмент сети как информационная ситуация и ядро ситуации

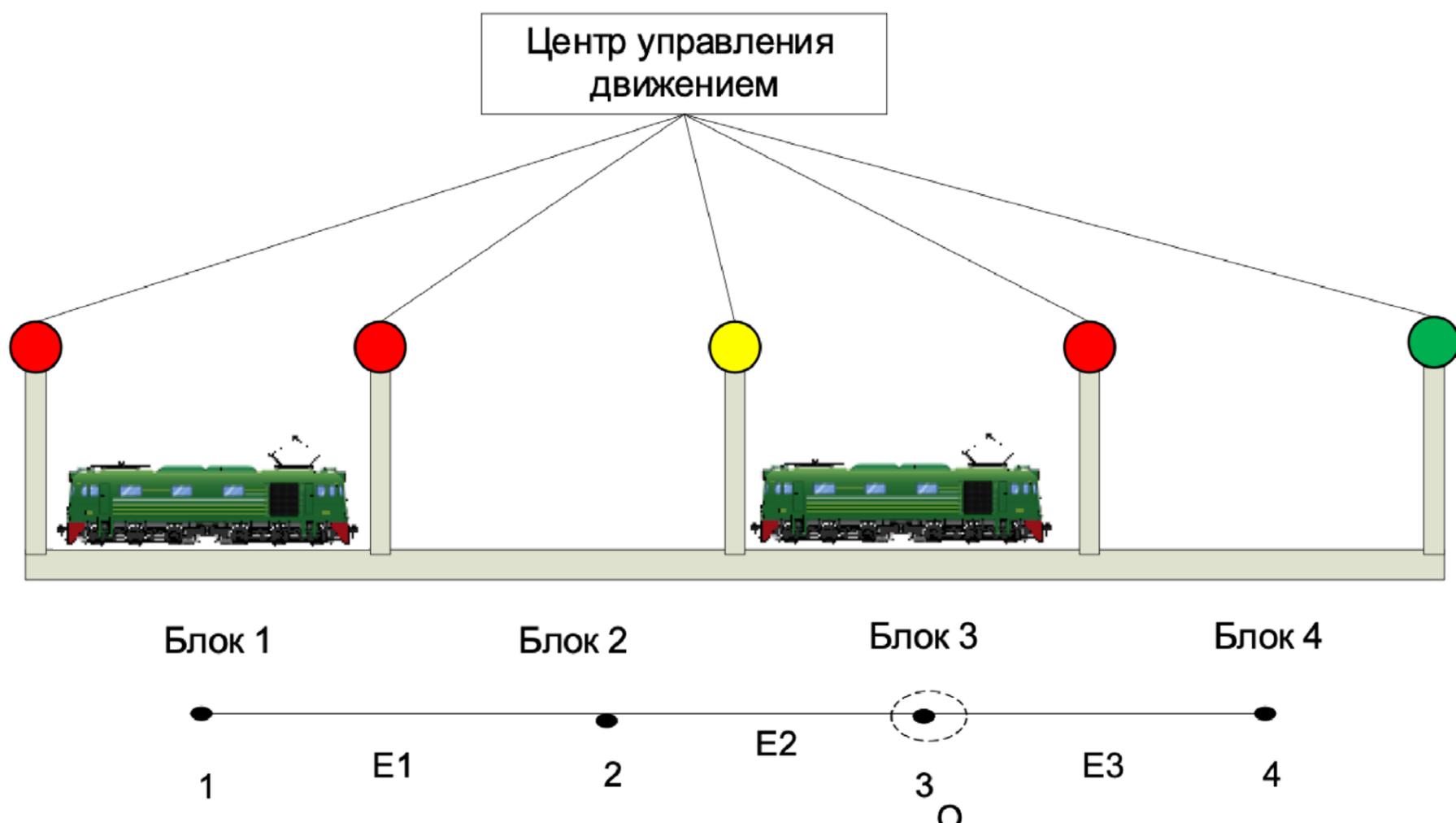


Рисунок 1. Фрагмент сети как информационная ситуация и ядро ситуации

40

Внизу дана топологическая схема реальной ситуации. Вершины (блоки) обозначены цифрами от 1 до 4. Дуги обозначены символами E1-E3. Объект (O) находится в вершине 3 (блок 3). Это и есть ядро данной информационной ситуации. Дополняет ядро информационной ситуации окружение [22, 23] объекта. В семантическом аспекте это семантическое окружение. В пространственном аспекте это пространственные отношения. В работе [24, 25] введены два новых понятия: «Информационная ситуация – условие» и «Информационная ситуация – решение». Эти понятия могут быть применены в топологическом моделировании транспортных геоданных.

В данной работе вводим новое понятие транспортные геоданные. транспортные геоданные – это геоданные топология которых содержит характеристики движения, которые отсутствуют в традиционной теории графов. То есть транспортные геоданные задают более сложную топологию, которая теорией графов не описывается. Транспортная сеть имеет сетевую структуру. Это сближает ее с моделями распределенных систем.

Можно ввести понятие информационная топологическая ситуация. Информационная топологическая ситуация может быть рассмотрена как визуальная модель транспортных геоданных выраженная средствами топологии и графами. При движении объекта по сети ситуация двигается вместе с ним и поэтому ее можно назвать скользящей. Аналогом скользящей информационной топологической ситуации является фрагмент сети. (Рис.1). Рассмотрение фрагмента сети позволяет не рассматривать всю сеть и сосредоточивает внимание на конечном счетном множестве узлов и связей между ними.

Применение ГИС для моделирования топологии

Геоинформационная система наиболее приспособлена для моделирования пространственной топологии и включает специальный инструментарий для этого. Рассмотрим применение ГИС для моделирования топологии на примере геоинформационной системы КБ «Панорама» «Карта 2008» [26]. Топологически любая пространственная дорожная сеть представляет собой совокупность вершин и связей между ними. В частных случаях ребра между узлами описывают отношения между узлами. Сеть, с семантическими информационными отношениями между вершинами, применяют для представления знаний. Сеть, с пространственны-

ми отношениями между вершинами, применяют для представления пространственной ситуации, в частности с транспортной информационной ситуацией.

Информационная топологическая ситуация моделируется как неориентированный граф, ориентированный граф, мульти граф. Ориентированный мульти граф. Ее вершины представляют узлы дорог, а ребра представляют собой отрезки дорог между узлами.

Информационная топологическая ситуация может иметь представление в семантическом поле как семантическая сеть. В этом случае узлы соответствуют понятиям, а дуги есть информационные отношения между понятиями [27]. Такая модель может быть рассмотрена как семантическая информационная ситуация. Системный подход [28] дает возможность описать обобщенную информационную ситуацию InfSit как систему.

$$\text{InfSit} = \langle O_s, \text{Cint}, \text{Str}, \text{Cout}, R \rangle, \quad (1)$$

В выражении (1) O_s – ядро ситуации; Cint – внутренние связи в информационной ситуации. Cout – внешние связи информационной ситуации с внешней средой. Str – структура информационной ситуации, определяемая ее ключевыми параметрами. R – отношения между параметрами информационной ситуации. Различие между сложной системой и информационной ситуацией состоит в том, что сложная система имеет четко выраженные границы, а для ситуации границы расплывчаты и переменны.

Информационная ситуация в процессуальном аспекте может быть рассмотрена как алгоритм. Применение ГИС требует создания специальной информационной модели [29, 30], Применение ГИС требует интеграции разнородных данных в единую информационную основу [31, 32].

Формирование топологической модели геоданных

Топологическая модель геоданных предназначена для анализа и поиска оптимальных маршрутов в транспортной сети. Топологическая модель геоданных создается по выделенным объектам сети и представляет собой топологическую схему с дугами и узлами. Топологическая модель геоданных формируется в два этапа: этап информационного конструирования [33] и этап эксплуатации.

На этапе информационного конструирования в се-

41

мантические характеристики дуг и узлов записывается информация о связности сети и атрибуты для решения прикладных задач. Дуги в транспортных геоданных создают двух видов – с двусторонним и односторонним движением.

На этапе информационного конструирования пользователь может вручную удалить или добавить узлы сети, заменить дугу с двусторонним движением на дугу с односторонним движением, провести распараллеливание дуг (дорог), создать специальные дуги -развороты, сформировать на перекрестках запреты поворотов.

Узлы могут иметь разную валентность. Например, при последовательном соединении двух дуг имеет место валентность второго порядка, при формировании перекрестка валентность четвертого порядка.

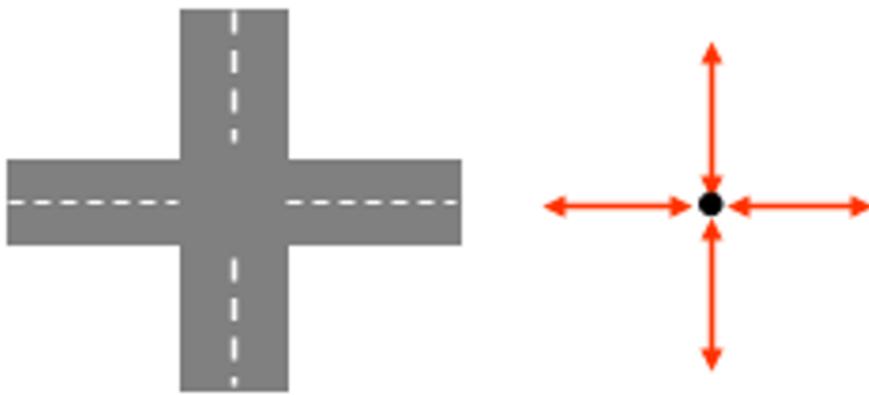


Рисунок 2. Информационная ситуация, описывающая простой перекресток

На рис.2 представлена информационная ситуация, описывающая простой перекресток. Это пример 4-х валентного пересечения. Слева дается ситуация в картографической форме. Справа эта же ситуация, изображенная в виде топологической модели. ГИС «Карта 2008». Обладает способностью по топологии воспроизводит картографическую форму. Развилка имеет валентность третьего порядка т.п. На рис.3 представлена информационная ситуация с валентностью 5.

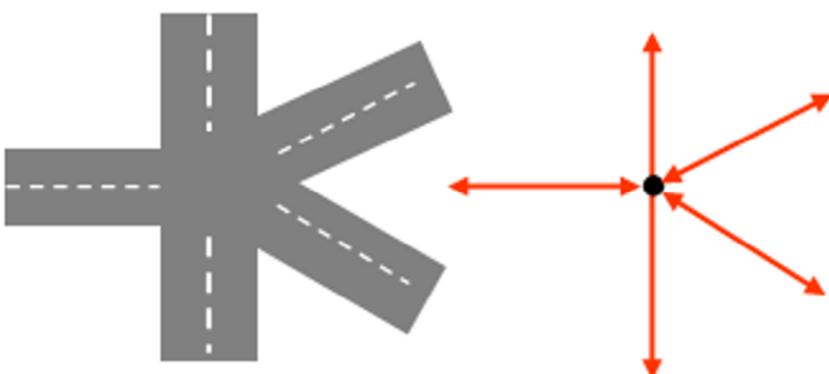


Рисунок 3. Информационная ситуация, описывающая пересечения нескольких дорог

Слева на рис.3 дается ситуация в картографической форме, а справа ее эквивалент в виде топологической модели. На рис.4 дана специфическая топология.

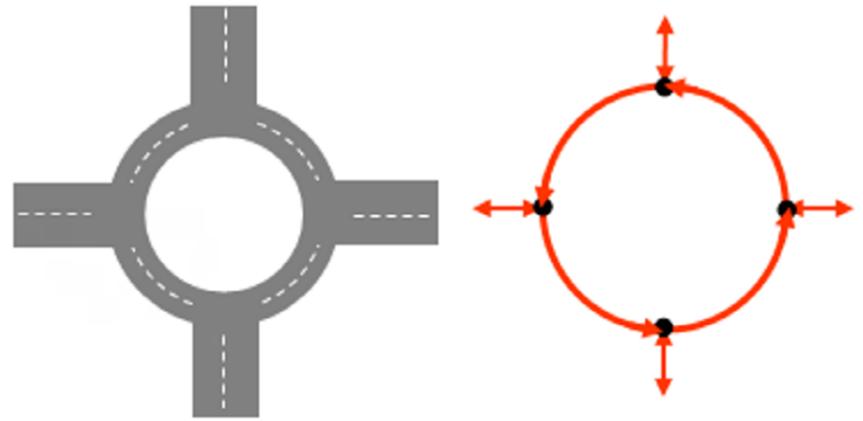


Рисунок 4. Топология круговой развязки

На рис.4 Слева дается ситуация в картографической форме, а справа ее эквивалент в виде топологической модели. В топологии такая топологическая модель практически не применяется. Это пример транспортных геоданных с ситуацией, связано с движением. На рис.5 также приведены транспортные геоданные.



Рисунок 5. Топология участка дороги с разделительной линией

На рис.5 слева дается ситуация в картографической форме, а справа ее эквивалент в виде топологической модели. В топологии такая топологическая модель практически не применяется. Это пример транспортных геоданных с ситуацией, связано с движением. В топологии оба участка дороги изображает один граф. В транспортных геоданных (рис.5) учитывается не только пространственная структура но и пространственные потоки. То есть транспортные геоданные содержат двойную топологию пространственной структуры и пространственных потоков. На рис.6 приведены транспортные геоданные для сложной ситуации движения.

