

сетевое издание

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

## ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

### В ВЫПУСКЕ

#### **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«Сложность программного обеспечения интеллектуальных транспортных систем»

#### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

Козлов А.В.

«Пространственное управление с применением геоданных»

Ожерельева Т.А.

«Анализ пространственных транспортных инноваций»

#### **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ**

Дулин С.К., Дулина Н.Г.

«О когнитивной интероперабельности экспертов при анализе геоданных»

Ознамец В.В.

«Информационное управляющее транспортное пространство»

Андреева О.А.

«Инфологическое моделирование при мобильном лазерном сканировании»

#### **ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Озеров А.В., Ольшанский А.М., Куроптева А.П.

«Предиктивная аналитика с использованием DATA SCIENCE  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

Охотников А.Л.

«Виды систем технического зрения, применяемые на железнодорожном транспорте»

#### **ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ**

Неплюев В.А., Куликов А.А., Громова Т.А.

«Интеллектуальное управление железнодорожным полигоном»

Коваленко Н.И.

«Организационные особенности обеспечения межремонтного  
цикла эксплуатации пути трехкратной продолжительности»

# №4

Декабрь 2020





### Стратегия развития железных дорог

*Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич*

Сложность программного обеспечения интеллектуальных транспортных систем 3

### Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

*Козлов Александр Вячеславович*

Пространственное управление с применением геоданных 16

*Ожерельева Татьяна Алексеевна*

Анализ пространственных транспортных инноваций 27

### Геоинформационные технологии и системы на транспорте

*Дулин Сергей Константинович, Дулина Наталья Георгиевна*

О когнитивной интероперабельности экспертов при анализе геоданных 35

*Ознамец Владимир Владимирович*

Информационное управляющее транспортное пространство 43

*Андреева Ольга Александровна*

Инфологическое моделирование при мобильном лазерном сканировании 51

### Цифровые методы на железнодорожном транспорте

*Озеров Алексей Валерьевич, Ольшанский Алексей Михайлович,*

*Куроптева Алеся Павловна*

Предиктивная аналитика с использованием Data Science на железнодорожном транспорте 63

*Охотников Андрей Леонидович*

Виды систем технического зрения, применяемые на железнодорожном транспорте 77

### Организация работ и безопасность движения на транспорте

*Неплюев Владимир Анатольевич, Куликов Александр Анатольевич,*

*Громова Тамара Алексеевна*

Интеллектуальное управление железнодорожным полигоном 88

*Коваленко Николай Иванович*

Организационные особенности обеспечения межремонтного цикла эксплуатации пути трехкратной продолжительности 96



УДК: 656, 004.89, 656.052

## СЛОЖНОСТЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

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

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

**Аннотация.** Рассматриваются задачи, которые решают интеллектуальные транспортные и логистические системы, показано сходство и различие между этими системами, показано различие задач оптимизации в этих системах. Многообразие задач интеллектуального управления обуславливает использование программных компонент. Раскрывается понятие программная компонента и описаны условия их применения. Даны основные характеристики сложности программного обеспечения. Описана общая методика оценки сложности программных компонент, основные классы сложности и методы их оценки. Исследуется алгоритмическая асимптотическая сложность. Анализируются классы вычислительной сложности. Исследуется временная сложность. Описан логарифмический алгоритм и его сложность. Статья показывает различие между алгоритмами со строго полиномиальным и слабо полиномиальным временем. Исследована полиномиальная сложность как базовая сложность среди других видов сложности. Показана методика оценки сложности для этого класса.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, интеллектуальная транспортная система, интеллектуальная логистическая система, вычислительная сложность, временная сложность, асимптотическая сложность

## SOFTWARE COMPLEXITY OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

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

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

**Annotation.** The problems that are solved by intelligent transport and logistics systems are considered. Are shown the similarities and differences between these systems, the difference between optimization problems in these systems, the variety of intellectual control tasks determines the use of software components. The concept of a software component is revealed and the conditions for their application are described. The main characteristics of the software complexity are given. The general technique for assessing the complexity of software components, the main classes of complexity and methods for their assessment are described. The algorithmic asymptotic complexity is investigated. Classes of computational complexity are analyzed. Time complexity is investigated. The logarithmic algorithm and its complexity are described. The article shows the difference between algorithms with strictly polynomial and weakly polynomial time. Polynomial complexity is investigated as the basic complexity among other

types of complexity. The technique for assessing the complexity for this class is shown.

**Keywords:** transport, management, intelligent transport system, intelligent logistics system, computational complexity, time complexity, asymptotic complexity.

### **Введение**

При управлении сложными ситуациями становятся не пригодными классические методы управления. В этом случае автоматизированные системы управления транспортом приходится заменять интеллектуальными транспортными системами (ИТС) [1, 2] и интеллектуальными логистическими системами (ИЛС) [3, 4]. Управление с помощью ИТС и ИЛС использует опыт семиотического [5], когнитивного и информационного управления [6]. В интеллектуальном управлении транспортом выделено направление: интеллектуальных транспортных систем [7], интеллектуальной логистики, кибер-физического управления [8].

Интеллектуальное управление транспортными средствами имеет свои особенности [9]. Первая особенность состоит в том, что на транспорте применяют пространственную информацию и пространственные модели. В силу это при интеллектуальном управлении необходимо применять методы геоинформатики [10]. Вторая особенность состоит в том, что интеллектуальные транспортные системы требуют выполнения условий комплементарности и субсидиарности [11].

Субсидиарность требуется при индивидуальном управлении, комплементарность требуется при групповом управлении и при управлении транспортными потоками. Третья особенность при интеллектуальном управлении на транспорте состоит в том, что для интеллектуальных транспортных систем необходимо создание систем поддержки [12]. Четвертая особенность при интеллектуальном управлении на транспорте состоит в том, что для управления в ИТС и ИЛС применяют программные компоненты и недетерминированные алгоритмы [13]. В частности, применяют алгоритмы мультиагентных систем [14]. Пятая особенность при интеллектуальном управлении на транспорте состоит в том, что для интеллектуальных транспортных систем и интеллектуального управления необходимо создание интеллектуальных ресурсов [15]. Шестая особенность ИТС и ИЛС в том, что они используют не модули программ, а программные компоненты.

Программой компонентой принято называть модуль программного обеспечения, выполняемый на одном компьютере в пределах одного вычислительного процесса. С информационных позиций программная компонента является составной моделью. Программное обеспечение может быть монолитным (одним модулем), а может состоять из блоков, называемых компонентами. Для программных компонент сложность возрастает за счет появления дополнительных и возможно разных связей между компонентами. Это делает актуальным исследование сложности ИТС и ИЛС.

### **Управление с использованием ИТС**

Все виды управления возникали как поддержка человеческого интеллект с помощью алгоритмов или алгоритмизированных правил [16]. Интеллектуальное управление решает задачи, которые человеческий интеллект не может решить. Оно обрабатывает большие объемы информации, которые не способен обработать человек. Оно обрабатывает большое количество связей между данными, что недоступно для человека. Оно позволяет анализировать множество вариантов за время недоступное для человека. Автоматизированное управление является детерминированным, интеллектуальное не детерминировано [17]. Автоматизированное

управление управляет объектом, интеллектуальное управление анализирует ситуацию [18] и состояние объекта в ней. На рис.1 приведена информационная ситуация фрагмента мегаполиса с наличием транспортных средств.

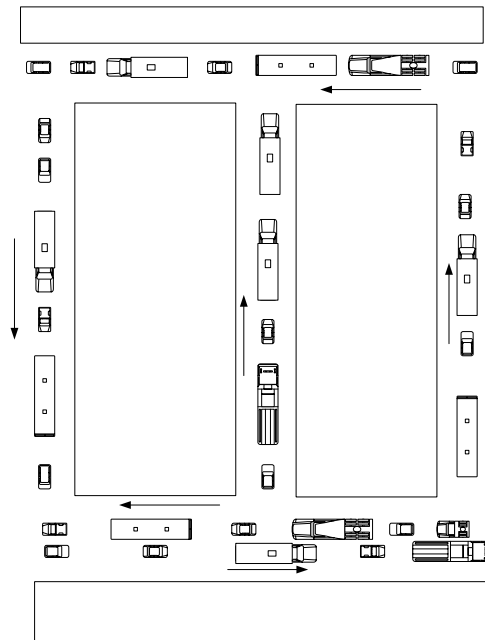


Рисунок 1. Информационная ситуация дискретных транспортных единиц

На рис.1 стрелками показано направление движения. Модель на рис.1 является дискретной. Можно управлять отдельно взятым транспортным средством. Такая система является дискретной системой управления [19]. Используя системный подход, можно дать описание информационной дискретной ситуации (ISd) для ИТС.

$$ISd = \langle Vi, DV, Sp, PP, \rangle \quad (1)$$

Где  $Vi$  - виды транспортных средств,  $DVi$  – плотность потока,  $Sp$  - скорости транспортных средств,  $PP$  – пропускная способность участков трассы. При переходе к массовому движению переходят от дискретной модели ситуации к потоковой - рис.2, см. [20].

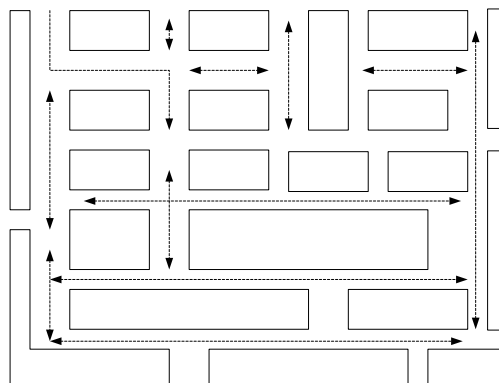


Рисунок 2. Информационная ситуация транспортных потоков

На рис.2 стрелками показано наличие потоков движения. Используя системный подход, можно дать описание информационной потоковой ситуации (ISf).

$$ISf = \langle Nf, D, Df, Sp, PP, \rangle \quad (2)$$

В выражении (2), Nf, – количество потоков, Df – плотности потоков, Sp - скорости потоков, PP – пропускная способность участков трассы, D – факторы диссипации потоков.

Главной задачей ИТС является синхронизация движения, повышение его скорости до нормальной, минимизация пробок и распределение потоков по магистралям. Это определяет решение соответствующих задач оптимизации. При переходе к другим задачам и специализированным видам транспорта подключаются интеллектуальные логистические системы. ИТС делятся на две категории; управление одиночным подвижным объектом (чаще всего их включают в ТКФС [21]) и управление группой подвижных объектов [22, 23].

### Управление с использованием ИЛС

Интеллектуальные логистические системы решают задачи перевозок со специализированными видами транспорта. На рис.3 приведена общая схема информационной ситуации для решения логистических задач. Принципиальным является качественное разделение транспортных средств на средства, осуществляющие перевозки, и прочие. Прочие выделены прямоугольниками. Они выполняют роль диссипативной функции.

Прочие транспортные средства в ситуации на рис.3 не влияют на результат. Поэтому для рис.3 возникают задачи оптимизации другого типа. Снизить затраты по перевозке, перевести в необходимый срок, снизить риск аварии. Чаще всего при решении задач доставки возникает не сбалансированная транспортная задача [24]. Она может усложниться, если принимать во внимание дифференциацию грузов. Например, транспортные средства перевозят разное количество грузов.

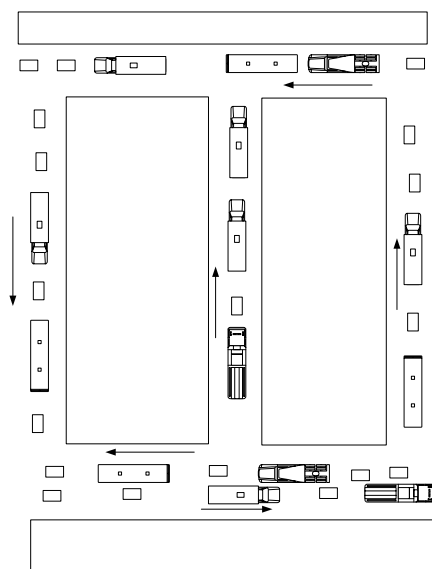


Рисунок 3. Информационная однородная логистическая ситуация доставки грузов

Транспортные средства перевозят грузы разной ценности. Транспортные средства перевозят грузы разной срочности доставки. Информационная неоднородная логистическая ситуация показана на рис.4, Разная штриховка транспортных объектов соответствует разным параметрам



по выбранному фактору: вес, ценность, срочность доставки.

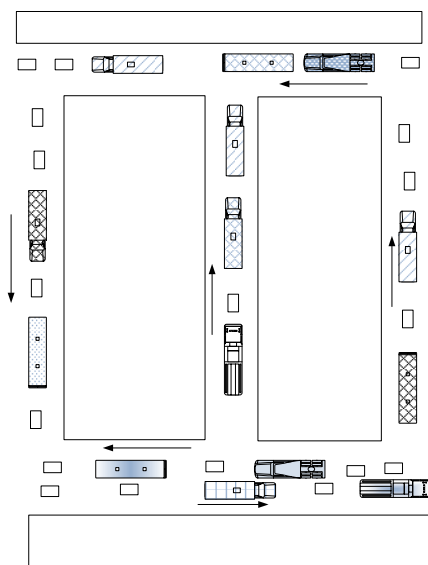


Рисунок 4. Информационная неоднородная логистическая ситуация доставки с приоритетами

Для рис.4 возникают задачи оптимизации другого типа. Оптимизировать пертвозку в условиях не стационарной информационной ситуации по критериям: вес, ценность, срочность доставки, минимальный риск доставки. по перевозке, перевести в необходимый срок, снизить риск аварии. Эти задачи оптимизации относятся к многокритериальным задачам.

Рисунки 1 и 2 описывают сферу ИТС, а рисунки 3 и 4 описывают сферу ИЛС. Общим для обеих систем является функционирование с двумя этапами: анализ, управление. Управление включает: постановку задачи оптимизации, выбор метода оптимизации, решение задачи оптимизации, прогнозирование, принятие решений.

Различие между ИЛС и ИТС в постановке задачи оптимизации и последующих действиях. Общим для ИТС и ИЛС является использование модели информационной ситуации для поддержки управления. ИТС и ИЛС применяют в сложных много связанных ситуациях. Поэтому они решают задачи многоцелевого управления. ИТС и ИЛС часто применяют при наличии нечетких данных. Поэтому в них решают задачи оптимизации на основе нечетких ситуаций. В случае задач дискретной математики и дискретной оптимизации [25] оптимальное решение приходится заменять рациональным решением.

Интеллектуальное управление с помощью ИТС и ИЛС эффективно и необходимо при управлении в недетерминированных ситуациях и в ситуациях с нечеткими условиями управления. Поэтому для ИТС и ИЛС необходимо использовать модель информационной ситуации как основу управления. Интеллектуальное управление с помощью ИТС и ИЛС можно назвать ситуационным управлением [48] в сложных условиях. Основой интеллектуального управления с помощью ИТС и ИЛС являются не прямые алгоритмы, а концептуальные модели, модели ситуаций и системы правил. Система интеллектуального управления с помощью ИТС и ИЛС является самомодифицируемой. Интеллектуальные модели, способны накапливать опыт, чего не могут делать информационные модели. ИТС управления одиночными объектами в настоящее время входят в состав транспортных кибер-физических систем. ИТС управления массовыми объектами в настоящее время входят в состав управления системами

бесцветного движения, ЦЖД [27], автономного поезда [28] и высокоскоростным движением [29], включая маглев [30]. Методы интеллектуального управления разнообразны и применимы к техническим, когнитивным и транспортным системам.

Современное интеллектуальное управление интегрируют в облачные платформы и сервисы [31], а также связывают с технологиями туманных вычислений [32]. При интеллектуальном управлении с помощью ИТС и ИЛС возникает необходимость применения пространственной информации. Это влечет обязательное применение геоинформатики и учета пространственных отношений в ситуациях управления. При управлении с помощью ИТС и ИЛС возникает необходимость применения пространственных знаний и геознаний [33]. При интеллектуальном управлении с помощью ИТС и ИЛС применяют искусственные нейронные сети, которые используют неявное знание [34], но при этом не переводят его в явное знание. Технически проблема управления знаниями связана трансформацией информационных ресурсов в интеллектуальные ресурсы и их адаптацией к конкретным задачам.

### **Программные компоненты и их сложность**

Программное обеспечение может быть монолитным (одним модулем), а может состоять из блоков, называемых компонентами. Для программных компонент сложность возрастает за счет появления дополнительных и возможно разных связей между компонентами. Программные компоненты применяют в сложных условиях изменения вычислительной ситуации или условий вычислений. Теория сложности [35, 36] изучает разрешимые задачи и исследует ресурсы, необходимые для решения. Традиционно для последовательных вычислений в качестве ресурса рассматривают время, которое сводят к количеству шагов машины Тьюринга. В качестве другого ресурса рассматривают объём для вычислений, который сводят к длине ленты машины Тьюринга. В соответствии с этим выделяют временную и пространственную сложности. В некоторых случаях вычислительным моделям добавляются дополнительные возможности, например, получение случайных чисел. Задачи в зависимости от необходимых ресурсов классифицируют по классам сложности. Теория сложности изучает эти классы и соотношения между ними.

Оценка сложности использует сравнительные и фактические критерии. Для оценки сложности применяют следующие процедуры:

- Оценивают каких затрат требует алгоритм в рамках заданных критериев и параметров (критериальная и параметрическая сложность).
- Сравнивают два алгоритма и выбирают из них менее сложный (сравнительная сложность).
- Определяют, возможно ли улучшить данный алгоритм. Если да, то он относительно сложный (относительная сложность).
- Оценивают возможность применения данного алгоритма для решения конкретной задачи (сложность по задаче) на конкретной машине (вычислительная сложность).

*Класс вычислительной сложности* – множество вычислительных задач, имеющих примерно одинаковую сложность или соразмерных между собой по вычислениям.

*Класс метрической сложности* – множество систем или алгоритмов задач, имеющих примерно одинаковую сложность по выбранной метрике, например метрики Холстеда.

*Класс предикативной сложности* – множество предикатов  $P(x)$ , которые используют  $O(f(n))$  ресурсов, где  $n$  – длина входных данных.

*Класс структурной сложности* – Сложность структуры, описываемой графом, оцениваемая

на основе сложности графа

*Класс временной сложности* – Сложность временных ресурсов, необходимая для решения задачи.

#### **Асимптотическая сложность**

Поскольку время работы алгоритма может различаться для разных входных данных одного размера, то обычно рассматривают наихудшую (максимальную) временную сложность, которая представляет собой максимальное количество времени, требуемое для входов заданного размера. При этом приходим к понятию асимптотическая сложность [37]. Менее распространенной является, усредненная сложность, которая представляет собой среднее время, затрачиваемое на входные данные заданного размера.

В обоих случаях сложность времени обычно выражается как функция размера входных данных [38]. Поскольку эту функцию, как правило, трудно вычислить точно, а время выполнения небольших входных данных обычно не имеет никакого значения, обычно сосредотачиваются на поведении сложности при увеличении размера входных данных, то есть на асимптотическом поведении сложности.

Тьюринг доказал, что некоторые задачи невозможно решить и создать алгоритм для их решения невозможно. Это задачи второго рода [39]. Сложность этих задач можно оценивать на основе сравнения. Для сравнительной оценки используют асимптотическую сложность, которая имеет следующие разновидности

1.  $f(n) \in O(g(n))$  -  $f$  ограничена сверху функцией  $g$  (с точностью до постоянного множителя) асимптотически  $\exists(C>0), n_0 : \forall(n>n_0) |f(n)| \leq C|g(n)|$  или  $\exists(C>0), n_0 : \forall(n>n_0) |f(n)| \leq Cg(n)$
2.  $f(n) \in \Omega(g(n))$  -  $f$  ограничена снизу функцией  $g$  (с точностью до постоянного множителя) асимптотически  $\exists(C>0), n_0 : \forall(n>n_0) |f(n)| \geq C|g(n)|$
3.  $f(n) \in \Theta(g(n))$  -  $f$  ограничена сверху и снизу функцией  $g$  (с точностью до постоянного множителя) асимптотически  $\exists(C, C'>0), n_0 : \forall(n>n_0) C|g(n)| \leq |f(n)| \leq C'|g(n)|$
4.  $f(n) \in o(g(n))$  -  $g$  доминирует над  $f$  асимптотически  $\forall(C>0), \exists n_0 : \forall(n>n_0) |f(n)| < C|g(n)|$
5.  $f(n) \in \omega(g(n))$  -  $f$  доминирует над  $g$  асимптотически  $\forall(C>0), \exists n_0 : \forall(n>n_0) |f(n)| > C|g(n)|$
6.  $f(n) \sim g(n)$  -  $g$  эквивалентна  $f$  асимптотически  $\lim f(n)/g(n)=1$

#### **Классы вычислительной сложности.**

Классы сложности [40] часто определяют как классы вычислительной сложности [41], которые образуют множество вычислительных задач, имеющих примерно одинаковую сложность или соразмерных между собой по вычислениям. В теории вычислений временная сложность является вычислительной сложностью, которая описывает количество времени, необходимое для работы алгоритма. Временная сложность обычно оценивается путем подсчета числа элементарных операций, выполняемых алгоритмом, предполагая, что каждая элементарная операция требует фиксированного количества времени для выполнения. Эти элементарные операции можно рассматривать как информационные вычислительные единицы. Таким образом, количество затраченного времени и количество элементарных операций, выполняемых алгоритмом, различаются не более чем на постоянный коэффициент или масштаб информационных единиц.

Время работы алгоритма обычно обозначают  $T(n)$ . Временная сложность обычно выражается с использованием нотации большой буквы  $O$ , обычно  $O(n)$ ,  $O(n \log(n))$ ,  $O(n^a)$ ,  $O(2^n)$ , и т.д., где  $n$

- размер входных данных в битах  $\log$ необходимых для представления входных данных. Алгоритмические сложности классифицируются в соответствии с типом функции, обозначенной большой нотацией  $O$ . Например, алгоритм с временной сложностью это *линейный алгоритм времени* и алгоритм с временной сложностью для некоторой постоянной  $a > 1$  представляет собой *алгоритм с полиномиальным временем*. Концепция полиномиального времени приводит к нескольким классам временной сложности в теории вычислительной сложности. Некоторые важные классы, определенные с использованием полиномиального времени, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Классы временной сложности

|     |   |
|-----|---|
| P   | Класс сложности задач принятия решений, которые могут быть решены на детерминированной машине Тьюринга за полиномиальное время                |
| QP  | Класс сложности задач принятия решений, которые могут быть решены на детерминированной машине Тьюринга за квазиполиномиальное время           |
| NP  | Класс сложности задач принятия решений, которые могут быть решены на не детерминированной машине Тьюринга за полиномиальное время             |
| E   | Класс сложности задач принятия решений, которые могут быть решены на детерминированной машине Тьюринга за линейное экспоненциально время      |
| ZPP | Класс сложности задач, которые могут быть решены с нулевой ошибкой на вероятностной машине Тьюринга за полиномиальное время                   |
| RP  | Класс сложности задач решения, которые могут быть решены с односторонней ошибкой на вероятностной машине Тьюринга за полиномиальное время     |
| BPP | Класс сложности задач решения, которые могут быть решены с двусторонней ошибкой на вероятностной машине Тьюринга за полиномиальное время      |
| BQP | Класс сложности задач принятия решений, которые могут быть решены с двусторонней ошибкой на квантовой машине Тьюринга за полиномиальное время |

Алгоритм называется алгоритмом постоянного времени, обозначаемым как  $O(1)$ , если значение  $T(n) = O(1)$  ограничено значением, которое не зависит от размера входных данных. Например, независимый доступ к любому отдельному элементу массива занимает постоянное время, так как для его поиска нужно выполнить только одну ( $1$ ) независимую операцию. Аналогичным образом поиск минимального значения в массиве, отсортированном по возрастанию; это первый элемент. Однако поиск минимального значения в неупорядоченном массиве не операция с постоянным временем, так как сканирование каждого элемента в массиве нужен для определения минимального значения. Следовательно, это операция с линейным временем, занимающая время  $O(n)$ . Однако, если количество элементов известно заранее и не меняется, можно сказать, что такой алгоритм работает в постоянное время

Несмотря на название «постоянное время», время выполнения не обязательно должно быть независимым от размера массива, но верхняя граница времени выполнения должна быть ограничена независимо от размера массива. Например, задача «обменять значения  $a$  и  $b$ , если необходимо, чтобы  $a \leq b$ » называется постоянным временем, даже если время может зависеть от того, верно ли уже, что  $a \leq b$ . Однако существует некоторая постоянная  $t$  такая, что необходимое время всегда не превышает  $t$ .

Алгоритм имеет логарифмическое время работы, когда  $T(n) = O(\log n)$ . Поскольку  $\log a$  и  $\log bn$  связаны постоянным множителем, то такой множитель не имеет отношения к классификации большого  $O$ , стандартное использование алгоритмов логарифмического времени -  $O \log n$  ) независимо от основания логарифма, появляющегося в выражение  $T$ . Алгоритм работает за

полилогарифмическое время, если его время  $T(n) = O(\log n)^k$  для некоторой константы  $k$ . Алгоритм имеет линейное время или время  $T(n) = O(n)$ , если его временная сложность равна  $O(n)$ . Это означает, что время работы увеличивается не более чем линейно с размером входа. Точнее, это означает, что существует такая константа  $c$ , что время выполнения не превышает  $cn$  для каждого ввода размера  $n$ . Например, процедура, которая складывает все элементы списка, требует времени, пропорционального длине списка, если время добавления является постоянным или, по крайней мере, ограничено константой

Алгоритм называется полиномиально сложным (P, таб.1), если его продолжительность будет ограничена сверху с помощью полиномиального выражения в размерах входных данных для алгоритма, то есть,  $T(n) = O(n^k)$  для некоторой положительной константы  $k$ . [42] Задачи, для которых существует детерминированный алгоритм с полиномиальным временем, относятся к классу сложности P, который является центральным в области теории сложности вычислений. В диссертации Кобэма говорится, что полиномиальное время является синонимом слов «послушный» *tractable*, «выполнимый» *feasible*, «эффективный» или «быстрый» [43].

Алгоритм сортировки  $n$  целых чисел выполняет  $An^2$  операции для некоторой константы  $A$ . Таким образом, он работает во времени  $On^2$  и является алгоритмом с полиномиальным временем. Все основные арифметические операции (сложение, вычитание, умножение, деление и сравнение) могут быть выполнены за полиномиальное время. Максимальные паросочетания в графах можно найти в полиномиальное время.

В некоторых контекстах, особенно в оптимизации, различают алгоритмы со строго полиномиальным и слабо полиномиальным временем. Эти две концепции актуальны, только если входные данные алгоритмов состоят из целых чисел.

Сильно полиномиальное время определяется в арифметической модели вычислений. В этой модели вычислений основные арифметические операции (сложение, вычитание, умножение, деление и сравнение) выполняются за единичный временной шаг, независимо от размеров операндов. Алгоритм работает за сильно полиномиальное время, если

- количество операций в арифметической модели вычислений ограничено полиномом от количества целых чисел во входном экземпляре; а также
- пространство, используемое алгоритмом, ограничено полиномом от размера входных данных.

Любой алгоритм с этими двумя свойствами можно преобразовать в алгоритм с полиномиальным временем, заменив арифметические операции подходящими алгоритмами для выполнения арифметических операций на машине Тьюринга (MT).

Алгоритм, выполняющийся за полиномиальное время, но не являющийся сильно полиномиальным, называется слабо полиномиальным [44]. Хорошо известным примером проблемы, для которой известен алгоритм со слабо полиномиальным временем, но не известно, что он допускает алгоритм с сильно полиномиальным временем, является линейное программирование. Слабо полиномиальное время не следует путать с псевдополиномиальным временем

Класс P — это наименьший класс временной сложности на детерминированной машине, устойчивый к изменениям модели машины. Например, переход от одной машине Тьюринга для мульти-магнитофона в может привести к квадратному ускорения, но и любой алгоритм, который работает в полиномиальное время под одной модели также делает это на другой. Любые задачи абстрактной машины могут иметь класс сложности, соответствующий задачам,

которые могут быть решены на этой машине за полиномиальное время

*Класс NP.* Класс NP (Non-deterministic polynomial) — множество задач, решение которых возможно при наличии некоторых дополнительных сведений (так называемого сертификата решения), то есть возможность «быстро» (за время, не превосходящего полином от размера данных) проверить решение на машине Тьюринга. Эквивалентно класс NP можно определить как совокупность задач, которые можно «быстро» решить на недетерминированной машине Тьюринга.

Считают, что **решить задачу** гораздо сложнее, чем **проверить правильность** решения. Класс задач, решение которых **может быть проверено** за полиномиальное время обозначают NP.

Говорят, что язык [45]  $L \subset \{0,1\}^*$  принадлежит классу NP, если существуют многочлен  $p: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$  и работающая полиномиальное время машина Тьюринга  $M$ , такая, что для всех слов  $x \in \{0,1\}^*$  длины  $n$   $x \in L$  тогда и только тогда, когда существует  $u \in \{0,1\}^{p(n)} : M(x,u) = 1$ . Машину  $M$  называют проверяющей, если на ее вход кроме входного слова подаётся двоичное слово, называемое сертификат, которое позволяет проверить принадлежность входного слова рассматриваемому языку за полиномиальное время. Сертификат является словесным аналогом бенч-марки. Он содержит специальную информацию, по которой можно установить принадлежность входного слова данному языку. Ограничение, длина сертификата должна быть ограничена полиномом от длины входного слова

В теории сложности существует нерешенная проблема (P и NP) которая состоит в вопросе: все ли задачи в NP имеют алгоритмы с полиномиальным временем? Все самые известные алгоритмы для NP-полных задач, такие как 3SAT и другие требуют экспоненциального времени. В самом деле, для многих естественных NP-полных задач предполагается, что они не имеют алгоритмов с субэкспоненциальным временем.

Термин «субэкспоненциальное время» используется для обозначения того, что время работы некоторого алгоритма может расти быстрее, чем любой полином, но все же значительно меньше экспоненциального. В этом смысле проблемы, которые имеют алгоритмы субэкспоненциального времени, несколько более разрешимы, чем те, которые имеют только экспоненциальные алгоритмы. Точное определение «субэкспоненциального» не является общепринятым [14],

Многие задачи о графах, представленные матрицами смежности, разрешимы за субэкспоненциальное время просто потому, что размер входных данных равен квадрату числа вершин. Эта гипотеза (для задачи k-SAT) известна как гипотеза экспоненциального времени [47]. Поскольку предполагается, что NP-полные задачи не имеют алгоритмов квазиполиномиального времени, некоторые результаты в области аппроксимационных алгоритмов предполагают, что NP-полные задачи не имеют алгоритмов квазиполиномиального времени. Например, результаты о несовместимости задачи множественного покрытия.

Проблема называется субэкспоненциальной разрешимой во времени, если ее можно решить за время выполнения, логарифмы которого становятся меньше любого заданного полинома

Алгоритм называется экспоненциальным по времени, если  $T(n)$  ограничено сверху числом  $2^{poly(n)}$ , где  $poly(n)$  - некоторый многочлен от  $n$ . Формально алгоритм является экспоненциальным по времени, если  $T(n)$  ограничено  $O(2^{n^k})$  для некоторой константы  $k$ . Задачи, которые допускают алгоритмы экспоненциального времени на детерминированной машине Тьюринга, образуют класс сложности, известный как EXP. Иногда экспоненциальное

время используется для обозначения алгоритмов, у которых  $T(n) = 2^{O(n)}$ , где показатель степени является не более чем линейной функцией  $n$ . Это приводит к классу сложности E (таблица 1)

Существуют различные виды NP-задач.

*NP-трудные (NP-сложные)* задачи – задачи, к которым полиномиально сводится каждая задача из NP.

*NP-полная задача* – задача, которая является NP-трудной и входит в класс NP. Также обозначаются *NPC*

*NP-полная в сильном смысле* – NP-полная задача, для которой не существует псевдополиномиального алгоритма. Также обозначаются *SNPC*

Точные утверждения

$P \subseteq NP$  ;  $NP\text{-полные} \subseteq NP$ ;  $NP\text{-полные} \subset NP\text{-трудные}$ ;  $P \subset NP \subset EXP$

### **Заключение.**

Интеллектуальное управление с помощью ИТС и ИЛС эффективно и необходимо при управлении не только сложными объектами, но, главное, для управления в сложных много связанных и много параметрических ситуациях. Это делает необходимым оценку проектной сложности задач при разработке ИТС и ИЛС. Основным методов оценки является временная сложность, поскольку задача ИТС и ИЛС, а также ТКФС оперативное принятие решений.

Понятие временной сложности, введенное для МТ, может быть распространено и на другие модели посредством тезиса Чёрча—Тьюринга в сильной форме: любая вычислимая функция может быть вычислена на машине Тьюринга с не более чем полиномиальным замедлением (то есть  $t$  шагов вычисления могут быть выполнены машиной Тьюринга за не более чем  $t^c$  шагов для некоторой константы  $c$ , зависящей от конкретного способа вычислений). Все классы сложности находятся в иерархическом отношении: одни содержат в себе другие. Однако большинство включений неизвестно, являются ли они строгими. Класс P, что является самым низким, содержит все задачи, которые можно решить за полиномиальное время. В класс NP входят все задачи, которые можно решить за полиномиальное время только на недетерминированной машине Тьюринга (это вариант обычной машины Тьюринга, которая может делать предположения). Такая машина делает предположение относительно решения задачи "или «удачно угадывает», перебирая все предположения параллельно — и проверяет свое предположение за полиномиальное время,

### **Список литературы**

1. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Развитие интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта. - 2020. - Т. 4. - № (13). - С.15-25.
2. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297с.
3. Завируха Ф. С., Шепелин Г. И. Интеллектуальные логистические системы // Сб. статей. Роль и место информационных технологий. – Волгоград, 2018. – С.29.-32с.
4. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
5. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.275-282.
6. Ожерельева Т.А. Информационное управление подвижными объектами // Государственный советник. – 2018. - №4(24). – С.29-37.