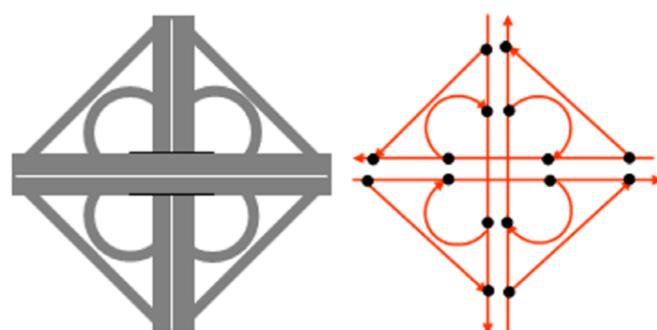


Рисунок 6. Топология пересечения двух дорог на разных уровнях с полным набором съездов

42

Особенностью ситуации на рис. 6 является то, что она описывает не плоскую модель как в теории графов, а пространственную модель с показом пересечений.

На рис.2-рис.6 даны схематические изображения в картографической форме. На рис.7 картографическая модель дана в виде фрагмента плана.

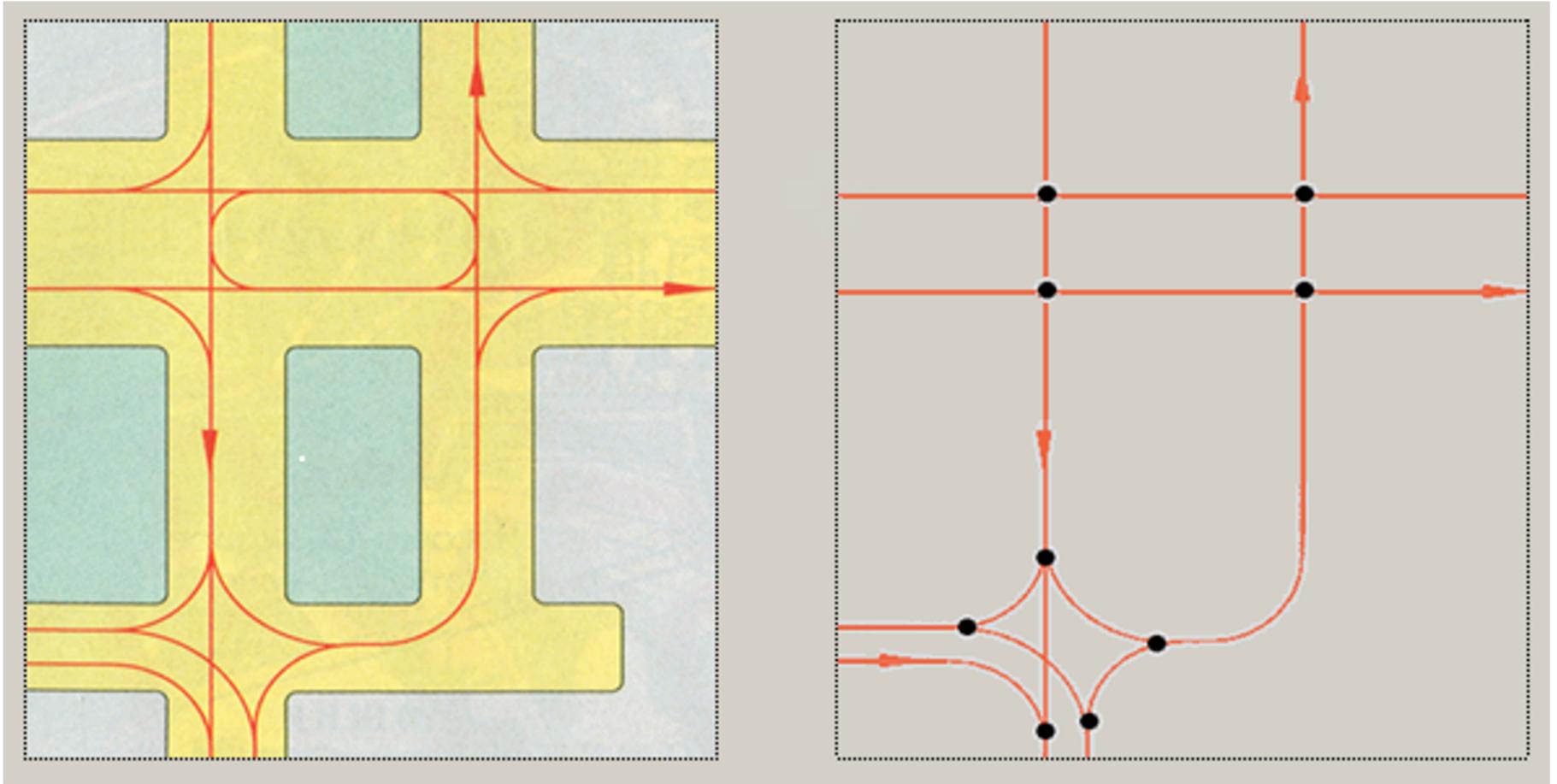


Рисунок 7. Изображение перекрестков дорог и соответствующий фрагмент сети

На рис.7 слева дается ситуация в форме фрагмента плана, а справа ее эквивалент в виде топологической модели ситуации.

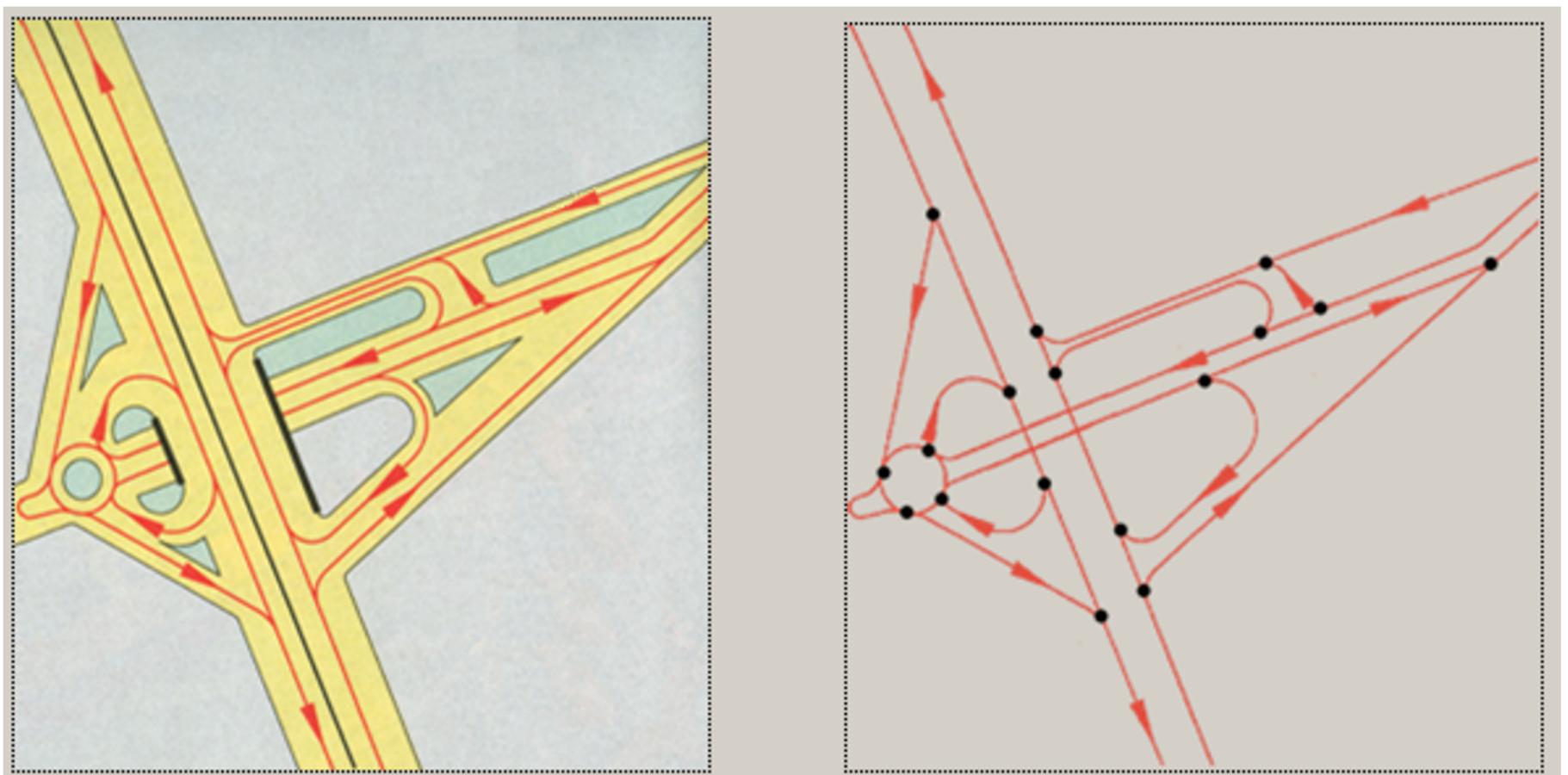


Рисунок 8. Фрагмент плана и соответствующая ему топологическая информационная ситуация

43

Сравнение рисунков 2-6 и 7, 8 дает основание сделать вывод о том, что топологическая информационная ситуация имеет в качестве информационного соответствия [34-36] как картографическую схему, так и более полную модель фрагмент плана. Между левыми и правыми частями рисунков 2-8 имеет место информационное топологическое соответствие. Это также новое понятие, вводимое автором статьи.

Заключение

В настоящее время пространственные методы анализа продолжают интенсивно развиваться. Топологическое моделирование является важным направлением в геоинформатике и картографии. Оно призвано описывать структуры пространственных объектов. В геоинформатике транспорта [37] топологическое моделирование должно описывать не только структуры, но транспортные потоки. Транспортные потоки связаны с материальными и информационными потоками.

Информационные потоки делятся на информирующие и управляющие. Топологическое моделирование на транспортных геоданных учитывает специфику структур и потоков. Топологическое моделирование на транспортных геоданных допускает возможность изменения условий перемещения и позволяет описывать эти изменения. Топологическое моделирование на транспортных геоданных раскрывает и описывает информационную неопределенность. Оно применяется в интеллектуальных транспортных системах [38] и в области беспилотного вождения [39-41].

Если проводить сравнение разных видов транспорта: железнодорожного, трубопроводного, автомобильного, воздушного и водного, то наиболее сложное топологическое моделирование существует в автомобильном транспорте. Это обусловлено меньшей регламентированностью, высокой интенсивностью движения и значительным влиянием стохастических факторов на движение, особенно в условиях мегаполиса. Анализ топологического моделирования на транспорте позволяет ввести новое понятие информационная топологическая ситуация, которая является скользящей моделью фрагмента сети в общей топологической сети, описывающей возможное движение транспорта.

Модель информационной топологической ситуации является понятием, которое описывает окружение подвижных и стационарных объектов. Она может описывать логику возможного движе-

ния. семантику движения и транспортные потоки. Например, логика информационной топологической ситуации служит средством верификации и оценки надежности. Ситуационный анализ является направлением, развивающим возможности управления транспортом. Топологическое моделирование на транспортных геоданных развивает ситуационный анализ и позволяет в едином анализе совмещать анализ пространственных структур, пространственных потоков, семантику потоков и учет неопределенности.

44

Список литературы

1. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - С.12- 14.
2. Кудж А.С. Сбор и измерение геоданных в науках о Земле // Славянский форум. - 2013. - 2(4). - С.135-139.
3. Дулин С.К., Дулина Н.Г. О когнитивной интероперабельности экспертов при анализе геоданных // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.35-42.
4. Кудж. С.А. Добыча геоданных // Науки о Земле № 2-3, 2013 – С.82-84.
5. V. P. Savinykh and V. Ya. Tsvetkov. Geodata As a Systemic Information Resource. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014, Vol. 84, No. 5, pp. 365–368. DOI: 10.1134/S1019331614050049.
6. Буравцев А.В. Модели геоданных в геоинформационной фискальной системе // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. № 2. С.91-100.
7. Господинов С.Г. Геоданные и геознания // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5. - С.20-23.
8. Розенберг И.Н. Управление с применением геоданных // Славянский форум. -2020. – 4(30). - С.386-399..
9. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С.50-51.
10. Бахарева Н.А. Геоданные как инструмент управления // Государственный советник. – 2016. - №2. – С.23-27.
11. Козлов А.В. Пространственное управление с применением геоданных // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.16-26.
12. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. - №4. - С.52-57.
13. Цветков В.Я. Информационная потребность // Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.191-200.
14. Ожерельева Т.А. Информационное управление подвижными объектами // Государственный советник. – 2018. - №4(24). – С.29-37.
15. Tsvetkov V. Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – p.99-100.
16. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С.60-75.
17. Маркелов В.М. Применение топологических моделей геоданных для оптимизации транспортных маршрутов // Славянский форум. - 2012. – 2 (2). - С.56-61.
18. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
19. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.
20. Ознамец В. В. Мягкое ситуационное управление // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.57-62.
21. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
22. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10 – С.21-24.
23. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. 2014, № 6-1 (76). p. 1059-1065.
24. Титов Е.К. Многоаспектность информационной ситуации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С. 101-106.
25. Титов Е.К. Ситуационная обработка информации // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.120-125.
26. Геоинформационная система «КАРТА 2008». Граф дорог. – Ногинск. Панорама 1991-2009.- 23с.
27. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Цветков В. Я. Терминологические отношения // Фундаментальные исследования. -2009. - № 5. - С.146- 148.
28. Цветков В.Я. Теория систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88с.
29. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. -2005. - №2. - С.118-122.
30. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №3. - С.85-91.
31. Коваленко А.Н. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. - 2014. – 2 (6). - С.51 -55.
32. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №4. - С.150-154.
33. Дешко И.П. Информационное конструирование: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 64с.
34. Номоконова О. Ю. Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.44-49.
35. Цветков В. Я. Отношения комплементарности и соответствия в информационных системах // Образовательные ресурсы

45

и технологии. – 2018. - №4 (29). – С.66-74.

36. Ожерельева Т. А. Отношения несоответствия и соответствия в информационном поле // Славянский форум. 2021, 2(32). С.167-174.

37. Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. - Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2020. –180с.

38. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - Saarbrücken, 2012. - 297с.

39. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44-52.

40. Шайтура С. В., Кожаев Ю. П., Белю Л. П. Технологии беспилотного вождения // Методы и программные средства информационного сервиса в информационных и пространственных полях. – 2020. – С.105-117.

41. Незнамов А. В. Правила беспилотного вождения: об изменениях Венской конвенции в дорожном движении // Закон. – 2018. – №. 1. – С.172-182.

46

УДК: 004.052.2

Цифровые методы на железнодорожном транспорте

Структуризация текстовых документов геоинформационного портала железнодорожной отрасли

Structuring of text documents of the geoinformation portal of the railway industry

Дулин С.К., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»; Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ИПИ ФИЦ ИУ РАН), E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия

Дулина Н.Г. к.т.н., ведущий программист, Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ВЦ ФИЦ ИУ РАН), E-mail: ngdulina@mail.ru, Москва, Россия

Dulin S.K., D.ofSci., Professor, Chief Researcher, JSC «NIIAS»; Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS, E-mail: skdulin@mail.ru, Moscow, Russia

Dulina N.G. PhD., Lead coder, DC of Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS, E-mail: ngdulina@mail.ru, Moscow, Russia



Аннотация. Эффективное управление сложным территориально распределенным объектом, как железная дорога невозможно без использования современных средств представления и обработки текстовой информации. Основные преимущества геоинформационных баз данных: наглядное представление информации, удобный интерфейс, высокая степень интеграции текстовой и графической информации, — широко используются для представления схем, планов и различных описаний станций, сети дорог, диспетчерских участков и регионов управления. Однако эффективность использования геоинформатики могла бы быть существенно повышена, если бы удалось, во-первых, группировать разрозненные документы, а во-вторых — увязать это группирование с параметрами работы и развития железнодорожной отрасли. Авторы предлагают оригинальный подход к созданию системы, обеспечивающей в режиме реального времени распределение на тематические блоки входящего информационного массива статей с железнодорожными терминами, используя метод латентно-семантического анализа.

Ключевые слова: структуризация знаний; экспертные оценки; ключевые слова; уменьшение рассогласованности знаний.

Annotation. Effective management of such a complex geographically distributed object as a railway is impossible without the use of modern means of presentation and processing of textual information. The main advantages of geoinformation databases: a visual presentation of information, a user-friendly interface, a high degree of integration of text and graphical information, are widely used to present diagrams, plans and various descriptions of stations, road networks, dispatch areas and control regions. However, the efficiency of using geoinformatics could be significantly increased if it were possible, firstly, to group disparate documents, and secondly, to link this grouping with the parameters of the work and development of the railway industry. The authors propose an original approach to creating a system that provides real-time distribution of the incoming information array of articles with railway terms into thematic blocks using the method of latent semantic analysis.

Keywords: knowledge structuring; expert assessments; keywords; reducing the inconsistency of knowledge.

47

Введение

С практической точки зрения использование экспертных оценок сходства, основанных на полном сравнении содержания документов, вряд ли возможно в масштабе железнодорожной отрасли. В современных базах знаний заключены колоссальные объемы информации — зачастую миллионы, а иногда десятки и сотни миллионов документов. Обработать и оценить всю эту текстовую информацию, чтобы дать качественное заключение о степени сходства документов, эксперт не сможет.

Выходом из данной ситуации является использование экспертных оценок, даваемых не непосредственно путем изучения содержания документов, а на основе анализа и сравнения столбцов матрицы “термины-документы”, то есть путем сопоставления частоты встречаемости ключевых слов. Очевидно, это вносит в оценку сходства элемент неопределенности, так как она основывается не на самих документах, а на небольшом подмножестве информации о них, каковым является список ключевых слов.

Существуют различные способы учета этой неопределенности. С точки зрения развитости математического аппарата наиболее проработанным является вероятностный подход. В его рамках степень сходства документов изменяется в диапазоне $[0;1]$ и рассматривается как вероятность того, что конечные пользователи расценят их содержание как идентичное, причем эта вероятность зависит от количества совпадающих ключевых слов. Действительно, если совпадающих терминов нет, то вероятность того, что документы будут расценены конечными пользователями как сходные, близка к нулю. Если же имеет место полное совпадение всех ключевых слов документов (в пределе — всех слов документов), эта вероятность близка к единице. Частичное совпадение списка ключевых слов представляется через промежуточные значения данной вероятности.

В рамках данной модели зависимость степени сходства документов от количества совпадающих терминов можно рассматривать как функцию распределения некоторой случайной величины, которую можно назвать “кривой сходства”. При этом роль экспертов состоит в оценке этого распределения, которое затем может быть использовано для определения сходства документов без их привлечения.

Следует отметить, что при таком подходе, без-

условно, существует риск получения неверных результатов, однако степень этого риска может и должна быть оценена в рамках рассматриваемой вероятностной модели.

В связи с привлечением экспертов перед лицом, принимающим решения (далее — ЛПР), возникает целый спектр проблем, иногда трудно формализуемых. Что есть “хороший”, компетентный эксперт? Какие методы следует применять для “извлечения” информации из экспертов? Как ЛПР учитывать и совмещать их мнения при формировании своего собственного? Каким образом аналитик может выразить в своем решении степень доверия к мнению того или иного эксперта и как изменяется эта степень доверия со временем? Как, наконец, следует подбирать экспертов для обеспечения оптимального баланса между стоимостью их привлечения и качеством результатов?

Проведенный анализ существующих методик показывает, что любая из них, применяемая индивидуально, покрывает только отдельные аспекты комплексной задачи представления и диссеминации знаний (dissemination – распределение – термин, активно используемый в настоящее время в теории систем управления знаниями). Кроме того, у каждой из них существует ряд параметров, влияющих на качество получаемого результата, и при этом рассмотренные алгоритмы не предлагают механизмов обратной связи для их коррекции в случае необходимости.

Вместе с тем, вышеизложенные методики представляют собой функциональные блоки, которые можно комбинировать для решения целого ряда задач, связанных с обработкой неструктурированной текстовой информации. Математические методы, используемые в этих блоках, достаточно универсальны и могут быть применены к различным объектам, например:

- известная в кругу специалистов подсистема Oracle InterMedia [1] в сочетании с Russian Context Optimizer [2] может быть использована как сама по себе для информационного поиска в базе знаний, так и для выделения ключевых тем (слов и словосочетаний) в документах, что позволяет проводить их сравнение и поиск с гораздо меньшими затратами вычислительных ресурсов по сравнению с анализом всего содержимого документов;
- алгоритм латентного семантического индексирования (LSI), реализованный в соответствующем модуле подсистемы liProcessor [3], может при-

48

меняться и для выявления близких по содержанию документов, и для сравнения ключевых слов документов с профилями пользователей; таким образом, он может использоваться как для выполнения запросов к базе знаний и диссеминации документов, так и для кластеризации базы знаний (выделение подмножеств документов с близким содержанием), а также для разбиения пользователей на группы со схожими интересами;

- реализованная в модуле анализа структурной согласованности подсистемы liProcessor методика приведения множества в консонанс (в общем случае — поликонсонанс) может быть применена как к графу, характеризующему близость документов или профилей пользователей, так и к графу, отражающему схожесть экспертных мнений; таким образом, в согласованное состояние могут приводиться и множество документов или профилей

пользователей, и мнения экспертов.

Комплексная система кластеризации базы знаний

Многообразие возможных вариантов использования рассмотренных методик и их сочетаний позволяет варьировать постановку задачи, оставаясь в рамках общей тематики управления диссеминацией и построения согласованной базы знаний, и предлагать алгоритм решения, в котором данные блоки будут увязаны в единую схему. Один из вариантов такой схемы, который будет рассмотрен ниже, представлен на рисунке 1. Задача в данном случае состоит в кластеризации базы знаний, то есть разбиении множества документов на группы с близким содержанием с применением критерия структурной согласованности и экспертной оценкой качества полученного результата.



Рисунок 1. Комплексная система кластеризации базы знаний

Согласно данной схеме, выделяются следующие этапы решения задачи и взаимосвязи между компонентами.

Этап 1. Тематический анализ. Неструктурированные текстовые документы подаются на вход блока тематического анализа, реализованного с помощью Russian Context Optimizer. Поступившие документы перед обработкой проходят через специаль-

ный фильтр, который исключает из них стоп-слова и преобразует оставшиеся слова в нормальную форму, решая, таким образом, проблему словоформ русского языка, причем для дальнейшего анализа отбираются только имена существительные. В результате работы алгоритма тематического анализа каждому документу ставится в соответствие список его ключевых слов (терминов). Дальнейшая

49

методика определения степени сходства документов будет базироваться на встречаемости в них только этих терминов, что требует гораздо меньше вычислительных ресурсов при практическом применении данной схемы по сравнению с анализом встречаемости всех слов во всех документах.

Объединяя полученные таким образом списки, на выходе блока имеем множество ключевых слов, встречающихся в документах.

Этап 2. Определение попарного сходства документов. Исходное множество статей и полученный на предыдущем шаге список терминов подаются на вход модуля LSI [4] подсистемы liProcessor, который определяет степень сходства документов в контексте выделенных ключевых слов. Соответственно, для SVD-декомпозиции используется матрица “слова-документы”, ячейки которой содержат частоту встречаемости этих терминов в каждом из документов.

В качестве меры сходства между документами принимается косинус угла между векторами, представляющими их в k -мерном пространстве факторов, выделенных на этапе SVD-анализа. Далее, для получения матрицы связности, полученные значения сходства с помощью выбранного порога преобразуются в бинарную (знаковую) форму. Данный порог Θ наряду с размерностью пространства факторов является одним из параметров задачи и может быть выбран, например, исходя из задаваемой степени первичной рассогласованности матрицы связности, которая определяется как отношение числа отрицательных связей к их общему количеству.

Результатом работы данного блока является симметричная знаковая матрица, каждая ячейка которой содержит “+”, если алгоритм LSI определил соответствующие ее строке и столбцу документы как близкие по содержанию (степень сходства превышает выбранный порог), и “-” в противном случае.

Этап 3. Кластеризация на основе критерия структурной согласованности. Полученная на предыдущем шаге знаковая матрица попарного сходства документов интерпретируется как знаковая матрица связности множества документов. В общем случае она может находиться в любом состоянии с точки зрения критерия структурной согласованности. Данный блок решает задачу приведения множества документов в согласованное состояние, под которым понимается поликонсонанс степени N . При этом исходное множество документов разбивается таким образом, что каждый из них связан положительной связью со всеми докумен-

тами из подмножества, которому он принадлежит, и отрицательной — со всеми остальными документами. Другими словами, параметр N задает количество кластеров, на которые будет разбита исходная база знаний, причем внутри каждого кластера документы наиболее близки по содержанию.

Алгоритм снижения уровня рассогласованности множества реализован в соответствующем модуле подсистемы liProcessor [3]. С помощью последовательности “повершинных перебросов” матрица связности приводится в общем случае в состояние, близкое поликонсонансу степени N . В результате проведения процедуры уменьшения рассогласованности можно указать сильные диссонансные связи, изменение знаков которых на противоположные переводит множество в согласованное состояние.

На выходе получается матрица связности в согласованном состоянии (поликонсонанс степени N [3]), имеющая блочно-диагональную структуру. Расположенные на диагонали блоки задают подмножества документов, внутри которых имеются только положительные связи. Таким образом, данная матрица описывает разбиение исходной базы документов на близкие по содержанию подмножества.

Этап 4. Экспертная оценка качества кластеризации. Это ключевой этап предлагаемой методики, который позволяет дать оценку качества полученных на предыдущих шагах результатов и обеспечивает обратную связь для корректировки параметров остальных компонентов схемы.