7. Коваленко Н.И. Интеллектуальные транспортные системы: состояние и перспективы // Вестник МГТУ МИРЭА. - 2014 - № 4 (5) - С.183-203.
8. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
9. Осипов Г. С. и др. Интеллектуальное управление транспортными средствами: стандарты, проекты, реализации //Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – №. 6. – С.34-43.
10. Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. - Saarbruken. : Palmarium Academic Publisng, 2020. –180с.
11. Потапов А. С. Субсидиарность и комплементарность интеллектуальных систем // Славянский форум. -2020. – 1(27). -С.77-86.
- 12 Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. – 2011. –№ 6. – С.6-8.
13. Бурдонов И. Б., Евтушенко Н. В., Косачев А. С. О различимости систем переходов с недетерминированным поведением //Научный сервис в сети Интернет. – Федеральное государственное учреждение" Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. МВ Келдыша Российской академии наук", 2019. – Т. 21. – С.177-187.
14. Колесников В. И., Ковалев С. М., Иванченко В. Н. Интеллектуализация транспортных процессов на основе гибридных технологий и мультиагентных систем //Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – №. 1. – С.107-113.
15. Раев В.К. Формирование интеллектуальных ресурсов // Славянский форум. -2020. – 1(27). - С.87-97.
16. Лотов А. В., Рябиков А. И., Бубер А. Л. Визуализация границы Парето при разработке правил управления ГЭС //Искусственный интеллект и принятие решений. – 2013. – №. 1. – С.70-83.
17. Gritta M., Lampouras G., Iacobacci I. Conversation Graph: Data Augmentation, Training and Evaluation for Non-Deterministic Dialogue Management //arXiv preprint arXiv:2010.15411. – 2020.
18. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
19. Никищечкин А. П. Дискретная математика и дискретные системы управления. – Москва.: Юрайт,2019. -298с.
20. Рогов И. Е. Моделирование транспортных потоков // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3. – 3(11). – С.26-38.
21. Alguliyev R., Imamverdiyev Y., Sukhostat L. Cyber-physical systems and their security issues //Computers in Industry. – 2018. – Т. 100. – С.212-223.
22. Димова А. С. Адаптивное управление движением группы роботов по заданной траектории //Автометрия. – 2019. – Т. 55. – №. 6. – С.3.
23. Гайдук А. Р. и др. Нейросетевая система управления группой роботов в неопределенной двумерной среде //Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – Т. 21. – №. 8. – С.470-479.
24. Tsvetkov V. Ya. Trade-off transportation problem. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2019. Т. 3. № 435. С.109-113. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.75>.
25. Рахман П. А., Шарипов М. И. Применение векторных операций процессоров Intel при решении задач дискретной оптимизации в системах управления предприятием //Экономика и менеджмент систем управления. – 2016. – №. 1-2. – С.285-296.
26. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта //



Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.

27. 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.

28. Lagay R., Adell G. M. The Autonomous Train: a game changer for the railways industry //2018 16th International Conference on Intelligent Transportation Systems Telecommunications (ITST). – IEEE, 2018. – С.1-5.

29. Жаркова Е. Н., Поспелова Л. Н. Высокоскоростные магистрали России //Актуальные проблемы развития транспорта. – 2016. – С.101-104.

30. Титов Е.К. Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 4(12). – С.30-38.

31. Stergiou C. et al. Secure integration of IoT and cloud computing //Future Generation Computer Systems. – 2018. – Т. 78. – С.964-975.

32. Yigitoglu E. et al. Foggy: A framework for continuous automated iot application deployment in fog computing //2017 IEEE International Conference on AI & Mobile Services (AIMS). – IEEE, 2017. – С.38-45.

33. Савиных В.П. Геознание. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132с.

34. A.S. Sigov and V. Ya. Tsvetkov. Tacit Knowledge: Oppositional Logical Analysis and Typologization // *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, Vol. 85, No. 5, pp. 429–433. DOI: 10.1134/S1019331615040073.

35. Gallo G. Conflict theory, complexity and systems approach //Systems Research and Behavioral Science. – 2013. – Т. 30. – №. 2. – С.156-175.

36. Turner J. R., Baker R. M. Complexity theory: An overview with potential applications for the social sciences //Systems. – 2019. – Т. 7. – №. 1. – С.4.

37. Herold G., Kirshanova E., May A. On the asymptotic complexity of solving LWE //Designs, Codes and Cryptography. – 2018. – Т. 86. – №. 1. – С.55-83.

38. Sipser M. Introduction. To The Theory Of Computation, //Computer Science Series. Thomson Course Technology. – 2006.

39. Tsvetkov V.Ya. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia, November 2014. Т. 11 №S P.177-180.

40. Misra S., Akman I. Weighted class complexity: a measure of complexity for object oriented system //Journal of Information Science and Engineering. – 2008. – Т. 24. – С.1689-1708.

41. Zhao X., Feng Z. Centralized Reasoning Translation and Its Computing Complexity for Heterogeneous Semantic Mappings //International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. – Springer, Cham, 2019. – С.3-14.

42. Papadimitriou C. H., Yannakakis M. On bounded rationality and computational complexity //Indiana University. – 1994.

43. Cobham, Alan (1965). "The intrinsic computational difficulty of functions". *Proc. Logic, Methodology, and Philosophy of Science II*. North Holland -1965.

44. Schrijver A. Combinatorial optimization: polyhedra and efficiency. – Springer Science & Business Media, 2003. – Т.24.

45. Иванников А.Д. Проблемы информационных языков и современное состояние информатики // Вестник МГТУ МИРЭА. 2014. № 4(5). С.39-62.

46. Aaronson S. A not-quite-exponential dilemma. – 2009.

47. Impagliazzo R., Paturi R. On the complexity of k-SAT //Journal of Computer and System Sciences. – 2001. – Т. 62. – №. 2. – С.367-375.

УДК: 656.07

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОДАНЫХ

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

**Аннотация.** Цель статьи - исследование пространственного управления с применением геоданных в сфере транспорта. Показано, что пространственное управление имеет две разновидности: качественное и количественное управление, и оба компонента обслуживают геоданные. Качественное управление применяют в ситуационных центрах и при помощи ГИС. С качественным пространственным управлением связаны качественные рассуждения и качественные пространственные рассуждения. Качественное пространственное управление использует пространственную логику. Рассматриваются содержание геоданных и формы их представления, описывает связь рассуждений на геоданных с качественными пространственными рассуждениями и качественным пространственным управлением. Дана схема применения геоданных в пространственном управлении и схема пространственного управления с качественными и количественными решениями.

**Ключевые слова:** управление, транспорт, качественное пространственное управление, качественные рассуждения, пространственная логика, геоданные

## SPATIAL MANAGEMENT USING GEODATA

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

**Annotation.** The aim of the article is to study spatial management using geodata in the field of transport. It is shown that spatial management has two varieties: qualitative and quantitative management, and both components serve geodata. Quality control is used in situational centers and with the help of GIS. Associated with good spatial management are quality reasoning and quality spatial reasoning. Good spatial management uses spatial logic. The article reveals the content of geodata and the forms of their presentation, describes the connection of reasoning on geodata with qualitative spatial reasoning and quality spatial management. A scheme for using geodata in spatial management and a scheme for spatial management with qualitative and quantitative solutions are given.

**Keywords:** management, transport, quality spatial management, qualitative reasoning, spatial logic, geodata.

### Введение.

Пространственным управлением называют управление, основанное на использовании пространственной информации в качестве основы принятия решений. Пространственное управление, кроме обычной теории управления, использует пространственный анализ [1], качественный анализ [2-4], качественные рассуждения [5, 6] качественные пространственные

рассуждения [7], логику и пространственную логику. Можно констатировать, что пространственное управление использует методы качественного анализа и сравнительного анализа намного шире, чем обычное управление. Это обусловлено тем, что пространственная информация во многих случаях имеет визуальную форму. Эта форма требует применения визуального анализа и образной логики. Визуальный анализ также требует применения качественного анализа. Пространственный анализ развит в геоинформатике, в частности при векторизации изображений и при интерактивной обработке информации в ГИС [8]. Пространственные рассуждения служат основой интеллектуализации геоинформатики и основой интеллектуального вывода [9] при обработке пространственной информации.

Применение геоданных является отличительной особенностью геоинформатики и пространственного управления. Геоданные являются основным видом данных в пространственном анализе и в геоинформатике [10, 11]. Пространственные данные получают на основе измерений, а геоданные формируют из пространственных данных [12, 13] на основе обработки и анализа. Можно упрощенно считать, что геоданные получают на основе трансформации пространственной информации в информационный ресурс [14]. В силу этого геоданные являются информационным и системным ресурсом [11], что позволяет их использовать в управлении и системном анализе.

С позиций моделирования геоданные есть интегрированная модель, включающая три классифицированных группы характеристик «место», «время», «тема». Геоданные имеют цифровую и визуальную формы представления. Визуальное представление создает возможность визуального моделирования [15, 16], которое включает пространственный анализ и рассуждения при обработке изображений. Визуальное картографическое представление геоданных трансформируется на основе цифровой карты в электронную карту. Картографическая форма представления имеет свой информационный язык, который называют язык карт [17].

В картографии также применяют качественный анализ и качественные рассуждения. Цифровые модели геоданных могут иметь трехмерную форму представления [18, 19]. Это также приводит к необходимости качественного трехмерного анализа. Пространственный анализ приводит к необходимости применения пространственной логики. Геоданные содержат пространственные отношения, в частности, геореференционные отношения [20-22]. Геореференционные отношения используют информационный язык, который требует качественного анализа и качественного пространственного рассуждения. Качественный пространственный анализ позволяет оперативно принимать решения. Он выполняется либо независимо, либо в логической последовательности с количественным анализом. Геоданные содержат качественные и количественные характеристики. Однако методов управленческого анализа с использованием геоданных до настоящего времени не разработано. Предлагаемая статья восполняет данный пробел

### **Геоданные как основа пространственного управления.**

На рис.1 приведена схема применения геоданных в пространственном управлении.

Первым этапом является сбор информации. При этом собирается пространственная и не пространственная (экономическая, техническая) информация. На следующем этапе формируются геоданные. Пространственная информация типизируется, а атрибутивная систематизируется и связывается с пространственной.

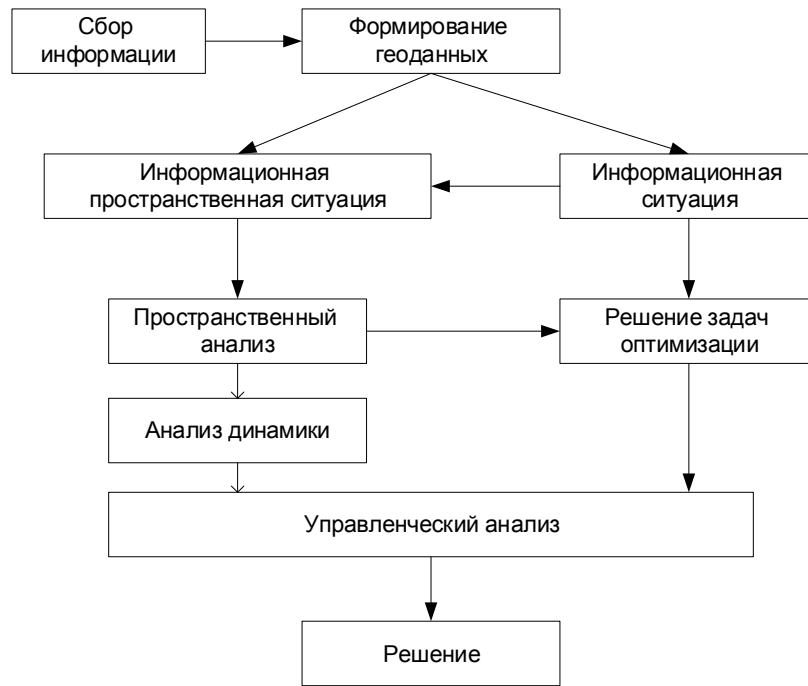


Рисунок 1. Схема управления с использованием геоданных

На основе полученных геоданных формируют две управленческие ситуации, в которых находится объект управления. Это качественное отличие от обычного управления. При обычном или информационном управлении формируется только информационная параметрическая ситуация. При пространственном управлении формируется пространственная информационная ситуация. На этом различие не заканчивается для анализа пространственной ситуации необходимы дополнительно визуальные средства обработки информации. Например, ситуационный центр располагает такой информацией. На примере ситуационного центра видно, что большое количество параметрической и пространственной информации при преобразовании ее в визуальные образы сжимает информацию, позволяет проводить качественный анализ и намного оперативнее принимать решения чем при работе только с количественной информацией.

Следует подчеркнуть, что пространственная информационная ситуация строится на основе информационной ситуации. Пространственная ситуация и пространственные модели позволяют проводить пространственный анализ. Он дает набор альтернатив, для выбора одной из которых применяют оптимизацию.

Особенность управления транспортом связана с перевозками и динамикой ситуаций. Поэтому пространственный анализ завершается анализом динамики ситуация, в котором также выполняется прогнозирование. Выбору окончательного решения предшествует комплексный управленческий анализ, в котором участвуют когнитивные факторы.

Особенность управления высокоскоростным транспортом [23] связана с необходимостью одновременного учета многих показателей, что приводит к интегральному управлению.

Геоданные содержат количественные и качественные характеристики. Соответственно, пространственное управление также разделяется на качественное (ситуационная комната, ГИС) и количественное (точные расчеты состояний и ситуаций с помощью компьютера).

### **Принятие решений с использованием качественных пространственных рассуждений.**

Принятие решений с использованием геоданных является специфической ветвью поддержки принятия решений или принятия решений. Геоданные имеют визуальную форму представления наряду с цифровой или параметрической. Визуальная форма представления геоданных трансформируется в набор образов и образных слоев. Это служит основой качественных пространственных рассуждений.

Качественные рассуждения на геоданных используют визуальные модели геоданных. Это является существенным отличием от обычных качественных рассуждений. В качественных рассуждениях геоданные даже не упоминают. Геоданные организованы и систематизированы, а обычные пространственные данные, применяемые в качественных рассуждениях, этих свойств не имеют.

В качестве метода рассуждений качественные рассуждения используют математическую логику [24, 25]. Качественные рассуждения на геоданных используют математическую логику и пространственную логику [26-28].

Качественные пространственные рассуждения (Qualitative spatial reasoning – QSR) применяют в психологии, когнитологии, управлении, военном деле, физике, математике, философии, экономике, теории искусственного интеллекта и многих других направлениях [29]. Существуют разные точки зрения на этот феномен. Объективно QSR связаны с пространственным знанием.

Рассуждения с использованием пространственных данных (геоданных) являются важной задачей во многих приложениях, таких как управление транспортной инфраструктурой, анализ пожаров и пожароопасных зон, управление логистикой, архитектурное и ландшафтное проектирование, морские и воздушные перевозки, анализ потоков и другие. Такие приложения часто требуют манипулирования и анализа с качественными пространственными данными. Качественное пространственное рассуждение [7] имеет несколько направлений развития.

Первое направление QSR связано с качественным анализом в области пространственных знаний и искусственного интеллекта. В нем человек и компьютер представляют пространственные образы на основе параметрической информации и рассуждают с пространственными образами без применения количественных методов. Представление касается различных форм геоданных, моделей, пространственных знаний. Например, геоданные могут иметь картографическую форму представления, фотограмметрическую форму представления (фотоплан), трехмерную форму представления, виртуальную реальность, дополненную реальность. Рассуждения касаются в основном морфологии и пространственных отношений в аспекте их трансформации в логические методы принятия решений. Информационное поле [30, 31] качественного пространственного рассуждения включает два внутренних поля визуального представления и логического пространственного рассуждения. Это направление образного рассуждения.

Второе направление QSR связано с обучением в области разных наук и отраслей: транспорта, картографии, геоинформатики, биоинформатики, медицины. В этом направлении целью является развитие способов рассуждения о пространстве для передачи знаний и освоения мира. Это направление познания через образы.

Третье направление QSR представляет собой исследование механизмов когнитивного вывода, которые связаны с пространственным мышлением и выводами. Это направление пространственной когнитологии.

Четвертое направление QSR связано с формализацией - представлением непрерывных свойств мира дискретными символами, а затем рассуждение над такими символами без использования более дорогого (вычислительного) количественного знания. Это направление формальнологического рассуждения.

Пятое направление связано с психологией и анализом и применением левополушарного и правополушарного мышления. Это направление пространственной психологии

Качественные знания и рассуждения лучше имитируют процессы пространственного мышления человека. Топология, геометрия, теория множеств – яркий пример наук, использующих пространственные рассуждения.

#### **Содержание качественных рассуждений.**

Качественные рассуждения основаны на логических и пространственно логических методах принятия решений, методах извлечения знаний, методах вывода в которых не применяют строгих количественных расчетов и вычислений.

Пространственная логика включает геометрическую логику и образную логику. Эти виды логик включаются в качественные рассуждения на геоданных и дополняют обычные качественные рассуждения новыми возможностями. Геоданные содержат геометрические характеристики, образы и топологические характеристики. Качественные рассуждения на геоданных и дополняют не пространственные качественные рассуждения возможностями топологических качественных рассуждений и топологического анализа. Качественные рассуждения не исключают формальное описание и различные формализмы. Их особенность - применение формализма без количественных выражений, требующих вычислений.

Качественные рассуждения могут частично или полностью использовать геоданные в рамках информационного поля. Понятие рассуждений связано с теорией искусственного интеллекта. Искусственный интеллект (ИИ) в качестве одной из своих основных задач исследует способность рассуждать и формировать представления реального мира с помощью алгоритма «здравого смысла» или «рационального поведения». Понятие «здравого смысла» является условным, поскольку для разных субъектов и разных социальных групп это понятие различается. Поэтому понятие «здоровый смысл» целесообразно заменить на качественные рассуждения, которые обладают объективностью, сопоставимостью и возможностью понимания разными субъектами

Качественное рассуждение (Qualitative reasoning –QR) — это подход для манипулирования со знаниями, имеющими качественное описание, не прибегая к полному количественному описанию. Представление знаний при качественном рассуждении осуществляется через хранилище паттернов или фиксированных образов и знаний. Качественное рассуждение осуществляют в пространстве параметров. Знания являются важным результатом рассуждений. Однако, в последние годы наблюдается повышенный интерес к качественным пространственным рассуждениям, основанных на образном мышлении с использованием качественных абстракций

#### **Качественные рассуждения с использованием качественных шкал.**

Использование качественных шкал применяется в качественных рассуждениях. Качественных пространственных рассуждениях и рассуждениях на геоданных. Перечисленные рассуждения основаны на применении качественных шкал. Различают следующие типы шкал: (а) номинальная, (b) порядковая (ординальная), (с) интервальная (d) относительная (шкала отношения). Качественными шкалами являются номинальная порядковая.

Номинальная шкала и номинальные величины используют для идентификации (первый, последний), для различения (прямая — это не плоскость) или для качественной классификации (Смит – фамилия, треугольник – геометрическая фигура). Это означает, что такие качественные переменные определяются только в терминах принадлежности к некоторым, различным классам. Номинальные переменные позволяют опознавать, классифицировать, различать и идентифицировать объект. Их использование основано на аксиомах идентификации.

- 1А.  $A$  есть  $B$ , либо  $A$  не есть  $B$ .
- 2А. Если  $A$  есть  $B$ , то  $B$  есть  $A$ .
- 3А. Если  $A$  есть  $B$  и  $B$  есть  $C$ , то  $A$  есть  $C$ .

Для качественного рассуждения в этой шкале используют оппозиционные переменные: «объект  $O$  – не объект  $O$ », «наличие – отсутствие», «истина – ложь», «достоинство – недостаток», «существует – не существует», «прогресс – регресс» и другие. В логической форме аксиомы выглядят так:

1.  $(A=B) \oplus (A \neq B)$ .
2.  $(A=B) \rightarrow (B=A)$ .
3.  $((A=B) \wedge (B=C)) \rightarrow (A=C)$

Иногда номинальные переменные называют категориальными, поскольку они задают категории или названия классов. В технологиях и системах поддержки принятия решений их используют для качественных оценок и качественных классификаций. По этой причине номинальные переменные называют также классификационными. В таблице базы данных номинальные переменные образуют заголовки столбцов.

Порядковые переменные и порядковые шкалы применяют либо для индексации явлений или объектов, либо для упорядочения данных, объектов или измерений. Они позволяют ранжировать данные на основе выбранного критерия. Например, на спортивных соревнованиях спортсмены заняли следующие места: Первый - Брумел; Второй - Мартин; Третий - Берг; Четвертый - Олафсон и так далее. Эти места определяют по количественным данным: по минимальному времени, по максимальному количеству баллов, по сравнительным оценкам и так далее, но для всех случаев результат представляет собой ординальную сравнительную шкалу. Однако это показывает трансформацию количества в качество.

Порядковые переменные обозначают иногда числами, но числами они не являются. Например, первый могут обозначать 1 или 1-й. Эти номинальные числовые значения указывают большую или меньшую характеристику для группы сравниваемых объектов или субъектов. Однако они не позволяют сказать "на сколько больше" или "на сколько меньше".

Можно говорить о качественной группировке. В качественной группировке применяют сравнительные отношения типа «больше» «меньше». Порядковые переменные оценивают числовым показателем без размерности. Типичный пример порядковой переменной - номера строк в электронной таблице или в базе данных. Для порядковых переменных имеют силу аксиомы идентификации 1А-3А. Дополнительно для порядковых переменных имеют силу аксиомы упорядочения.

- 4А. Если  $A$  предшествует (или равноценно)  $B$ , то  $B$  не предшествует (или равноценно)  $A$ ; либо  $A$  предшествует (или равноценно)  $B$ ; либо  $B$  предшествует (или равноценно)  $A$ .
- 5А. Если  $A$  предшествует (или равноценно)  $B$  и  $B$  предшествует (или равноценно)  $C$ , то  $A$

предшествует (или равноценно) С.

Логическая форма этих аксиом выглядит следующим образом:

$$4. (A \geq B) \rightarrow (B \leq A) \oplus (A \leq B) \rightarrow (B \geq A)$$

$$5. (A > B) \wedge (B > C) \rightarrow (A > C)$$

Аксиома 4А называется аксиомой сортировки.

Аксиома 5А называется аксиомой транзитивности. Она является одной из ключевых во многих теориях, включая в теории иерархий [32]. В то же время существуют ситуации и методы, которые допускают нарушение этого условия и позволяют проводить ранжирование в этих условиях на основе теории предпочтений [33].

Для качественного рассуждения в этой шкале используют базовые сравнительные выражения: «объект О1 меньше объекта О2», «объект В1 больше объекта В2», «технология Т1 более эффективная, чем технология Т2», «предприятие Д1 более прибыльное, чем предприятие Г2», «вывод С1 достовернее вывода Б», и так далее. Такие простые рассуждения можно назвать информационными единицами качественного рассуждения. На рис.2 приведен пример из теории системного анализа выраженный в качественных отношениях.

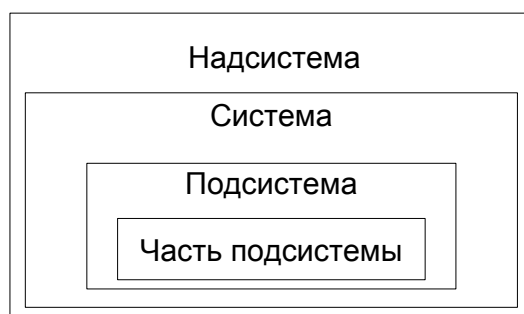


Рисунок 2. Системная вложенность как качественная модель

На рис.2 показана иерархия отношений надсистемы и ее частей. Такая модель является парадигматической поскольку в ней общие понятия можно заменять на названия конкретных систем и конкретных подсистем. В тоже время модель, на рис.2 позволяет сопоставлять разные системы на уровне отношений и качественного рассуждения. В частности, размерами выражено то, что система и надсистема ближе друг к другу. Подсистема и система ближе между собой. Особое место в качественных рассуждениях занимают силлогизмы. Из всего выше сказанного следует учесть, что аксиомы 1-5 могут применяться и пространственных рассуждениях на геоданных.

Отношения между объектами заменяются на информационные отношения между моделями в информационном поле. В пространстве информационные отношения либо дополняются, либо частично заменяются пространственными отношениями.

Пространственные отношения [34] являются основой пространственных рассуждений и одним из источников формирования пространственных знаний. В некоторых случаях пространственные отношения сами являются выражением пространственного знания. Пространственные знания включают три компоненты: морфологическую или конфигурационную, позиционную и взаимную. По морфологической компоненте



пространственного знания можно оценить принадлежность пространственного объекта к определенному классу объектов. В этой части работают аксиомы 1-3. По взаимной компоненте можно оценить близко или далеко находятся объекты, пересекаются они или соприкасаются. В этой части работают аксиомы 4-5

Пространственные отношения описывают отношение пространственных объектов и задают пространственные информационные ситуации. Пространственный сложный объект состоит из частей и элементов. Элементами часто являются информационные единицы. В аспекте логики такой объект представляет конъюнкцию элементов. Информационная ситуация представляет сложное высказывание.

Если ввести понятие объект пространственного отношения:  $R_1$  – первый объект отношения;  $R_2$  – второй объект отношения, то можно построить таблицу стереотипных пространственных отношений. Эти отношения приведены в таблице 1. На рис.3 приведена схема пространственного управления на геоданных.

Таблица 1.

Типовые пространственные отношения

| Информационная ситуация                       | Знак |
|---|------|
| Перекрытие                                    |      |
| Наличие перекрытия                            | OV   |
| Отсутствие перекрытия                         | DO   |
| Полное перекрытие                             | FO   |
| Частичное перекрытие                          | PO   |
| Эквивалентность                               |      |
| Эквивалентность есть                          | EQ   |
| Не эквивалентность                            | NEQ  |
| Соединение                                    |      |
| Отсутствие соединения                         | DC   |
| Соединение общая граница                      | EC   |
| Соединение без перекрытия частичная граница»  | PC   |
| Ситуация части и целого                       |      |
| $R_1$ является собственной частью $R_2$       | PP   |
| $R_1$ тангенциально правильная часть $R_2$    | TPP  |
| $R_1$ не является тангенциальной частью $R_2$ | NTPP |

Для получения геоданных в современных системах управления движением типа цифровой железно дороги или кибер-физической системы используют наборы датчиков. После этого на борту подвижного объекта (объекта управления) происходит формирование геоданных. Геоданные дают возможность оценить локацию объекта, его состояние и динамику. Эти данные являются фактическими или ситуационными.

Полученные данные на основе свойства геоданных приобретают визуальное представление, которое передается, например, в ситуационный центр для качественного анализа. Визуальный образ, например, карта легко читаем и воспринимаем. Все чрезвычайные ситуации на этом представлении обнаруживаются с помощью заранее созданной системы паттернов, включая паттерны чрезвычайных ситуаций. Это дает возможность оперативно принимать решения на основе качественного анализа.

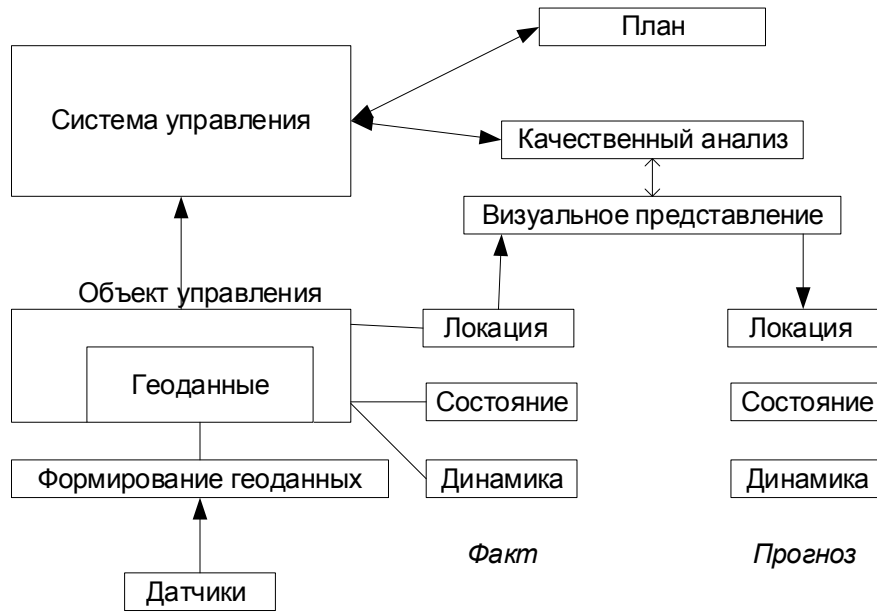


Рисунок 3. Схема пространственного управления на геоданных

Дополнительно к визуальному представлению в систему управления поступают количественные значения геоданных для точных расчетов и оценок. Поступающие данные сравниваются с плановыми и на основе этого также вырабатывается решение. На основе решения производят расчет локации, состояния и динамики и управления объектом.

### Заключение

Пространственное управление использует качественные и количественные методы анализа объекта управления, для принятия решений. Эти качественные и количественные данные обеспечивают геоданные. Важным компонентом пространственного управления является качественный анализ, который в аспекте управления интерпретируется как качественные пространственные рассуждения. Качественные пространственные рассуждения на геоданных широко используют не только в управлении, но и в геоинформатике, картографии, навигации. Проблема состоит в отсутствие на настоящее время теории качественного пространственного анализа. Это сдерживает применение пространственного управления. В силу этого в ситуационных центрах используют эмпирические научно малообоснованные подходы. Большинство работ, посвященные пространственным рассуждениям, выполняют в области искусственного интеллекта, но чаще всего там работают с абстрактными образами, а не с реальными. И, тем более, не рассматривают напрямую проблему правления транспортом. В области беспилотного управления также возникает необходимость пространственного управления и качественных рассуждений. Но пока там преобладают работы вероятностного характера. Следует констатировать что в пространственном управлении пока не применяют язык пространственной агрегации и метод информационных единиц. Также слабо применяют модели ситуационного управления, включающие пространственные информационные ситуации

Геоданные служат основой создания пространственных информационных ситуаций и пространственных рассуждений. Геоданные служат основой применения пространственной логики, которая служит основой принятия решений. Геоданные содержат важную характеристику пространственного управления - пространственные отношения. Визуализация

геоданных осуществляется с помощью ГИС и с помощью специального программного обеспечения в ситуационных центрах. Человек по визуальной модели геоданных легко делает анализ в сравнении с числовыми данными, по которым эта модель построена. Пространственное управление в сфере транспорта пока развивается в технологическом аспекте и требует развития теории и анализа.

### Список литературы

1. Fotheringham S., Rogerson P. (ed.). Spatial analysis and GIS. – CRC Press, 2013.
2. Ezzy D. Qualitative analysis. – Routledge, 2013.
3. Матчин В.Т., Цветков В.Я. Качественный анализ // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.205-213.
4. Раев В.К. Качественный анализ с использованием теории предпочтений// Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.57-64.
5. Кудж С.А., Цветков В.Я. Качественные рассуждения: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 112с.
6. Perez A., Abreu R., HASLab I. T. Leveraging Qualitative Reasoning to Improve SFL //IJCAI. – 2018. – С.1935-1941.
7. Vercruyssen V., De Raedt L., Davis J. Qualitative spatial reasoning for soccer pass prediction //CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Т. 1842.
8. Булгаков С.В., Ковальчук А.В., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Интегрированные геоинформационные системы. - М.: МГТУ им. Баумана, 2007 - 113с.
9. Tsvetkov V. Ya. Conclusions of Intellectual Systems // Modeling of Artificial Intelligence. – 2014. - № 3 (3). - PP.138-148.
10. Бахарева Н.А. Геоданные как инструмент управления // Государственный советник. – 2016. - №2. – С.23-27.
11. 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.
12. Кудж. С.А. Добыча геоданных // Науки о Земле № 2-3, 2013 – С.82-84.
13. Кудж С.А. Организация геоданных // Перспективы науки и образования- 2014. - №1. – С.61-65.
14. V. Ya. Tsvetkov, V. T. Matchin. Information Conversion into Information Resources// European Journal of Technology and Design. – 2014. - № 2(4), P.92-104.
15. Yang J. et al. Research and Application of Visual Modeling Technology for Navigation Simulator //2020 International Conference on E-Commerce and Internet Technology (ECIT). – IEEE, 2020. – С.318-320.
16. Ivanchikj A., Pautasso C., Schreier S. Visual modeling of RESTful conversations with RESTalk //Software & Systems Modeling. – 2018. – Т. 17. – №. 3. – С.1031-1051.
17. Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. - 2-е изд. - М.: ГЕОС, 2002. - 327с.
18. Lin W. S., Harris B. T., Morton D. Use of CBCT Imaging, Open-Source Modeling Software, and Desktop Stereolithography 3D Printing to Duplicate a Removable Dental Prosthesis-A Proof of Concept //Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995). – 2017. – Т. 38. – №. 8. – С.e5-e8.

19. Han K. et al. Presurgical visualization of the neurovascular relationship in trigeminal neuralgia with 3D modeling using free Slicer software //Acta neurochirurgica. – 2016. – Т. 158. – №. 11. – С.2195-2201.
20. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012.- №3. - С.87 -89.
21. Carbonneau P. E., Dietrich J. T. Cost- effective non- metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry //Earth Surface Processes and Landforms. – 2017. – Т. 42. – №. 3. – С.473-486.
22. Jaud Š. et al. Georeferencing in the context of building information modelling //Automation in Construction. – 2020. – Т. 118. – С.103211.
23. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
24. Shoenfield J. R. Mathematical logic. – AK Peters/CRC Press, 2010.
25. Mendelson E. Introduction to mathematical logic. – Chapman and Hall/CRC, 2009.
26. Цветков В.Я. Пространственная логика в образовании и науке // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 2 (27). – С.92-102.
27. Kudzh S. F., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic concepts // Revista inclusions. Volumen 7. Número Especial / Julio – Septiembre. 2020 PP.837-849.
28. Pham T. T. H., Labbé D. Spatial logic and the distribution of open and green public spaces in Hanoi: Planning in a dense and rapidly changing city //Urban Policy and Research. – 2018. – Т. 36. – №. 2. – С.168-185.
29. Bryson John M., Ackermann F., Eden C., Finn Charles B. Visible Thinking: Unlocking Causal Mapping for Practical Business Results ISBN: 978-0-470-86915-4 396 pages June 2004, Willey&Sons.
30. Tsvetkov V. Ya. Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. 2014. № 8-1(80). P.1416-1422.
31. Болбаков Р.Г. Взаимодействие субъекта и объекта в информационном поле // Перспективы науки и образования. - 2017. - №1(25). - С.24-28.
32. Т. Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий/ Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. – М.:Радио и связь, 1993. -278с.
33. Раев В.К. Качественный анализ с использованием теории предпочтений// Славянский форум. -2019. – 2(24). - С.57-64.
34. Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. - №1 (18). – С.79-88.

УДК: 316.422.

## **АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ИННОВАЦИЙ**

**Ожерельева Т. А.** Старший преподаватель, Московская финансово-юридическая академия, E-mail: ozerotana@yandex.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** По материалам Международной организации сотрудничества и развития рассматривается систематика инноваций по результатам инновационной разработки. Дана систематика инноваций по аспекту «задача - средство разработки». Раскрывается содержание основных типов инноваций: продуктовой, технологической, процессной и организационной. Дается краткая характеристика инноваций на железнодорожном транспорте. Раскрывается содержание и отличительные признаки пространственной инновации. Применен системный подход для исследования инновации. Показано, что инновация может быть рассмотрена как инновационная система. Для создания пространственной инновации нужны пространственные знания и пространственные отношения.

**Ключевые слова:** инновация, пространственная инновация, систематика инноваций, инновационная система.

## **ANALYSIS OF SPATIAL TRANSPORT INNOVATIONS**

**Ozhereleva T.A.** Sen. Lecturer, Moscow Financial-Law Academy, E-mail: ozerotana@yandex.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** Based on the materials of the International Organization for Cooperation and Development, the systematics of innovations based on the results of innovative development is considered. The systematics of innovations is given according to the aspect “task - development tool”. The content of the main types of innovations is revealed: product, technological, process and organizational. A brief description of innovations in railway transport is given. The content and distinctive features of spatial innovation are revealed. A systematic approach to the study of innovation is applied. It is shown that innovation can be considered as an innovation system. To create spatial innovation requires spatial knowledge and spatial relationships.

**Keywords:** innovation, spatial innovation, systematics of innovation, innovation system.

### **Введение**

Инновации стимулируют рост цифровой экономики [1-3] и помогают решать социальные проблемы». Инновации смягчают последствия изменения климата, способствуют устойчивому развитию общества и территорий и способствуют социальной сплоченности. Для современного развития характерно разнообразие инноваций [4]. Основой современных инноваций являются знания [5]. Для развития инноваций, для выработки инновационной политики, для мониторинга и оценки инноваций необходимо анализировать и измерять инновации [6]. Чтобы инновации можно было измерить, необходимо дать им четкое определение и систематику. Результатом применения комплементарных [7] определений во всех секторах экономики будет согласованная статистика инновационной деятельности институциональных единиц.

Статистические данные могут представлять собой показатели, представляющие практический интерес для разработки и развития инновационной деятельности. Использование комплементарных определений во всех секторах экономики и отрасли обеспечит согласованность данных и последовательность анализа.

Транспорт является динамической сферой, для которой характерно инновационное развитие. Можно выделить разнообразные инновационные разработки: высокоскоростная железная дорога [8, 9], интеллектуальное управление транспортом [11, 12], открытые инновации на транспорте [13], цифровая железная дорога [14-17], «умная» железная дорога [18], транспортные киберфизические системы [19-23], интеллектуальные транспортные системы [24-26], интеллектуальные логистические системы [27], бесветофорное движение [28-30], спутниковое управление железной дорогой [31], экологический транспорт [32], беспилотное управление транспортными средствами [33, 34], использование дронов для погрузочно-разгрузочных работ, использование БПЛА для мониторинга железных дорог [35], использование БПЛА для мониторинга гидротехнических сооружений [36], использование нечетких множеств для решения задач логистики [37, 38], применение ситуационного управления железной дорогой, применение субсидиарного управления в мегаполисе и другое. Такое разнообразие инновационных решений делает актуальным их обобщение и исследованием проблем, с которыми сталкиваются пространственные инновации в сфере транспорта.

#### **Анализ содержательности и систематизации инноваций в соответствии с подходом Международной организацией сотрудничества и развития *OECD***

В России существует своя точка зрения на инновации и инновационное развитие. В отраслях существуют свои отраслевые нормативы оценки эффективности, включая эффективность инновации. Делается это в угоду отчетности, чтобы приукрасить результаты деятельности отрасли и показать псевдо инновационность деятельности. Пока не принято четкой систематики видов инноваций. Существует, отличная от зарубежных стран, точка зрения, что инновации только то, что приносит экономическую выгоду.

В настоящее время применяют различные термины, связанные с инновационной деятельностью: «инновация», «инновационность», «инновационный проект», «инновационная система», «инновационная технология», «инновационное управление» [39, 40], «образовательные инновации» [41, 42], «транспортные инновации» [43-45], «инновационный потенциал» [46, 47], точки инновационного роста [48, 49].

Однако, содержательно и формально применение термина «инновация» не всегда обосновывается, а также не делаются попытки различить новацию и инновацию. Часто голословно любое нововведение называют инновацией, не относя ее к определенному типу инновации и не обосновывая ее инновационную сущность.

По поводу определения сущности «инновации» не прекращаются дискуссии. Это вызвано отчасти отсутствием стандарта данного термина и тем, что в классификаторе УДК раздел «инновации» отсутствует и статьи на эту тему идут под рубрикой «инвестиции». Это делает актуальным исследование признаков инновации, типизацию инновации

В качестве основополагающего документа Международная организация сотрудничества и развития (*Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD*) применяет руководство [50], которое периодически обновляется и совершенствуется.

Тип инновации зависит от аспекта рассмотрения. Аспект рассмотрения «задача-средство решения» дает одни типы, аспект рассмотрения «результат» дает другие типы. Первый аспект

рассматривает инновационность решения и процесса получения инновации, второй аспект, основной, рассматривает результат инновационной деятельности как объект анализа. Рассмотрение инноваций в аспекте «задача-средство решения» дает следующую систематику:

- маргинальная инновации – инновация, в которой ни средство, ни задача не являются новыми;
- технологическая инновация - инновация, в которой возникает новое средство технологического решения задачи;
- рыночная инновация - инновация, в которой получают решение согласно запросам рынка;
- радикальная инновация - инновация, которая является комбинацией нового средства для решения новой задачи (*research and development - R&D*).

Руководство *OECD* разделяет инновации по аспекту результата на четыре типа: инновации продукта, процессные инновации, маркетинговые инновации, организационные инновации [50, 51].

*Инновации продукта* – это новые продукты, которые имеют признаки инновации и могут быть рассмотрены как инновация. Такие инновации основаны на новом использовании знания или комбинациях знания и технологий. Термин "продукт" обобщает понятия техническое устройство, изделие, товар и услуга. Инновации продукта включают как создание новых изделий и услуг, так и существенные усовершенствования функциональных особенностей или пользовательских особенностей существующих товаров и услуг.

Новые продукты являются инновацией, если они существенно отличаются по своим характеристикам от продуктов, ранее произведенных этой же фирмой. Новое использование продукта только с изменениями технических спецификаций – новация [50].

Существенные усовершенствования связаны с изменениями материалов, компонент и других особенностях, которые увеличивают эффективность продукта. Например, создание торможения (ABS), навигационных систем (GPS) для автомобилей является примером инноваций.

*Процессные инновации* – это изменения в процессах. Которые приводят к уменьшению стоимости продукта, улучшению его качества. Процессные инновации приводят к производству новых или значительно улучшенных продуктов [50].

*Маркетинговая инновация* – это инновация, связанная с созданием новой технологии или созданием нового метода расширения услуг или распространения товара, приводящая к существенным изменениям в продвижении продуктов и услуг. Маркетинговые инновации направлены на потребности клиентов и создание новых сегментов рынка. Отличительный признак маркетинговой инновации - создание метода или технологии, которые ранее не применялись [50].

Организационная *инновация* – это инновация, связанная с созданием новой организационной структуры, нового организационного метода в практике производственных отношений или во внешних отношениях. Организационные инновации увеличивают эффективность работы фирмы, уменьшают административные расходов или уменьшают операционные затраты. Организационные инновации увеличивают эффективность использования нематериальных активов и интеллектуального капитала [50].

Отличительные признаки организационной инновации применение организационного метода (который мог использоваться в практике других организаций), который не использовался прежде в фирме и является результатом решений, принятых руководством. Пример организационного новшества в РЖД - интеграция образования с производственной

деятельностью (регулярные курсы переподготовки). Общая характеристика этих четырех инноваций – практическая реализуемость: инновации осуществимы, если описан реальный механизм их внедрения.

### **Инновация как система.**

Многообразие инноваций создает неоднозначность оценки ее эффективности [52]. Это отчасти обусловлено многообразием методов оценки эффективности и применение разных методик расчета [53, 54]. Все это делает актуальным анализ инноваций и, в частности, их особый вид пространственные инновации [55].

Системный подход дает основание рассматривать инновацию как сложную систему, если она обладает системными признаками [56-58]. Инновация – это сложная система, имеющая свои части и элементы, по отношению к которой она также является внешней средой. Мир является системным, что отражается в инноватике [59]. Инновация находится во внешней среде, которую можно назвать термином «надсистема». Инновация или инновационный проект имеет компоненты, которые можно назвать «подсистемами». Подсистема может включать определенные части или блоки. Они образуют еще более мелкие уровни. Такое деление продолжается до элемента и элементарного уровня. Такое деление очень важно, если создавать модель инновации. Однако, при таком делении необходимо определять критерий делимости системы. В зависимости от критерия делимости могут получаться разные элементы и разные элементарные уровни. Структурой системы называют схему связей и отношений между частями и элементами системы. Место элемента системы в структуре характеризует позицию элемента в этой структуре.

Инновация как система характеризуется таким показателем как сложность. Для анализа сложности инновации как системы целесообразно применять дихотомический анализ [60]. При анализе связей и элементов инновации как системы необходимо применять коррелятивный [61] и оппозиционный анализ [62]. Инновация как сложная система, имеет функциональное назначение и характеризуется целенаправленностью.

Инновация взаимодействует с другими объектами в той ситуации, в которой она находится. Наличие взаимодействия определяет адаптивную функцию инновации. Необходимость информационных ресурсов обусловлена противостоянием диффузии инновации. Эта функция приводит к необходимости трансформации информации в информационные ресурсы. Потребность в построении устойчивой структуры инновации приводит к необходимости применения информационных единиц [24] как основы построения устойчивой инновации.

### **Характеристики пространственной инновации**

Пространственной инновацией [55, 56] называют инновацию, которая распространяется в реальном пространстве, в неоднородной среде и факторы неоднородности оказывают влияние на эффективность внедрения инновации. Если внешняя среда неоднородна по факторам и факторы зависят от пространственных характеристик, то такую систему называют распределенной [65]. Современный пространственный анализ выполняют с применением методов геоинформатики. Геоинформационные технологии во многих случаях являются носителями инноваций. На развитие инновационных процессов влияют пространственные информационные отношения. Пространственная инновация (как система) имеет два вида целей: внутренние и внешние. Внутренние цели обладают комплементарностью и связывают части системы к целостности. Внутренние цели обеспечивают внутреннюю согласованность и целостность. Внешние цели направлены на адаптацию инновации к внешней среде и на



противодействие. Внешние цели обеспечивают внешнюю целостность и устойчивость. Пространственные инновации характеризуются разными функциями, разными блоками и подсистемами.

Пространственные инновации связаны с пространственной информацией и пространственными моделями. Пространственные модели позволяют использовать пространственное распределение социально-экономической информации при внедрении инноваций. Применительно к внедрению и применению инноваций, пространственная информация выполняет три функции.

Первая функция пространственной информации — коммуникационная. Она состоит в том, что пространственная информация связывает и интегрирует разные виды информации в единую модель геоданных.

Вторая ее функция заключается в измерениях и вычислениях. Она используется для метрических расчетов и получения экономических оценок.

Третья функция заключается в разработке прогнозов. Она связана с распространением инновации в реальной пространственной среде. Факторы диффузии могут иметь пространственные и временные зависимости. Прогнозирование факторов диффузии инновации является важной задачей, определяющей эффективность и принципиальную возможность внедрения инновации. Транспортные инновации являются разновидностью пространственных инноваций. Большая часть инновационных решений на транспорте являются пространственными инновациями.

Инновации включают в себя использование новых знаний. Пространственная инновация дополнительно использует пространственные знания и пространственную логику. Новые знания часто получают в ходе ее научных исследований с помощью НИОКР, либо приобретают по различным каналам. Получение пространственных знаний требует нахождения и применения пространственных отношений.

### **Заключение.**

Создание и применение пространственных инноваций сопряжено с получением пространственных знаний и нахождением пространственных отношений. Создание и применение пространственных инноваций требует применения методов геоинформатики. Создание и применение транспортных инноваций сопряжено с пространственным моделированием инноваций и применением динамических моделей. Инновации разнообразны. Инновация может быть характеристикой процесса, состояния или сущности. Пространственные инновации являются особым типом инноваций, которые зависят от пространственных отношений и являются элементом пространственной экономики и цифровой экономики. Пространственные инновации опираются на геоинформатику, пространственный анализ и сравнительный анализ. Проблемой является оценка эффективности инноваций в силу большого количества разных методик. Пространственные инновации наиболее широко применяют на транспорте, где они являются основой развития и модернизации.

### **Список литературы**

1. Teece D. J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world //Research Policy. – 2018. – Т. 47. – №. 8. – С.1367-1387.

2. Lee C. S., Vonortas N. S. Business model innovation in the digital economy //Social and economic transformation in the digital era. – IGI Global, 2004. – С.163-181.
3. Gault F. User innovation in the digital economy //Foresight and STI Governance. – 2019. – Т. 13. – №. 3. – С.6-12.
4. Edwards-Schachter M. The nature and variety of innovation //International Journal of Innovation Studies. – 2018. – Т. 2. – №. 2. – С.65-79.
5. Simao L., Franco M. External knowledge sources as antecedents of organizational innovation in firm workplaces: a knowledge-based perspective //Journal of Knowledge Management. – 2018.
6. Gault F. Defining and measuring innovation in all sectors of the economy //Research policy. – 2018. – Т. 47. – №. 3. – С.617-622.
7. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.
8. Zhang W., Wang B. Innovation and development of high-speed railway in China //Electric drive for locomotives. – 2010. – Т. 1. – №. 01. – С.8-12.
9. Bye R. Human Factors and the Digital Railway: Effecting and Managing Change through Innovation and Integration.
10. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
11. Ning B. et al. Intelligent railway systems in China //IEEE Intelligent Systems. – 2006. – Т. 21. – №. 5. – С.80-83.
12. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.34- 42.
13. Babaei Ebrahimabadi M., Radfar R., Toloei Eshlaghy A. Knowledge Management in Railway Industry: A Conceptual Model Based on Open Innovation and online Communities //International Journal of Railway Research. – 2019. – Т. 6. – №. 1. – С.63-72.
14. Bye R. Human Factors and the Digital Railway: Effecting and Managing Change through Innovation and Integration.
15. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.
16. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.
17. 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.
18. Jo O., Kim Y. K., Kim J. Internet of things for smart railway: feasibility and applications //IEEE Internet of Things Journal. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С.482-490.
19. Zhang L. Aspect-oriented approach to modeling railway cyber physical systems //2013 12th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science. – IEEE, 2013. – С.29-33.
20. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
21. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С.138-145.
22. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(3). – С.3-15.
23. Zhang L. Aspect-oriented modeling of railway cyber physical systems based on the extension of AADL //2013 IEEE 10th International Conference on High Performance Computing and Communications & 2013 IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing. – IEEE, 2013. – С.2104-2111.

24. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, 2012. - 297с.
25. Sumalee A., Ho H. W. Smarter and more connected: Future intelligent transportation system // IATSS Research. – 2018. – Т. 42. – №. 2. – С.67-71.
26. Lin Y., Wang P., Ma M. Intelligent transportation system (its): Concept, challenge and opportunity // 2017 IEEE 3rd International Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE International Conference on High Performance and Smart Computing (HPSC), and IEEE International Conference on Intelligent Data and Security (IDS). – IEEE, 2017. – С.167-172.
27. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.
28. Ререр И. И., Алёшечкин Ю. А., Карнаухов А. С. Бессветофорная автоблокировка // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – №. 4. – С.39-40.
29. Розенберг Е. Н., Абрамов А. А., Батраев В. В. Интервальное регулирование движения поездов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – №. 9. – С.19-24.
30. Розенберг Е. Н., Батраев В. В. Интеллектуальная система управления и обеспечения безопасности движения на ВСМ // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2017. – №. 1. – С.10-22.
31. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.43-50.
32. Lingaitis L. P., Pukalskas S. Ecological aspects of using biological diesel oil in railway transport // Transport. – 2008. – Т. 23. – №. 2. – С.138-143.
33. Андреева О.А. Беспилотное субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.44-52.
34. Song R., Liu Y., Bucknall R. Smoothed A\* algorithm for practical unmanned surface vehicle path planning // Applied Ocean Research. – 2019. – Т. 83. – С.9-20.
35. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.43-53.
36. Ознамец В.В., Белоконев Г.В. Пространственное моделирование с применением БПЛА // Науки о Земле. – 2019. - №1. – С.4-15.
37. Розенберг И.Н., Старостина Т.А. Решение задач размещения с нечеткими данными с использованием геоинформационных систем. - М. Научный мир, 2006. – 208с.
38. Ознамец В. В. Ситуационное решение задачи пространственного размещения // Геодезия и картография, - 2018. - №9. – С.45-51.
39. Бутко Е. Я. Инновационное управление в образовании // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.37-45.
40. Майоров А. А. Инновационное управление образовательными учреждениями // Государственный советник. – 2015. - №1. – С.61-68.
41. Ожерельева Т.А. Управление образовательными инновациями // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2013. - №4. – С.104-108.
42. Оболяева Н.М. Образовательная инновация – интегральный показатель успеваемости // Славянский форум. - 2012. – 2 (2). - С.105-110.
43. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. – 2016. – №. 7. – С.16-25..
44. Кудрявцева А. В. Социально-экономические перспективы транспортных инноваций // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – №. 2 (69).
45. Измайкова А. В. Инновации, значимые для железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2014. – №. 3. – С.53-69.
46. Цветков В.Я. Формирование инновационного потенциала // Перспективы науки и образования- 2014. - №3(9). – С.14-19.
47. Курносоева Е. А. Инновационный потенциал предприятия: составляющие и методы

оценки // Математика, экономика и управление. – 2015. – Т. 1. – №. 1. – С.105-109.

48. Цветков В.Я. Формирование точек инновационного роста // Славянский форум. - 2013 - 1(3) - С.131-137.

49. Пожидаева Н. А., Зюкин Д. А. Детерминирование точек инновационного роста как инструмент развития регионального сельскохозяйственного производства // Региональная экономика: теория и практика. – 2013. – №. 26. – С.19-24.

50. The measurement of scientific and technological activities. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data / OSLO MANUAL - European Commission Eurostat. Organisation for Economic Co-operation and Development -2005. – 167p.

51. Tsvetkov V. Ya. Innovations Analysis in Terms of OECD Standards // European researcher. 2012, № 10-1(31), P.1689- 1693.

52. Методические рекомендации по оценке эффективности инновационных проектов (вторая редакция), утвержденные Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999.

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

54. Романов И.А. Принципы оценки эффективности инновационных проектов в сфере транспорта // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5 – С.135-136.

55. Ожерельева Т. А. Анализ пространственных инноваций // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.321-239.

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

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

58. Цветков В. Я. Модель обобщенной инновационной системы // Перспективы науки и образования- 2013. - №6. – С.206-209.

59. Гольдштейн Г.Я. Инновационный менеджмент: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. - 217с.

60. Цветков В.Я. Дихотомический анализ сложности системы // Перспективы науки и образования - 2014. - №2 (8). – С.15-20.

61. Цветков В.Я., Оболяева Н.М. Использование коррелятивного подхода для управления персоналом учебного заведения // Дистанционное и виртуальное обучение. - №8 (50). - 2011. - С.4- 9.

62. Tsvetkov V.Y. Correlative analysis and opposition variables // European Journal of Natural History, 2014. №1, С.48-52.

64. Ozhereleva T. A. Systematics for information units // European Researcher. 2014, № 11/1 (86), PP.1894-1900.

65. Романов И.А. Особенности оценки инновационных проектов в распределенной среде. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. – №3. – С.90-93.

УДК: 004.9

## **О КОГНИТИВНОЙ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ЭКСПЕРТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ГЕОДАНЫХ**

- Дулин С.К.** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»,  
E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия
- Дулина Н.Г.** к.т.н., ведущий программист, ФИЦ ИУ РАН, E-mail: ngdulina@mail.ru,  
Москва, Россия
- Аннотация.** Работа посвящена обсуждению понятия когнитивной интероперабельности, которая заключается в обеспечении согласованного взаимодействия специалистов для решения задач, требующих совместного использования георесурсов, при условии адекватного понимания ими семантики этих георесурсов. Обеспечение когнитивной интероперабельности предполагает, что разработка средств согласованного понимания геоданных должна осуществляться на основе сравнительного анализа существующих метасхем баз геоданных с учетом многофакторности взаимодействия пользователей и семантики, заложенной в пространственные онтологии и/или геотезаурусы и классификаторы. Ключевой задачей когнитивной геоинтероперабельности является создание единой концептуальной модели представления и согласованного понимания пользователями геоданных на основе интеграции пространственно-распределенной информации.
- Ключевые слова:** структуризация знаний; когнитивная интероперабельность; когнитивное пространство

## **ON THE COGNITIVE INTEROPERABILITY OF EXPERTS IN THE ANALYSIS OF GEODATABASES**

- Dulin S.K.** D.ofSci., Professor, Chief Researcher, JSC «NIAS»,  
E-mail:skdulin@mail.ru, Moscow, Russia
- Dulina N.G.** PhD., Lead coder, Federal Research Center "Informatics and Management" of the RAS, E-mail: ngdulina@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The work is devoted to the discussion of the concept of cognitive interoperability, which consists in ensuring the coordinated interaction of specialists to solve problems requiring the joint use of georesources, provided that they adequately understand the semantics of these georesources. Ensuring cognitive interoperability implies that the development of tools for a consistent understanding of geodata should be based on a comparative analysis of existing metaschemes of geodatabases, taking into account the multifactorial interaction of users and the semantics embedded in spatial ontologies and / or geo-thesauri and classifiers. The key task of cognitive geointeroperability is to create a unified conceptual model for the presentation and consistent understanding of geodata by users based on the integration of spatially distributed information.
- Keywords:** knowledge structuring; cognitive interoperability; cognitive space

## Введение

Структуризация знаний является необходимым условием успешного взаимодействия экспертов, анализирующих геоинформацию. Методы структурирования принято подразделять на две непересекающиеся категории: визуальные и символьные (Рис.1).

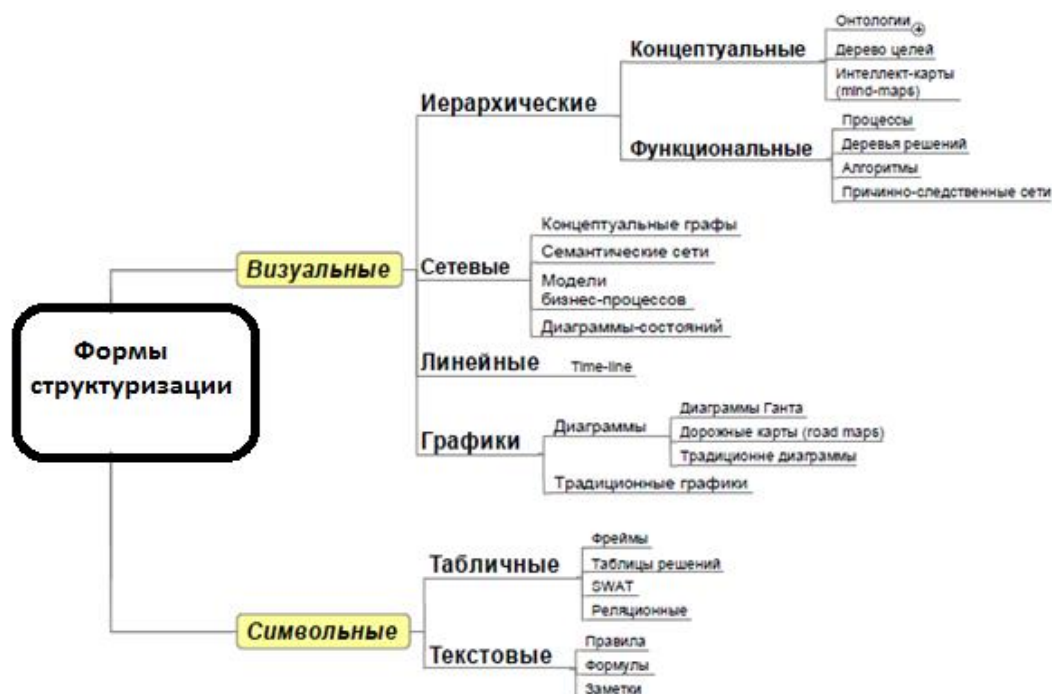


Рисунок 1. Категории методов структуризации знаний

Символьные методы поддерживаются математическими, текстовыми и табличными описаниями и используются в хорошо структурированных проблемных областях. Существенно сложнее со структуризацией знаний в слабо структурированных областях, где разработано множество методов, ориентированных на специфику каждой из конкретных областей, характеризующихся своими методами и подходами. Если возникшие проблемы, принимают кроссдисциплинарный характер, затрагивая несколько проблемных областей, структуризация знаний существенно усложняется, поскольку здесь на первый план выступает взаимодействие экспертов из разных проблемных областей. Можно указать наиболее характерные кроссдисциплинарные области, где структуризация знаний требует привлечения когнитивных методов:

- *информационный мониторинг научной деятельности*, включающий эмпирический мониторинг и анализ научных результатов, теорию принятия решений, использование информационных технологий, критерии оценки научных результатов, лингвистические методы;
- *геоинформатика*, представляющая собой симбиоз знаний информатики, географии, геологии, теории распознавания образов, компьютерной лингвистики;
- *компьютерная лингвистика* - научное направление в области математического и компьютерного моделирования интеллектуальных процессов у человека и животных при создании систем искусственного интеллекта, использующая теорию языкознания, прикладную лингвистику, системный анализ, математическую логику.

Взаимодействие во всех кроссдисциплинарных областях экспертов разной направленности

требует установления между ними интероперабельности (от англ. Interoperability - способность к взаимодействию) и формирования общего когнитивного пространства. В связи с чем необходимо сопоставление методов представления их знаний для принятия ими обоснованных и эффективных решений.

### **Когнитивное пространство**

Когнитивное пространство "представляет собой операциональную самопорождающуюся и саморегулирующуюся систему, в которой формируется, развивается и трансформируется человеческий коммуникативный опыт" [1]. В связи с чем было бы разумно использовать преимущества когнитивного пространства для реализации когнитивной интероперабельности экспертов в геоинформационной среде (когнитивная интероперабельность связана с ситуационным реагированием, информационные системы интероперабельны в том смысле, когда лица, принимающие решения, в двух различных системах видят согласованные образы представляемой информации, Buddenberg [2]).

Использование когнитивного пространства отражает многопараметричность взаимодействия экспертов при осуществлении ими экспертной деятельности, например, при противоречивых тезаурусах в системах или недостаточности определения критических терминов. Следует отметить важность концепции когнитивной интероперабельности [2]. Она сопряжена с понятием когнитивного пространства фактором адаптации к ситуациям и развитием стремления экспертов к формированию сопрягаемых информационных ресурсов, необходимых для осуществления совместной деятельности. Для реализации когнитивной интероперабельности экспертов в геоинформационной среде используются методы прикладной лингвистики, когнитивной психологии, искусственного интеллекта, а также методы геоинформационного описания и структурной согласованности.

Можно перечислить основные задачи реализации когнитивной интероперабельности в геоинформационной среде:

- создание методов и моделей реализации когнитивной интероперабельности экспертной информационно-аналитической деятельности на основе геоинформационных описаний;
- разработка инструментария для моделирования когнитивного пространства взаимодействующих экспертов в конкретных проблемных областях. Необходимо также обеспечить адаптацию приложений в кроссдисциплинарных задачах для: устранения методологических противоречий у экспертов различных областей, установления корректных причинно-следственных связей между концепциями проблемных областей, допустимости принятия решений при противоречивых тезаурусах в системах или недостаточности определения критических терминов;
- разработка геоинформационных технологий следующей генерации, настроенных на взаимодействие экспертов различных областей при решении кроссдисциплинарных задач.

Указанные разработки будут способствовать решению следующих задач: согласованию работы экспертов различных проблемных областей в кроссдисциплинарных задачах в геоинформационных системах; проведению в кроссдисциплинарных задачах изучения специфики различных проблемных областей для создания проблемно-ориентированных программных продуктов; исследованию методов разработки программных систем и настройки их приложений для разработки новых геоинформационных технологий.

Современные задачи создания и поддержки интеллектуальных геоинформационных систем

обусловили привлечение средств для выделения требуемых структурных единиц в используемых геоинформационных ресурсах, установления связей между ними и отображения их семантики и ситуационного контекста [3]. Наиболее интересными и перспективными средствами оказались методы лексико-семантического моделирования когнитивных структур знаний, позволяющие отобразить специфику геоинформационной среды. Когнитивное пространство при наличии кроссдисциплинарности взаимодействия экспертов на основе геоинформационных описаний расширяет понятие единого геоинформационного пространства [4].

Архитектура единого геоинформационного пространства должна разрабатываться на основе сравнительного анализа существующих метасхем баз геоданных с учетом семантики, заложенной в пространственные онтологии. Проведенные исследования существующих метасхем баз геоданных доказали целесообразность разработки модели, включающей латентные атрибутивные связи между онтологиями разнородных геоданных, что должно повысить качество отображаемых связей в концептуальной схеме базы геоданных. Проектируемая архитектура должна отражать многоуровневость структуры геоинформационной базы данных, задавая ориентацию каждого уровня на решение конкретного класса задач и включая в свой состав утилиты и библиотечные процедуры манипулирования геоданными, необходимые для функционирования программного комплекса.

Можно предположить, что лексико-семантическое моделирование даже при наличии противоречивых тезаурусов или недостаточности определения критических терминов даст возможность агрегировать гетерогенные геоданные в едином геоинформационном пространстве при наличии специальной гибридной формы представления геоданных – иерархической классификации на основе лексико-семантических отношений, а также выявлять геообъекты конкретной проблемной области и соответствующие отношения между этими геообъектами.

Технология лексико-семантического моделирования может быть эффективно применяться при разработке архитектуры геоинформационного пространства, создании инструментария мониторинга геоданных в ГИС и сопровождения процедур манипулирования геоданными в едином геоинформационном пространстве. Лексико-семантическое моделирование, используемое в области геоинформатики, позволяет дополнить известные технологии анализом языковых конструкций для обработки геоданных, используя их в созданной геоинформационной среде, и семантическим анализом конструкций геоданных для мониторинга единого геоинформационного пространства. Семантический анализ конструкций геоданных уменьшает вероятность появления противоречивых тезаурусов или недостаточности определения критических терминов и возникновения несогласованности геоданных, что весьма важно при создании единого геоинформационного пространства.

#### **Когнитивная интероперабельность экспертов**

Основополагающими предпосылками исследований в области обеспечения геоинтероперабельности являются:

- переносимость структур геоданных в различные проблемные области;
- возможность использования открытого программного обеспечения;
- обеспечение возможности обогащения структур геоданных дополнительными семантическими характеристиками;



- обеспечение возможности автоматизированного формулирования логических выводов на основе семантических описаний;
- использование общепринятых и распространенных стандартов для обеспечения функциональной совместимости.

Актуальность проблемы обеспечения геоинтероперабельности проявляется наиболее наглядно в тех ситуациях, когда необходимо обеспечить взаимодействие экспертов, использующих сервисы и приложения, в которых реализованы разные модели представления геоданных или синтаксис их описания, а также различающиеся методическими и функциональными подходами к обработке данных [5]. Сложность решения этой проблемы существенно возрастает, если модель представления данных или синтаксис ее описания изменяется во времени (динамическая геоинтероперабельность). Термин «семантическая интероперабельность» можно понимать как способность взаимодействующих экспертов адекватно понимать смысл как самих геоданных, так и вызовов функциональных процессов, фигурирующих в межсистемном взаимодействии. Сложность моделирования семантической интероперабельности возрастает, если допустить, что между двумя взаимодействующими экспертами она не обязательно должна быть симметрична.