На данном этапе эксперты анализируют содержание документов и дают свою оценку правильности разбиения базы документов на подмножества, задаваемое результирующей матрицей связности в состоянии поликонсонанса степени N . Если объем документарной базы очень большой, то для ограничения трудоемкости данного этапа можно выбрать для экспертизы только часть документов, — например, по несколько экземпляров из каждого подмножества.

Для каждой пары документов, выбранных для анализа, эксперты дают свою оценку результату работы алгоритма кластеризации по семибалльной шкале (от 0 до 6). Этот рейтинг отражает степень согласия эксперта с помещением двух документов в одно либо в разные подмножества, то есть наличию “+” или “-” в соответствующей ячейке матрицы связности, которые определяют сходство либо различие документов. Таким образом, мнением эксперта будет симметричная матрица “документы-документы”, содержащая полученные от него

50

рейтинги.

Далее ЛПР, моделируя оценки экспертов как логнормально распределенные случайные величины, с помощью формулы Байеса получает матрицу совокупных рейтингов качества работы алгоритма кластеризации, исходя из условия максимума плотности апостериорной функции распределения.

На основании полученных оценок для каждой пары документов ЛПР принимает решения об изменении параметров алгоритма, которыми являются:

- длина списка ключевых слов (терминов);
- размерность пространства факторов;
- пороговое значение для степени сходства;
- степень поликонсонанса;
- количество и веса экспертов.

Латентно-семантический анализ

Одним из существенных факторов, которые оказывают решающее влияние на качество индексации и поиска информации различными специализированными средствами обработки информационных ресурсов, определяется наличием проблемы синонимии и полисемии.

Мы понимаем здесь синонимию в более широком плане, чем обычно, а именно: проблема заключается в том, что при поиске информации область своего интереса можно указать различными наборами слов, и каждый пользователь, осуществляя поиск в принципе одной и той же информации, может использовать различные термины для составления поискового запроса. Набор этих терминов может отражать как объективные факторы, так и субъективные. Естественно, что реакция поисковой системы на эти запросы может быть различной.

Проблема полисемии заключается в том, что один и тот же термин может иметь несколько значений, соответствующих различным областям интереса. Например, если пользователь указывает в качестве запроса на поиск информации слово «chip», то можно ожидать, что он требует информацию по микросхемам или картофельным чипсам. Поисковая система выдает ему информацию и по той, и по другой теме, что, естественно, повышает относительное количество нерелевантных документов (шум).

Описанные здесь проблемы дают нам основание предположить, что во многих случаях пользователя интересуют не документы, в которых имеется указанный им набор слов, а документы, которые отвечают сформулированной им области интереса и которые могут даже не содержать ни одного

из указанных им терминов. Один из методов решения этой проблемы получил название «latent semantic indexing» (LSI) [4], основанный на SVD-декомпозиции (singular-value decomposition), заимствованной из факторного анализа.

Основная идея этого метода заключается в использовании методов математической статистики для определения неявных взаимосвязей между терминами в рассматриваемом наборе документов, когда делается предположение, что если некоторые термины встречаются в одних и тех же документах, то, скорее всего, они описывают одну и ту же проблему [4]. Используя частоту встречаемости каждого слова в том или ином документе, можно построить матрицу X , содержащую частоту встречаемости слов в каждом из имеющихся документов.

Любая такая матрица представима в виде произведения трех матриц:

$$X = T_0 S_0 D_0',$$

где S_0 — диагональная матрица, а T_0 и D_0' — имеют ортогональные столбцы.

Варьируя размерность этих матриц, можно с определенной степенью точности аппроксимировать исходную матрицу частоты встречаемости слов в документах, значительно снижая размерность исследуемого пространства. Аппроксимирующая матрица дает возможность строить взаимосвязи между документами с использованием любой функции расстояния.

Многие проведенные исследования показали, что оба метода дают во многих случаях примерно одинаково приемлемые результаты. Ввиду простоты реализации метода взвешенных ключевых слов он был взят в качестве инструмента построения взаимосвязей между документами в описываемой ниже системе.

В системе можно выделить два взаимосвязанных функциональных блока, каждый из которых предназначен для решения своего спектра подзадач. Такими функциональными блоками являются подсистема сбора и предварительной обработки информации и подсистема интеллектуальной обработки данных.

Подсистема сбора и предварительной обработки информации предназначена для построения интегрированной базы данных на основе технологии автономных информационных агентов, осуществляющих периодический сбор и первичный анализ информации из различных информационных источников. Такими информационными источниками

51

ми могут быть как частные или корпоративные массивы информации (базы данных, файловые архивы и пр.), так и публичные информационные ресурсы, построенные на основе Интернет-технологий. Информационные источники могут отличаться оперативностью предоставляемой ими информации, ее объемом, структурой или внешним представлением. Информационный агент, соответствующий каждому такому информационному источнику, должен учитывать особенности своего источника и иметь возможность определять наличие как новой информации, так и обработанной агентом в один из предыдущих сеансов работы. Настройка информационного агента на конкретный источник предполагает описание структуры получаемых из этого источника документов, для чего в системе используется специализированный язык описания, позволяющий администратору системы адаптировать информационного агента ко многим информационным источникам, реализованным в виде Web-серверов и предоставляющих информацию в виде HTML-документов.

Управление информационными агентами осуществляется специализированной подсистемой, обеспечивающей координированную работу всех информационных агентов. В описываемой реализации такая подсистема представляет собой автономное серверное приложение (демон), которое выполняется в фоновом режиме. Вся информация о существующих информационных агентах представлена в базе данных, где сохраняются все необходимые данные для корректного функционирования каждого из этих агентов: журнал агента, в котором сохраняются параметры его работы (время запуска, длительность сессии, наличие сбоев, результаты работы и пр.), а также ожидаемое время следующего запуска агента, описание соответствующего информационного источника (его системный адрес, метод доступа, описание структуры предоставляемой информации, возможные методы обработки информации и пр.).

На основе этих данных система выстраивает план запуска информационных агентов и генерирует отчеты о результатах их работы, наличии новой информации в интегрированной базе данных, временных характеристиках функционирования различных источников информации и пр. Такие отчеты имеют важное значение для администрирования системы и обеспечения ее корректной работы. Например, информация об ошибках в работе тех или иных информационных агентов может свидетельствовать об изменениях в выходных

форматах этих источников, что особенно актуально в сетях Интернет, где информационными источниками служат публичные WEB-сайты, подверженные относительно частому изменению своего внешнего вида и, как следствие, — структуре HTML-документов. Такие изменения вынуждают проводить периодическую настройку соответствующих информационных агентов специалистами по сопровождению системы. Учитывая особенности языка HTML, реализовать автоматическую адаптацию информационного агента к изменениям в структуре документов является проблематичным. Однако с развитием технологии XML, допускающей четкое описание структуры документов, и более широкому ее применению в информационных источниках, должна появиться возможность автоматической настройки агента, а в перспективе — его независимости от источника.

Жизненный цикл каждого информационного агента состоит из одного сеанса взаимодействия с соответствующим информационным источником. Этот жизненный цикл предполагает осуществление агентом запроса на выдачу соответствующей информации в том или ином виде, определении агентом наличия среди этой информации новых данных, получение обнаруженных новых данных, их преобразование в формат представления в интегрированной базе данных и интеграция в общий массив информации. Таким образом, информационный агент, в отличие от интеллектуального, не принимает решения о релевантности полученной им информации информационным потребностям пользователя и не определяет стратегию своего дальнейшего поведения. Единственная его задача — это обнаружение новой информации в источнике, на который он настроен, и импортирование этой информации в общий массив. Все вопросы, связанные с построением внутренних взаимосвязей между отдельными информационными объектами интегрированной базы данных, а также определение степени соответствия этих объектов информационным потребностям пользователей должны решаться соответствующими процедурами второго функционального блока — подсистемой интеллектуальной обработки данных.

Подсистема интеллектуальной обработки информации должна иметь открытую структуру, допускающую включение в ее состав новых процедур, обеспечивающих дополнительную обработку информации в интегрированной базе данных. В описываемой реализации ядром системы является процедура, реализующая алгоритм SVD-декомпо-

52

зиции. Процедура предполагает выполнение ряда этапов:

1. Выделение подмножества информационных объектов. В общем случае таким подмножеством может быть вся база данных. Однако в решении ряда задач допустимо снижение количества информационных объектов по таким критериям, как первичный источник информации, период получения данных, соответствие predetermined тематическим профилям, результаты предыдущих обработок и т.д.

2. Проведение предварительного лексического анализа. Этап предполагает представление каждого из рассматриваемых информационных объектов в виде совокупности лексических единиц. Лексическая единица – это результат преобразования слова, в результате которого одинаковые слова, представленные в различных грамматических формах, должны быть преобразованы в одинаковые лексические единицы. Предварительный лексический анализ предполагает, в частности, решение проблемы стоп-слов, связанной с определением и удалением слов, не несущих значимой смысловой нагрузки. Что касается приведения словоформ к единому виду, то эта задача более сложная и требует применения специализированных алгоритмических методов. Например, для англоязычных текстов часто применяется алгоритм Портера, обеспечивающий с достаточной степенью качества выделение корневой основы слова. Для русскоязычных текстов такой алгоритм носит более сложный характер. В целях упрощения разработки описываемой экспериментальной системы интеллектуальной обработки информации, был использован упрощенный механизм преобразования грамматических конструкций, предполагающий удаление наиболее распространенных окончаний. Как показали эксперименты, метод латентных семантик дает качественные результаты даже при таком предварительном лексическом анализе документов.

3. Построение матрицы документы-слова. Такая матрица строится на основе расчета весовых коэффициентов, определяющих значимость каждой из лексических единиц соответствующему документу. Расчет весовых коэффициентов может основываться на различных подходах. Одним из наиболее распространенных подходов является метод взвешенных ключевых слов, при котором весовой коэффициент слова учитывает интегральную оценку встречаемости этого слова как в каждом конкретном документе, так и во всем информаци-

онном массиве в целом. В системах, использующих этот подход, часто учитывается местоположение слова в документе, наличие его в используемых тематических профилях и ряд других факторов. К сожалению, такой подход предполагает значительный объем вычислений, что делает его практически неприемлемым в системах оперативной обработки информации. Метод латентных семантик использует упрощенную схему, при которой важна лишь встречаемость того или иного слова в соответствующем документе. Таким образом, исходная матрица документы-слова состоит только из целочисленных значений с большим количеством нулевых позиций.

4. Применение алгоритма SVD-декомпозиции. В подсистему интеллектуальной обработки информации была интегрирована специализированная библиотека функций, реализованная на языке Java. Эта библиотека функций представляет собой самостоятельный объектный класс, обеспечивающий построение всех основных элементов: ортонормальных матриц правых и левых сингулярных векторов, определение ранга исходной матрицы и выполнение набора стандартных операций, проводимых над многомерными матрицами.

5. Аппроксимация исходной матрицы документы-слова на основе ранга матрицы. Ранг матрицы задается экспертом на основе имеющейся у него предварительной информации, времени, которое отводится под работу системы и прочих факторов. Задание нового ранга матрицы приводит к снижению размерностей всех трех матриц, полученных на предыдущем этапе, в результате чего их произведение дает новую матрицу документы-слова, являющуюся аппроксимацией исходной матрицы.

6. Построение матрицы документы-документы. На основе аппроксимации исходной матрицы документы-слова основывается расчет взаимосвязей между любой парой документов из рассматриваемой совокупности информационных объектов. При этом аппроксимирующую матрицу можно рассматривать как представление многомерного пространства, размерность которого соответствует количеству столбцов (слов) матрицы. Любой из документов в этом случае может быть представлен в виде вектора такого пространства. Наиболее распространенный способ оценки степени близости произвольной пары документов в этом случае основывается на расчете косинуса угла между соответствующими этим документам векторами. Реализация описываемой системы преследовала основную цель – практическую апробацию предла-

53

гаемых в настоящей работе подходов. Поэтому при ее проектировании и непосредственной реализации оставались за рамками рассмотрения многие вопросы, связанные с эффективностью реализации основных внутренних процедур и алгоритмов. Однако и в этом варианте система продемонстрировала принципиальную реализуемость предложенных в настоящей работе подходов и методов интеллектуальной обработки информационных массивов.

Для эксплуатации системы в тестовом режиме было предложено обрабатывать тексты различной тематики, размещенные в различных электронных средствах в сети Интернет в свободном доступе. Используя разработанную подсистему поиска и интеграции информации, для каждого из этих источников был настроен соответствующий информационный агент, в котором была описана структура выходных данных и заданы параметры периодичности поиска новой информации.

В результате работы подсистемы была сформирована тестовая интегрированная база документов, и представляющая собой однородный информационный массив. Подсистема интеллектуальной обработки информации обеспечила построение взаимосвязей между всеми документами, определив тем самым для каждого конкретного документа спектр информационных объектов, наиболее близких к нему по тематическому признаку.

Подсистема сбора информации и построения взаимосвязей между отдельными документами построена на основе метода поиска латентных семантик (LSI). Система реализована в виде специализированного программного модуля на Java с элементами пользовательского интерфейса, позволяющими на основе вводимых экспертами параметров получать различные уровни аппроксимации накапливаемого информационного массива.