Кроме того, на сегодняшний день отсутствуют общие методы количественной оценки интероперабельности любых систем, использующих произвольный способ взаимодействия, и трудно обеспечить выделение когнитивной интероперабельности как возможности совместного использования в одном функциональном процессе данных, идентичных по смыслу, но различных по форме представления. Рассматривая структуру интероперабельности, можно выделить две обобщенные группы аспектов: техническую интероперабельность, включающую физический, синтаксический, семантический аспекты, и организационную, рассматривающую вопросы организации межсистемного взаимодействия (например, бизнес-процессы, корпоративные правила, политические протоколы и т.п.). Важным представляется тезис о том, что перечисленные моменты являются именно аспектами, а не «уровнями» интероперабельности, так как без обеспечения какого-либо из них говорить о практическом обеспечении интероперабельности не приходится.

В плане организации взаимодействия можно выделить два основных способа: информационный (только обмен данными) и информационно-функциональный (делегирование функциональных задач информационным системам-партнерам). Для обеспечения уровня семантической интероперабельности во всех взаимодействующих системах должна быть заложена единая система (тезаурус) наименований тегов, атрибутов, ключевых слов и образуемых ими структур (классов или объектов), каждому из которых сопоставляется тот или иной смысл, и, соответственно, возможности, правила и ограничения их обработки. Еще одним фундаментальным аспектом, неизбежно возникающим при практическом решении тех или иных задач, является необходимость обеспечения взаимодействия между экспертами, предполагающая возможность семиотической и семантической коммуникации между ними посредством методологии синтаксической и семантической интероперабельности.

В процессе коммуникации также можно выделить две стадии: а) стадию представления и обеспечения понимания смысла геоданных отдельными экспертами и б) стадию согласования конвенционального понимания смысла геоданных всеми экспертами, базирующуюся на общепринятых концептуальных схемах (онтологиях) и процессе согласования понимания. Обеспечение согласованного понимания и взаимодействия между экспертами требует создания

единой системы концептуальных структур, методов их взаимного преобразования и функциональной обработки. Реализация собственно процесса согласования может быть реализована, например, методологией структурной согласованности [6].

Разработанная методика представления и согласования понимания данных включает в себя две основных стадии: стадию индивидуального понимания, обеспечивающую формализованное представление вновь поступающей информации и ее оценку – соотнесение с имеющейся у конкретного пользователя моделью данных; и стадию коллективного согласования, предполагающую, что индивидуальное понимание достигнуто, и включающую в себя этап выявления рассогласований в понимании отдельными участниками процесса и этап устранения этих рассогласований. Основные проблемы обеспечения интероперабельности пространственных данных и метаданных возникают вследствие несоответствий между различными моделями данных (их пространственной, семантической и топологической составляющих), а также: при преобразованиях между пространствами различной размерности; в силу различных требований к точности представления координат и аппроксимации контуров геообъектов; необратимые потери информации при перепроектировании растровых изображений и т.п.

Решение проблемы геоинтероперабельности в геоинформационных технологиях сосредотачивается на обеспечении адекватного обмена геоданными между геоинформационными системами с различной архитектурой и обеспечении возможности совместного использования как геоданных, так и функциональных методов их обработки. При осуществлении взаимных преобразований технологически-ориентированных форматов геоданных целесообразно разделить эту задачу на обеспечение предметной интероперабельности (на уровне пространственно-топологической модели) и интероперабельности технологической (на уровне технических особенностей реализации моделей геоданных и способов их обработки). В связи с этим представляется полезным выделять предметное «ядро» и технологическую «оболочку» геоданных, для каждого из которых самостоятельно решать задачу обеспечения взаимного преобразования. Предметный уровень позволит обеспечить более широкую интероперабельность (за счет определенного абстрагирования от особенностей конкретной ГИС), а технологический уровень обеспечит сохранение существующих схем обработки (при более ограниченной интероперабельности).

В качестве примера недостаточной согласованности при установлении интероперабельности можно указать специалистов по проведению анализа и получению экспертной оценки результативности направлений, программ и проектов научных исследований, а также деятельности субъектов сферы науки, которые часто имеют различное понимание смысла индикаторов, придерживаются разных определений одних и тех же понятий и по-разному формулируют дефиниции, что серьезно затрудняет получение корреспондирующих экспертных оценок.

Как отмечалось выше, понятие когнитивной интероперабельности сопряжено с понятием когнитивного пространства фактором адаптации к ситуациям и развитием стремления экспертов к формированию сопрягаемых информационных ресурсов, необходимых для осуществления совместной деятельности, что весьма важно для согласованного взаимодействия экспертов-аналитиков (Рис. 2).



Рисунок 2. Взаимодействие экспертов из разных предметных областей в ГИС

Применяемые в настоящее время технологии разработки и поддержки ГИС используют методы и подходы, позволяющие вычлнять нужные фрагменты в геоинформационных ресурсах, устанавливая связи между ними и отображать их семантику и ситуационный контекст [7].

Моделирование экспертной деятельности и шаблонов их взаимодействия – это лишь половина задачи формализации кроссдисциплинарной проблемы и межэкспертного взаимодействия для обеспечения когнитивной интероперабельности разных специалистов. Чтобы прийти к созданию единого когнитивного пространства, необходима наглядная и доступная специалистам разного профиля и уровня квалификации модель проблемной области и ее связь с решаемой кроссдисциплинарной проблемой.

### Заключение

В работе рассмотрены возможности лексико-семантических методов и когнитивного моделирования применительно к задачам геоинформатики. Технология лексико-семантического моделирования может быть эффективно применяться при разработке архитектуры геоинформационного пространства, создании инструментария мониторинга геоданных в ГИС и сопровождения процедур манипулирования геоданными в едином геоинформационном пространстве. Решение проблемы геоинтероперабельности в геоинформационных технологиях сосредотачивается на обеспечении адекватного обмена геоданными между геоинформационными системами с различной архитектурой и обеспечении

возможности совместного использования как геоданных, так и функциональных методов их обработки. Рассмотренный когнитивный подход будет способствовать решению следующих задач: согласованию работы экспертов различных проблемных областей в кроссдисциплинарных задачах в геоинформационных системах; проведению в кроссдисциплинарных задачах изучения специфики различных проблемных областей для создания проблемно-ориентированных программных продуктов; исследованию методов разработки программных систем и настройки их приложений для разработки новых геоинформационных технологий.

### Список литературы

1. Гуревич Л.С. Когнитивное пространство метакоммуникации. – Иркутск: Изд-во ИГЛУ, 2009. – 372с.
2. Buddenberg R. Toward an interoperability reference model, Critical Issues in C4I. Fairfax, VA: AFCEA-GMU, 2008. Pp 1–4.
3. Дулин С.К., Розенберг И.Н. О развитии методологических основ и концепций геоинформатики // Системы и средства информатики. Специальный выпуск: «Научно - методологические проблемы информатики» – М.: ИПИ РАН, 2006, С.201-256.
4. Цветков В.Я. Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии // Геодезия и аэрофотосъемка, № 4, 2006, С.112-118.
5. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Кожунова О.С. Синтез геоданных в пространственных инфраструктурах на основе связанных данных // Информатика и ее применения, Т. 13. № 1. 2019. С.82-90.
6. Дулина Н.Г., Уманский В.И. Структуризация проблемы улучшения пространственной согласованности баз геоданных – М.: ВЦ РАН, 2009. 40с.
7. Зацман И.М. Семиотическая модель взаимосвязей концептов, информационных объектов и компьютерных кодов // Информатика и ее применение. 2009. Т. 3. Вып. 2, С.65–81.

УДК: 528.02; 528.06

## ИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЯЮЩЕЕ ТРАНСПОРТНОЕ ПРОСТРАНСТВО

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

**Аннотация.** Исследуется информационное управляющее транспортное пространство, включающее информационные поля и другие информационные пространства. Для развития цифрового транспорта необходимо использовать навигационное поле, радиорелейное информационное пространство, в дополнение к ним можно использовать мобильное информационное пространство и информационное пространство электронных меток. Одним из методов создания координатного обеспечения железной дороги является создание специальных геодезических сетей вдоль железной дороги. Статья описывает новый тип специальных железнодорожных геодезических сетей - геодезические сети электронных меток. Вводится новое понятие комплексное информационное управляющее пространство. Даны рекомендации по созданию информационного управляющего пространства. Показано, что геоинформационное пространство является наилучшей реализацией управляющее пространство.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, информационное пространство, информационное поле, геоинформационное пространство, информационное управляющее пространство

## INFORMATION MANAGEMENT TRANSPORT SPACE

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

**Annotation.** The article explores the information management transport space. Analysis shows that this space includes information fields and other information spaces. For the development of digital transport, it is necessary to use the navigation field, radio relay information space. In addition, the mobile information space and the electronic tag information space can be used. One of the methods for creating coordinate support for the railway is the creation of special geodetic networks along the railway. The article describes a new type of special railway geodetic networks - geodetic networks of electronic marks. A new concept of integrated information management space is introduced. Recommendations for creating an information management space are given. It is shown that the geoinformation space is the best implementation of the control space.

**Keywords:** transport, management, information space, information field, geographic information space, information control space..

### Введение.

Пространством принято обозначать мыслимые формы, которые служат средой для реализации других форм, информационных конструкций и сущностей. Понятие

информационное пространство является многозначным. В координатном смысле это оболочка, которая может содержать другие информационные пространства или информационные поля. Для такого пространства – «информационное пространство оболочка» применима аббревиатура ИПО. В управленческом смысле это пространство и входящие в него объекты управления, управляющие системы и вспомогательные объекты. Для информационного управляющего пространства применима аббревиатура ИУП. ИУП содержит также поля, которые пространством не являются. Одним из основных направлений развития управления транспортом является распределенное управление [1]. Распределенное управление на транспорте связано с информационным управляющим пространством [2, 3]. На транспорте основными техническими реализациями ИУП являются радиорелейное информационное пространство [4, 5], пространство электронных меток, мобильное информационное пространство, спутниковое информационное пространство. Многие виды цифрового транспорта нуждаются в ИУП, это: интеллектуальные транспортные и логистические системы [6-8], цифровая железная дорога [9-12], автономный поезд [13], кибер-физические системы [14-17]. Для информационного управляющего пространства необходима среда поддержки [18], для которой важнейшей является координатная поддержка [19, 20] и координатное обеспечение [21].

### Структура ИУП.

На рис.1 дана структура ИУП

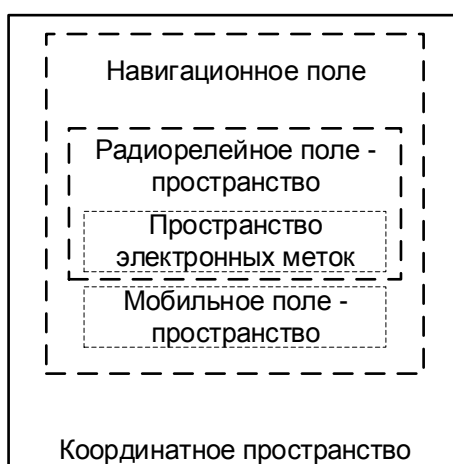


Рисунок 1. Структура Информационного управляющего пространства (ИУП)

Информационное управляющее пространство имеет специфическую структуру и включает частные информационные поля и частные информационные пространства. Основой ИУП является координатное пространство (КП) [21]. Оно координирует все остальные пространства. Это пространство может быть локальными, например, местная система координат или система координат данной железной дороги. От масштаба КП зависит масштаб управления и масштаб ИУП. Фрагментом глобального поля, вложенного в ИУП, является навигационное поле ГЛОНАС/GPS (рис.1). В каждой точке навигационного поля с помощью специальной аппаратуры можно определить глобальные координаты, которые после привязки к базовым станциям показывают местные координаты. В первую очередь это поле поскольку точность определения координат зависит от длительности периода определения, от режима и от

аппаратуры. Навигационное поле служит основой глобальной координации, но точная координация обеспечивается с помощью КП на данном участке железной дороги. Формально навигационное поле служит основой управления [22]. Но фактически уточняющие функции выполняет местное КП.

Независимо от навигационного поля и в дополнение к нему функционирует радиорелейное поле-пространство, которое является информационно-коммуникационным. Информационным оно является, поскольку информирует о состоянии пространства объектов всех участников ИПУ. Оно является коммуникационным, поскольку осуществляет коммуникацию между подвижными объектами и между подвижными объектами и стационарными объектами пространства. Его можно обозначить как радиорелейное информационное пространство (РРИП), поскольку информационная составляющая в нем выше, чем полевая.

Независимо от навигационного поля и РРИП в дополнение к ним функционирует информационное поле электронных меток (ИПЭМ) [23, 24], которое является информационным. ИПЭМ обычно вложено в РРИП и не зависит от навигационного поля.

Независимо от навигационного поля, от РРИП, от ИПЭМ может функционировать мобильное информационное поле, использующее мобильную связь. Все поля могут быть использованы и резервируют общую систему управления. В завершении следует отметить, что КП обычно задают в виде геодезических сетей специального назначения, чаще в виде реперной сети. Но иногда количество и состав сетей может быть больше. КП выполняет только координационные функции

#### Радиорелейное поле – пространство.

Радиорелейное поле – пространство выполняет полевые и информационные функции. Полевые функции РРИП состоят в том, что оно подобно навигационному полю позволяет определять в любой точке РРИП координаты подвижного объекта с помощью специальной аппаратуры и вычислительных устройств. На рис.2 приведена упрощенная структура РРИП.

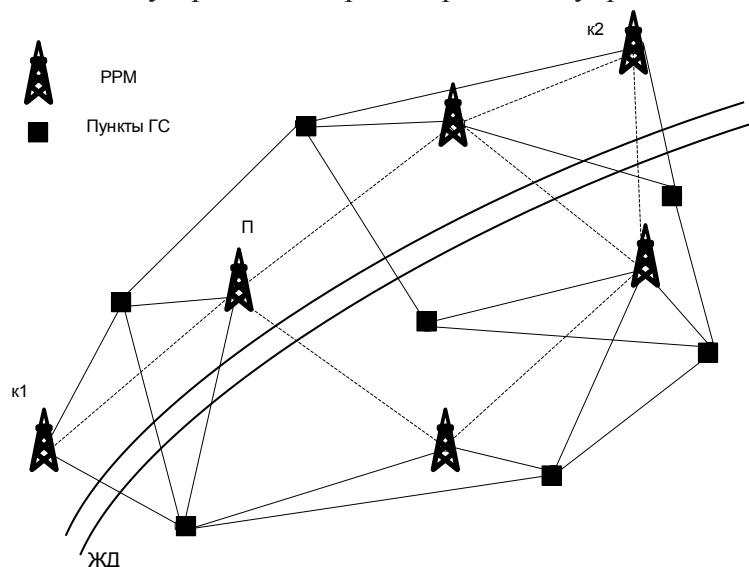


Рисунок 2. Фрагмент радиорелейного информационного поля-пространства.

На рис.2 выделены радиорелейные мачты (PPM) и пункты геодезической сети в виде квадратов. Символы ЖД показывают фрагмент железнодорожного пути. Сплошными линиями выделены направления построения сети или геодезические построения. Пунктиром показаны

коммуникационные связи между РРМ, которые и задают физическое поле. Можно сказать, что геодезическая сеть служит опорной сетью для РРМ. Она используется как для установки и привязки РРМ, так и для последующего мониторинга. Кроме того, в случае ремонтных работ геодезическая сеть может выполнять функции координатной поддержки участка, на котором проводят ремонтные работы. К сожалению, традиции ЖД применяют метод лекал, а не координатный метод при выправке пути.

Радиорелейная радиосвязь основана на ретрансляции радиосигналов дециметровых и более коротких волн. Радиоволны длиной менее 1 м устойчиво распространяются в пределах прямой видимости. Поэтому РРИП для больших расстояний формируют как совокупность приёмно-передающих радиорелейных. РРИП являются широкополосными системами.

В структуре РРИП существуют оконечные (к1, к2 рис.2), узловые и промежуточные (п рис.2) станции. Узловые и промежуточные станции выполняют функции ретрансляторов, но на узловых станциях существует больше функций, а промежуточные выполняют только трансформацию сигнала. РРИП может использовать УКВ диапазон. По характеру сигнала РРИП разделяются на аналоговые и цифровые, но в настоящее время все новые станции работают на цифровых технологиях. С позиций геоинформатики РРИП представляет ареальный объект. Окружающее его пространство можно рассматривать также как ареальный объект. Это диктует применение методов геоинформатики для создания и управления РРИП.

#### **Информационное пространство электронных меток.**

На рис.3 приведена упрощенная структура ИПЭМ. Для сопоставимости на рис.3 приведена та же схема геодезической сети, что и на рис.2. Треугольниками обозначены электронные метки (ЭМ). Квадратами обозначены планово-высотные пункты геодезической сети.

Электронные метки [25, 26] являются новыми техническими средствами, применяемыми в последнее время. Электронные метки, как техническое устройство, выполняют точные функции индикации и не точные функции позиционирования [27]. По дальности считывания ЭМ или RFID-системы делят на три группы: ближней идентификации (БИ) (считывание производится на расстоянии до 20 см); идентификации средней дальности (ИСД) (от 20 см до 5 м); дальней идентификации (ДИ) (от 5 м до 600 м). В любом случае этих дальностей недостаточно для покрытия железнодорожного пути.

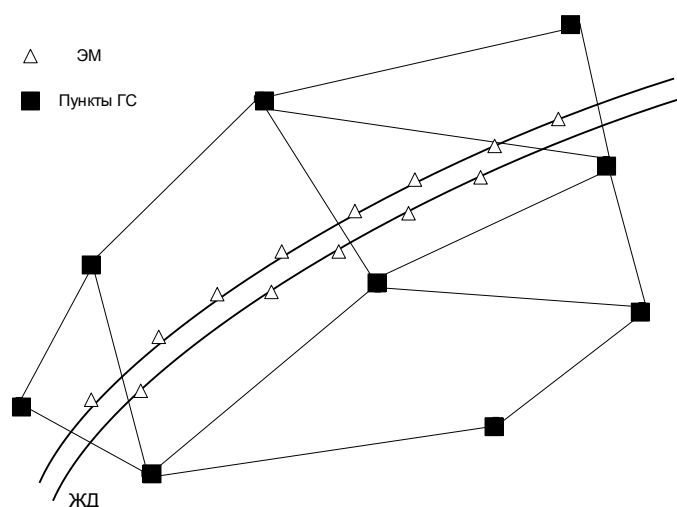


Рисунок 3. Схема ИПЭМ



Соответственно точность определения координат составляет [28] БИ – 10см, ИСД -0,1-1 м, ДИ -1-200м. Этих точностей также недостаточно для управления движением. Таким образом, при использовании в автономном режиме ЭМ, можно констатировать ограниченный радиус действия и низкую по геодезическим меркам точность позиционирования.

Электронные метки на железных дорогах используют чаще для маркировки перевозимых грузов как инструмент идентификации соответствующего груза.

Для управления их применяют на станциях и координированных небольших участках пути. Поэтому их применяют как индикаторы. В работе [23] предлагается использовать метки как новый тип геодезической сети. Пункты геодезической сети не обладают свойством индикации (они пассивны), но обладают высокой точностью определения местоположения (точность). Метки обладают свойством индикации (активностью), но не обладают высокой точностью определения местоположения (неточность). Если совместить пункт геодезической сети с ЭМ, то получается сеть, которая обладает и высокой точностью позиционирования, и свойством индикации проходящих мимо транспортных средств. Получается новая геодезическая сеть, которая активна и обладает точностью определения местоположения.

Таким образом, при позиционировании ЭМ и вложении их в геодезическую сеть, получается новая сеть, обладающая активностью. Такие сети ЭМ вложены в опорные геодезические сети, что дает возможность создания на их основе информационного пространства электронных меток. Это пространство выполняет контролирующие функции и сигнализирует о прохождении поезда или груза в определенном месте в определенное время. Наряду с ЭМ можно точно также устанавливать считыватели. В этом случае будет дополнительная индикация груза при прохождении данного участка.

Можно отметить работу [29], в которой описан мобильный аналог РРИП и говорить о комплексном информационном управляющем пространстве (КИУП).

#### **Управление на основе комплекса информационных пространств.**

Важно отметить, что управление на основе комплекса информационных пространств или пространственное управление [30-32] использует информационные поля, которые являются основой управления, в то время как пространство выполняет информирующие и коммуникационные функции. Железная дорога есть пространственная система [33] и геотехническая система [34], распределенная в пространстве. Поэтому создание КИУП предназначено для управления такой системой. Важной особенностью пространственного управления является использование методов геоинформатики и геоданных. Информационное управляющее пространство при использовании методов геоинформатики трансформируется в более емкое геоинформационное пространство [35, 36].

Можно констатировать, что информационное управляющее транспортное пространство (рис.1) содержит совокупность пространств и полей. Все эти пространства входят в геоинформационное пространство. Для управления используют не координатное, а геоинформационное пространство. Это обусловлено тем, что цифровое [37] и пространственное [30-32] управление использует не только пространственную информацию, но и семиотическую и поэтому является семиотическим [38]. Геоинформационное пространство связывают с содержанием объектов, которые в нем находятся.

Геоинформационное пространство для РРИП играет важнейшую роль. С точки зрения геоинформатики в этом пространстве происходит качественное преобразование. Точечный объект РРМ преобразуется в линейный объект – сеть РРМ. Линейный объект сеть РРМ

преобразуется в ареальный объект РРИП

Таким образом РРИП и ИУП позволяют связывать точечные, линейные и ареальные объектов единую систему геоданных [39], которую удобно использовать при управлении. Отметим некоторые принципы использования ИУП для управления:

- Создание координатной основы [40] пространства для решения задач координации всех объектов, находящихся в данном пространстве;
- Создание системы специализированных геодезических сетей [41] для поддержки ИУП;
- Создание набора систем технических сетей для поддержки специализированных информационных пространств (РРИП, ИПЭМ);
- Введение информационных полей, которые позиционируют подвижные и неподвижные объекты;
- Создание интегрированной информационной основы данных, для объединения всех видов пространственной и управленческой информации в единую систему данных на основе геоданных [39];
- Создание системы моделей, описывающих подвижные и неподвижные объекты;
- Выявление пространственных закономерностей, существующих в данном ИУП;
- Создание системы правил поведения подвижных объектов для автоматизированного или интеллектуального принятия решений.

#### **Заключение.**

Организация информационного управляющего пространства на транспорте является основой развития управления транспортом. Понятие «информационное пространство» как сущность описано в Доктрине информационной безопасности РФ, утвержденной Президентом РФ в сентябре 2000 г. В ней сказано, что для обеспечения национальных интересов России необходимо развивать и совершенствовать инфраструктуру единого информационного пространства Российской Федерации.

Как информационная конструкция ИУП поддерживается важными составляющими: информационными ресурсами и информационной инфраструктурой. Информационная инфраструктура в сфере транспорта инвариантна транспортной инфраструктуре и является ее моделью. Тенденция развития содержания информационного пространства состоит в переходе от локальных информационных пространств к их комплементарной интеграции и увеличению масштаба пространств. Введение термина «комплексное информационное управляющее пространство» разграничивает содержательное масштабное информационное пространство от частных и локальных небольших информационных пространств и создает условия инвариантного преобразования объектов таких пространств с равной функциональностью. Информационное управляющее пространство является высшей формой развития информационного пространства и основой управления транспортом. Оно служит основой развития ЦЖД, ИТС, технологий автономного поезда, транспортных кибер физических систем и новой модели «умная» железная дорога [42].

#### **Список литературы**

1. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Распределенное управление на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 3(7). – С.3-16.
2. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение информационного управляющего пространства

// Науки о Земле. – 2019. - №4. – С.4-12.

3. Ожерельева Т.А. Информационное пространство как инструмент поддержки принятия решений // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.169-175.

4. Цветков В.Я., Дзюба Ю.В. Радиорелейное информационное пространство // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 4. С.24-25.

5. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.46 -52.

6. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. - 297 с. ISBN: 978-3-659-15742-4.

7. Цветков В.Я. Интеллектуализация транспортной логистики // Железнодорожный транспорт. -2011. - №4. – С.38-40.

8. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.34- 42.

9. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2. – 3(7). – С.64-70.

10. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61.

11. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.

12. 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.

13. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Тенденции развития автономного поезда // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.3-12.

14. Liu Y. et al. Review on cyber-physical systems //IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica. – 2017. – Т. 4. – №. 1. – С.27-40.

15. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.

16. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.

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

18. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. - 2011. -№ 6. - С.6-8.

19. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.62-68.

20. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.43-53.

21. Розенберг И.Н. Цветков В.Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009 - 67с.

22. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.43-50.

23. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геодезические сети электронных меток // Науки о Земле. –

2018. - №4. – С.17-27.

24. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Применение радиометок при мониторинге железнодорожных дорог // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С.34-35.

25. Nath B., Reynolds F., Want R. RFID technology and applications //IEEE Pervasive computing. – 2006. – Т. 5. – №. 1. – С.22-24.

26. Want R. An introduction to RFID technology //IEEE pervasive computing. – 2006. – №. 1. – С.25-33.

27. Hahnel D. et al. Mapping and localization with RFID technology //IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004. – IEEE, 2004. – Т. 1. – С. 1015-1020.

28. [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency\\_identification](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio-frequency_identification) / data of view 01. 10. 2020.

29. Розенберг Е.И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б.В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU 95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010.

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

31. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.39-42.

32. Маркелов В.М. Пространственная информация как фактор управления // Государственный советник. – 2013. - №4. – С.34-38.

33. Буравцев А.В. Пространственные системы // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019.- № 3 (13). – С.32-39.

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

35. Бучкин В.А. Геоинформационное пространство в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.

36. Матчин В.Т. Интегрированное геоинформационное пространство // Славянский форум. - 2018. – 3(21). - С.21-27.

37. Ожерельева Т. А. Цифровое управление // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.44-55.

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

39. 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.

40. Нестеренок М. С. Координатная основа специальных геодезических сетей //НАУКА и ТЕХНИКА. – 2018. – №. 4. – С.9-11.

41. Варфоломеев А. Ф. и др. О проектных работах при создании опорных геодезических сетей с использованием ГИС-технологий //Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – №. 3. – С.20-25.

42. Jo O., Kim Y. K., Kim J. Internet of things for smart railway: feasibility and applications //IEEE Internet of Things Journal. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С.482-490.

УДК: 528.9; 004.94

## **ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ МОБИЛЬНОМ ЛАЗЕРНОМ СКАНИРОВАНИИ**

**Андреева О.А.**

Аспирант, МИИГАиК, E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru, Москва, Россия

**Аннотация.**

Инфологическое моделирование является технологией, которую применяют при необходимости комплексной обработки пространственной информации. При этом возникает потребность в метатехнологии, стоящей над простыми технологиями обработки и моделирования, и такой метатехнологией является инфологическое моделирование. В работе применяется анализ инфологического моделирования на примере мобильного лазерного сканирования для задач транспортной инфраструктуры. Дана систематика видов инфологического моделирования, описаны особенности технологического этапа инфологического моделирования. Раскрывается содержание особенностей мобильного лазерного сканирования объектов транспортной инфраструктуры на примере конкретной дороги.

**Ключевые слова:**

транспортная инфраструктура, пространственная информация, лазерное сканирование, инфологическое моделирование, инфологическая модель.

## **INFOLOGICAL MODELING FOR MOBILE LASER SCANNING**

**Andreeva O.A.**

Graduate student, MIIGAiK, E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru, Moscow, Russia

**Annotation.**

Infological modeling is a technology that is used when complex processing of spatial information is required. At the same time, there is a need for metatechnology, which stands above simple processing and modeling technologies, and infological modeling is such a metatechnology. The paper uses the analysis of infological modeling on the example of mobile laser scanning for transport infrastructure tasks. A taxonomy of the types of infological modeling is given, the features of the technological stage of infological modeling are described. The content of the features of mobile laser scanning of transport infrastructure objects is revealed on the example of a specific road.

**Keywords:**

transport infrastructure, spatial information, laser scanning, infological modeling, infological model

**Введение.**

Моделирование при использовании мобильного лазерного сканирования [1-3] включает комплекс технологий. Мобильное лазерное сканирование (МЛС) основано на геоинформационных технологиях [4], как на интегрирующей основе. Особенность МЛС в том, что оно является массовым [5, 6]. МЛС является также ситуационным [7], что сближает его с инфологическим моделированием. Объединяющей де-факто технологией при мобильном лазерном сканировании транспортной инфраструктуры является технология инфологического моделирования или просто инфологическое моделирование. Инфологией называют науку об изучении информации [8-11]. Появление инфологии связано с развитием информационных

технологий, статистической теории информации, семантической теории информации, информационным моделированием, понятием информационного поля и в глобальном понимании с развитием инфосферы Земли [11].

Инфологию рассматривают как явление языковой и социальной колонизации в рамках инфокоммуникационного процесса [10]. Инфологию рассматривают как совокупность процесс когнитивно-информационных преобразований. Инфология задает альтернативу описанию математических, системных, физических и биологических объектов процессом когнитивного моделирования, которое определяется не понятием информации, а понятием инфологии [10]. Инфология использует разные информационные модели: информационная конструкция [12], информационная ситуация [13], информационное взаимодействие [14], и когнитивные модели информационная потребность, информационное соответствие [15, 16], когнитивно-информационные преобразования [17] и другие. Особенностью современного развития науки и технологий является то, что в силу многообразия развития, возникают проблемы, которые нельзя решить обращением только к накопленному опыту. Необходимо не только введение новых представлений и моделей, но и масштаб рассмотрения информационных процессов и явлений.

Этот новый масштаб необходим в тех областях, где производят комплексную обработку информации: исследование Земли из космоса, космический мониторинг объектов транспорта, глобальный мониторинг, интегрированная обработка информации, интегрированное управление [18], решение проблемы больших данных, мобильное лазерное сканирование (МЛС), пространственное управление [19] и др.

Понятие масштаб требует применения масштабных технологий или совокупности технологий для разных масштабов исследования и управления. Примером такой разномасштабной технологии является технология гранулированного вычисления [20]. Моделирование объектов транспортной инфраструктуры (МОТИ) можно рассматривать как частную технологию моделирования и как комплексную.

#### **Инфологические модели и моделирование.**

Существует понятие масштабный анализ (scale analysis). В соответствии с этим понятием можно поставить понятие - масштабное моделирование. Масштабное моделирование представляет собой многоуровневую связанную совокупность моделей, одни из которых могут быть качественными, другие - количественными, а некоторые - качественно-количественными. В масштабном моделировании инфологическая модель находится на верхнем уровне. Поэтому инфологическая модель в некоторых случаях может быть рассмотрена как метамодель [21-23].

Инфологические модели являются одними из наименее исследованных моделей в настоящее время [24]. Принципиальным является то, что инфологическая модель является качественной и инструментом качественного анализа. Принципы качественного анализа включают: кодирование рекурсию, анализ паттернов. Кодирование интерпретируется следующим образом: процесс связывания значимых идей с интересующими данными или процесс формализации значимых сущностей или процессов. Инфологическая модель находится на верхней иерархии моделирования. Модели различаются по степени абстракции. Инфологическая модель имеет высший уровень абстракции.

Инфологическая модель связана с появлением информационной неопределенности, но эта неопределенность связана не с информационной неопределенностью, а с абстрагированием от нижних уровней к верхним. Большинство моделей являются однородными по уровню

описания. Инфологическая модель является неоднородной.

Существуют разные подходы к интерпретации понятия «инфологическая модель». Наиболее неправильный подход - это отождествление инфологической модели с моделью «сущность – связь». Это обусловлено тем, что в первых работах, включая работы Чена, употреблялась фраза «инфологическое моделирование БД сущность - связь». Спустя некоторое время многие исследователи в нашей стране и за рубежом отождествили инфологическое моделирование и инфологическую модель с моделью «сущность – связь» только в БД [25, 26].

В работе [26] говорится о сущностях, отношениях, связях, но четкого определения инфологической модели нет. Во многих работах, особенно в сфере образования, употребление термина «инфологическое моделирование» не имеет никакого отношения к инфологическому моделированию и используется для запутывания читателя и создания иллюзии научности. Характерно, что в англо-русском словаре промышленной лексики [27] термин «инфологическая модель» никак не комментируется и никак не интерпретируется. Это говорит о том, что четкого понимания этого понятия нет, а противоречивых толкований много.

Отметим работы, в которых имеются попытки разобраться с понятием инфологическая модель. Так в [28] дается такая трактовка «Инфологическая модель (1 уровень) представляет собой вербально-графическое описание предметной области». Это определение является общим, но, в принципе, охватывает область инфологических моделей. Далее в работе [28] говорится. «Целью инфологического моделирования предметной области является построение взаимосвязанной структуры абстрактных объектов, выделенных в результате абстрагирования и агрегации элементов». Здесь уже можно не согласится. По моему мнению, более точное выражение будет следующим: Целью инфологического моделирования предметной области является построение взаимосвязанной структуры объектов предметной области, связей и отношений между ними. В работе [28] говорится. «Инфологическая модель предметной области может быть представлена ориентированным графом, объединяющим множество информационных объектов (сущностей) и структурных связей между ними, отображающих подмножество информационно значимых элементов, например, элементов обстановки». Первая часть фразы «Инфологическая модель предметной области может быть представлена ориентированным графом» – полностью приемлема. Но далее идет неопределенность, так как неизвестно, что автор понимает под «информационным объектом» и «информационно значимыми элементами».