Экспертная оценка качества кластеризации

Следующим шагом интеллектуальной обработки информационного массива является экспертная оценка выделенных основных тематических групп информационных объектов. Для экспериментальной апробации предложенных методов решения этой задачи было отобрано 9 статей из журнала «Железнодорожный транспорт» (<http://www.zdt-magazine.ru/category/содержание-номеров/>). Для изложенного ниже примера статьи подбирались таким образом, чтобы среди них были как далекие, так и весьма близкие по содержанию, для проверки работы алгоритма в различных условиях.

Следует отметить, что столь небольшое число тестовых документов было выбрано только для того, чтобы не перегружать работу объемными таблицами, а показать сам принцип предложенной методики. В реальных примерах необходимо взять более репрезентативную выборку данных — естественно, оставаясь в пределах разумного с точки зрения объема работы экспертов как наиболее затратного по времени этапа.

Этап 1. Тематический анализ. Подсистема Russian Context Optimizer после исключения стоп-слов, приведения всех оставшихся слов в нормальную форму и отбора имен существительных выделила ключевые слова для 9 документов, представленные в таблице 1:

Ключевые слова документов из тестового множества

№	Термины
1	объем перевозок, инфраструктура ж.д., перевозочный процесс
2	энергоэффективность, транспортная безопасность, защита информации, кибербезопасность, аварийные ситуации
3	бюджет, кредитование, инвестиции,
4	система управления ресурсами, транспортные службы
5	инвестиции, законодательство
6	интеллектуальные системы управления
7	прогнозирование, проектирование
8	стратегия развития, цифровая трансформация
9	спутниковые и геоинформационные технологии

Таблица 1

54

Объединяя наборы ключевых слов, полученных в результате тематического анализа выбранных документов, на выходе первого этапа имеем следующий список из двадцати одного термина (табл. 2):

Общий список ключевых слов

№	Термин	№	Термин	№	Термин
1	объем перевозок	8	бюджет	15	цифровая трансформация
2	инфраструктура ж.д.	9	кредитование	16	законодательство
3	перевозочный процесс	10	инвестиции	17	интеллектуальные системы управления
4	энергоэффективность	11	система управления ресурсами	18	прогнозирование
5	транспортная безопасность	12	кибербезопасность	19	стратегия развития
6	защита информации	13	транспортные службы	20	транспортная политика
7	спутниковые и геоинформационные технологии	14	аварийные ситуации	21	проектирование

Таблица 2

Этап 2. Определение попарного сходства документов. На вход модуля анализа структурной согласованности подсистемы liProcessor были поданы исходное множество из 9 документов и полученный на предыдущем шаге список из 21 термина. Для каждого документа было подсчитано число вхождений каждого ключевого слова, входящего в список, в результате чего была построена матрица "термины-документы", в ячейках которой представлена частота встречаемости терминов документах (табл. 3):

Матрица встречаемости ключевых слов в документах

		Документы								
Ключевые слова	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	2	0	1	0	2	0	0
	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	6	7	0	6	4	0	0	2	0
	0	4	1	1	0	0	2	0	1	0
	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	1	5	0	3	2	1	0	5	0
	0	1	3	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	2	0	3	6	0	0	0	0
	0	0	1	8	6	0	0	2	0	0
	0	0	0	4	0	0	5	1	0	0
	0	0	0	3	1	0	0	1	0	0
	0	0	2	5	0	0	4	6	1	0
	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	3	0	2	3	0
	0	1	0	0	0	3	2	4	2	0
	0	0	1	0	0	0	7	1	3	0
	0	2	0	1	0	0	4	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	
0	0	0	0	1	0	1	3	0	0	

Таблица 3

55

В рамках процедуры SVD-анализа была выбрана размерность пространства факторов $k = 4$. На основании полученного приближения матрицы встречаемости подсистема liProcessor рассчитала представленную в табл. 4 матрицу показателей попарного сходства между документами (определяемых как косинусы углов между представляющими их векторами в пространстве факторов):

Матрица сходства документов в контексте ключевых слов

Документы

Документы	1.00	0.89	0.98	0.37	0.66	- 0.02	0.06	- 0.01	0.17
	0.89	1.00	1.00	- 0.12	0.91	0.74	0.41	- 0.07	0.77
	0.98	1.00	1.00	0.40	0.85	0.03	- 0.02	0.13	0.20
	0.37	- 0.12	0.40	1.00	- 0.01	0.09	0.79	- 0.21	0.05
	0.66	0.91	0.85	- 0.01	1.00	0.63	0.80	0.68	0.73
	- 0.02	0.74	0.03	0.09	0.63	1.00	1.00	0.90	0.94
	0.06	0.41	- 0.02	0.79	0.80	1.00	1.00	0.81	0.97
	- 0.01	- 0.07	0.13	- 0.21	0.68	0.90	0.81	1.00	0.90
	0.17	0.77	0.20	0.05	0.73	0.94	0.97	0.90	1.00

Таблица 4

Применив к матрице сходства порог $\Theta = 0.6$, получили знаковую матрицу связности, представленную в табл. 5:

Матрица связности множества документов

Д1	+	+	-	+	-	-	-	-
+	Д2	+	-	+	+	-	-	+
+	+	Д3	-	+	-	-	-	-
-	-	-	Д4	-	-	+	-	-
+	+	+	-	Д5	+	+	+	+
-	+	-	-	+	Д6	+	+	+
-	-	-	+	+	+	Д7	+	+
-	-	-	-	+	+	+	Д8	+
-	+	-	-	+	+	+	+	Д9

Таблица 5

56

Этап 3. Кластеризация на основе критерия структурной согласованности. Полученная на предыдущем шаге матрица, как видно из табл. 5, находится в ассонансном состоянии. В соответствии с алгоритмом уменьшения рассогласованности, реализованном в подсистеме liProcessor, данная матрица с помощью процедуры последовательных попершинных перебросов документов Д7, Д2, Д5, Д7 и Д2 была приведена в состояние, близкое к консонансу степени 3 (табл. 6):

Матрица связности документов, полученная с помощью алгоритма уменьшения рассогласованности

Д1	+	+	-	-	-	-	-	-
+	Д2	+	-	-	+	-	-	+
+	+	Д3	-	-	-	-	-	-
-	-	-	Д4	+	-	+	-	-
-	-	-	+	Д5	-	-	-	-
-	+	-	-	-	Д6	+	+	+
-	-	-	+	-	+	Д7	+	+
-	-	-	-	-	+	+	Д8	+
-	+	-	-	-	+	+	+	Д9

Таблица 6

Как видно из табл. 6, полученная матрица связности имеет ассонансную структуру, близкую к консонансу типа (3:2:4). При этом имеется три сильные диссонансные связи — между документами Д2 и Д6, Д2 и Д9, Д4 и Д7. . Изменением знаков этих связей на противоположные мы приводим данную матрицу связности в консонанс степени 3, которое задает разбиение исходного множества документов на три подмножества: {Д1, Д2, Д3}, {Д4, Д5} и {Д6, Д7, Д8, Д9}. Документы, входящие в одно и то же подмножество, алгоритм определил как близкие по содержанию, а входящие в разные подмножества как существенно различающиеся.

Этап 4. Экспертная оценка качества кластеризации. На данном этапе эксперты анализируют полученное на предыдущем шаге разбиение множества документов на классы. В вычислительном эксперименте участвовали пять экспертов по следующими весами, нормированными в диапазоне [0;1]:

Веса мнений экспертов

Эксперт	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5
Вес	0,9	0,5	1,0	0,4	0,7

Таблица 7

Эксперты дали свои оценки правильности результатов кластеризации, то есть выразили степень своего согласия с наличием "+" или "-" для каждой пары документов в итоговой матрице связности в состоянии консонанса (без диссонансных связей). Для оценок использовалась семибалльная шкала рейтингов: 0 — не согласен, 3 — нейтральная позиция либо затруднение с ответом, 6 — полностью согласен. Мнение пер-

57

вого эксперта представлено в табл. 8:

Оценка качества результатов кластеризации первым экспертом

Д1	5	4	6	5	2	6	6	4
5	Д2	5	6	5	3	6	6	5
4	5	Д3	6	6	1	6	6	3
6	6	6	Д4	4	5	5	2	6
5	5	6	4	Д5	5	6	5	4
2	3	1	5	5	Д6	0	1	3
6	6	6	5	6	0	Д7	3	2
6	6	6	2	5	1	3	Д8	3
4	5	3	6	4	3	2	3	Д9

Таблица 8

Мнения остальных экспертов были сведены в аналогичные матрицы. Далее был применен байесовский подход с мультипликативной моделью ошибок экспертов, и для каждой пары документов были рассчитаны совокупные рейтинги качества результатов кластеризации, которые представлены в табл. 9:

Экспертная оценка качества кластеризации

Д1	4.4	4.9	6.0	5.2	2.5	5.7	5.8	4.4
4.4	Д2	5.5	6.0	5.1	2.2	6.0	6.0	4.7
4.9	5.5	Д3	6.0	5.1	1.7	6.0	6.0	3.9
6.0	6.0	6.0	Д4	4.8	5.6	5.3	1.9	6.0
5.2	5.1	5.1	4.8	Д5	5.5	5.7	5.2	3.2
2.5	2.2	1.7	5.6	5.5	Д6	0.6	1.3	2.6
5.7	6.0	6.0	5.3	5.7	0.6	Д7	2.4	1.5
5.8	6.0	6.0	1.9	5.2	1.3	2.4	Д8	2.2
4.4	4.7	3.9	6.0	3.2	2.6	1.5	2.2	Д9

Таблица 9

Как видно из табл. 9, эксперты в целом согласны с результатами работы алгоритма кластеризации для первых пяти документов и высказались более критически по поводу документов Дб - Дг. Для получения более качественного результата необходима коррекция параметров используемых алгоритмов. Следует отметить, что область оценки влияния различных параметров на конечный результат является на сегодняшний день открытой для дальнейших исследований. Тем не менее, можно использовать некоторые эвристики, основанные на здравом смысле. В данной ситуации, когда качество кластеризации для существенной части документов определено экспертами как хорошее, скорее всего, следует варьировать порог функции сходства и связанную с ним степень поликонсонанса, чтобы разбить множество документов на большее количество кластеров.

Комплексная система диссеминации текстовой информации

Как отмечалось ранее, имеющиеся функциональные блоки можно использовать в разных сочетаниях для решения различных задач. Схема, представленная на рисунке 1, является только одним из примеров применения комплексной методики, использующей комбинацию рассмотренных подходов.

Другим примером может служить задача диссеминации неструктурированных текстовых документов. Она состоит в сравнении документов с информационными потребностями пользователей, задаваемыми соответствующими наборами ключевых слов, и принятии решения о направлении документа пользователям с интересами, близкими к его содержанию. Методика диссеминации также базируется на алгоритме LSI, параметры которого можно настроить с использованием экспертной оценки, причем блок структурной согласованности применяется для анализа мнений экспертов. В общих чертах схема представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Комплексная система диссеминации текстовой информации

Можно сформулировать и другие задачи, которые могут решаться путем использования различных сочетаний рассмотренных блоков. Например, это может быть вариация методики кластеризации документов, при которой эксперты привлекаются только в самом начале и дают собственную оценку сходства документов, а затем работает блок анализа согласованности и получается разбиение на подмножества. После этого можно настраивать параметры алгоритма LSI и последующего анализа структурной согласованности до тех пор, пока полученный результат не будет достаточно близок к оценкам экспертов, которые заведомо считаются хорошими.

Возможны и другие формулировки. Например, система диссеминации после определенного количества проведенных экспертиз, оценки их качества и соответствующей настройки параметров может рассматриваться как инструмент анализа компетентности экспертов. ЛПР может оценивать вес нового эксперта, "включая" его мнение в уже существующую структуру и анализируя состояние консонансности полученного расширенного множества. Таким образом, мы решаем сопряженную задачу привлечения наиболее

59

подходящих экспертов для конкретной предметной области на основе анализа их компетентности. Для тестирования предложенной на рисунке 2 комплексной схемы диссеминации были аналогичным образом, как и в экспериментах с кластеризацией, отобраны 10 статей. Для эксперимента были смоделированы информационные профили трех пользователей через следующие наборы ключевых слов и словосочетаний (табл. 10):

Тестовые профили пользователей

Польз.	Ключевые слова
1	объем перевозок, инфраструктура ж.д., перевозочный процесс, система управления ресурсами, транспортные службы, прогнозирование, проектирование, стратегия развития
2	бюджет, кредитование, инвестиции, законодательство, стратегия развития, интеллектуальные системы управления, цифровая трансформация, спутниковые и геоинформационные технологии
3	энергоэффективность, транспортная безопасность, защита информации, кибербезопасность, аварийные ситуации

Таблица 10

Как видно из табл. 10, первые двое из трех пользователей имеют схожие наборы ключевых слов, в то время как профиль третьего сильно отличается от них. Это также сделано для проверки качества работы предлагаемой методики в различных ситуациях.

Выбранные документы и профили пользователей были поданы на вход алгоритма диссеминации LSI, реализованного в рамках системы liProcessor, в которой было задано количество индексирующих размерностей, равное 10. В результате работы алгоритма было получены бинарная матрица, описывающая релевантность каждой статьи информационным потребностям каждого пользователя (единица — релевантна, ноль — нет, табл. 11):

Результаты работы алгоритма LSI

Польз./Статьи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
2	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
3	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1

Таблица 11

Для оценки качества диссеминации было смоделировано участие семи независимых экспертов. На основе сопоставления исходных статей с профилями пользователей они делали свои заключения относительно правильности результата работы алгоритма LSI в виде рейтингов, отражающих степень их согласия с определением релевантности каждого документа профилю каждого пользователя с использованием семибалльной шкалы (оценки от 0 до 6). Ниже в табл. 12 приведены оценки качества диссеминации, сделанные первым экспертом.

Матрица рейтингов качества диссеминации, данных первым экспертом

Польз./Статьи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	3	6	2	6	3	4	4	6	4
2	4	5	5	4	5	3	2	5	5	3
3	4	3	1	4	3	4	5	3	4	4

Таблица 12

60

Мнения остальных экспертов также было представлено в виде бинарных матриц, аналогичных по структуре представленной в табл. 12.

Для анализа противоречивости экспертных оценок была выбрана следующая функция сходства:

$$f(i, j) = 1 - \frac{1}{M * N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{|p_{mn}^i - p_{mn}^j|}{\max_{i,j} |p_{mn}^i - p_{mn}^j|},$$

где M — количество документов, N — количество экспертов, p_{mn}^i — рейтинги качества, то есть степень согласия i-го эксперта с результатом диссеминации m-го документа n-му пользователю.

Порог функции сходства был выбран равным 0.6, в результате чего получена знаковая матрица связности, представленная в табл. 13:

Матрица связности экспертных оценок при пороге 0.6

Э1	-	+	+	+	-	+
-	Э2	-	-	-	-	-
+	-	Э3	+	+	-	+
+	-	+	Э4	+	+	+
+	-	+	+	Э5	+	+
-	-	-	+	+	Э6	+
+	-	+	+	+	+	Э7

Таблица 13

В соответствии с алгоритмом уменьшения рассогласованности, изложенным в [3], данная матрица с помощью процедуры последовательных попершинных перебросов экспертов Э1, Э4, и Э3 была приведена к виду:

61

Матрица связности, полученная с помощью алгоритма уменьшения рассогласованности

Э1	+	+	+	-	+	-
+	Э2	+	+	-	-	-
+	+	Э3	+	-	+	-
+	+	+	Э4	-	-	-
-	-	-	-	Э5	+	+
+	-	+	-	+	Э6	+
-	-	-	-	+	+	Э7

Таблица 14

Как видно из табл. 14, полученная матрица связности имеет ассонансную структуру, близкую к консонансу типа (4:3). При этом имеется две сильные диссонансные связи — между экспертами Э1 и Э6 и между Э3 и Э6. Таким образом, расстояние от исходной матрицы связности, полученной в результате вычислительного эксперимента, до консонансного множества равно 5 (три поперечных переброса плюс две сильные диссонансные связи), что соответствует сравнительно высокой степени согласованности экспертных оценок.

Далее, мнения экспертов относительно результатов работы алгоритма LSI были использованы для вычисления совокупных рейтингов качества. Помимо самих экспертных оценок, параметрами данной подзадачи являются веса мнений экспертов, характеризующие степень доверия к ним со стороны ЛПР. В данном примере были выбраны следующие веса, нормированные в диапазоне [0;1]:

Веса мнений экспертов

Эксперт	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7
Вес	0,9	0,5	0,75	0,4	0,65	0,5	0,7

Таблица 15

На базе байесовского подхода, изложенного в [5,6], в рамках которого была выбрана аддитивная модель ошибок экспертов и равномерное априорное распределение оценок экспертов, были рассчитаны следующие совокупные рейтинги качества работы алгоритма диссеминации (табл. 16):

Матрица совокупных рейтингов качества диссеминации

Польз./Статьи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,34	3,20	5,79	2,94	5,55	5,12	4,39	4,61	5,50	3,87
2	4,88	5,07	5,37	4,11	5,30	4,02	2,49	5,44	5,22	3,41
3	4,06	4,19	1,52	4,58	2,76	4,51	4,60	3,19	4,15	4,01

Таблица 16

62

Как видно из табл. 16, качество работы алгоритма LSI для первых двух пользователей было в целом удовлетворительным — большинство совокупных рейтингов относительно высоки. В то же время результаты экспертизы для третьего пользователя показывают достаточно низкое качество диссеминации. На базе этих выводов могут быть приняты различные решения по изменению параметров задачи. В данном случае, учитывая хорошее качество диссеминации для первых двух пользователей, необходимо не корректировать характеристики алгоритма LSI, а уточнение профиля третьего пользователя, — например, расширение списка ключевых слов.

Основной недостаток алгоритма LSI заключается в отсутствии какой бы то ни было процедуры оценки эффективности его работы и принятия решения о коррекции параметров. Для преодоления данного недостатка был разработан описанный выше комплексный подход, базирующийся на анализе оценок результатов диссеминации, даваемых независимыми экспертами. При этом для снижения фактора случайных ошибок, связанного с их привлечением, их мнения анализируются лицом, принимающим решения, на предмет непротиворечивости. Качество полученных алгоритмом LSI результатов определяется не субъективным суждением ЛПР, а согласованностью мнений экспертов, которые оценивают это качество. Ситуация, когда их оценки противоречат друг другу, соответствует высокой степени неопределенности полученных алгоритмом результатов, приводящей к низкому качеству диссеминации, и требует модификации его параметров.

Заключение

Предложенный подход имеет ряд преимуществ. Во-первых, он обеспечивает алгоритму LSI необходимую обратную связь и позволяет динамически его настраивать, причем этот процесс может быть итеративным и давать все более высокое качество диссеминации. Во-вторых, в процессе согласования снижается риск получения неверных результатов, обусловленных ошибками отдельных экспертов, за счет возможности выбора подмножества тех из них, мнения которых находятся в консонансе. В третьих, ЛПР не обязательно должен быть специалистом в предметной области, к которой относятся поступающие на вход документы, а это значит, что процесс анализа результатов экспертизы можно формализовать и автоматизировать.

Разработанная система после определенного количества проведенных экспертиз, оценки их качества и соответствующей настройки параметров может рассматриваться как инструмент анализа компетентности экспертов. ЛПР может оценивать вес нового эксперта, “включая” его мнение в уже существующую структуру и анализируя состояние консонанса полученного расширенного множества. Таким образом, мы решаем сопряженную задачу привлечения наиболее подходящих экспертов для конкретной предметной области.

63

Список литературы

1. <https://depinfo.u-bourgogne.fr/doc/oracle-9.2.0/IntermediaUserGuide1.pdf>
2. http://www.rco.ru/?page_id=4416
3. S. K. Dulin, N. G. Dulina, and P. V. Ermakov. Information fusion of documents // Информатика и её применения, Т. 14, Вып. 1, 2020. С. 128-135.
4. https://www.researchgate.net/publication/221178747_Essential_Dimensions_of_Latent_Semantic_Indexing_LSI.
5. Дулин С.К., Розенберг И.Н., Уманский В.И. Об одном подходе к оценке латентного риска экспертизы сейсмической устойчивости железнодорожного полотна. // Надежность. 2018;18(3). С.31-38.
6. Самохвалов Роман Викторович. Комплексный подход к оценке релевантности структурной согласованности : диссертация кандидата технических наук: 05.13.17.- Москва, 2002.- 179 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/1759-7.

64

УДК: 656.212

Организация работ и безопасность
движения на транспорте

Анализ технической поддержки на сортировочных станциях

Analysis of technical support at marshalling yards

Коваленко Н.А., к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Москва, Россия

Ефимов Р.А., к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: era.90green@mail.ru, Москва, Россия

Бородин А.А., аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: borodinups@gmail.com, Москва, Россия

Kovalenko N.A., PhD.(Tech.), Assoc.professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia

Efimov R.A., PhD.(Tech.), Assoc.professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: era.90green@mail.ru, Moscow, Russia

Borodin A.A., Postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: borodinups@gmail.com, Moscow, Russia



Аннотация. Проведен анализ основных эксплуатационно-технических показателей функционирования крупнейших российских и зарубежных поездообразующих станций. Выполнен анализ технического оснащения станций. Дается анализ современных программных средств и интеллектуального обеспечения. Описаны устройства квазинепрерывного торможения отцепов. Статья доказывает, что несмотря на меньшую емкость путевого развития объем работы российских сортировочных станций превосходит, а показатели использования горочных устройств и подвижного состава не уступают крупным зарубежным станциям.

Ключевые слова: сортировочная станция, техническое оснащение, расформирование поездов, система горочной автоматизации, профиль сортировочного пути, автоматизация, цифровизация

Annotation. The article analyzes the main operational and technical indicators of the functioning of the largest Russian and foreign train-forming stations. The analysis of the technical equipment of the stations was carried out. The analysis of modern software and intellectual support is given. Devices for quasi-continuous cut braking are described. The article proves that despite the smaller size of track development in comparison with large foreign marshalling yards, the volume of work of Russian marshalling yards is much higher, and the indicators of the use of hump devices and rolling stock are much better.

Keywords: marshalling yard, technical equipment, disbanding of trains, hill automation system, profile of the sorting track, automation, digitalization.

65

Введение

В настоящее время в условиях внедрения современных цифровых и IT-технологий, динамического развития технических средств повышения безопасности движения [1, 2], особое значение в решении задач дальнейшего повышения эффективности перевозочного процесса приобретает работа российских сортировочных станций. Можно выделить технические, экономические, информационные, автоматизированные и интеллектуальные аспекты совершенствования работы сортировочных станций.

Анализ тенденций в автоматизации сортировочных станций [3] позволят выделить необходимость автоматизации работ и автоматизации по управлению этими работами. Экономический аспект основан на минимизации затрат, связанных с простоем вагонов, а также на сокращении времени выполнения отдельных операций для ускорения переработки составов [4]. Снижение времени простоя транзитного вагона с переработкой на станциях значительно улучшает качество предоставляемых услуг по перевозке грузов на направлении железной дороги. Аспект автоматизации связан с управлением сортировочными станциями в реальном времени [5].

Большое значение в совершенствовании технологии работы сортировочных станций имеет моделирование и программное обеспечение. Для этой цели применяют пространственные модели, в частности комплексные модели распределения путей и планирования времени движения на сортировочных станциях [6,7,8]. При управлении с процессами сортировки используют пространственную информацию, что приводит к необходимости применения специальных информационных моделей [9,10, 11].

Автоматизация технологических процессов в современных условиях направлена на применение интеллектуального управления процессами принятия решений и применении интеллектуальных ГИС [12]. Применяют различные алгоритмы автоматизации работы сортировочных станций, такие как визуальное распознавание [13] или акустическое распознавание [14] объектов. Кроме того, как систему поддержки применяют когнитивную логику [15] для автоматизации человеческого участия в работе станций. Совершенствование технологии работы и технического оснащения сортировочных станций на современном этапе развития направлено в первую очередь на автоматизацию и интеллектуализацию процессов сортировки. Это делает актуальным обобщение опыта работ в данной области.

Анализ основных эксплуатационно-технических требований к технологии и техническому оснащению сортировочных станций

На современном этапе развития цифровых технологий в настоящее время получили широкое распространение системы автоматизации и цифровизации сортировочного процесса, направленные, в том числе, на обеспечение гарантированной безопасности движения.

На важнейших сортировочных станциях сети российских железных дорог, выполняющих основную долю переработки вагонов, внедрены различные технические средства, а также системы автоматизации, централизации контроля и управления. Повышению безопасности движения, снижению риска возникновения аварийных ситуаций способствует своевременное выявление и устранение технических неисправностей подвижного состава и размещение на сортировочных станциях интегрированных постов автоматизированного приема и диагностики подвижного состава (ППСС), разработанного специалистами Ростовского филиала АО «НИИАС» [16].

Ярким примером модернизации последних десятилетий могут служить системы идентификации подвижного состава, горочная автоматическая локомотивная сигнализация с использованием радиоканала ГАЛС Р, автоматизированная система коммерческого осмотра вагонов АСКОПВ, системы контроля и диагностики АДК СЦБ, АПК ДК, МАЛС, в реальном времени диспетчерскому персоналу для поддержки принятия оптимальных и оперативных управленческих решений, а также позволяет формировать аналитику для оценки выполнения установленных показателей [4].

Система маневровой и горочной автоматической локомотивной сигнализации МАЛС/ГАЛС-Р предназначена для повышения безопасности движения на станциях и позволяет исключить случаи проездом запрещающего сигнала светофора и превышение допустимой скорости при маневровой работе, повышает эффективность использования маневровых локомотивов, способствует созданию информационной платформы для цифровизации технологических процессов.

Комплексная система контроля и подготовки информации для АСУ СС о перемещениях вагонов и локо-

66

мотивов на станции в реальном времени (СКПИ ПВЛ РВ) впервые на сети внедрена в тестовом режиме на станции Бекасово-Сортировочное в 2020 г. [3].