Заслуживает внимание работа Мицкевича [29], вот его трактовка. «Инфологическая модель – это модель предметной области, сконструированная с учетом экспертной информации и потребностей потенциальных пользователей.» В этом определении все логично. Но следующая фраза характеризует всеобщую односторонность определений инфологической модели. Ее привязывают к базам данных и ни к чему другому. «Инфологическое моделирование – подготовительный этап перед созданием проекта базы данных». Что такое инфологическое моделирование, при этом, автор не поясняет.

Если рассмотреть сам термин «инфологическая», то можно выделить две составляющие в нем: «инфо», «логическая». В этом случае можно говорить, что инфологическая модель – это «внутренне логическая модель», но не только предметной области, а чего угодно. Необходимо рассмотреть различие между понятиями внутренне логическая и внешне логическая. Внешне логическая модель – это модель, которая объективно проверяется любым специалистом, знакомым с логикой, на логическую непротиворечивость. Внутренне логическая модель – это

модель, логика которой понятна эксперту или узкому кругу лиц, а другим - не понятна.

Следует отметить общий недостаток многих работ - они не связывают инфологическую модель с Инфологией [10, 11]. Другой общий недостаток многих работ состоит в том, что инфологическую модель слабо связывают с качественным моделированием и метамоделированием. По моему мнению, инфологическая модель может быть представлена как результат кодирования (из теории качественного анализа) верхнего уровня многоуровневой комплексной модели с использованием когнитивного моделирования.

### **Инфологическая модель, получаемая при МЛС**

Инфологическое моделирование предметной области МЛС заключается в построении взаимосвязанной структуры абстрактных объектов, с помощью когнитивного пространственного моделирования [30]. Теперь можно перейти от абстрактной инфологической модели к инфологической модели транспортной инфраструктуры и модели, получаемой при МЛС. Базовыми понятиями, определяющими методологию МЛС, являются: система, ситуация, территория, пространственные отношения, информационное моделирование, пространственная модель [31]. Особенностью методологии МЛС является использование технологий сбора данных и технологий обработки данных. После обработки находят пространственные отношения [32] в моделируемой ситуации. Моделирование на основе МЛС использует междисциплинарный перенос знаний: фотограмметрическую съемку, лазерное сканирование, геодезическое обеспечение, картографическое моделирование и трехмерное моделирование.

Моделирование на основе МЛС решает не только прикладные, но и научные задачи. На его основе получают пространственные знания и геознания. Инфологическая модель обобщает технологии решения прикладных задач и методы обработки информации. На рис.1 приведена схема инфологического моделирования при МЛС. Инфологическая модель стоит над всеми этапами моделирования как качественная и управляющая модель.

На первом этапе моделирования проводят концептуальное моделирование, которое включает исследование ситуации и разработки плана работ. Кстати, рекогносцировка на местности также может быть рассмотрена как вид инфологического моделирования.

Второй этап инфологического моделирования включает технологическое моделирование. Технологическое моделирование включает измерения и сбор информации. Технологическое моделирование включает обследование местности и изучение материалов.

Третий этап инфологического моделирования включает первичное моделирование. Первичное моделирование включает первичную обработку, отбраковку несчетных измерений, унификацию форматов и моделирование интегрированной информационной основы. Первичное моделирование включает формирование геоданных [33, 34] для тех случаев, когда применяют геоинформационное моделирование и ГИС.

Четвертый этап инфологического моделирования включает информационное моделирование. Информационное моделирование включает построение информационных моделей ситуаций, территорий. С позиций геоинформатики информационное моделирование включает дифференциацию моделей на ареальные, линейные, точечные и объемные. Объемные модели являются обязательным компонентом МЛС. Для этой технологии существует специфика, которая состоит в том, что сначала создается трехмерная модель, а потом на ее основе создается плановая картографическая модель.



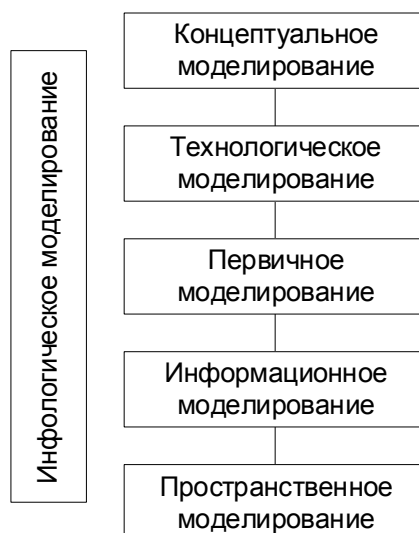


Рисунок 1. Схема инфологического моделирования при МЛС.

Третий этап инфологического моделирования включает первичное моделирование. Первичное моделирование включает первичную обработку, отбраковку несчетных измерений, унификацию форматов и моделирование интегрированной информационной основы. Первичное моделирование включает формирование геоданных [33, 34] для тех случаев, когда применяют геоинформационное моделирование и ГИС.

Четвертый этап инфологического моделирования включает информационное моделирование. Информационное моделирование включает построение информационных моделей ситуаций, территорий. С позиций геоинформатики информационное моделирование включает дифференциацию моделей на ареальные, линейные, точечные и объемные. Объемные модели являются обязательным компонентом МЛС. Для этой технологии существует специфика, которая состоит в том, что сначала создается трехмерная модель, а потом на ее основе создается плановая картографическая модель.

Пятый этап инфологического моделирования включает пространственное моделирование. Это моделирование включает вынос проекта в натуру или сравнение проекта с реальностью или решение размещения объектов транспортной инфраструктуры [35].

#### **Практическая реализация инфологического моделирования.**

Практическая реализация инфологического моделирования происходила при выполнении работ по мобильному и воздушному лазерному сканированию участка Сальск – Краснодар Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» с целью определения фактических значений геометрических параметров железнодорожной инфраструктуры. Участок железной дороги расположен на территории Ростовской области и Краснодарского края. Протяженность участка 286 км. На рис.2 приведена визуальная инфологическая информационная ситуация, которая служит основой инфологического моделирования на этапе технологическое моделирование.

На рис.2 приведена визуальная инфологическая информационная ситуация. Это новое понятие и такая модель используется для качественного анализа. Снимок на рис.2 приведен как пример понятия информационная инфологическая ситуация, чтобы подчеркнуть аспект качественного анализа в инфологическом моделировании.



Рисунок 2. Визуальная инфологическая информационная ситуация на участке работ

На этапе технологического моделирования выполнялось мобильное и воздушное лазерное сканирование, совместно с цифровой фотосъемкой. Эти виды работ проводилось в соответствии с нормативными документами:

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-82;

Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ ГКНИП (ГНТА)-17-004-09;

Инструкция по развитию съемочного обоснования, съемке ситуации и рельефа глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02262-02;

Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. ГКИНП-0932-80;

Руководство по аэрофотосъемочным работам. Изд. «Воздушный транспорт». Москва, 1988;

Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03.

На этапе технологического моделирования происходит оценка Физико-географической характеристики района выполнения работ. На рис.3 приведена картографическая инфологическая модель. Северо-Кавказская железная дорога (рис. 3) пролегает по территории юга России от Азовского и Чёрного морей на западе до Каспийского моря на востоке. Дорога проходит по территориям Калмыкии, Дагестана, Чечни, Ингушетии, Адыгеи, Карачаево-Черкесии, Ставропольского края, Краснодарского края, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии — Алании, Ростовской области. Управление дороги находится в Ростове-на-Дону



Рисунок 3. Инфологическая картографическая модель района обследования.

Эксплуатационная длина дороги составляет 6311,4 км, число станций — 403 (из них на 281 производятся грузовые операции). Северо-Кавказская железная дорога выполняет очень важную транспортную задачу, обеспечивая выход грузопотоков на Российские черноморские порты: Туапсе, Новороссийск. Важную роль для всей России в летний и осенний сезон играют пассажирские перевозки, осуществляемые дорогой к таким курортам, как Сочи, Туапсе, Анапа, Кисловодск, Ейск, Горячий Ключ.

На этапе технологического моделирования осуществлялось мобильное лазерное сканирование. Для точной координатной привязки данных мобильного сканирования к системе координат Северо-Кавказской железной дороги необходимо геодезическое обеспечение. Содержание работ состояло в выполнении GNSS наблюдений на опорных пунктах, которые были заранее заложены вдоль ж\д пути, параллельно с проведением мобильного лазерного сканирования (рис.4).

Для выполнения сканирования на участке Сальск – Краснодар Северо - Кавказской дирекции инфраструктуры было использовано 13 базовых станций. При проведении полевых наблюдений было использовано двухчастотное GNSS оборудование Topcon GB-1000, Topcon GR3, Topcon Nireg+. До начала работ было определено наиболее подходящее время проведения работ: были учтены наличие наибольшего количества доступных спутников и оптимальной геометрической характеристики спутникового созвездия. Затем при подготовке спутниковой аппаратуры была проверена ее работоспособность, а также проведена инициализация приемников непосредственно на месте выполнения работ. Схема установки базовых станций, необходимая

для осуществления ГНСС наблюдений, предполагала начало запись за 40 минут до начала работ и заканчивать через 40 минут после завершения мобильного лазерного сканирования.

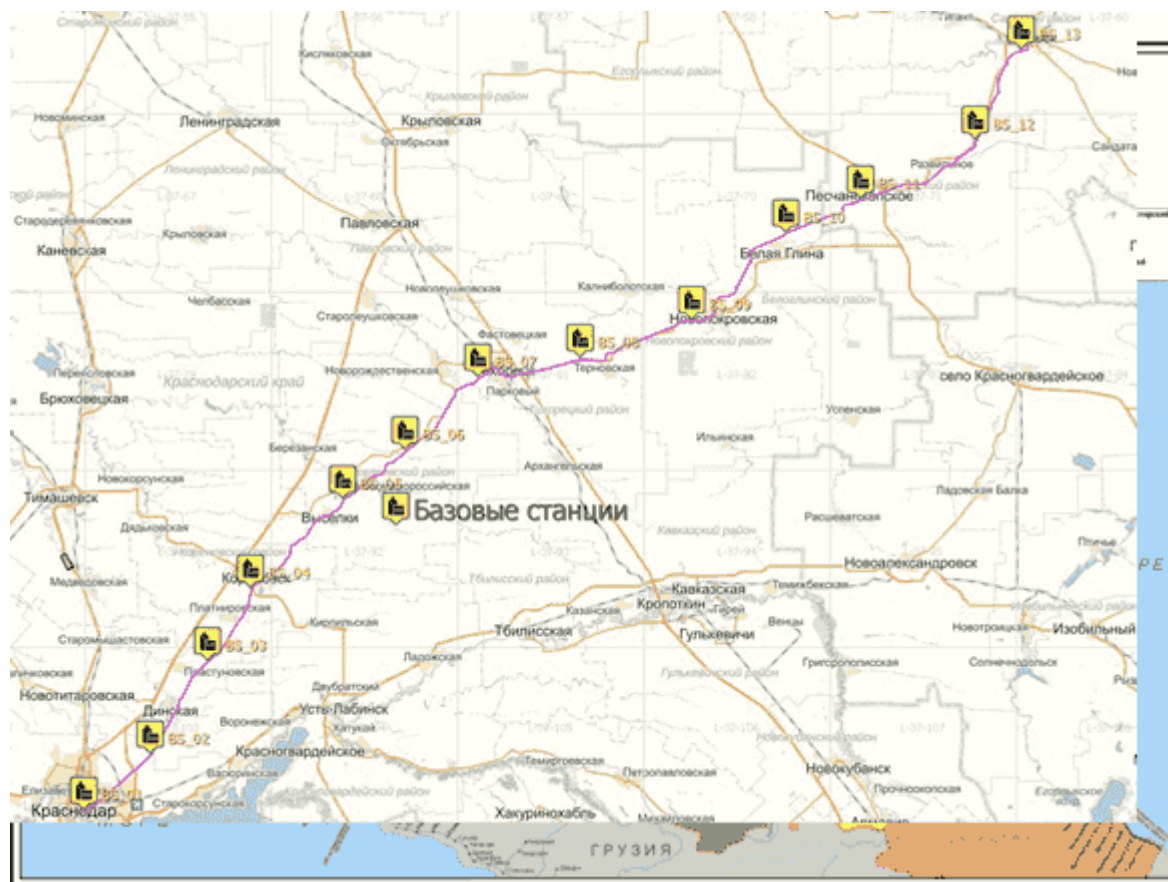


Рисунок 4. Инфографическая модель расположения базовых станций.

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

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

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

На этапе первичной обработки происходит обработка данных мобильного лазерного

сканирования. Камеральная обработка полученных данных состоит из 2 этапов. Первый этап включал расчет траекторий МЛС. На втором этапе проводились вывод, уравнивание и конвертация ТЛО и данных, полученных фотокамерами.

Перед началом работ, заказчиком были переданы каталоги координат реперных объектов в системах координат проекта, ПМСК и МЖСК. Уравнивание точек лазерных отражений с использованием реперных объектов проводилось по окончании конвертации и пересчета данных. Исходные расхождения в значениях координат реперных объектов и точек лазерных отражений переданы Заказчику в соответствии с договором.

Процесс уравнивания точек лазерных отражений был выполнен при помощи модуля TerraMatch программного пакета TerraSolid. Уравнивание выполнялось в полуавтоматическом режиме, то есть оператор вручную измеряет каждый отсканированный реперный объект и сравнивает эти значения с истинными координатами. Затем запускается автоматический процесс уравнивания точек лазерного отражения на реперные объекты.

При уравнивании были выявлены реперные объекты с некорректными координатами и объекты, которые не попали в границы мобильного сканирования. Реперные объекты с некорректными координатами были удалены из процесса уравнивания. Контроль точности производился в системе координат Северо - Кавказской ЖД. Для точек лазерных отражений выполнялись следующие виды контроля:

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

Контроль взаимного уравнивания ТЛО выполнялся визуально вдоль участков сканирования СКЖД. В результате контроля планово-высотная точность взаимного положения облаков точек составила не более 1см (СКО). Контроль точности пространственного положения ТЛО относительно реперных объектов осуществлялся путем совмещения облаков точек лазерных отражений с реперными объектами. В результате контроля планово-высотная точность положения ТЛО относительно реперных объектов ЖД, вдоль каждого отдельного участка сканирования Северо-Кавказской ЖД, составила 1см (СКО). Наземные работы дополнялись воздушной съемкой, что подчеркивает комплексный характер работ.

#### **Взаимосвязь инфологического моделирования с другими видами моделирования.**

Как показывает опыт, инфологическая модель может быть частной (снимок для анализа или фрагмент карты для анализа) или общей (как метамодель технологий). Инфологическое моделирование тесно связано с другими видами моделирования через качественные отношения и качественный анализ. Инфологическое моделирование диктует предобработку собранной пространственной информации для последующего формирования геоданных. Инфологическое моделирование анализирует и оперирует с геоданными и цифровыми моделями. Это определяет связь инфологического моделирования с цифровыми технологиями и устройствами. Инфологическое моделирование часто является эвристическим и когнитивным. Это определяет эффективность такого моделирования от знаний эксперта. Инфологическое моделирование объединяет совокупность разных технологий. Это дает основание рассматривать инфологическое моделирование как сложную качественную технологическую систему. Это новый тип сложных систем, которые мало исследуются в системном анализе. Инфологическое моделирование при использовании МЛС - это качественная технологическая система анализа и обработки пространственной информации.

Технологии сбора пространственной информации должны иметь информационное

соответствие с инфологическими моделями. Можно выделить специальную технологию инфологического моделирования - инфологическое проектирование. Например, рекогносцировка при инженерных изысканиях и при многих видах геодезического обеспечения является такой технологией. Инфологическое моделирование применяют при комплексном геомониторинге и интегрированном управлении.

Многообразие связей инфологического моделирования с другими технологиями ставят задачу обеспечения комплементарности [36, 37] между ними. Только выполнение условий комплементарности дает возможность интеграции технологий в единую систему. Особенность комплексного геоинформационного моделирования состоит в создании дополнительной инфологической модели, которая предшествует практическим работам по сбору информации и пространственному моделированию. Процесс сбора требует обеспечения единой координатной среды и единства времени при сборе пространственной информации. При массовом сборе информации с помощью МЛС измерения осуществляют непрерывно при перемещении носителя аппаратуры. Это приводит к тому, что понятие точки съемки заменяется понятием непрерывной траектории измерений. Траектория измерений требует предварительного измерения. Это аналог измерения точки фотографирования при фотосъемке. Нахождение технологических аналогов - это прерогатива инфологического моделирования. Модель траектории измерений является метрической, но связанной с инфологической моделью. При моделировании МЛС возникает проблема «больших данных», которая состоит в том, что при сборе информации со всей траектории вычислительных мощностей не хватает для ее обработки. В силу этого, траекторию измерений разбивают на участки, которые дают информационные объемы доступные для обработки. Отсюда вытекает, что проект измеряемой трассы - это не непрерывная модель, а совокупность связанных участков. Особенность пространственного моделирования с МЛС требование специального геодезического обеспечения [3].

### **Заключение**

Инфологическое моделирование объектов транспортной инфраструктуры отличается от других видов моделирования, но оно их дополняет и объединяет. Инфологическое моделирование и инфологическая модель являются средствами качественного анализа. Большинство других технологий используют количественный анализ. Особенностью инфологического моделирования является необходимость использования предварительного качественного кодирования. В тоже время качественный анализ на порядки снижает нагрузку на ЛПП. Инфологическое моделирование в технологиях МЛС выполняет необычные функции технологического и качественного управления измерениями и обработкой. Инфологическое моделирование как технологическая система позволяет решать комплексные задачи, которые не решаются существующими технологиями в геодезии и фотограмметрии, а также при раздельном использовании спутниковых измерений. Технология инфологического моделирования эффективна только для сложных и комплексных технологий. Инфологическое моделирование помогает решать задачи организационного управления, управления цифровой железной дорогой [38-40] и транспортными кибер-физическими системами.

**Список литературы**

1. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.
2. Андреева О. А., Цветков В.В. Цифровое моделирование с применением мобильного лазерного сканирования // Науки о Земле. – 2019. - №2. – С.4-12.
3. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение мобильного лазерного сканирования железных дорог // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.64-76.
4. Цветков В.Я., Андреева О.А. Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры по данным мобильного лазерного сканирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 3. С.354-360.
5. Майоров А.А., Цветков В.Я., Андреева О.А. Трехмерное геоинформационное моделирование при массовом сборе информации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 2. С. 229-236.
6. Андреева О.А., Цветков В.Я., Ознамец В.В. Геоинформационное массовое моделирование // Информация и космос. 2020. - №2. – С.106-112.
7. Цветков В.Я., Андреева О.А., Рогов И.Е., Титов Е.К. Ситуационное моделирование транспортной инфраструктуры при мобильном лазерном сканировании // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 2. С.2-4.
8. Langefors B. Essays on Infology: Summing up and Planning for the Future. – Studentlitteratur, 1995.
9. Backlund A. The emotional grounds of infology: the infological equation revisited //Proceedings of the 45th Annual Conference of the International Society for the Systems Sciences, Asilomar, California. – 2001.
10. Alexandrov V. V. The Colonization. The Informatics. The Infology //Trudy SPIIRAN. – 2013. – Т. 27. – С.263-276.
11. Иванников А.Д., Тихонов А.Н., Соловьев И.В., Цветков В.Я. Инфосфера и инфология. - М: ТОРУС ПРЕСС, 2013. -176с.
12. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
13. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
14. Бахарева Н.А. Информационное взаимодействие в автоматизированных системах мониторинга и кадастра // Славянский форум. - 2012. – 1(1). - С.58-62.
15. Номоконова О. Ю., Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.44-49.
16. Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // Славянский форум, 2016. -2(12). – С.272-276.
17. Barreda-Ángeles M., Aleix-Guillaume S., Pereda-Baños A. Virtual reality storytelling as a double-edged sword: Immersive presentation of nonfiction 360°-video is associated with impaired cognitive information processing //Communication Monographs. – 2020. – С.1-20.
18. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
19. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.268-274.
20. Wang G., Yang J., Xu J. Granular computing: from granularity optimization to multi-granularity joint problem solving //Granular Computing. – 2017. – Т. 2. – №. 3. – С.105-120.
21. 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.
22. García-Holgado A., García-Peñalvo F. J. Learning ecosystem metamodel quality assurance

//World Conference on Information Systems and Technologies. – Springer, Cham, 2018. – С.787-796.

23. García-Holgado A., García-Peñalvo F. J. A metamodel proposal for developing learning ecosystems //International Conference on Learning and Collaboration Technologies. – Springer, Cham, 2017. – С.100-109.

24. Раев В.К. Инфологические модели как инструмент исследования // Славянский форум. - 2020. – 3(29). - С.56-66.

25. The infological model of the database "entity-relationship". Infological modeling. Comparison of methods for building ER-models. <https://redcomrade.ru/en/multimedia/infologicheskaya-model-baz-dannyh-sushchnost-svyaz-infologicheskoe-modelirovanie-sravnienie-metodik-p/> Дата просмотра 02.08.2020.

26. Berild S., Nachmens S. CS4: a tool for database design by infological simulation //Proceedings of the third international conference on Very large data bases-Volume 3. – 1977. – С. 533-533.

27. [https://industry\\_science\\_en\\_ru.academic.ru/55101/infological\\_model](https://industry_science_en_ru.academic.ru/55101/infological_model) Дата просмотра 02.08.2020.

28. Куприянов А. А. Инфологическое моделирование информационного взаимодействия автоматизированных систем //Автоматизация процессов управления. – 2010. – №. 1. – С.69-77.

29. Мицкевич, О.С. Особенности инфологического моделирования лингвистических баз данных / О.С. Мицкевич // Актуальные проблемы современных лингвистических исследований: сб. ст. Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф., Рязань, 17 апреля 2012 г. / Рязанский институт (филиал) Московского государственного открытого университета им. В.С. Черномырдина; под ред. С.Б. Улановой. – Рязань: Узоречье, 2012. – С.286–291.

30. Tsvetkov V. Ya. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design. - 2015, 4 (10), PP.149-158.

31. V.L. Lototsky. Spatial Information Modeling // Modeling of Artificial Intelligence, 2016, 2(10), PP.94-103.

32. Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. - №1 (18). – С.79-88.

33. 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.

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

35. Ознамец В. В. Ситуационное решение задачи пространственного размещения // Геодезия и картография, - 2018. - №9. – С.45-51.

36. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С.103-116.

37. Потапов А. С. Субсидиарность и комплементарность интеллектуальных систем // Славянский форум. -2020. – 1(27). - С.77-86.

38. 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.

39. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.62-68.

40. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.



УДК: 001.895; 629.066; 656.029; 656.3

## **ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DATA SCIENCE НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

- Озеров А.В.** Начальник Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия
- Ольшанский А.М.** К.т.н., Нач. отдела, АО «НИИАС», E-mail: A.Olshansky@vniias.ru,  
Москва, Россия
- Куроптева А.П.** Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Цифровая трансформация систем управления на железнодорожном транспорте предусматривает переход к предиктивному техническому обслуживанию объектов, и это направление сейчас активно развивается в связи с появлением приемов и алгоритмов обработки информации на основе машинного обучения. В работе проведен обзор и анализ существующих подходов и методов обработки структурированных и неструктурированных больших данных в задачах построения системы предиктивного анализа и принятия решения по техническому обслуживанию объектов железнодорожного транспорта. Выполнен анализ общих тенденций создания систем сбора и обработки информации, показана целесообразность внедрения в современные системы управления таких технологий, как Big Data и Data Mining.
- Ключевые слова:** предиктивная аналитика, надежность, безопасность движения поездов, автоматизированная система управления, Big Data, Data Mining, Data Science.

## **PREDICTIVE ANALYTICS USING DATA SCIENCE IN RAILWAY TRANSPORT**

- Ozerov A.V.** Head of International Department, JSC «NIAS»,  
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Olshansky A.M.** PhD., Head of Division, JSC «NIAS», E-mail: A.Olshansky@vniias.ru,  
Moscow, Russia
- Kuropteva A.P.** Chief Specialist of International Department, JSC «NIAS»,  
E-mail: A.Kuropteva@vniias.ru, Moscow, Russia
- Abstract.** The digital transformation of train control systems enables the transition to predictive maintenance of railway facilities that is actively developed due to new data processing tools and algorithms based on machine learning. The article presents a review and an analysis of existing approaches and methods for processing structured and unstructured data in the development of a predictive analysis system and a decision making support system for maintenance of railway infrastructure assets. General trends for development of data collection and processing systems are analyzed; feasibility of Big Data and Data Mining implementation into modern control systems is shown.
- Keywords:** predictive analytics, reliability, railway traffic safety, automated control system, Big Data, Data Mining Science.

## Введение

Железная дорога представляет собой сложную систему («систему систем»), состоящую из связанных между собой объектов (активов), которые имеют определенный жизненный цикл (ЖЦ). Жизненный цикл состоит из последовательности этапов – от проектирования до вывода из эксплуатации и утилизации, – которая обуславливает существующую структуру планирования, управления, проверки и корректировки всех аспектов функционирования объекта железнодорожного транспорта, включая аспекты надежности и безопасности.

Эффективное и своевременное техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и железнодорожной инфраструктуры при этом являются базовыми условиями обеспечения надежности и безопасности перевозочного процесса. Для эффективного управления техническим обслуживанием железнодорожных активов необходимо быстро и четко определять все возможные риски, причины сбоев и отказов, вырабатывать оптимальные решения по техническому обслуживанию, основанные на строгой методологической базе оценки рисков и средствах автоматизированного сбора и обработки информации, минимизирующих участие человека. При этом должен происходить переход от принципов ALARP к упреждающему выявлению опасных объектов и состояний.

Новый этап информационного развития связан с повсеместным переходом к цифровым способам сбора, обработки, структурирования, хранения и передачи данных. Помимо задачи получения данных в режиме реального времени о состоянии всех объектов инфраструктуры и подвижного состава, об отказах железнодорожной техники и транспортных происшествиях, параллельно решается задача дальнейшей их обработки, анализа и принятия решения с использованием методов Data Science и машинного обучения. Общая схема этого процесса показана на рис. 1.

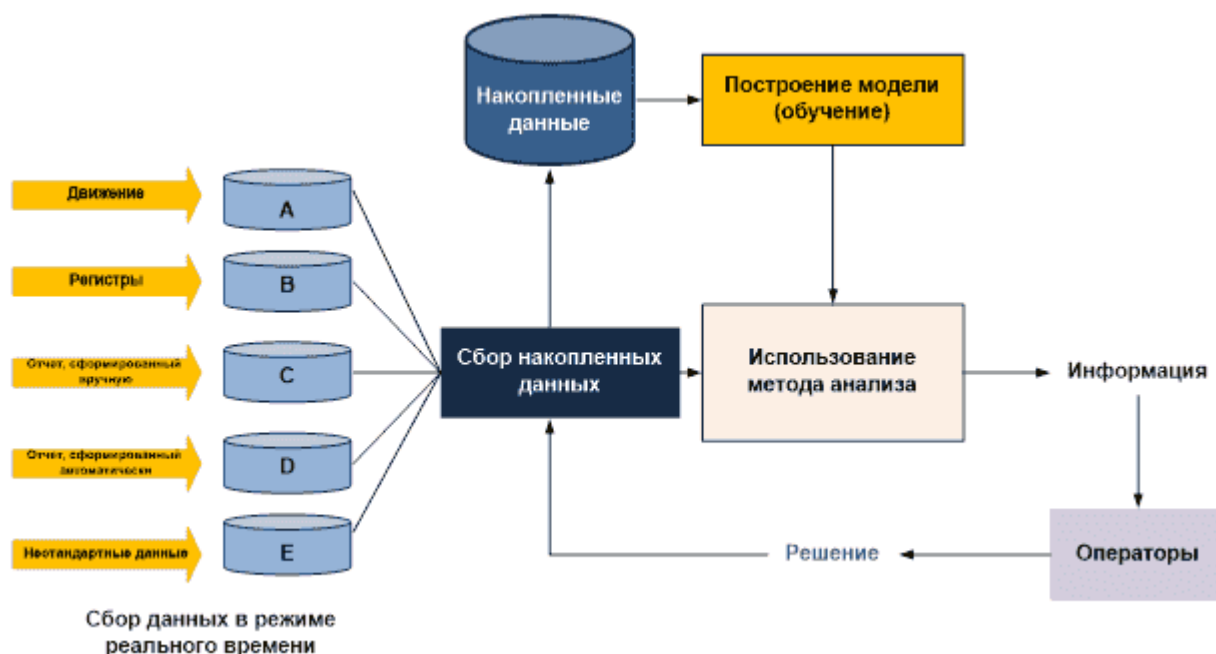


Рисунок 1. Сбор и обработка данных с использованием Data Science

Данные, получаемые с помощью датчиков, устанавливаемых на железнодорожной инфраструктуре и подвижном составе, меток радиочастотной идентификации, видеокамер и других устройств, носят зачастую неструктурированный характер, в связи с чем возникает

проблема хранения, обработки, анализа и конвертации больших объемов полученных данных в управляющие решения. Аналитика больших данных (Big Data Analytics) в этом смысле может стать эффективным способом решения задачи.

#### **Общие принципы и методы аналитики больших данных**

В литературе [1] Big Data, как правило, описывается при помощи пяти V:

1. Объем (Volume) – количество сгенерированных и хранящихся данных.
2. Вариативность (Variety) – тип данных. Большие данные могут состоять из текста, изображений, аудио, видео.
3. Скорость (Velocity) – скорость, с которой данные генерируются и обрабатываются.
4. Вариабельность (Variability) – противоречивость данных, т.е. значение одних и тех же данных может различаться в зависимости от контекста.
5. Достоверность (Veracity) – качество данных, которое напрямую влияет на точность проведения анализа.

Аналитика больших данных представляет собой подходы, инструменты, а также методы обработки структурированных и неструктурированных данных, которые характеризуются значительными объемами, высокой скоростью поступления, а также вариативностью. Технология также служит в качестве инструмента анализа и прогноза рисков, связанных с надежностью и безопасностью.

Существует целый ряд подходов к анализу больших данных, отличающихся уровнем сложности работы с информацией и степенью человеческого участия:

1. Описательная аналитика (Descriptive Analytics): отвечает на вопрос «Что случилось?» и представляет собой простой статистический метод, который описывает, что содержится в наборе данных или базе данных. Примерами такой аналитики служат технологии OLAP (интерактивная аналитическая обработка), EAI (интеграция корпоративных приложений), EИ (интеграция корпоративной информации), ETL (ПО для извлечения, преобразования и загрузки данных) с панелями управления для отображения информации в режиме реального времени.

2. Диагностическая аналитика (Diagnostic Analytics): отвечает на вопрос «Почему это случилось?». В ней используются статистические методы анализа данных с целью их кластеризации, классификации, детализации и обнаружения корреляции, чтобы выявить основные факторы влияния на результаты. Диагностическая аналитика используется для мониторинга состояния объектов, определения неисправностей.

3. Предиктивная аналитика (Predictive Analytics): отвечает на вопрос «Что может случиться?», прогнозирует неизвестные события в будущем на основе накопленной информации. Здесь используется множество методов: математическая статистика, моделирование, машинное обучение, интеллектуальный анализ данных (Data Mining).

4. Прескриптивная аналитика (Prescriptive Analytics): отвечает на главный вопрос «Что делать?», производит анализ всех накопленных и обработанных данных для поиска наилучшего решения для конкретной ситуации.

Для управления большими данными используется множество программных инструментов, которые позволяют вести параллельную обработку и загрузку данных (Таблица 1) [2]:

Ключевая сложность аналитики больших данных состоит в их высоком разнообразии, гетерогенности, неструктурированности, зашумленности и избыточности. Помимо данных, поступающих от киберфизических систем (сенсоров, видеокамер, RFID-ридеров, соединенных посредством IoT), генерируются огромные объемы данных в продолжении ЖЦ производства (от начальных технических требований до технического обслуживания и взаимодействия с потребителями), а также бизнес-данные (от структуры до коммерческих показателей предприятия).

Таблица 1.

## Ключевые инструменты аналитики больших данных

| Ключевые функции                  | Инструмент                                    | Характеристика   |
|-----------------------------------|---|--|
| Управление хранением данных       | Распределенная файловая система Hadoop (HDFS) | Используется для хранения большого количества данных. Система является надежной и отказоустойчивой.  |
| Управления большими базами данных | NoSQL   | Нереляционная база данных для хранения и управления структурированными и неструктурированными данными.   |
|                                   | Hbase   | Масштабируемая и распределенная база данных, предназначенная для хранения структурированных данных в виде таблицы, которая может масштабироваться до петабайта.  |
|                                   | Cassandra                                     | Распределенная система управления базами данных, рассчитанная на создание высокомасштабируемых и надежных хранилищ огромных массивов данных, представленных в виде хэша.   |
|                                   | Apache Hive                                   | Распределенное хранилище данных. Позволяет выполнять запрос, агрегировать и анализировать данные, используя SQL синтаксис.   |
|                                   | Sqoop   | Инструмент для передачи данных между кластерами Hadoop и реляционными базами данных.   |
|                                   | Apache Spark                                  | Платформа параллельной обработки с открытым кодом, которая поддерживает обработку в памяти, чтобы повысить производительность приложений, анализирующих большие данные.  |
| Обработка больших данных          | MapReduce                                     | Модель распределенных вычислений, используемая для параллельной обработки больших объемов информации.  |
|                                   | YARN  | Обеспечивает возможность параллельного выполнения нескольких различных задач в рамках кластера и их изоляцию по принципам мультиарендности.  |
|                                   | Mahout  | Проект с открытым исходным кодом, который в основном используется для создания масштабируемых алгоритмов машинного обучения.   |
|                                   | Oozie   | Механизм планирования потоков работ для платформы Hadoop. Он состоит из двух основных частей: ядра потока операций, которое хранит и запускает потоки операций, состоящие из разных типов заданий Hadoop, и координатора, запускающего задания на основании заранее определенных расписаний и доступности данных. Oozie может управлять выполнением в кластерах Hadoop тысяч потоков операций, включающих в себя десятки заданий |
|                                   | Apache Tez                                    | Платформа, которая позволяет повысить производительность приложений, обрабатывающих большие объемы данных.   |
|                                   | Flink   | Распределенная отказоустойчивая платформа обработки информации с открытым исходным кодом, используемая в высоконагруженных Big Data приложениях для анализа данных, хранящихся в кластерах Hadoop.   |
|                                   | Flume   | Распределенная, надежная служба высокой готовности для сбора, накопления и перемещения в централизованное хранилище больших объемов потоковых данных, получаемых из множества источников.  |
|                                   | Pig   | Платформа для обработки больших объемов данных с помощью скриптов.   |
|                                   | Storm   | Нераспределённая отказоустойчивая вычислительная система с открытым исходным кодом, используемая для обработки потоков данных в реальном времени. Решения Storm могут также обеспечить гарантированную обработку данных и возможность воспроизвести те данные, которые не прошли удачную обработку в первый раз.   |

|   |                              |   |
|---|------------------------------|---|
|   | Zookeeper                    | Централизованная служба для поддержки информации о конфигурации, обеспечения распределенной синхронизации и предоставления групповых служб.   |
|   | Chukwa                       | Платформа сбора данных с открытым исходным кодом для мониторинга распределенных Big Data систем, построенная на базе HDFS и MapReduce, включая масштабируемость и надежность Apache Hadoop.   |
|   | Avro                         | Позволяет сериализовать данные в формате со встроенной схемой. Система сериализации данных, не зависящая от языка программирования. Сериализованные данные представлены в компактном двоичном формате, который не требует генерации прокси-объектов или программного кода               |
| Статистический анализ, программирование и машинное обучение | MLib                         | Библиотека для машинного обучения, предоставляющая различные алгоритмы, разработанные для горизонтального масштабирования на кластере в целях классификации, регрессии, кластеризации, совместной фильтрации и т.д.   |
|   | Язык программирования R      | Язык программирования для статистической обработки данных и работы с графикой, а также программная среда с открытым исходным кодом.   |
|   | Язык программирования Python | Высокоуровневый язык программирования общего назначения. Удобный для пользователя, объектно-ориентированный, гибкий и поддерживающий множество платформ для интеграции с другими системами обработки больших данных, такими как Apache Spark.   |
|   | Язык программирования Scala  | Функциональный язык программирования с набором стандартных библиотек, которые, в том числе, включают функции работы с коллекциями. Стандартная библиотека языка Scala предоставляет возможности по работе с коллекциями данных только в рамках выполнения одного процесса на одном узле |

Дальнейшее развитие методов работы с большими данными сдерживается как отмеченными выше технологическими особенностями, так и ограничениями существующей инфраструктуры сбора и подготовки данных, отсутствием эффективных платформ аналитики больших данных, позволяющих собрать и контекстуализировать разнородные данные и реализовать современные аналитические алгоритмы.

#### **Области применения аналитики больших данных в железнодорожной отрасли**

Технология Big Data представляет огромный интерес для железнодорожной отрасли. На сегодняшний день железнодорожные операторы собирают и анализируют большие объемы данных, генерируемых с помощью датчиков, систем глобального позиционирования, а также многих других устройств. Например, локомотив – это не только транспортное средство, обеспечивающее движущую силу, это также центр обработки данных, который перемещается по железнодорожной сети, собирая и передавая данные в режиме реального времени 24 часа в сутки. Предполагается, что инфраструктура железной дороги в будущем выйдет за рамки физических активов и станет настоящей «цифровой инфраструктурой», которая будет включать в себя оперативную аналитическую обработку данных.

Выделяют, как минимум, пять основных сфер применения технологии Big Data на железнодорожном транспорте [3]:

##### *1. Анализ индивидуального профиля пассажиров*

Сбор и анализ информации о направлениях и предпочтениях пассажиров позволяет железнодорожным операторам совершенствовать сегментацию пассажиров, а также оптимизировать свои услуги: расчет и установка стоимости в режиме реального времени, управление доходами, индивидуальными предложениями, которые в значительной степени зависят от способности собирать и сопоставлять различные многочисленные данные о транспортных предпочтениях, уровне доходов, социальных характеристиках.

##### *2. Прогнозирование пассажирского спроса и транспортное планирование*

Использование аналитики больших данных позволяет национальным транспортным операторам совершенствовать прогнозы пассажирского спроса и планирование будущей сети. Данные, полученные с пассажирских смарт-карт, компьютеров и мобильных телефонов могут улучшить планирование городских железнодорожных сетей и расписания движения, а также эксплуатационные процессы посредством прогнозирования пассажиропотока (понимание того, где пассажир находится в данный момент, количество пассажиров, как долго они будут находиться в том или ином месте, откуда и куда они направляются).

### *3. Оптимизация сети и графика движения*

График движения поездов является основой организации движения железнодорожного транспорта. Считается, что выполнение графика движения поездов напрямую влияет на безопасность эксплуатационных процессов, удовлетворение потребностей пассажиров, а также на экономическую эффективность. При формировании графика движения поездов учитывается большое количество накопленных данных, которые включают в себя данные об условиях эксплуатации железных дорог, станционные интервалы, время хода поездов по перегонам, пропускную способность участков, время стоянки, длину состава, «окна» в движении для выполнения ремонтно-строительных работ и т.д. Оптимизация сети и движения поездов за счет корреляции и обработки данных в режиме реального времени позволяет сократить временные задержки и время простоя, увеличить скорость движения поезда и пропускную способность сети, оптимизировать потребление энергии.

### *4. Предиктивное техническое обслуживание и управление активами*

Существенные изменения и улучшения могут быть достигнуты благодаря использованию предиктивного планирования технического обслуживания, которое позволит сократить затраты, а также повысить уровень безопасности эксплуатационного процесса. В настоящий момент термин «предиктивное техническое обслуживание» является достаточно расплывчатым и не имеет четко сформулированного определения. В [4] под предиктивным техническим обслуживанием понимается техническое обслуживание, осуществляемое с использованием систем мониторинга состояния активов. В [5] предиктивное техническое обслуживание определяется как стратегия контроля отказов, в которой используются данные для прогнозирования того, когда оборудование или его часть выйдет из строя, в целях принятия упреждающих корректирующих действий.

Предиктивное техническое обслуживание стало возможным благодаря высокой степени доступности и низкой стоимости цифровых инструментов (датчиков, вычислительных средств, частотных диапазонов), а также внедрению «умных», взаимосвязанных технологий, которые объединяют цифровые и физические активы.

Согласно [6], на железнодорожном транспорте Швеции технология Big Data применяется для управления линейными активами, в частности для принятия решения о техническом обслуживании инфраструктуры и подвижного состава. Операторы железнодорожной инфраструктуры Швеции работают с данными, полученными из различных источников, несопоставимых по природе и имеющих различную степень детализации. Для структурирования данных, их обработки и анализа железные дороги Швеции используют различные системы сбора данных о времени и прибытии поездов, причинах задержки поезда (Here and Now), системы мониторинга состояния железнодорожных активов (BIS), включая контактные сети, стрелочный перевод, системы мониторинга и контроля окружающей обстановки (RWIS), осуществляющие сбор информации о температуре воздуха, влажности воздуха, типе и количестве осадков, системы учета и регистрации отказов железнодорожных активов (OFELIA) и др. По итогам анализа данных железнодорожные операторы могут принять эффективное решение по проведению технического обслуживания.

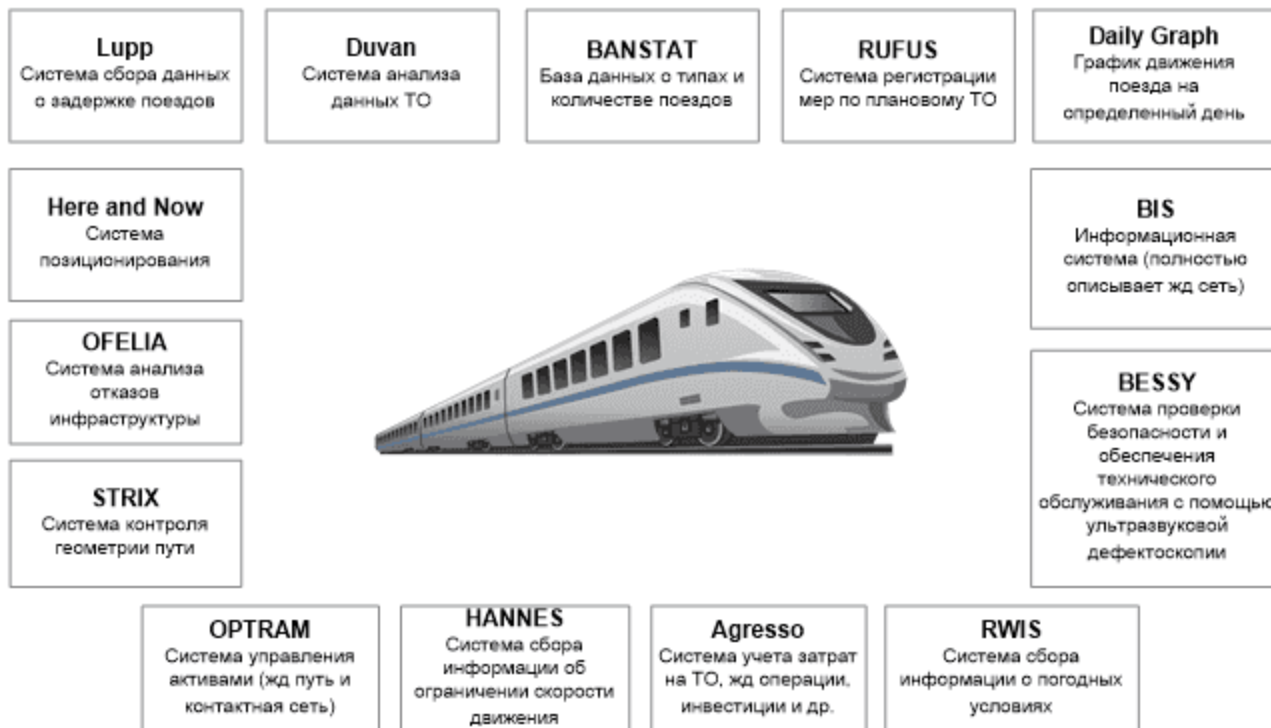


Рисунок 2. Управление данными на железных дорогах Швеции

В [7] описывается опыт итальянской компании Trenitalia, которая работает с SAP для разработки динамической системы управления техническим обслуживанием (DMMS). Система обеспечивает экономию от 8% до 10% на обслуживание. При этом сотни датчиков собирают данные в режиме реального времени (от тормозных систем до систем управления дверьми), загружая их в облако SAP каждые десять минут. После того, как данные попадают в облако, они анализируются с использованием программного обеспечения интеллектуального и технического обслуживания, затем обрабатываются посредством интеллектуальной аналитики SAP HANA. Ключевые показатели, а также данные диагностики и управления доступны инженерам и отображаются в режиме реального времени: количество поездов, находящихся на техническом перерыве, оповещения о необходимости технического обслуживания, положение поездов на путях или количество пассажиров. Таким образом, Trenitalia может создавать прогностические модели, используя машинное обучение.

##### 5. Предиктивная аналитика для мониторинга безопасности и анализа рисков

Анализ и оценка рисков находятся в непосредственной связи с предиктивным техническим обслуживанием. В [8] анализ риска – это систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска. Согласно [9] для оценки предельного состояния железнодорожных активов необходимо выполнить оценку риска нарушения безопасности. В случае если риск превысит допустимый уровень, необходимо провести техническое обслуживание подвижного состава или железнодорожной инфраструктуры в целях предотвращения или минимизации возникновения инцидентов.

Согласно [10] в Великобритании разработана модель оценки рисков безопасности на железнодорожном транспорте (SRM), в основу которой положены различные инструменты сбора, обработки и анализа данных. Данная модель позволяет спрогнозировать вероятность возникновения происшествий на железнодорожном транспорте на основе исторических данных.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование аналитики больших данных в

железнодорожной отрасли находится на раннем этапе развития. Применительно к железнодорожному транспорту в основу данной технологии должны быть заложены принципы обеспечения безопасности и надежности с применением методологии обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS). Применение аналитики больших данных в железнодорожной отрасли позволит осуществлять оценку рисков железнодорожных активов, выявлять аномалии в значениях показателей в режиме реального времени, а также предсказывать вероятность возникновения опасных событий.

#### **Переход к предиктивному техническому обслуживанию**

В литературе [11] принято выделять 4 основные категории технического обслуживания транспорта:

- Реактивное техническое обслуживание.
- Плановое техническое обслуживание.
- Проактивное техническое обслуживание.
- Предиктивное техническое обслуживание.

Реактивное техническое обслуживание подразумевает ремонт и восстановление железнодорожных активов только после того, как они выйдут из строя или выработают свой ресурс. Такая стратегия технического обслуживания позволяет максимально использовать ресурсы активов, однако такое обслуживание имеет свои недостатки: вероятность внеплановых простоев из-за внезапных отказов оборудования, а также дорогостоящий ремонт вышедшего из строя оборудования.

Плановое техническое обслуживание в настоящее время является наиболее распространенной практикой, однако данное решение сокращает полезный срок службы компонентов, поскольку происходит их ранняя замена, и подразумевает проведение ненужных операций по техническому обслуживанию, которые планируются заранее.

Проактивное техническое обслуживание представляет собой регулярно запланированную замену и ремонт активов. Данное обслуживание направлено на снижение общего объема требуемого технического обслуживания и максимизацию ЖЦ активов.

Существенные изменения и улучшения могут быть достигнуты благодаря использованию предиктивного планирования технического обслуживания, которое позволит сократить затраты, а также повысить уровень безопасности эксплуатационного процесса.

Комплексная система предиктивного технического обслуживания в настоящее время может быть построена благодаря возможности получения данных о состоянии железнодорожных активов в режиме реального времени, а также применения технологий сбора и анализа данных (Big Data, Data Mining), средств прогнозирования отказов и т.д. На рисунке 3 представлена схема реализации предиктивного технического обслуживания с учетом RAMS и стоимости ЖЦ объектов (LCC).

#### **Первый этап – анализ данных**

В рамках данного этапа происходит сбор данных, включающих в себя данные о техническом состоянии и отказах инфраструктуры и подвижного состава (локомотивы, вагоны, спецтехника), выполняемых технологических операциях на данной инфраструктуре, потреблении материально-энергетических ресурсов, информацию о внешней среде, в которой функционируют железнодорожные активы и др. [12].

В 2016 году Европейское железнодорожное агентство (ERA) выпустило «Отчет о происшествиях на железных дорогах Европейского Союза» (Big Data in Railways: Common Occurrence Reporting Programme), в котором в качестве ключевого инструмента в задачах диагностики и мониторинга железнодорожных объектов и устройств рассматривается технология Big Data. В данном документе сделана попытка структурирования данных, а также применения технологии Big Data в качестве инструмента анализа и прогноза рисков, связанных с безопасностью, с учетом всех накопленных данных о параметрах подвижного состава, состояния железнодорожной инфраструктуры и т.д. При этом авторы отмечают, что



применение данной технологии на железнодорожном транспорте малоизучено, и поэтому не могут определить конкретный подход по обеспечению безопасности на железных дорогах с помощью технологии Big Data для профилирования рисков и анализа возникновения отказов.

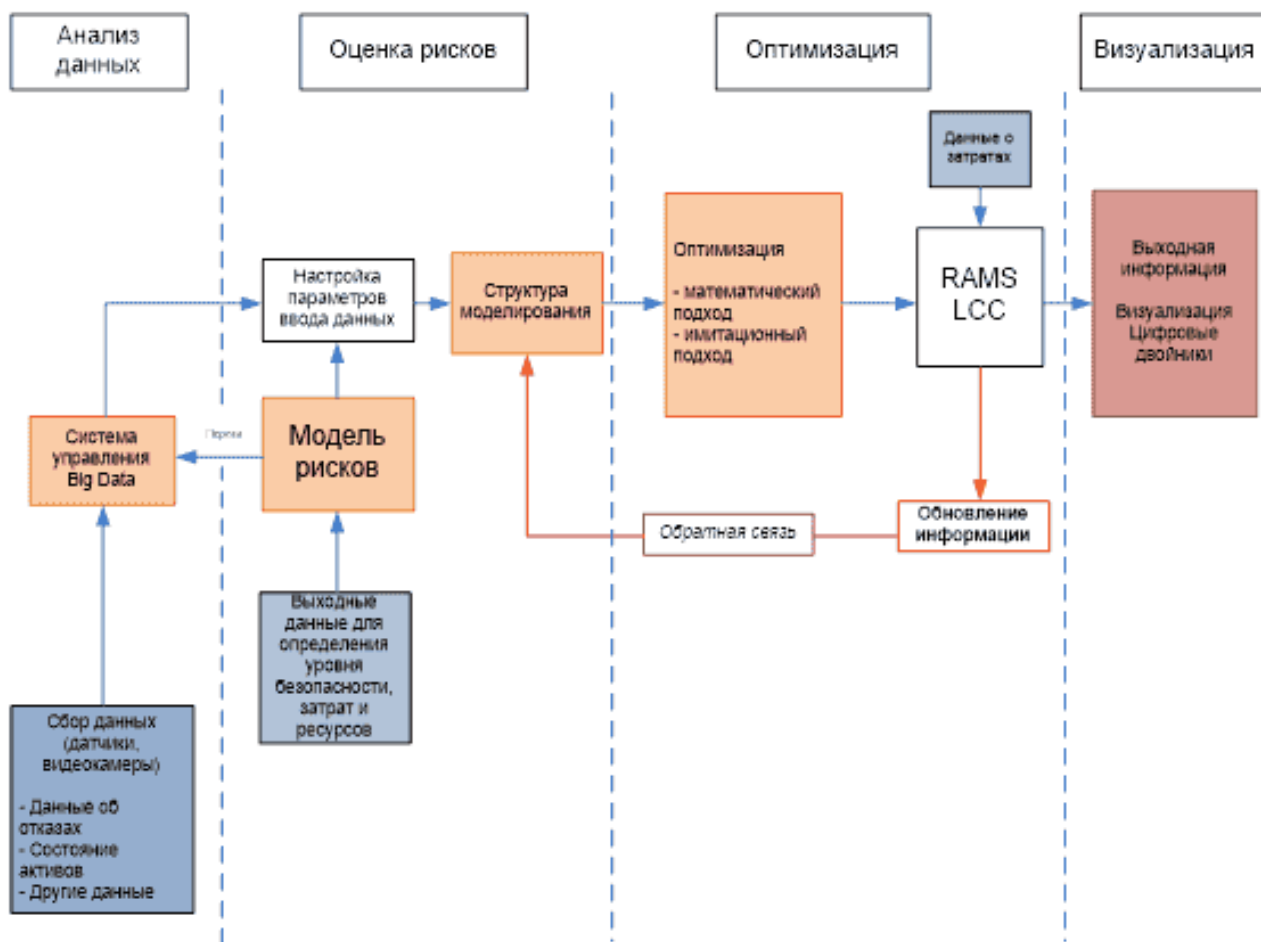


Рисунок 3. Основные этапы реализации предиктивного технического обслуживания

В 2016 году Европейское железнодорожное агентство (ERA) выпустило «Отчет о происшествиях на железных дорогах Европейского Союза» (Big Data in Railways: Common Occurrence Reporting Programme), в котором в качестве ключевого инструмента в задачах диагностики и мониторинга железнодорожных объектов и устройств рассматривается технология Big Data. В данном документе сделана попытка структурирования данных, а также применения технологии Big Data в качестве инструмента анализа и прогноза рисков, связанных с безопасностью, с учетом всех накопленных данных о параметрах подвижного состава, состояния железнодорожной инфраструктуры и т.д. При этом авторы отмечают, что применение данной технологии на железнодорожном транспорте малоизучено, и поэтому не могут определить конкретный подход по обеспечению безопасности на железных дорогах с помощью технологии Big Data для профилирования рисков и анализа возникновения отказов.

Кроме того, необходимо понимать, что железнодорожная система представляет собой взаимодействие человека и технических систем. Большой объем накопленных данных может помочь определить функциональные модели и модели по определению возможных происшествий, которые могут быть усовершенствованы с помощью технологии Big Data,

однако это невозможно сделать без наличия квалифицированных специалистов, владеющих не только методами Data Science, но и понимающих специфику железнодорожной отрасли и, в первую очередь, то, что напрямую связано с вопросами надежности и безопасности.

Основные выводы, сделанные Агентством в документе, таковы:

- 1) Для реализации концепции Big Data требуются высококвалифицированные специалисты и эксперты в железнодорожной области для проверки построенных моделей с помощью программ машинного обучения;
- 2) С помощью технологии Big Data невозможно конвертировать системы с ручным вводом данных в автоматические;
- 3) С помощью технологии Big Data невозможно обрабатывать и создавать информацию без необходимых данных [13].

**Второй и третий этапы – моделирование и оптимизация**

На основе накопленных и обработанных данных (технология Big Data) о состоянии объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава, данных об эксплуатационных процессах и опасных событиях и отказах инфраструктуры создается модель рисков, которая позволит в условиях дефицита финансовых средств увеличить назначенный срок службы железнодорожных активов. Данная модель может совершенствоваться посредством машинного обучения, позволяющего получать комплексные и более точные прогнозы возникновения различного рода событий, отказов.

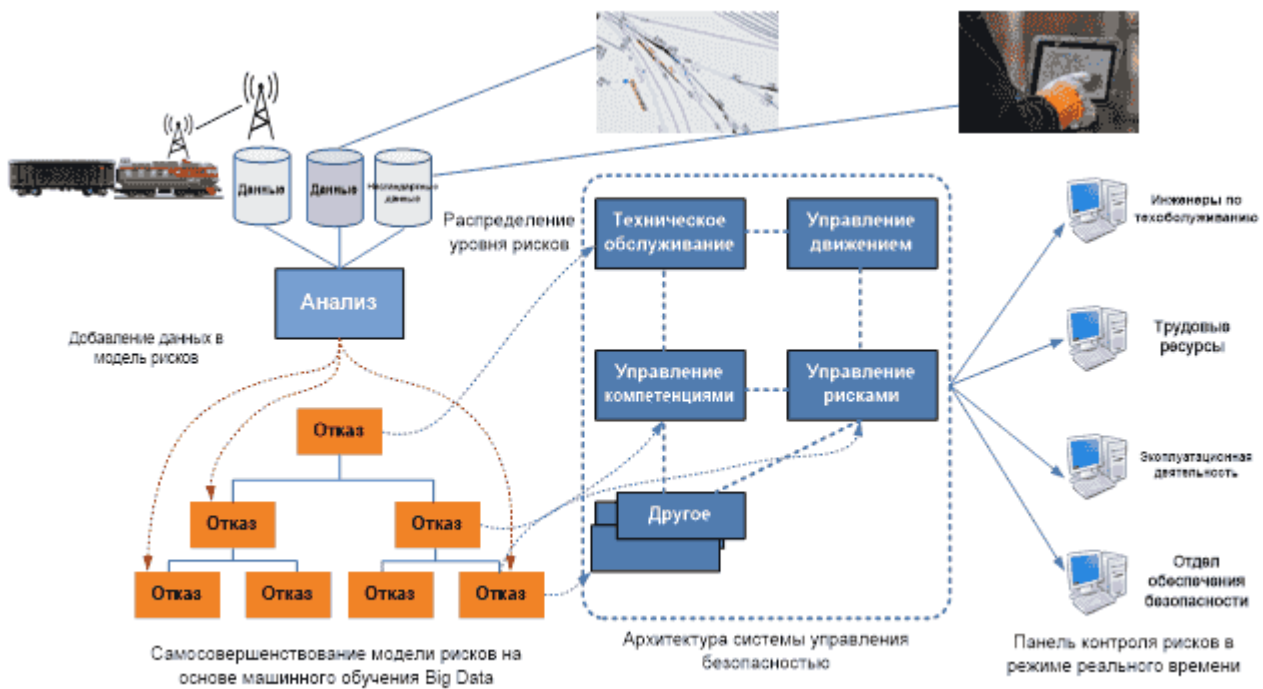


Рисунок 4. Моделирование рисков в составе комплексной системы предиктивной аналитики

В ОАО «РЖД» подобный подход реализуется в рамках проекта УРРАН (управление ресурсами, рисками и надежностью на стадиях ЖЦ объектов инфраструктуры и подвижного состава). В проекте УРРАН решаются задачи оптимизации управления ресурсами на основе эксплуатационных показателей надежности и безопасности с учетом оценки рисков. Данный

проект сочетает в себе применение новых информационных технологий поддержки принятия решений и существующие системы сбора и анализа данных [14].

#### **Четвертый этап – визуализация**

Развитие цифровых технологий ведет к необходимости описания железнодорожных объектов в цифровом формате, то есть создание цифровых двойников. В настоящее время термин «цифровые двойники» применяется преимущественно относительно производственного процесса. Впервые это понятие появилось в 2002 году. По своей сути цифровые двойники – это виртуальное воспроизведение рабочего состояния реального физического объекта, процесса и системы. Цифровые двойники являются собирательной технологией, в основу которых включены облачные хранилища данных, Интернет Вещей и машинное обучение [15]. Среди основных преимуществ создания таких двойников является скорость принятия технических решений и снижение стоимости получения требуемых характеристик актива. С помощью цифрового двойника можно сократить количество натурных испытаний, число попыток отработки техпроцессов и т.д.

Технология цифровых двойников находится на начальном этапе и опыта ее применения недостаточно для полного законодательного оформления и выработки профессиональных стандартов. Среди основных проблем внедрения данной технологии на железнодорожном транспорте является обеспечение информационной безопасности. Основными угрозами являются деструктивные воздействия на программную среду в виде компьютерных атак, воздействия вирусов, несанкционированного доступа и т.д. Кроме того, внедрение цифровых двойников приводит к появлению нового вида угроз, связанного с адекватностью цифровой модели реальным исполнительным механизмам.

В целом, использование предиктивного технического обслуживания на железнодорожном транспорте с использованием современных цифровых инструментов, включая цифровые двойники, моделирование, методы Data Science, потенциально имеет целый ряд преимуществ:

- повышение надежности, снижение простоев, повышение эксплуатационной готовности;
- увеличение ЖЦ эксплуатируемых железнодорожных объектов;
- снижение расходов за счет оптимизации ремонта;
- снижение вероятности отказов с серьезными последствиями для безопасности;
- создание базы знаний по истории технического обслуживания и ремонтов (решения о техническом обслуживании являются подтвержденными, документированными и пригодными для контроля и аудита).

По оценкам авторов исследования [16], с помощью аналитики больших данных можно контролировать состояние следующих железнодорожных компонентов (см. Табл. 2):

Благодаря предсказанию будущего развития состояния контролируемых элементов инфраструктуры появляется возможность совершенствования планирования мероприятий по техническому обслуживанию.

Сокращение, как правило, дорогостоящих срочных мероприятий может способствовать повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта, поскольку сокращение времени задержки подвижного состава из-за неисправностей пути означает сокращение затрат для инфраструктурных компаний-операторов и повышение комфорта для пассажиров.

Таблица 2.

Применение аналитики больших данных с прогнозированием состояния ключевых железнодорожных активов

| Компонент                                 | Типы датчиков   | Аналитический подход   |
|---|---|--|
| Мониторинг состояния рельса               | Датчики, установленные на транспортном средстве.  | Аналитика в режиме реального времени, сравнение полученных данных с моделями для оценки отклонений геометрических параметров пути. Данные об окружающей обстановке могут быть использованы для определения даты и времени проведения диагностики состояния пути. |
| Мониторинг состояния подвижного состава   | Датчики, установленные на транспортном средстве и пути; определение ползунов в колесной паре за счет датчиков ударов.   | Аналитика в режиме реального времени. Информация о пороговом аварийном сигнале направляется поезвному диспетчеру в режиме реального времени для планирования и проведения технического обслуживания.   |
| Мониторинг провисания контактного провода | Датчики, установленные на транспортном средстве и пути; провисание измеряется по отклонению от известной высоты с использованием изображений, полученных с помощью видеонаблюдения. | Аналитика изображений, полученных с датчиков и видеокамер, в режиме реального времени. Данные об окружающей обстановке могут быть использованы для определения даты и места провисания контактного провода.  |
| Мониторинг состояния стрелочного привода  | Напольные акустические датчики  | Аналитика в режиме реального времени для обнаружения аномалий (дефекты изолирующего стыка, недостаточное скольжение стрелочной подушки, блокирование замка стрелочного перевода и др.).  |
| Обнаружение объектов на пути              | Датчики, установленные на транспортном средстве, с использованием видеонаблюдения для обнаружения посторонних объектов на пути.   | Аналитика в режиме реального времени с использованием сверточной нейронной сети.   |

### Заключение

В современном мире функционирование любой протяженной транспортной системы автоматически приводит к наличию потока информации, которая тем или иным образом может быть учтена при управлении. Основные составляющие такого информационного потока:

- данные о техническом состоянии и отказах инфраструктуры, обновляемые с заданной периодичностью (путевая инфраструктура, средства СЦБ);
- информация о выполняемых технологических операциях на данной инфраструктуре;
- информация о динамике состояния подвижного состава (локомотивов, вагонов, спецтехники как в плане исправности и ремонтов, так и в плане выполненных с ними технологических событий);
- данные о потреблении материально-энергетических ресурсов;
- косвенная информация о внешней среде, в которой функционирует система и др.

С учетом масштабов сети железных дорог и даже отдельных полигонов, такой объем разнородной информации может быть охарактеризован как Big Data. Следовательно, требует решения сложная научно-техническая задача – синтезировать многокритериальное

предиктивное управление пространственно-распределенной системой на основе интеллектуальной обработки Big Data [17]. При этом должны одновременно и в равной степени успешно решаться четыре крупных блока взаимосвязанных задач, связанных с анализом данных, оценкой рисков, оптимизацией и визуализацией выходных данных, с учетом выполнения требований RAMS и стоимости ЖЦ объектов (LCC).

Активное внедрение цифровых технологий на железнодорожном транспорте неизбежно ведет к необходимости создания и совершенствования комплексных систем поддержки принятия управленческих решений нового поколения на основе предиктивной аналитики. Поэтому дальнейшее развитие видится в следующих общих направлениях:

1. Переход от систем дескриптивной природы к системам поддержки принятия решений, основанным на использовании Big Data, с решением многокритериальных задач обработки неструктурированных или плохо структурированных данных.

2. Интеграция методов создания «цифровых двойников» железной дороги и различных инструментов интеллектуального анализа данных, например, искусственных нейронных сетей.

3. Переход к адаптивному планированию и управлению всеми аспектами транспортного комплекса.

### Список литературы

1. ISO/IEC JTC 1. Information Technology. Big Data. Preliminary Report 2014, Switzerland. 31p.
2. Ifeyinwa, A.A., Nweke, F.N. Big Data and Business Analytics: Trends, Platforms, Success Factors and Application; MDPI. Rev. 2019, 3, 32,16-19.
3. Big Data Analytics (S183): Knowledge search report prepared for: CIO Forum. Rail Safety and Standards Board (RSSB), Version 2, 2014. – 49p.
4. ISO 13372:2012(en) Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary. Edition 2. P. 15.
5. WP4: Technical Challenge: Requirements, Specifications, and Standardization. D4.6a: Standardization Plan and Status Report – Vs:1.0.6. 2019. ZDMP.
6. Thaduri, A. Railway assets: A potential domain for big data analytics [Text] / Adithya Thaduri, Diego Galar, Uday Kumar; Lulea University of Technology, Lulea, Sweden. // Procedia Computer Science. – 2015. – Volume 53. – P.457-467.
7. Fraga-Lamas, P. Towards the Internet of Smart Trains: A Review on Industrial IoT-Connected Railways [Text] / Paula Fraga-Lamas, Tiago M. Fernández-Caramés, Luis Castedo; Universidade da Coruña, Spain. // MDPI, Sensors. – 2017. – Volume 17. – P.18-19.
8. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте [Текст]: Утверждена старшим вице-президентом ОАО «РЖД» Гапановичем В.А. от 31.07.2010. – Москва. – 2010.
9. Замышляев, А.М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта [Текст]: дис. ...д.т.н. / А.М. Замышляев. – М., 2013. – 340с.
10. Research on Risk models at the European Level, Final Report [Text] / European Railway Agency, Rev. 2, 2015. – P.24.
11. Vincent, F.A. Challenges and Reliability of Predictive Maintenance. Rhein-Waal University of Applied Sciences. Germany, March 2019. 16p.

12. Замышляев, А.М. Предпосылки для создания цифровой системы управления безопасностью движения [Текст] / А.М. Замышляев. – М.: Надежность, 2019. – 143с.

13. Big Data in Railways: Common Occurrence Reporting Programme. – European Railway Agency, 2016. – 25p.

14. Шубинский, И.Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН [Текст] / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев // Надежность. – 2012. – № 3. – С.3-12.

15. Курганова, Н.В. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства [Текст] / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – № 5 (7). – С.106-107.

16. Zhang, T., McMahon, P., Dwight, R. Requirements for Big Data Adoption for Railway Asset Management; IEEE Access, 2020, 8, 15-16.