Современными направлениями развития систем автоматизации сортировочных станций является применение средств компьютерного зрения (КЗСП) для контроля технологических процессов на железнодорожных станциях и диагностирования состояния продольных профилей сортировочных путей [17].

Базовыми задачами комплексной автоматизированной системы управления сортировочной станцией являются повышение эффективности работы, минимизации ручного ввода информации [18], логический контроль с целью полного исключения недостоверной информации. Выполненный анализ зарубежного опыта функционирования сортировочных комплексов позволил сделать вывод об актуальности проблем совершенствования процесса принятия управляющих решений и рационального планирования работы станций в реальном режиме времени.

На долю железнодорожного транспорта США и Канады в общем объеме перевозимых грузов приходится порядка 40 % от общего грузооборота, а доля перевозки остальными видами транспорта составляет менее 60%. Ведущие компании США в области автоматизации сортировочного процесса пришли к выводу о потребности рационального использования данных, накопленных в результате автоматической обработки эксплуатационной деятельности.

Одной из важных проблем, стоящих перед российскими сортировочными станциями является формирование большого числа поездов, выполняющих развоз местного груза на прилегающих участках. Формирование этих поездов обуславливает дополнительную загрузку в выходной горловине сортировочного парка, что оказывает негативное влияние и на работу сортировочных горок.

Так как большинство сортировочных станций расположены в черте городов, увеличение числа сортировочных путей становится труднореализуемой задачей. Наличие в расформировываемых составах вагонов, требующих соблюдения особых условий при расформировании, также существенно увеличивает объем маневровой работы и снижает перерабатывающую способность сортировочных горок.

Содержание продольных профилей путей спускной части горок и путей сортировочного парка зачастую не соответствует установленным нормам (рис. 1). Анализ продольных профилей путей показал, что на отдельных станциях имеет место значительный уклон профиля сортировочного пути в сторону парка формирования, что может привести к самопроизвольному выходу неуправляемых отцепов за пределы полезной длины сортировочных путей, а также возникновению других нежелательных событий и транспортных происшествий.

Таким образом, содержание продольных профилей путей сортировочных парков в соответствие с проектом является первоочередной задачей, от своевременного решения которой во многом зависит и безопасность движения. Для своевременной и достоверной проверки продольных профилей сортировочных путей могут быть использованы разработанные ОАО «НИИАС» средства компьютерного зрения (КЗСП) [17].

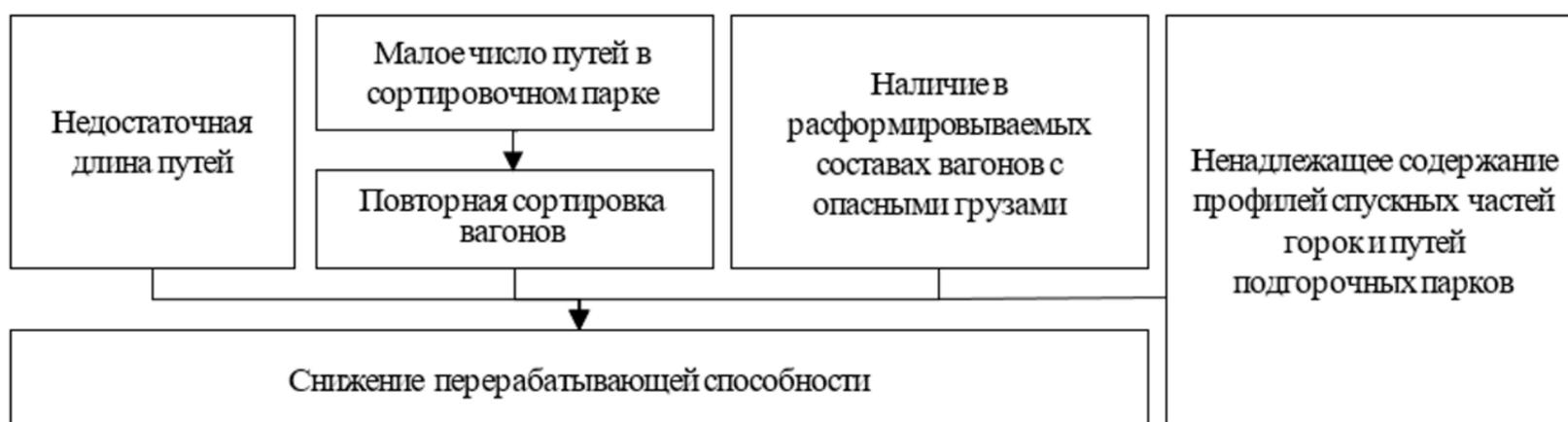


Рисунок 1. Основные факторы, оказывающие негативное влияние на функционирование российских сортировочных станций

В настоящий момент на сети ОАО «РЖД» функционирует 26 важнейших сетевых и 13 сортировочных станций дорожного уровня [19], обеспечивающих выполнение эксплуатационной работы холдинга, ритмичность функционирования которых во многом определяет качество оказания услуг участникам перевозочного процесса.

67

Технология формирования-расформирования составов, заложенная в алгоритмах существующей системы горочной автоматизации, включает в себя следующие основные подсистемы, объектами управления в которых являются: скорость надвига и роспуска составов, маршруты скатывания отцепов, скорость движения отцепов по спускной части горки и путям сортировочного парка. В связи с этим необходимо обеспечивать безопасность следования каждого отцепа с момента начала его скатывания с сортировочной горки до остановки на пути подгорочного парка, а также обеспечивать максимально возможную вероятность безотказной работы устройств и систем по маршруту скатывания.

Согласно требованиям действующих нормативно-технических документов, пути сортировочного парка горок большой, средней и малой мощности должны оборудоваться заграждающими средствами [20–22], позволяющими избежать в процессе роспуска самопроизвольного выхода вагонов за пределы полезной длины путей, а также уменьшающими риск возникновения других опасных событий.

С течением времени в процессе эксплуатации фактические параметры горок, отметки плана и профиля сортировочных (сортировочно-отправочных) путей начинают отличаться от проектных решений. Работы по реконструкции устройств и элементов сортировочных горок, удлинению сортировочных (сортировочно-отправочных) путей, выправке продольных профилей приводят к корректировкам проектных параметров горок. Корректировки производятся также после допущенных случаев нарушения безопасности движения.

Анализ текущей ситуации показывает, что на ряде сортировочных станций отсутствуют заграждающие средства, а продольный профиль путей сортировочного парка соответствует нормативам всего лишь на 19 % станций, оборудованных сортировочными горками (рис. 2) [23].



Рисунок 2. Характеристика горочных комплексов сети ОАО «РЖД»

Стационарные заграждающие средства отсутствуют даже на таких высокотехнологичных сортировочных станциях как Красноярск-Восточный, Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский и других, оборудованных системами КСАУ СП, ГАЛС.

Постоянное наращивание избыточных ограничений в работе горок, с целью обеспечения безопасности сортировочной работы при отступлении реальных профильных отметок сортировочных путей от нормативных параметров и отсутствии заграждающих средств, приводит к снижению их перерабатывающей способности и уменьшению производительности.

Практический опыт выполнения работ по расформированию-формированию поездов на российских и зарубежных железнодорожных станциях

В настоящее время на отечественных сортировочных станциях широкое распространение получила комплексная система автоматического управления сортировочным процессом (КСАУ СП). Она внедрена на 21

68

сортировочной горке сети железных дорог России различных категорий конфигурации и перерабатывающей способности, включая горки, оборудованные различными типами технических средств и тормозных вагонных замедлителей [3], а также расположенных в различных климатических зонах (таблица 1).

Оснащение российских сортировочных станций системой КСАУ СП

Категория сортировочной горки	Наименование станции
Повышенной мощности	Бекасово-Сортировочное;
Большой мощности	Орехово-Зуево; Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский; Лоста; Екатеринбург-Сортировочный; Челябинск-Главный (2-е системы); Кинель; Входная; Инская (2-е системы); Алтайская
Средней мощности	Елец; Московка; Красноярск-Восточный; Новокузнецк-Восточный; Тайшет; Иркутск-Сортировочный
Малой мощности	Старый Оскол; Новая Еловка; Вихоревка

Таблица 1

Анализ показателей работы сортировочных станций с автоматизированными горками позволяет констатировать следующие факты: среднее количество перерабатываемых ежедневно вагонов увеличилось от 20 % на станции Московка и более чем на 110 % на станции Красноярск-Восточный. [1]. Несмотря на это, сортировочные станции с автоматизированными горками в условиях интеллектуализации и цифровизации станционных процессов имеют еще и дополнительный резерв перерабатывающей способности (рис. 3).

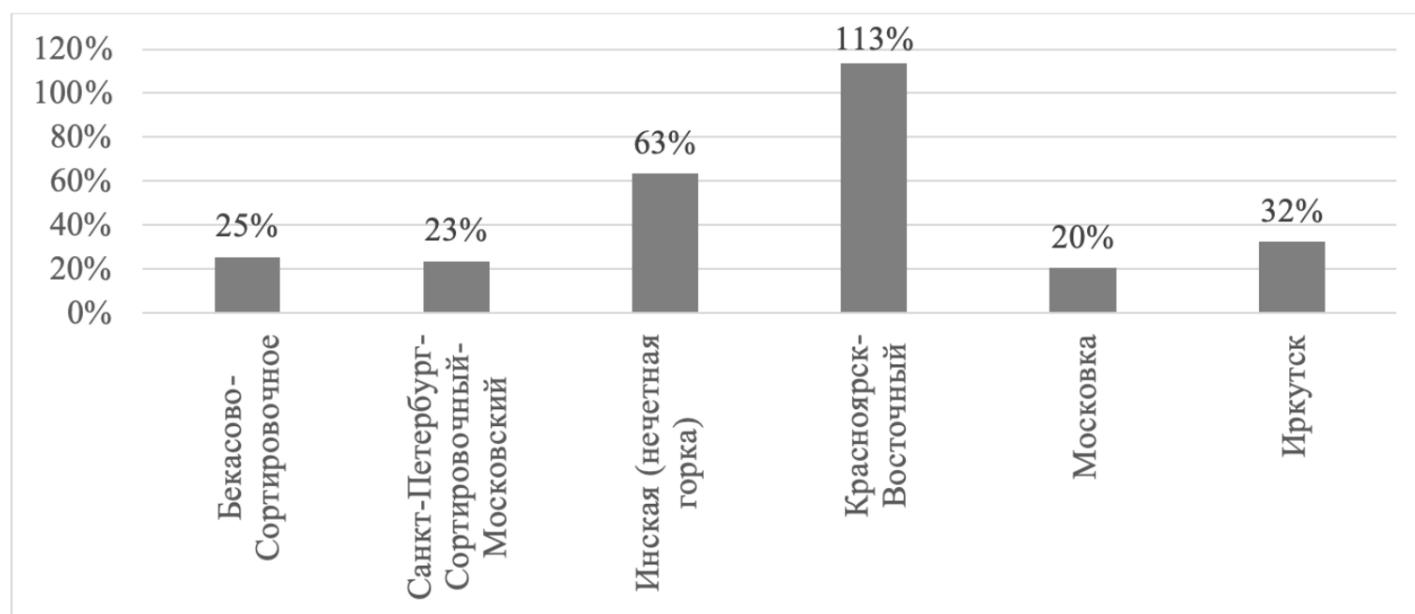


Рисунок 3. Динамика изменения среднесуточного количества перерабатываемых на сортировочных станциях вагонов после внедрения КСАУ СП (Бекасово-Сортировочное, Московка, Иркутск – с 2009 г., Инская (нечетная горка) – с 2010 г., Красноярск-Восточный – с 2005 г., Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский – с 2011 г.)

Анализ представленных данных свидетельствует о достижении системой КСАУ СП значительного повышения перерабатывающей способности горок, что позволяет обеспечить технологичную переработку возрастающих вагонопотоков на горках различной мощности при оптимизации численности станционных работников с обеспечением требуемого уровня безопасности движения.

На станции Инская Западно-Сибирской ж.д. успешно реализуется программа «Цифровой сортировочный комплекс», а также в опытной эксплуатации находится горочный интерактивный пульт (ПГИ), внедрение которого позволит оптимизировать штат оперативных работников и реализовать переход на управление роспуском вагонов в одно лицо, а также автоматизировать маневровые передвижения.

Для определения основных отличий в работе сортировочных станций в России и за рубежом, особенно

69

в части технического оснащения и технологических процессов переработки поступающих вагонопотоков, проведен сравнительный анализ показателей крупнейшей сортировочной станции США – Бэйли Ярд (Bailey Yard) (штат Небраска) и одной из важнейших сортировочных станций России – Инская (Западно-Сибирская железная дорога). Результаты сравнительного анализа сведены в таблицу 2.

Сравнительный анализ показателей станций Инская и Бэйли Ярд

Наименование показателя	Ед. изм.	Бэйли Ярд	Инская	Показатели ст. Инская к ст. Бэйли Ярд		
				в ед. изм.	в %	
Вагонооборот	ваг/сут	14000	23000	+ 9000	164	
Число путей в сортировочном парке	Чет.	пути	65	24	- 41	37
	Нечет.	пути	49	36	- 13	73,5
Суммарная перерабатывающая способность	ваг/сут	3600	9000	+ 5400	250	
Количество вагонов, снимаемых с одного пути сортировочного парка	ваг/сут	60	170	+ 110	283	
Средний простой транзитного вагона с переработкой	час	20	9,5	- 10,5	47,5	

Таблица 2

Как видно, из приведенного выше анализа, несмотря на меньшее число путей в сортировочных парках, станция Инская перерабатывает за сутки в 2,5 раза больше вагонов, вагонооборот более чем в 1,5 раза превышает показатель станции Бэйли Ярд, а средний простой транзитного вагона с переработкой почти в 2 раза меньше.

Оценка критерия «Количество вагонов, снимаемых с одного пути сортировочного парка» позволил сделать вывод, что четная сортировочная горка станции Инская лидирует как в России, так и за рубежом. Путьевое развитие рассматриваемого сортировочного парка состоит из 24 путей, при этом на четной горке ежесуточный объем переработки превышает 4000 вагонов, а съём вагонов с одного пути – 170 вагонов в сутки или порядка 3 готовых поездов на одном пути ежесуточно. В результате проведенного сравнительного анализа можно сделать вывод, что на западно-европейских и американских сортировочных станциях ежесуточно на одном пути сортировочного парка накапливается не более 60 вагонов, что объясняется наличием на станциях большого числа сортировочных путей (от 32 до 80).

Важной особенностью функционирования КСАУ СП является возможность автоматического отпуска под управлением систем автоматизации, а функцией оператора в этом случае является контроль за работой системы с возможностью принятия решения по остановке отпуска в случае возникновения опасного отказа. Данная технология успешно используется на сортировочных горках станций Красноярск-Восточный Красноярской железной дороги, Тайшет и Иркутск-четный Восточно-Сибирской железной дороги.

Опытный образец системы компьютерного зрения для контроля подвижного состава реализован в сортировочном парке станции Инская Западно-Сибирской ж.д. [17].

Примером внедрения интегрированных постов автоматизированного приема и диагностики подвижного состава (ППСС) является станция Челябинск Главный на Южно-Уральской ж.д. Применение ППСС обеспечивает переход к малолюдным технологиям при организации технического и коммерческого осмотров вагонов на сортировочных станциях [16].

Результаты анализа теоретических и практических разработок показали, что решение вопросов, связанных с обеспечением качества заполнения путей накопления вагонов, происходит за счет внедрения современных программно-аппаратных и технических средств, в частности, новых устройств квазинепрерывного торможения вагонов.

Опыт успешного функционирования таких систем, используемых на железных дорогах Германии, Австрии, КНР и ряда других стран свидетельствует о том, что их использование позволяет существенно повысить

70

критерии безопасности, связанные с обеспечением допустимых скоростей соударения, а наличие ускоряющих уклонов продольного профиля путей сортировочного парка позволяет улучшить степень заполнения сортировочных путей и минимизировать процесс возникновения «окон». В этих странах ведутся непрерывные работы по совершенствованию конструкции горочных замедлителей, схем их расположения и использования. В результате в некоторых странах к настоящему времени уже разработаны жизнеспособные системы регулирования скоростей движения вагонов по сортировочным путям. В настоящее время на российских станциях проводятся испытания устройств аналогичного функционала, в постоянной эксплуатации подобные устройства отсутствуют.

В США на сортировочных станциях в системах автоматизации сортировочных процессов широко используются такие высокоэффективные механизмы и устройства, как радиолокационные спидометры, электродинамические замедлители, вагоноосаживатели, приборы измерения скорости и направления ветра, установки для измерения степени заполнения путей и управления вагонными замедлителями и т. п.

Перспективным направлением развития является применение современных мобильных устройств связи, с помощью которых осуществляется поддержка процесса обработки поезда от прибытия до отправления [24], что создает условия и предпосылки для дальнейшей цифровизации технологических процессов на основных поездобразующих станциях и позволяет снизить эксплуатационные расходы почти на 70 %. Переход от локальных устройств автоматизации отдельных операций к непрерывно действующим системам управления расформированием и формированием составов в последние годы отмечается на крупных сортировочных станциях железных дорог I класса Северной Америки. Китайским железным дорогам принадлежит лидирующая роль во внедрении технологии радиочастотных меток (RFID).

Автоматическая система для сортировочной горки является главным компонентом комплексной системы автоматизации сортировочной станции и состоит из:

- автоматической системы дистанционной индикации локомотивов и управления скоростью;
- автоматической системы выбора (установки) маршрутов и управления;
- автоматической системы управления скоростью скатывания отцепов;
- автоматической системы расцепления вагонов.

Из всех перечисленных выше подсистем автоматическая система управления скоростью скатывания отцепов имеет ключевое значение, причем не только с точки зрения эффективности маневровых операций сортировочной горки, но и с точки зрения безопасности свободно скатывающихся вагонов и содержащихся в них грузов.

Автоматическая система управления скоростью вагонов представляет собой разновидность системы управления циклом без обратной связи.

Для строительства и модернизации сортировочных станций фирмой Siemens был разработан универсальный комплекс MSR 32 для горок средней, большой и повышенной мощности [25].

Данная система внедрена на горках с различными профилем, концепцией торможения и перерабатывающей способностью (таблица 3) [26].

Внедрение системы MSR-32 на некоторых зарубежных станциях

71

Наименование станции	Перерабатывающая способность	Оснащение горки	Вид управления	Элементы MSR 32	Год внедрения
Цюрих (Швейцария)	330 ваг/час	Основная горка: I-ТП – 2 зам.; II-ТП – 8 зам.; ПТП – 64 зам.; Вагоноосаживатели. Второстепенная горка: I-ТП – 2 зам.; ПТП – 13 зам.; Вагоноосаживатели.	Полностью автоматизированное.	Управление маршрутами скатывания, управление замедлителями и вагоноосаживателями, система радиопередачи горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	1999
Коувола (Финляндия)	1400 ваг/сут	I-ТП – 3 зам.; 49 подгорочных путей.	Неавтоматизированное прицельное торможение, автоматический способ задания маршрутов, контроль маршрутов приема и отправления.	Управление маршрутами и контроль следования отцепов, система управления замедлителями II-ТП, увязка с МПЦ станции.	2001
Зельце (Германия)	Нет данных	I-ТП – 4 зам.; ПТП – 34 зам.; Вагоноосаживатели.	Точное прицельное торможение и буксировка.	Система маршрутизации процесса роспуска, управление всеми замедлителями, вагоноосаживателями, система радиопередачи горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	2006
Вена (Австрия)	320 ваг/час	2 пути надвига; 48 подгорочных путей; Точечные замедлители.	Квазинепрерывное торможение в процессе роспуска с автоматизацией процесса задания маршрутов	Управление процессом роспуска, система радиопередачи горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	2004
Вайдотай (Литва)	3000 ваг/сут	1 путь надвига; 20 подгорочных путей; I-ТП – 1 балочный зам.; II-ТП – 3 зам.; ПТП – 20 зам.	Полностью автоматизированное.	Система автоматизации процесса роспуска и маршрутизации, управление всеми замедлителями, прицельное торможение, связь с центральной системой планирования.	2008

Таблица 3.

В настоящее время системой MSR 32 оборудована станция Лужская Октябрьской железной дороги [27]. Материалы, приведенные в настоящей статье, были доложены на ряде международных научно-практических конференций, заседаний научно-технических секций ОАО «РЖД», семинаров и круглых столов.

Заключение

В настоящее время крупные российские сортировочные станции, имея меньшую емкость путевого развития станционных парков, по объему выполняемой работы, эффективности использования горочных устройств и подвижного состава не уступают крупным зарубежным станциям, а по ряду показателей превосходят их.

В условиях интеллектуализации и цифровизации станционных процессов [28] повышение эффективности функционирования поездообразующих станций возможно за счет внедрения современных, высокоэффективных технических средств и аппаратно-программных комплексов, позволяющих выполнять в автоматическом режиме основные технологические операции с соблюдением требований безопасно-

72

сти движения. Применение данных систем направлено на увеличение перерабатывающей способности сортировочных станций и повышение безопасности маневровой работы. Их внедрение на сортировочных станциях обеспечивает переход на малолюдные технологии, что способствует повышению производительности труда станционных работников, исключению случаев принятия неэффективных управленческих решений и минимизации убытков, причиной которых может быть «человеческий фактор».

73

Список литературы

1. Розенберг И.Н. Цифровая сортировочная станция / И.Н. Розенберг, А.Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. 2018. № 10. С.13-17.
2. Хатламаджиян А.Е., Яицков И.А., Степин И.А. Применение современных цифровых технологий и технических средств повышения безопасности и эффективности перевозочного процесса подвижного состава //Труды РГУПС.2020. №1. С.107-111
3. Шабельников А.Н. Перспективы развития сортировочных станций // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 6. С.23-25.
4. Шипулин Н.П., Шабельников А.Н. Совершенствование технологии работы сортировочных станций // Автоматика, связь, информатика. 2013. № 1. С. 6 – 8.
5. Dimitrov L. et al. Approach for Development of Real-Time Marshalling Yard Management System //2018 International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech). – IEEE, 2018. – С. 1-5.
6. Tsvetkov V. Ya. Spatial Information Models // European researcher. 2013. №10-1(60). с.2386-2399.
7. Gestrelus S. et al. Towards a comprehensive model for track allocation and roll-time scheduling at marshalling yards //Journal of rail transport planning & management. – 2017. – Т. 7. – №. 3. – С. 157-170.
8. Antognoli M. et al. Measuring Performances of Multi-mode Marshalling Yards //Modelling of the Interaction of the Different Vehicles and Various Transport Modes. – Springer, Cham, 2020. – С. 159-183
9. Tsvetkov V. Ya. Conclusions of Intellectual Systems // Modeling of Artificial Intelligence.–2014.–№ 3 (3). – pp.138-148
10. Коваленко Н.И. Системный подход создания интегрированной информационной модели // Славянский форум. - 2014. – 2 (6). - С.51 -55.
11. Tsvetkov V. Ya. Intelligent control technology. // Russian Journal of Sociology. 2015. №2(2). P.97-104.
12. Feizizadeh B., Gheshlaghi H. A., Bui D. T. An integrated approach of GIS and hybrid intelligence techniques applied for flood risk modeling // Journal of Environmental Planning and Management. – 2021. – Т. 64. – №. 3. – С. 485-516.
13. Vitković N., Trifunović M. S. Software Module for the Visualization and Planning of Marshalling Yard Operations //machine design. – 2019. – Т. 11. – №. 1.
14. Ye Y., Zhang J., Liang H. An Acoustic-Based Recognition Algorithm for the Unreleased Braking of Railway Wagons in Marshalling Yards // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С. 120295-120308
15. Savnykh V.P., Tsvetkov V.Ya. Cognitive logic's principles. В сборнике: Artificial Intelligence in Intelligent Systems. proceedings of Computer Science On-line Conference. Сер. «Lecture Notes in Networks and Systems» Zlín, Czech Republic, 2021. С.288-296.
16. Хатламаджиян А.Е., Лебедев А.И. Интегрированный пост автоматизированного приёма и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях // Вагоны и вагонное хозяйство.-2019.-№2(58).-С.9-13.
17. Хатламаджиян А.Е., Ольгейзер И.А., Суханов А.В., Борисов В.В. Компьютерное зрение для контроля сортировочных процессов // Автоматика, телемеханика, связь.-2021.- №3. – С.8-11.
18. Bogomolov V.M., Bogomolova E.V., Maslyukova Y.V. Safe organization of the train compiler's work in modern conditions (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 953(1), 012077, 2020.
19. Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2017 г. № 2762р.
20. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств колеи 1520 мм, утверждённые заместителем Министра путей сообщения Российской Федерации 10.10.2003 г.
21. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286 (в редакции от 09.02.2018 г.).
22. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.09.2017 г. № 1871р «Об утверждении Порядка определения возможности производства роспуска и перестановки вагонов через горб сортировочной горки при отсутствии проектной документации».
23. Коваленко Н.А. Применение новых критериев расчета при определении необходимости формирования барьерных групп / Н.А. Коваленко, А.А. Бородин // Железнодорожный транспорт. 2019. № 9. С.15-17.
24. Павлов Л.Н. Автоматизация и механизация процессов на сортировочных станциях. Зарубежный опыт // Железнодорожный транспорт. 2008. № 1. С.55-61.
25. Брендт Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира / Т. Брендт, С.В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. 2007. № 6. С.45-48.
26. https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9a9209ef-619c-419f-b038-bbb1edae_73b9/siemens-msr32-general-rus.pdf.
27. Опыт эксплуатации системы MSR32 на российской сортировочной горке /А.А. Юдин, Ю.С. Смагин, А.Е. Белов, С.С. Сероштанов // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С.13-16.
28. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61

КОНТАКТЫ

Редакция

8 (916) 433-60-72
journal@vniias.ru

Главный редактор -
Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора -
Цветков Виктор Яковлевич

Редактор -
Колосов Дмитрий Эдуардович

Россия, Москва, 109029,
Нижегородская ул. 27, стр 1

+7 (495) 967-77-06

info@vniias.ru

► vniias.ru



 vniias



 vniias