17. Розенберг, Е.Н. О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data [Текст] / Е.Н. Розенберг, М.Г. Лысиков, А.В. Озеров, А.М. Ольшанский // Техника железных дорог. – 2018. – № 1 (41). – С.32-33.

УДК: 334.71: 656: 338.245

## **ВИДЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Охотников А.Л.** Заместитель руководителя Центра, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** Рассматриваются актуальные и перспективные системы технического зрения (СТЗ) на железнодорожном транспорте, применяемые для управления поезда в автоматизированном и автоматическом режиме с соблюдением требований транспортной безопасности. Дано описание бортовых и инфраструктурных СТЗ, вводятся понятия платформенные и стационарные СТЗ. Описаны системы, в которых применяются СТЗ для задач мониторинга и диагностики состояния железнодорожных объектов и механизмов, а также для контроля технологических операций и физического состояния работников. Приведены основные ситуации, в которых работают эти технические системы.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, системы технического зрения, автоматическое управление, машинист-оператор.

## **TYPES OF TECHNICAL VISION SYSTEMS USED IN RAILWAY TRANSPORT**

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

**Annotation.** Are discussed the current and promising technical vision systems (TVS) in railway transport, used to control trains in an automated and automatic mode, in compliance with transport safety requirements. A description of onboard and infrastructural TVSs is given, the concepts of platform and stationary TVSs are introduced. Systems are described in which TVS are used for monitoring and diagnosing the state of railway facilities and mechanisms, as well as for monitoring technological operations and the physical condition of workers. The main situations in which these technical systems operate are given.

**Keywords:** railway transport, technical vision systems (TVS), automatic control, train driver-operator.

### **Введение**

В Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 г. выделены основные направления цифровизации, автоматизации и роботизации деятельности холдинга, в результате внедрения которых будет возможно достижение целевого состояния, которое принципиально отличается от текущего за счет появления новых автономных систем, способных самостоятельно, решать поставленные человеком задачи. Одним из основных инструментов для появления таких кибер-физических систем в составе цифровой железной дороги является система технического (машинного) зрения (СТЗ) [1,2].

Для обеспечения требований безопасности как при управлении поездом, так и транспортной безопасности для пассажиров, которые находятся на объектах железнодорожной инфраструктуры, необходимо внедрение новых технических средств, осуществляющих

контроль ситуации в местах где располагаются пассажиры и/или движется поезд, прогнозирование возможных сценариев исходя из текущей информационной ситуации [3].

Применение технического (машинного) зрения имеет ряд преимуществ перед человеческим, а именно точность распознавания информации до 98% (у человека – до 70%), концентрация внимания – постоянная (у человека – падает каждые 1,5 часа, к концу дня стремится к 0), работоспособность – 24/7/365, хотя необходим перерыв на ТО (у человека – отдых каждые 8 часов), память – большой объем с выдачей статистики (у человека – ограничена способностями, избирательна, краткосрочна), контроль – все объекты в области сканирования (у человека – в поле зрения от 3 до 7 объектов).

Исходя из этого следует, что область применения сложных технических систем, к которым относится система технического зрения (СТЗ), достаточно широк. Рассмотрим некоторые из них в сфере железнодорожного транспорта.

#### **Описание систем технического зрения**

Для обеспечения безопасного управления поездом в автоматизированном или автоматическом режиме, а также для контроля за свободностью рельсового пути необходимо применять как бортовые (устанавливаемые на подвижной состав), так и инфраструктурные (расположенные на объектах инфраструктуры) системы технического зрения. Данные системы работают независимо друг от друга и осуществляют непрерывный обмен информацией с автоматизированной системой управления движением.

Бортовая СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на борту локомотива (электропоезда) для обеспечения безопасного управления поездом как в автоматизированном, так и автоматическом режиме, за счет снижения человеческого фактора и повышения качества обнаружения объектов-препятствий в любых погодных условиях на прямых участках пути. Бортовые СТЗ можно разделить на подсистемы обнаружения препятствий, мониторинга и контроля состояния машиниста и технических систем поезда.

Основные функции бортовой системы технического зрения:

1. Обнаружение пути следования.
2. Обнаружение препятствий в габарите подвижного состава.
3. Обнаружение и распознавание объектов, представляющих потенциальную угрозу.
4. Обнаружение видимых сигналов (огни светофоров, сигнальные знаки, диски, щиты, ручные сигналы работников железнодорожного транспорта и т.д.).
5. Выявление физического состояния машиниста и проверка его бдительности.
6. Контроль и мониторинг технического состояния бортовых систем, блоков и модулей.
7. Передача информации об обнаруженных неисправностях, препятствиях или сигналах в микропроцессорную систему управления и диагностики (МПСУиД), систему безопасности локомотива (БЛОК) и диспетчерам для принятия необходимых мер, включая снижение скорости (служебное или аварийное торможение), остановку или выполнению иных требований видимых сигналов и/или решений диспетчера или машиниста-оператора дистанционного управления.

Обнаружение препятствий должно осуществляться на дистанции, превышающей тормозной путь поезда при его текущей максимальной скорости движения на участке пути.

Бортовая СТЗ должна включать в себя несколько зон обнаружения препятствий, определяемых дальностью работы датчиков СТЗ. Для различных типов тягового подвижного состава (ТПС) эти зоны имеют различные расстояния, исходя из условий эксплуатации и скорости данного вида ТПС. Так для маневровых локомотивов дистанция устанавливается на уровне 150-200м, электропоездов до 600м и магистральных локомотивов до 1500 м [4].

Бортовая система технического зрения устанавливается непосредственно на подвижной состав – локомотив или в каждый головной вагон электропоезда для осуществления контроля



свободности пути перед подвижным составом на необходимой для каждого ТПС дистанции.

В состав бортовой системы технического зрения входит следующее оборудование:

- видеокамеры – моно и стерео;
- тепловизоры (камеры инфракрасного спектра);
- лидары (лазерные сканеры);
- вычислитель.

Сенсоры (датчики) бортовой СТЗ контролируют разные зоны по дальности действия самих датчиков - дальняя зона контроля (за счет длиннофокусных камер (от 100мм и выше), средняя зона (за счет камер с объективом 25-50 мм и тепловизоров) и ближняя зона (за счет видеокамер с объективом 12- 25 мм и лидаров). Тепловизор обычно используется на средней дистанции для определения препятствий в плохих погодных условиях.

Для надежности работы при обнаружении препятствий необходимо взаимное перекрытие между ближней и средней зонами, средней и дальней зонами.

Обработка данных с сенсоров технического зрения осуществляется в специальном вычислителе с мощным графическим процессором. Быстродействие и мощность вычислителя влияет на качество и скорость распознавания объектов –препятствий.



Рисунок 1. Вверху: расположение датчиков СТЗ на локомотиве вид спереди; внизу: вид датчиков со схемой обнаружения препятствий

Алгоритм работы бортовой СТЗ можно описать следующим образом: в процессе функционирования система технического зрения локомотива (электропоезда) осуществляет контроль всех объектов, находящихся в ее поле зрения. При этом для СТЗ определены три зоны для обнаружения объектов-препятствий:

- охранная зона (соответствует габариту подвижного состава с заранее определенным допуском в большую сторону) – красная зона;

- зона бдительности (находится в непосредственной близости от рельсового пути, но за пределами охранной зоны, определяется исходя из средней путевой скорости движения по данному участку) – желтая зона;

- зона безопасности (за пределами зоны бдительности) – оранжевая зона.

Информация об обнаруженных объектах передается через общую шину Ethernet в систему управления электропоезда МПСУиД, а также в БРУС-МК, который преобразует информацию и, далее, передает ее в систему безопасности БЛОК через шину CAN. Кроме того, указанная информация передается в блок МССДУ для передачи по беспроводному каналу связи в Центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ).

МПСУиД на основании полученной информации осуществляет непосредственное воздействие на органы управления электропоезда в случае обнаружения:

- препятствия в охранной зоне – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также прицельную остановку электропоезда перед препятствием;
- препятствия в зоне бдительности – осуществляет подачу звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также снижение скорости и проследование головным вагоном препятствия с уменьшенной скоростью;
- видимых сигналов – осуществляет выполнение требований указанных сигналов (например, опускание токоприемника, снижение скорости, остановка, подача звукового сигнала и т.д.).

БЛОК осуществляет контроль за соблюдением МПСУиД скорости на основе данных, полученной от бортовой СТЗ информации. В случае, если МПСУиД после получения информации о наличии препятствия не принимает никаких мер по снижению скорости, система безопасности БЛОК применяет автостопное торможение [5].

В случае автоматического управления переданные в ЦДКУ данные об обнаруженном препятствии направляются машинисту-оператору, ответственному за участок, на котором обнаружено препятствие. На основании полученной информации машинист-оператор может:

- перевести электропоезд на режим дистанционного управления и осуществлять ведение поезда вручную;
- дать разрешение системе управления на продолжение движения в автоматическом режиме (в случае, если обнаруженное препятствие было ложным или было устранено после остановки электропоезда);
- направить на место остановки электропоезда оперативный ремонтный персонал или сотрудников транспортной безопасности.

СТЗ для мониторинга и контроля состояния машиниста, состоящие из видекамеры и вычислителя устанавливаются напротив рабочего места машиниста и оценивают его психофизическое состояние и осуществляют контроль бдительности. В случае выявления состояния машиниста недостаточного для управления поездом (усталость, сон, алкогольное, наркотическое опьянение и т.д.) система формирует звуковой и световой сигнал и, если после этого машинист не сможет продолжать движение, формируется управляющее воздействие через МПСУиД на усилитель электропневматического клапана тормозов. При отключении питания электропневматического клапана происходит экстренное торможение поезда.

Бортовая СТЗ для мониторинга и контроля технических систем поезда располагается в местах контроля за особо важными узлами и агрегатами для визуального наблюдения посредством видекамер и обработки полученных изображений вычислителем. В случае расхождений технических параметров от установленных, система сигнализирует об этом машинисту и/или диспетчеру для принятия необходимых мер по ремонту или ТО данного узла.

### **Инфраструктурная система технического зрения**

Инфраструктурная СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на железнодорожной инфраструктуре (вдоль путей, на платформах, переездах) для обеспечения безопасного прохождения поезда в зонах повышенной опасности, когда бортовая СТЗ не позволяет определить объекты-препятствия на необходимом расстоянии, которое должно быть больше, чем тормозной путь. Таким образом, инфраструктурные системы технического зрения обеспечивают контроль за так называемыми «мертвыми зонами», которые не контролируются как визуально машинистом, так и иными бортовыми техническими системами. Инфраструктурная СТЗ можно разделить на стационарную СТЗ и платформенную СТЗ.

#### **Стационарная система технического зрения**

Стационарные системы технического зрения устанавливаются стационарно на объектах инфраструктуры (как правило, на специально установленных столбах) на сложных участках пути, где особенности рельефа, путевого развития или объектов инфраструктуры создают ограниченную видимость для машиниста или бортовой системы технического зрения.

В состав стационарной системы технического зрения входит следующее комплектующее оборудование:

- Камеры визуального спектра (видеокамеры).
- Камеры инфракрасного спектра (тепловизоры).
- Оптические датчики (лидары).
- Извещатель (звуковой и световой).
- Вычислительный блок.

Основными функциями стационарной системы технического зрения являются:

Обнаружение объектов класса «человек», «крупное животное» и «автомобиль» на железнодорожном пути или в полосе отвода.

Оповещение о приближении поезда к обнаруженному объекту с помощью световых и звуковых сигналов.

Передача предупредительной информации об обнаруженных объектах в ЦДКУ (машинисту-оператору) и на подвижной состав (машинисту) для принятия решения о снижении скорости (служебное или аварийное торможение).

В случае появления объекта в зоне работы стационарной СТЗ для формирования управляющего воздействия на МПСУиД локомотива, на основании полученной информации, используются следующие сценарии управления:

- при обнаружении препятствия в зоне безопасности – осуществляется переход СТЗ из дежурного режима (сканирование пространства с низкой частотой) в режим повышенной готовности (переход работы датчиков на максимальную частоту сканирования);
- при обнаружении препятствия в зоне бдительности – стационарная СТЗ осуществляет подачу звуковых (сирена) и световых (строб-вспышка) сигналов, а также передача информации в ЦДКУ о нарушении зоны бдительности;
- при обнаружении препятствия в охранной зоне – осуществляется передача аварийного сигнала на борт локомотива (электропоезда) для подачи звуковых (тифон и свисток) и световых (переключение режимов работы прожектора) сигналов, а также осуществления служебного или аварийного торможения с целью прицельной остановки перед препятствием.

В процессе функционирования каждая стационарная СТЗ осуществляет постоянную передачу в диспетчерский пункт или ЦДКУ посредством проводного или беспроводного канала связи с шифрованием следующих данных:

- информация о состоянии системы (работоспособна/ неработоспособна);

- информация о наличии препятствия на подконтрольном участке пути (при обнаружении препятствия).



Рисунок 2. Фиксация стационарной СТЗ появления человека в запрещенной зоне

Диспетчер или машинист- оператор ЦДКУ передает данную информацию в режиме реального времени по беспроводному защищенному каналу связи на борт электропоезда в модуль синхронизации, связи, дистанционного управления (МССДУ), откуда она загружается в систему безопасности БЛОК и систему управления МПСУиД.

Электронная карта системы безопасности БЛОК содержит информацию о расположении всех стационарных систем технического зрения. При подъезде электропоезда к зоне действия стационарной СТЗ система безопасности БЛОК осуществляет сверку полученных от ЦДКУ данных о работе данной стационарной системы.

В случае, если стационарная СТЗ передает информацию о своей работоспособности и не передает данные об обнаружении какого-либо препятствия, движение электропоезда осуществляется с установленной для данного участка скоростью.

МПСУиД осуществляет снижение скорости движения электропоезда по участку, контролируемому стационарной СТЗ, в следующих случаях:

- при получении от стационарной СТЗ информации о неработоспособности (отказе) системы;
- при отсутствии информации от стационарной СТЗ о ее состоянии;
- при получении от стационарной СТЗ информации об обнаруженном препятствии.

В случае, если МПСУиД не осуществляет снижение скорости движения при наличии вышеуказанных условий, система безопасности БЛОК применяет автостопное торможение.

#### **Платформенная система технического зрения**

Платформенная СТЗ – комплекс аппаратно-программных средств, устанавливаемых на железнодорожной платформе для осуществления автоматизированного контроля безопасности при подходе поезда к платформе, при посадке и высадке пассажиров на остановочном пункте, при отправлении поезда от платформы, а также контроля свободности пути в непосредственной

близости от пассажирских платформ. Дополнительный контроль свободности пути в данных зонах требуется в связи с высокой вероятностью появления на путях людей или животных в непосредственной близости от пассажирских платформ (падение с платформы, переход путей в неполюженном месте, обход пунктов взимания платы за проезд и т.д.).

На сегодняшний день машинист электропоезда не всегда имеет возможность своевременно оценить, выявить и принять меры к устранению возникшей нештатной ситуации с пассажиром, который оказался на путях или находится на краю платформы. Внедрение программно-аппаратного комплекса позволит существенно повысить качество контроля за безопасной посадкой и высадкой пассажиров, исключив из этого процесса влияние человеческого фактора, а также сократить время реакции для принятия мер по сохранению жизни и здоровья пассажиров.

В состав платформенной СТЗ могут входить:

- видеокамеры (стационарные и поворотные);
- тепловизионные камеры (тепловизоры);
- датчики объема ИК или УЗ;
- лидары 2D и 3D;
- ограждения полузакрытого типа;
- ограждения с автоматическими двухстворчатыми раздвижными станционными дверями и с голографической дверью;
- световые завесы;
- система определения давления в торце двери поезда;
- система контроля пространства между поездом и платформой;
- система контроля пространства ниже уровня платформы;
- система оповещения.

Основными функциями платформенной системы технического зрения являются:

- Контроль безопасного нахождения пассажиров на платформах в период ожидания и отправления электропоезда, а также при посадке и высадке в вагоны;
- Контроль пересечения пассажирами ограничительной линии платформы во время прибытия и отправления поезда;
- Контроль нахождения пассажиров в зоне шириной 0,75м от длинного края платформы при прибытии и отпавлении поезда;
- Контроль зон посадки и высадки пассажиров;
- Контроль пространства между поездом и платформой и пространства ниже уровня платформы при посадке и высадке.
- Контроль зажатия пассажиров, частей туловища (рук, ног, головы) и посторонних предметов в дверях электропоезда.
- Оповещение и своевременная передача данных на борт подвижного состава, в ЦДКУ и дежурному на остановочном пункте при обнаружении опасных ситуаций

Еще одним из возможных решений использования платформенных СТЗ является мониторинг безопасности и санитарного состояния на объектах железнодорожной инфраструктуры, профилактика производственного и непроизводственного травматизма, соблюдение эпидемиологической и технологической безопасности на базе модульной системы видеоаналитики (МСВА) [6].

Система «МСВА» представляет собой комплексную аналитическую систему видеоаналитики состояния платформ. Анализируя информацию в реальном времени, поступающую с видеокамер высокого разрешения, метеостанции и других датчиков, система выполняет следующие основные функции:

- фиксация нарушений правил поведения на железной дороге (выход за пределы безопасной зоны, движение пассажиров и сотрудников за пределами безопасной зоны);
- обнаружение загрязнения платформы мусором и посторонними предметами;
- выявление опасных предметов;
- автоматизация контроля уборки платформ аутсорсинговыми компаниями, фиксация фактов нарушения сроков;
- своевременное обнаружение признаков пожара.



Рисунок 3. Пожар на железнодорожной платформе

Дополняющим модулем платформенной СТЗ может служить система дистанционного выявления признаков девиантного (нестандартного) поведения в местах массового скопления людей на объектах транспортной инфраструктуры с использованием искусственного интеллекта и видеоаналитики.

Методология выявления признаков нестандартного поведения, а также методы и алгоритмы онлайн выявления признаков девиантного поведения пассажиров на платформе или вокзале построена на основе анализа видеопотоков с использованием ИНС.

Задача автоматизированной системы комплексного выявления лиц с признаками девиантного (ассоциативного) поведения на объектах транспортной инфраструктуры с использованием анализа видеопотоков от СТЗ быстро и с высокой вероятностью определить лиц, способных совершить преступление или находящихся в алкогольном или наркотическом опьянении, а также людей, которым требуется скорая медицинская помощь. Эта система позволит максимально повысить безопасность пассажиров и оградить их от возможных опасных воздействий, а кому-то попросту помочь в критической ситуации.

#### **Диагностика и мониторинг**

В задачах мониторинга и контроля технического состояния узлов и блоков подвижного состава системы технического зрения занимают все большую долю. Такие системы устанавливаются не только на борту ТПС, но применяются и на объектах инфраструктуры как стационарные СТЗ.

Обеспечение перехода к малолюдным технологиям в процессе технического и коммерческого осмотра подвижного состава с использованием СТЗ реализовано в интегрированном посту автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (ППСС) [7], где используются в том числе и нейронные сети. Функции СТЗ (техновизора) следующие:

- Идентификация подвижных единиц (УС АРНВ)

- Адресный коммерческий осмотр
- Локализация элементов подвижного состава
- Контроль:
  - Завышения/занижения фрикционного клина
  - Состояния тормозных колодок
  - Смыкания витков пружин
  - Положения автосцепок
  - Виляния тележки (в разработке)
  - Сохранности элементов кузова (в разработке).

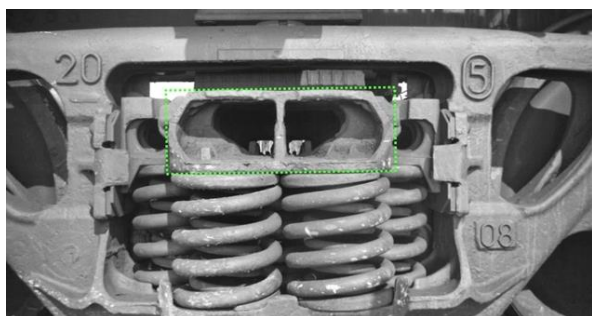


Рисунок 4. Определение технического состояния систем тележки поезда

На тех же принципах в ППСС осуществляется лазерный контроль подвижного состава, а именно:

- Габаритов
- Дефектов кузова вагона
- Наличия открытых дверей вагона
- Загрузки подвижной единицы

Помимо указанных функций СТЗ может осуществляться построение 3-D модели состава, определение типа подвижной единицы, а также его коммерческий осмотр.

### **Технологические операции**

Для автоматизации технологических процессов обслуживания составов грузовых поездов на железнодорожных станциях с использованием средств роботизации и СТЗ разработан робототехнический комплекс (РТК) [8].

Основные операции РТК: отпуск тормозов, закрепление состава, адресное подтверждение данных от ППСС, расцепка состава, подготовка к отправлению. Использование РТК позволит увеличить пропускную и перерабатывающую способности станций, а также снизить влияние человеческого фактора и производственного травматизма. СТЗ в этом случае определяет места приложения механизмов и устройств робота-расцепщика или робота-отпуска тормозов для осуществления необходимых операций.

### **СТЗ на БАС**

Использование беспилотных авиационных систем (БАС) самолетного и мультикоптерного типа в последнее время резко увеличилось, что подтверждается их многоцелевым применением, особенно для решения задач ситуационной осведомленности [9].

Основные функции БАС, которые обязательно комплектуются СТЗ в интересах

железнодорожного транспорта:

Инфраструктура - контроль целостности элементов верхнего строения пути, включая рельсовые скрепления и болтовые соединения, качества обогрева стрелочных переводов, контроль качества работ по текущему содержанию земляного полотна, эффективности мероприятий по снего- и водоборьбе;

Транспортная безопасность - контроль охраняемого периметра, предоставление оперативных данных при составлении паспортов объектов, проведении оценки уязвимости и разработке планов обеспечения транспортной безопасности;

Строительство и реконструкция - контроль строительства на всех этапах с оценкой объема выполненных работ, создание трехмерных моделей сооружений с дальнейшим контролем отклонения от проектных параметров;

Система электроснабжения - обнаружение дефектов скреплений и оттяжек, контроль состояния элементов опор и фундаментов, выявление загрязнения изоляторов, отклонений температурного режима токопроводящих элементов;

Аварийно-восстановительные работы - обеспечение ситуационной осведомленности при решении задач оценки ущерба, назначения сил и средств для ликвидации последствий, оперативного управления ими, прогноз развития ЧС, контроль ликвидации последствий.

Обследование искусственных сооружений - оценка технического состояния железнодорожных мостов, туннелей и переездов;

- Связь - организация ретрансляции связи при работе в окне в условиях отсутствия связи;
- Контроль выполнения строительных работ - мониторинг работы в окнах;
- Ресурсосбережение - мониторинг системы тепло и водоснабжения (котельные);
- Взаимодействие с грузовыми терминалами - оценка загрузки терминалов насыпных грузов.

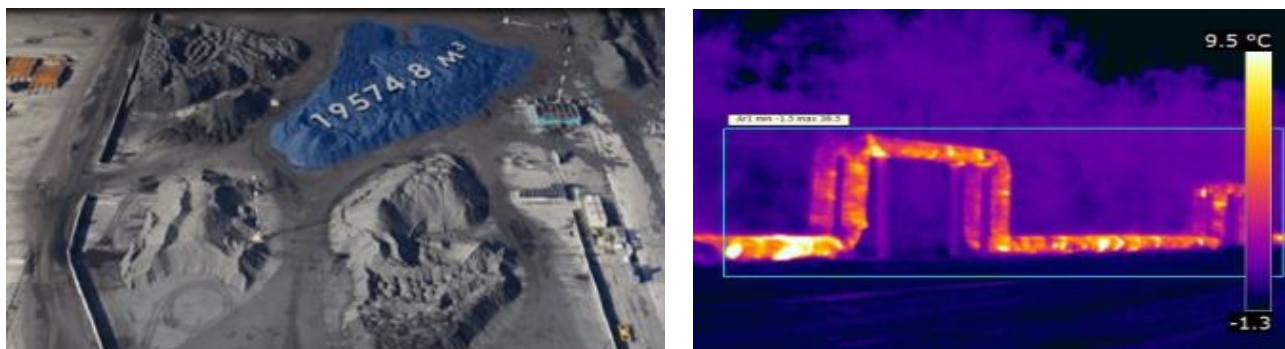


Рисунок 5. Определение технического состояния элементов инфраструктуры и систем теплоснабжения

## Выводы

Все перечисленные технические решения направлены на улучшение условий жизнедеятельности и обеспечения требуемого уровня безопасности на железнодорожном транспорте, который невозможно достичь без применения современных средств, включая техническое (машинное) зрение. Спектр применения подобных систем очень разнообразен и в рамках одной статьи описать все направления не представляется возможным. Каждое направление очень важно для получения общего синергетического эффекта главной целью



которого является повышение безопасности перевозок за счет снижения человеческого фактора и влияния его психофизического состояния на управление сложными техническими системами.

### Список литературы

1. 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.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // *Мир транспорта*. –2018. –Т. 16. –№3 (76). –С.50-61.
3. Цветков В. Я., Охотников А.Л., Информационная управленческая ситуация на транспорте // *Государственный советник*. –2018. –№2. – С.27-33.
4. Охотников А.Л., Системы технического зрения: тенденции развития // *Железнодорожный транспорт*. –2020. –№ 9. – С.44-51.
5. Попов П.А., Применение передовых технологий для работы в автоматическом режиме на МЦК // *Железнодорожный транспорт*. –2020. –№ 11. – С.17-21.
6. Dolgiy A., Kovalyev S., Samsonov V., Khatlamadzhiyan A. Processing of fuzzy graphic images in intelligent computer vision systems on railway transport // В сборнике: 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT 2015 - Proceedings. 9. –2015. – С.118-121.
7. Ададуров А.С., Бушуев Р.Ю., Долгий А.И., Хатламаджиян А.В. Пост комплексного контроля как инновационный подход к диагностике ходовой части вагона // *Вагоны и вагонное хозяйство*. –2015. –№ 4 (44). – С.24-27.
8. Сайт транспортного портала Gudok.ru // URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1477272&archive=2019.09.17> (Дата обращения 25.11.2020).
9. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Мониторинг транспортной инфраструктуры с использованием интеллектуальных БПЛА // *Автоматика, связь, информатика*. –2020. –№ 8. – С.18-21.

УДК: 656.052

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОЛИГОНОМ

- Неплюев В. А.** начальник отдела НТК ПРИС, АО «НИИАС», E-mail: V.Nepluev@vniias.ru, Москва, Россия
- Куликов А.А.** к.т.н., доцент, главный специалист отдела НТК ПРИС, АО «НИИАС», E-mail: a.kulikov@vniias.ru, Москва, Россия
- Громова Т.А.** к.т.н., главный специалист отдела НТК ПРИС, АО «НИИАС», E-mail: AramatGromova@yandex.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Управление железнодорожным полигоном является одним из приоритетных направлений развития ОАО «РЖД». После создания сети Центров управления тяговыми ресурсами (ЦУТР), при котором локомотивы вышли на тяговые полигоны, объединяющие по две, а иногда и по три железные дороги, в 2016 году создается первый региональный Центр управления перевозками на Восточном полигоне (ЦУП ВП), который в 2019 году реорганизован в Дирекцию управления движением на Восточном полигоне (ДВП). На сети дорог выделены основные направления перевозок, полигоны управления ОАО «РЖД», характеризующиеся массовым зарождением грузов и массовым погашением, единым полигоном работы локомотивного парка, такими направлениями стали Кузбасс – Восток, Кузбасс – Запад, Кузбасс – Юг. Стираются границы между железными дорогами, теперь крупные решения по управлению тяговыми ресурсами принимаются не в дорожных Диспетчерских центрах управления перевозками (ДЦУП), а в региональных Центрах управления тяговыми ресурсами и перевозками.
- Ключевые слова:** железные дороги, централизация управления, Диспетчерский центр управления перевозками, Центр управления тяговыми ресурсами и перевозками

## INTELLIGENT CONTROL OF THE RAILWAY LANDSCAPE

- Nepluev V.A.** Head of Department of NTK PRIS, JSC «NIIAS», E-mail: V.Nepluev@vniias.ru, Moscow, Russia
- Kulikov A.A.** Ph.D., associate professor, chief specialist of the Department of NTK PRIS, JSC "NIIAS", E-mail: a.kulikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Gromova T.A.** Chief specialist of the Department of NTK PRIS, JSC "NIIAS", E-mail: a.kulikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The control of the railway landfill is one of the priority areas of development for Russian Railways. After the creation of a network of Traction Resource Control Centers (ЦУТР), in which locomotives entered traction ranges, combining two and sometimes three railways, in 2016 the first regional Traction Control Center at the Eastern Range (ЦУП ВП) was created, which in In 2019, it was reorganized into the Directorate of Traffic Management at the Eastern Range (ДВП). On the road network, the main directions of transportation are highlighted, the management areas of JSC "Russian Railways", characterized by mass generation of goods and mass repayment, a single testing area for the locomotive fleet, such directions are Kuzbass - East, Kuzbass - West, Kuzbass -

South. The boundaries between the railways are being erased, now major decisions on traction resources management are made not in road traffic control centers (ДЦУП), but in regional Traction Resources and Traction Control Centers.

**Keywords:** railways, control centralization, traffic control center, traction resource and traffic control center.

В настоящее время передовым направлениям в управлении перевозками в ОАО «РЖД» является переход на полигонное управление. В 2016 году создается первый региональный Центр управления перевозками на Восточном полигоне (ЦУП ВП). Центр управления перевозками восточного полигона — это сердце четырёх магистралей (дорог): Красноярская, Восточно - Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная дороги. Диспетчера управляют тяговыми ресурсами, вагонным парком, здесь же планируют проведение ремонта и модернизацию инфраструктуры магистрали. На дорогах выделены основные направления перевозок, полигоны управления, характеризующиеся массовым зарождением грузов и массовым погашением, единым полигоном работы локомотивного парка. Основными направлениями стали Кузбасс – Восток, Кузбасс – Запад, Кузбасс – Юг. Стираются границы между магистралями дорог, теперь крупные решения по управлению тяговыми ресурсами принимаются не в дорожных Диспетчерских центрах управления перевозками (ДЦУП), а в региональных Центрах управления тяговыми ресурсами и перевозками.

При всех плюсах централизации управления, увеличение полигона создает дополнительную нагрузку и повышает ответственность диспетчерского аппарата Центров. При этом время на восприятие информации, понимание проблем на полигоне и принятие оперативных решений диспетчером остается прежним, что требует от разработчиков технологического и программного обеспечения новых подходов к разработке инновационных решений для поиска и поддержки принятия решений в сложных ситуациях с помощью автоматизированных алгоритмов.

На текущий момент, исходя из развития различного вспомогательного программного обеспечения для диспетчеров, становится уже мало просто информировать диспетчера о факте проблемы (конфликтной ситуации) в продвижении поездопотока или в работе тяговых ресурсов на полигоне. Необходим новый подход, например: предложить варианты решений для устранения данной проблемы; предупредить возможное появление конфликтных ситуаций на полигоне управления, подсказать диспетчеру, какие управляющие решения необходимо принять, чтобы избежать конфликта на полигоне в будущем.

Специалисты АО «НИИАС» понимают существующие проблемы, возникающие при полигонном управлении, как тяговыми ресурсами, так и перевозочным процессом, и уже сегодня в проекте ИСУЖТ ведутся работы по комплексному интеллектуальному управлению полигоном. В 2017 году в ЦУП ВП и Центральной дирекции управления движением – филиале ОАО «РЖД» была разработана и утверждена Технология автоматизированного управления Восточным полигоном.

В данной технологии описаны общие принципы разработки интеллектуального управления перевозочным процессом, при котором комплекс задач ИСУЖТ по Комплексному управлению полигоном (КЗ КУП) с учетом требований к выполнению заданных показателей работы полигона, определяет наличие текущих и прогнозирует возникновение будущих конфликтных ситуаций в перевозочном процессе, в автоматизированном режиме вырабатывает управляющие

решения, схожие с реальными действиями диспетчера по устранению конфликтов, выводит эти решения на АРМ пользователя для их подтверждения или отклонения и информирует весь диспетчерский аппарат смены об утвержденных решениях средствами Табло коллективного пользования (ТКП).

Выстраивание управления перевозочным процессом или тяговыми ресурсами на полигоне вокруг ТКП, на котором могут формироваться плановые, фактические и прогнозные информационные слои, выбрано не случайно.

В действующих центрах управления на ТКП обычно формируется один информационный слой – фактический, на котором отображается фактическое продвижение поездопотока и работа тяговых ресурсов. Кроме того, на этот же слой в виде таблиц выводятся общие суточные и месячные плановые показатели. Диспетчеру нужно непосредственно сопоставлять план и факт, прогнозировать выполнение заданных показателей к концу суток (смены), используя свой опыт, интеллект. В перспективных разработках ИСУЖТ АО «НИИАС» предлагается формировать ТКП по принципу разделения информационных слоев – отдельно фактический (выводится информация о фактическом продвижении поездопотока, работе тяговых ресурсов, сравнение плановых показателей с фактическим выполнением и их отклонение), плановый (с выводом детализированной плановой информации на сутки и периоды по участкам и станциям), прогнозный (с выводом на схему полигона автоматизированных решений и мест их осуществления).

На плановый информационный слой должны выводиться плановые показатели, план работы технических, сортировочных и стыковых станций, план пересылки поездо-локомотивов резервом, план подвязки тяговых ресурсов к поездам с учетом технического обслуживания локомотивов, заставки локомотивных бригад в наряд и их отдых в пунктах оборота, план ремонта локомотивов. Все плановые значения рассчитываются и выводятся на ТКП для планирования и информирования диспетчерского аппарата. Здесь же отображается технологический процесс работы полигона – все ли подсистемы ИСУЖТ произвели необходимые расчеты на текущий момент времени и актуальность представленной информации. Плановый слой ТКП должен оказать помощь диспетчерскому аппарату в планировании перевозочного процесса и работе тяговых ресурсов на полигоне в предстоящих сутках (смене). Основная новизна планового слоя заключается в том, что у диспетчерской смены появляется возможность просмотреть прогноз на 3-6-9-12 и даже 24 часа и посмотреть на возможный ход перевозочного процесса, работу тяговых ресурсов при условии выполнения рассчитанного подсистемами ИСУЖТ плана.

Прогнозный слой ТКП включает выявление как текущих, так и возможных в будущем конфликтных ситуаций при выполнении запланированных показателей для информирования диспетчерского аппарата, выработку управляющих решений по устранению конфликта, имитирующих реальные действия диспетчера. При нескольких возможных управляющих решениях, необходим расчет и оповещение диспетчера об экономических последствиях каждого из этих решений. В ПО АРМа диспетчера разрабатывается возможность подтвердить или отклонить автоматизированное управляющее решение для исполнения на полигонном, дорожном или линейном уровне. Должен иметь место анализ принятых диспетчером решений для расчета суммарного экономического эффекта от принятия решений диспетчерской смены в целом с учетом влияния на выполнение запланированных показателей. Разрабатываемый прогнозный слой ТКП представлен на Рис. 1 на примере перспективного ТКП ЦУТР Юго-

Западного полигона. Данные прогнозного слоя – принципиально новый вид информации, возможный для вывода как на АРМы пользователей, так и на ТКП Центров управления.

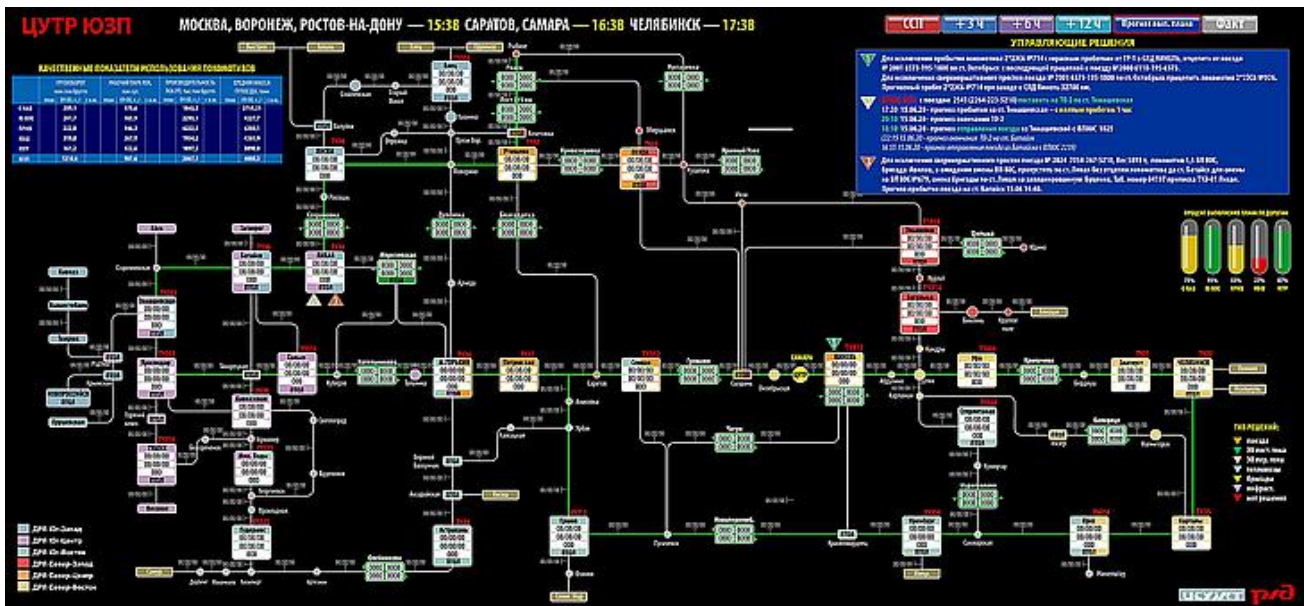


Рисунок 1. Проект Табло коллективного пользования для ЦУТР Юго-Западного полигона

Основная новизна и актуальность данной информации заключается в обучении вычислительных средств поиску и расчету управляющих решений с возможностью их пересчета при внесении диспетчером корректировочных заданий. Большим преимуществом автоматизированного поиска решений перед традиционно осуществляемым специалистом-человеком является тот факт, что машина может сканировать любые изменения в поездной и локомотивной ситуации в течение нескольких минут, практически на любой протяженности полигона. Это позволяет обнаруживать сбои в движении сразу при их возникновении и не упустить момент принятия управляющего воздействия. Человек, в силу естественных причин, связанных с концентрацией внимания и усталостью, не может с такой скоростью в течение всей смены воспринимать все возникающие изменения и вовремя реагировать на них. В результате этого, поезд или локомотив успевают проследовать точку (станцию) принятия оптимального решения по возникшему конфликту. Важным аспектом разработки управляющих решений является реальная применяемость диспетчером на практике

Примером автоматизированного решения, которое разработано для обеспечения выполнения плана подвода грузовых поездов к припортовым станциям Восточного полигона для ЛЦ ДВП является поиск в реальном масштабе времени КЗКУП ИСУЖТ технологической возможности по уменьшению нагрузки на ст. Смоляниново в части пропуска до 4-х поездов в сутки без остановки по ст. Смоляниново, за счет замены головного локомотива на локомотив повышенной мощности и внеплановой смены бригады по ст. Уссурийск. Определяются грузовые поезда с весом 6300т, следующие в направлении Находкинского узла с опережением ранее запланированного ЛЦ времени прибытия и головным локомотивом ЗЭС5К, для возможной замены по ст. РУЖИНО на 2\*2ЭС5К с целью пропуска без плановой смены тяговых ресурсов по ст. Смоляниново (до 4-х поездов в сутки). Вид управляющего решения представлен на Рис.2.

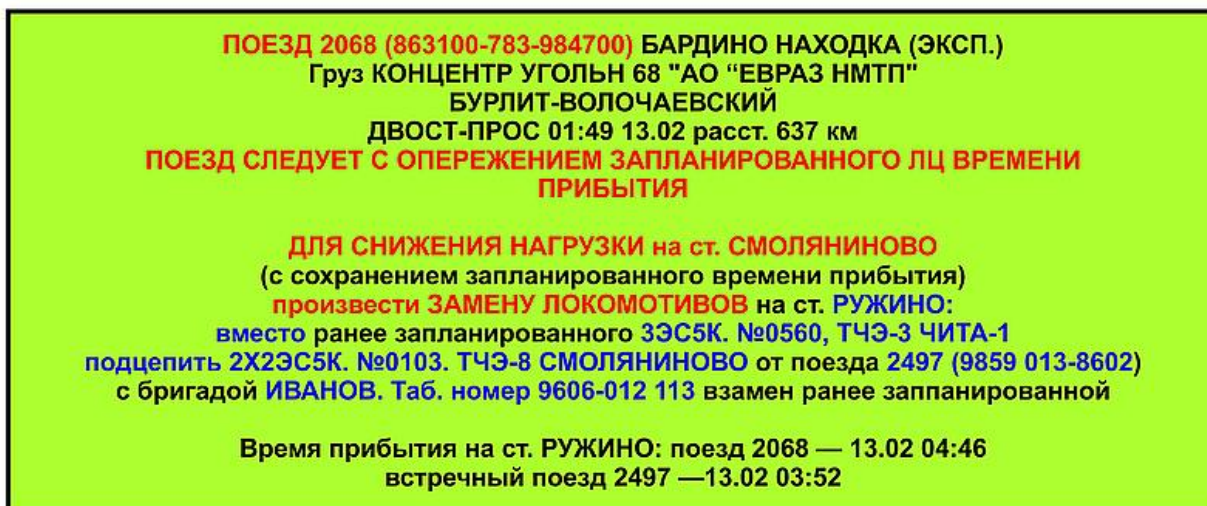


Рисунок 2. Пример управляющего решения по замене локомотивов

Также разработано управляющее решение по уменьшению нагрузки на ст. Смоляниново в части пропуска до 4-х поездов в сутки без остановки по ст. Смоляниново, за счет уменьшения веса поезда по ст. Ружино и внеплановой смены бригады. Определяются грузовые поезда с весом 6300т, следующие в направлении Находкинского узла с опережением ранее запланированного ЛЦ времени прибытия и головным локомотивом ЗЭС5К, для которых по ст. Ружино возможно уменьшение веса до 5500т и замена бригады по ст. Шкотово с целью пропуска без плановой смены тяговых ресурсов по ст. Смоляниново. Вид управляющего решения представлен на Рис. 3.

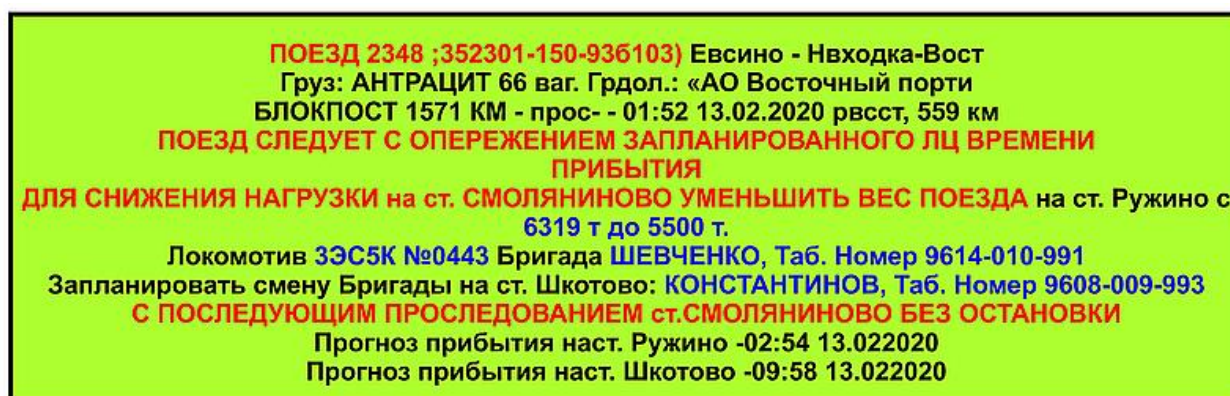


Рисунок 3. Пример управляющего решения по уменьшению нагрузки на ст. Смоляниново

Разработано управляющее решение, применяемое при ускорении опаздывающего поезда к припортовым станциям Владивостокского узла, когда по ст. Ружино планируется локомотивная бригада, способная без плановой смены по ст. Уссурийск доехать с поездом до ст. Владивосток, экономя тем самым время на плановую смену. Вид управляющего решения представлен на Рис. 4.

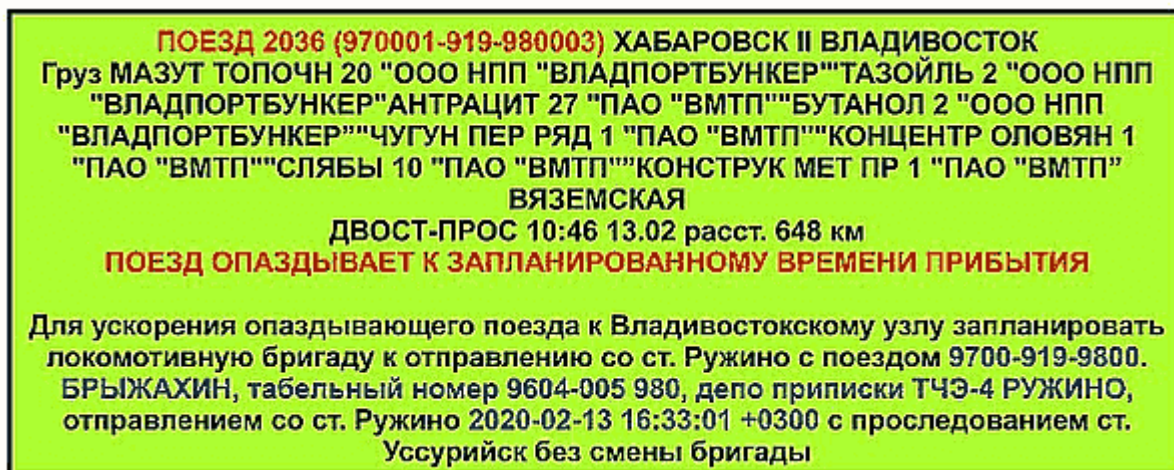


Рисунок 4. Управляющее решение по ускорению опаздывающего поезда

Другим примером своевременной помощи диспетчерскому аппарату в принятии необходимых решений является определение эффективной замены полезной выгрузки для запланированных поездов, опаздывающих к установленному времени. Решение направлено на исправление (ликвидацию) возникшей конфликтной ситуации – срыв запланированного подвода поездов к установленному времени полезной выгрузки и, как следствие, срыв запланированных объемов выгрузки. Вид управляющего решения представлен на Рис. 5.

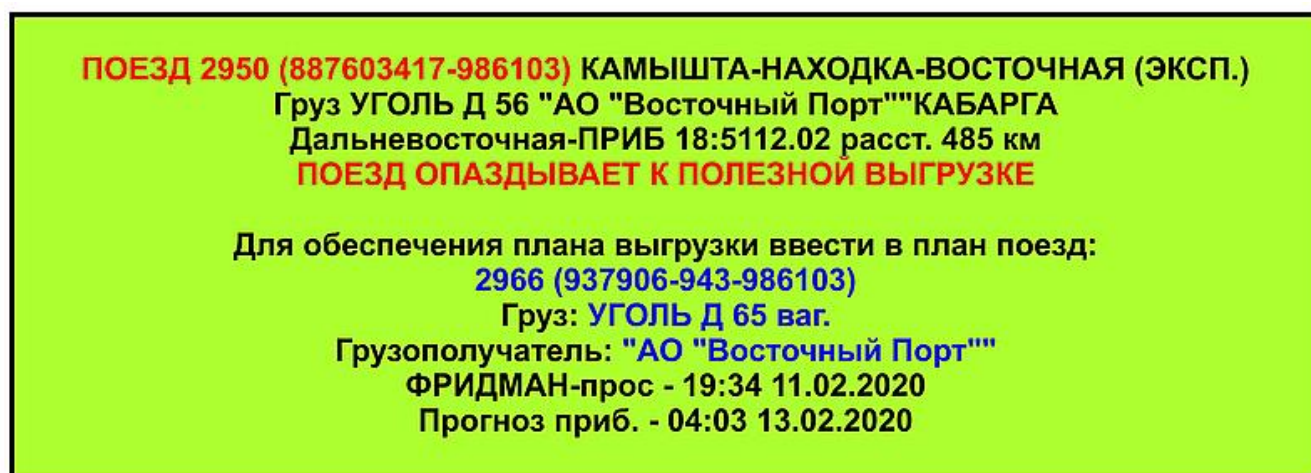


Рисунок 5. Управляющее решение по замене полезной выгрузки

Решение по исключению сверхнормативного простоя на ст. Шкотово опаздывающего поезда в ожидании локомотива-толкача за счет предложения подцепки оптимального локомотива-толкача. Вид управляющего решения представлен на Рис. 6.

Проект по Комплексному управлению полигоном берет за основу разработанные плановые показатели ИСУЖТ, план работы станций (пономерное прибытие, отправление), план ремонта, план сдачи поездо-локомотивов по стыковым пунктам прогнозирует, выполняются ли они в текущих сутках, с учетом отказов технических средств, в случае прогноза невыполнения оповещает диспетчеров средствами ТКП и предлагает принять управляющие решения в АРМ

КЗ КУП, чтобы запланированные планы и показатели выполнились.

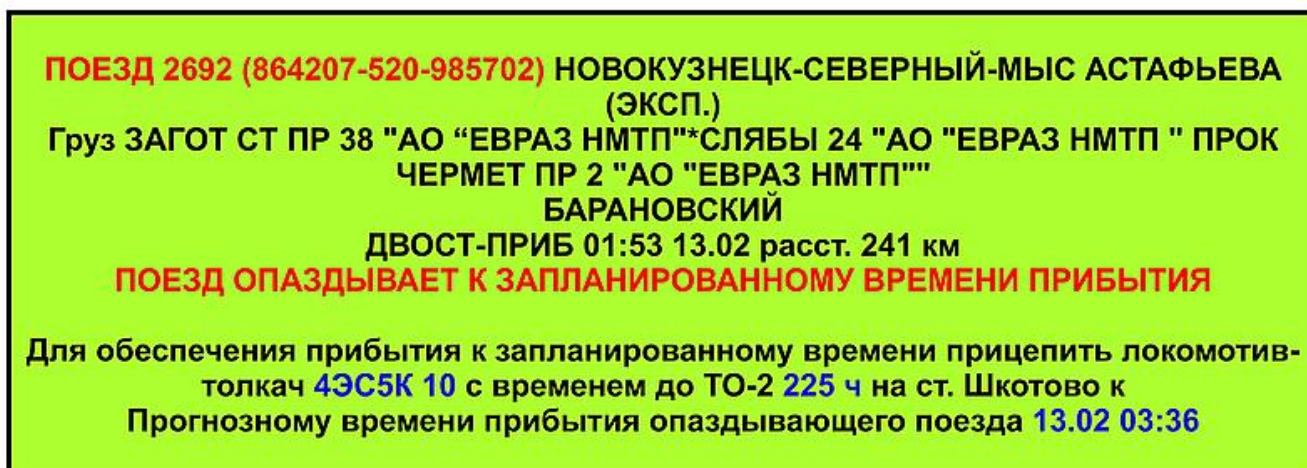


Рисунок 6. Управляющее решение по подцепке оптимального локомотива-толкача

Пример управляющего решения по прогнозу необеспечения грузовых поездов тяговыми ресурсами представлен на Рис. 7.

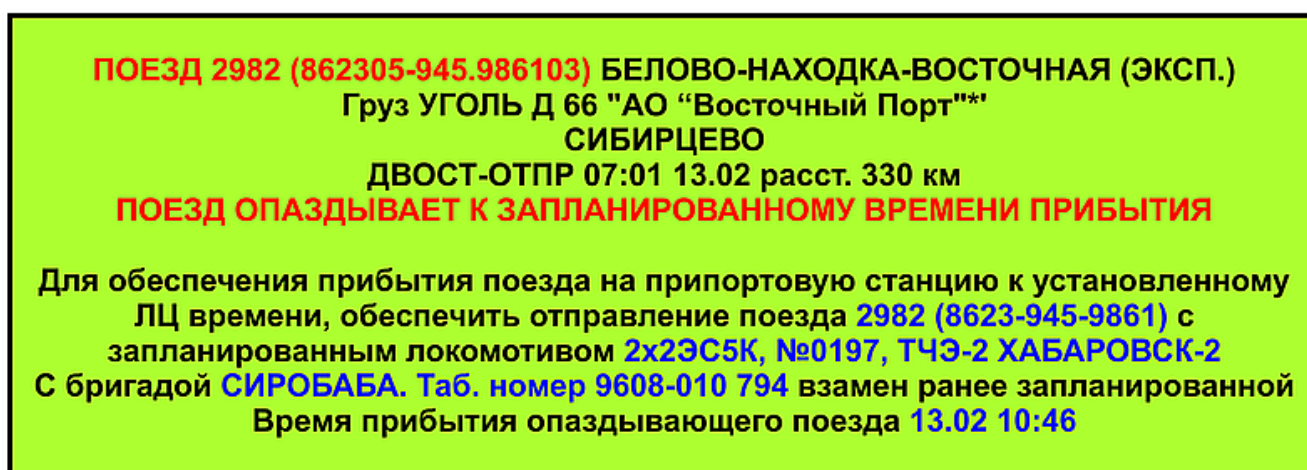


Рисунок 7. Управляющее решение по обеспечению поезда тяговыми ресурсами

В этом случае КЗ КУП оперативно следит за выполнением плана отправления грузовых поездов, рассчитанного в смежном комплексе задач по управлению тяговыми ресурсами (КЗ УТР) с подвязанными тяговыми ресурсами с технических станций. В случае, если локомотив или бригада по факту отправились с другим поездом, КЗ КУП определяет, что на данный поезд не запланированы тяговые ресурсы. С системной точки зрения данный факт является нарушением, конфликтной ситуацией. Учитывая время отправления поезда, подбираются наиболее оптимальные, с точки зрения готовности, секционности, пробега от технического обслуживания и ремонта локомотива, время выхода бригады с отдыха, обкатка, режим непрерывной работы бригады. Выбранный КЗ КУП локомотив и бригада предлагается для плана отправления в виде управляющего решения диспетчеру, и в случае его подтверждения



возможен пересчет, корректировка плана отправления КЗ УТР. Поезд для возможного поиска тяговых ресурсов, должен иметь повышенный приоритет, например, опаздывать к запланированному времени прибытия на припортовую станцию, тем самым не выполняя показатель выгрузки. Схема взаимодействия подсистем ИСУЖТ при решении ситуации по опозданию грузового поезда к припортовым станциям Восточного полигона к выгрузке представлена на Рис. 8.

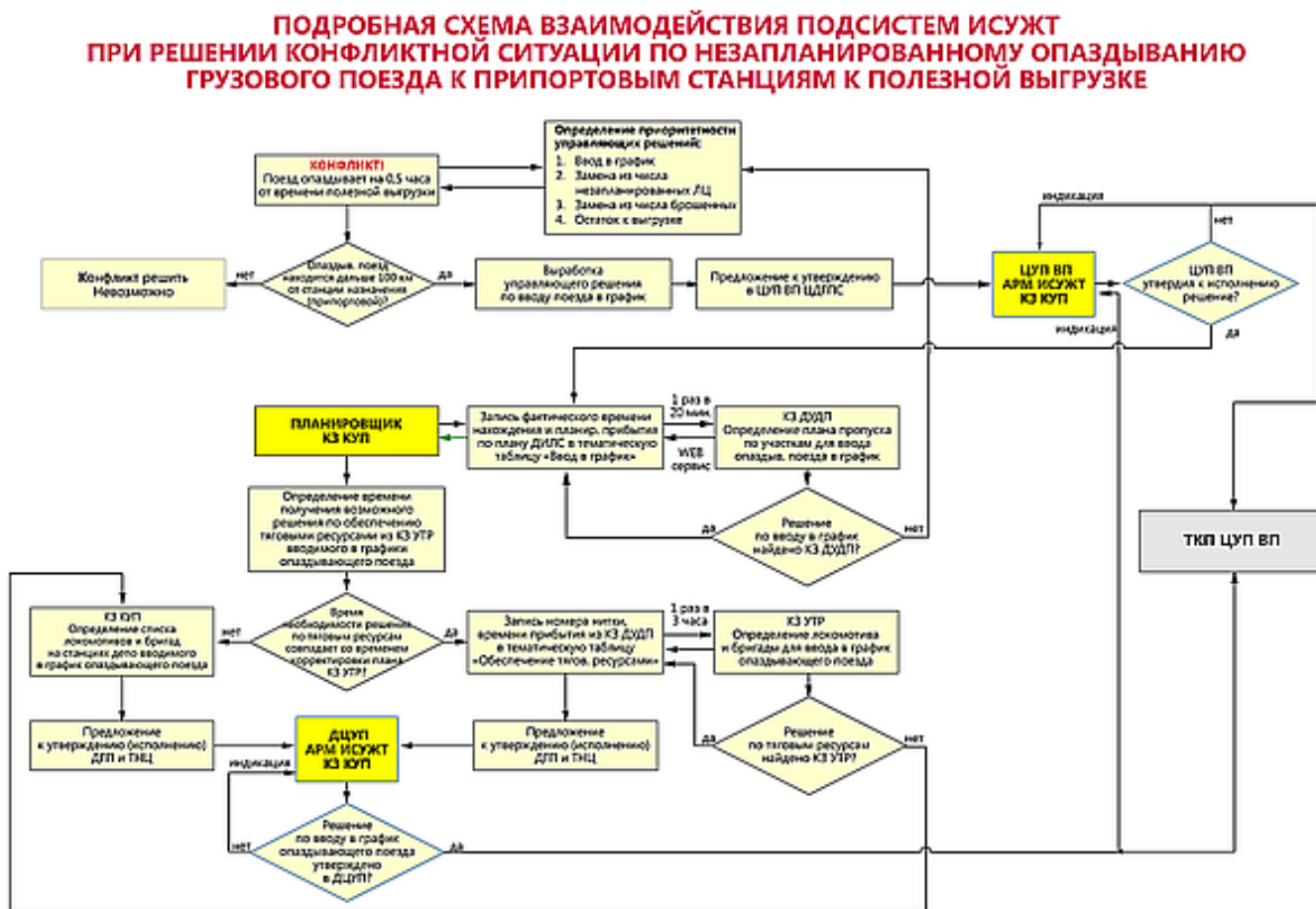


Рисунок 8. Схема взаимодействия подсистем ИСУЖТ при решении ситуации по опозданию грузового поезда.

Перспективные разработки АРМа и ТКП с плановым, фактическим и прогнозным информационными слоями ведутся в настоящее время для Центра управления тяговыми ресурсами на Юго-Западном полигоне. Разработано и получено одобрение решение задач по Комплексному управлению полигоном в части обеспечению выполнения плана подвода грузовых поездов к припортовым станциям Восточного полигона ДВП.

**Список литературы**

1. Семенчук А.С., Куликов А.А., Былинович А.П., Насонова М.М., Табло коллективного пользования как современный подход к отображению процессов управления тяговыми ресурсами, // Труды Восьмой научно-технической конференции (ИСУЖТ-2019), С.84-86.

УДК: 625.17

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ ТРЕХКРАТНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

**Коваленко Н. И.** д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ),  
E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия

**Аннотация.** Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особо грузонапряженных участках не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей планируемую наработку 2,5 млрд. тонн брутто пропущенного тоннажа. Результаты исследований свидетельствуют о необходимости производства средних ремонтов. Производство среднего ремонта по современной технологии с применением современных машин является трудозатратной работой, дорогостоящей и продолжительной во времени. Предпочтительным видом ремонта является выполнение среднего ремонта с очисткой поверхностного слоя балласта (СРСВ) с глубиной очистки 15-25 см с применением машин типа ЩОМ-Д на базе очистного устройства Драгавцева (центробежный способ очистки). Данный вид среднего ремонта широко использовался на сети железных дорог страны в прошлом веке.

**Ключевые слова:** Грузонапряженные участки железнодорожного пути; техническое обслуживание пути; загрязнение балластного слоя; средний ремонт пути; поверхностная очистка щебня; очистное устройство Драгавцева.

## FEATURES OF PROVIDING AN INTER-REPAIR CYCLE OF OPERATION OF A THREE-FOLD DURATIONS

**Kovalenko N.I.** DofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** The current frequency and pattern of repairs and preventive alignment of the railway track on specially loaded sections does not meet the prospective technical requirements for the construction of the railway track and its maintenance system, which not provide the planned operating time of 2.5 billion gross tons of missed tonnage. Research results indicate the need for medium-sized repairs. The production of medium repairs using modern technology with the use of modern machines is labor-intensive, expensive and time-consuming. The preferred type of repair is to perform medium repairs with a surface cleaning of crushed stone (CPCB) with a cleaning depth of 15-25 cm using machines of the SCHOM-D type based on the Dragavtsev cleaning device (centrifugal cleaning method). This type of medium repair was widely used on the country's railway network in the last century.

**Keywords:** resource-saving technology, maintenance of the railway track, technological window, saving energy costs, reducing labor costs.

**Введение.**

Современной стратегической задачей ОАО «РЖД» является оптимизация затрат на организацию перевозочного процесса с затратами на техническое обслуживание (текущее содержание и ремонты) железнодорожного пути с учетом увеличения межремонтного периода до 2,5 млрд. т пропущенного тоннажа [1]. Для решения этой задачи, необходимо повышение качества и долговечности элементов верхнего строения пути, в первую очередь, балластной призмы [2].

Щебеночный балласт является типовым для первого и второго классов железнодорожного пути ОАО «РЖД» с толщиной слоя не менее 40см под железобетонными шпалами [3]. От конструкции и качества балластного слоя зависит общее состояние железнодорожного пути, уровень допускаемых скоростей движения поездов, сроки службы элементов верхнего строения (рельсов, креплений, шпал), затраты на текущее содержание и система ремонтов пути [5, 6, 7].

Как правило, в балластном слое происходят искажения проектных геометрических очертаний верхнего строения пути, главным образом в вертикальной плоскости, вызванной его непосредственным контактом с подрельсовым основанием, имеющим высокую дисперсность по сравнению с нижним строением или земляным полотном, что в большей степени, чем нижнее строение, приводит к образованию осадок.

Нарушения геометрии пути, выражающиеся, главным образом, в осадке балласта и земляного полотна, являются основным фактором, определяющим сроки и объемы путевых работ [4, 8]. Балласт является одним из основных элементов пути, от которого зависит способность верхнего строения пути воспринимать и оптимально распределять динамические нагрузки от движущегося подвижного состава [9]. Ликвидация неисправностей балластной призмы может существенно влиять на восстановление параметров и несущей способности подрельсового основания верхнего строения пути [3, 4].

Механизм нарушения целостности балластного слоя можно вкратце охарактеризовать следующим образом. При проходе поезда на балласт воздействуют циклические нагрузки переменной направленности: когда колесная пара находится непосредственно над конкретной шпалой, нагрузка максимальной амплитуды направлена вниз, а когда над шпалой нет колесной пары, балласт в силу упругости зерен приподнимается вверх. Циклы знакопеременных нагрузок создают в балласте напряжения, достаточные, чтобы, с одной стороны, изменить взаимное расположение зерен балласта, с другой – вызвать их истирание и разрушение.

Последствия осадки пути и иных нарушений его геометрии чаще всего устраняются подбивкой балласта или его выправкой. Однако подбивка влечет за собой еще большее разрушение зерен балласта ввиду сильного механического воздействия на них.

Загрязнение щебня происходит в результате механического износа его зерен под воздействием подвижной нагрузки и работы шпалоподбивочных механизмов, а также от попадания внешних засорителей. Рассматриваются пять основных видов загрязнителей балласта: 1 – продуктами износа зерен балласта под воздействием шпал в процессе работы пути под поездами; 2 – перемещающимися вверх частицами засорителей из подбалластного слоя; 3 – частицами, проникающими в балластную призму из земляного полотна; 4 – частицами, падающими с вагонов при перевозке сыпучих грузов, например, песка, угля, руды; 5 – частицами балласта в результате его дробления и истирания (износа) щебня при уплотнении балласта подбивкой при работе путевых машин.

Наиболее значительное загрязнение балластного слоя происходит от внешних засорителей

[2] в результате засорения и загрязнения щебня частицами перевозимых грузов, пылью, приносимой ветром и водой, что и вызывает необходимость его очистки и обновления [3]. Как известно, необходимость очистки щебня при производстве средних и капитальных ремонтов пути вызвана его загрязнением, которое является причиной общего расстройтва пути и потери фильтрационной способности щебеночного слоя [3, 7].

На железных дорогах Российской Федерации современное планирование межремонтных циклов (между капитальными ремонтами пути) осуществляется в соответствии с «Положением о системе ведения путевого хозяйства ОАО «Российские железные дороги», утвержденном распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2015 № 3212р» (далее, Положение). Применяемые в данном Положении нормативы закреплены в «Правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденных приказом Минтранса России от 21 декабря 2010г. № 286. – М.: ООО «ТРАНСИНФО ЛТД», 2011. – 255 с. (с изменениями и дополнениями, по приказу Минтранса России от 09 февраля 2018 г. № 54) (далее, ПТЭ).

Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особо грузонапряженных участках не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей планируемую наработку 2,5 млрд. тонн брутто пропущенного тоннажа.

Периодически повторяемые операции по подбивке, входящие в комплекс работ по обслуживанию верхнего строения пути, постепенно ведут к потере прочностных свойств и упругости балластного слоя. Отрицательными последствиями этого процесса является измелчение балластного материала при достижении его критической степени, когда балласт теряет не только механические свойства, но и способность должным образом отводить воду с пути. На этой стадии балласт необходимо очищать или заменять, что требует большого объема путевых работ и обуславливает задержки движения поездов.

Для решения этой проблемы есть два пути: улучшать характеристики балласта в целях повышения срока его службы без потери заданных характеристик прочности и надёжности, или отказаться от пути на балласте в пользу безбалластного пути на жестком основании.

Для поддержания типовой конструкции железнодорожного пути на балласте в рабочем состоянии, соответствующем современным требованиям качества в условиях интенсивного движения поездов, необходимы значительные инвестиции, сложные технические средства, большие затраты труда и высокая квалификация исполнителей.

Загрязненность балластного слоя характеризуется двумя показателями:

- 1) количеством накопившихся в балластном слое засорителей и загрязнителей в процентах по отношению к его объему;
- 2) количеством выплесков, то есть количеством шпал в процентах на 1 км пути, где балласт потерял фильтрационную способность и устойчивость.

Стратегической задачей эксплуатации пути является достижение равноресурсности при эксплуатации его элементов за счет продления (увеличения) жизненного цикла элементов конструкции пути путем оптимизации ремонтной схемы и снижения затрат на ремонты, в том числе, снижения затрат на текущее содержание, что позволит в целом уменьшить затраты на материалы и снизить трудозатраты.

На основании Положения и ПТЭ разработана «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути» с уточнениями и дополнениями, введенными распоряжением ОАО

«РЖД» от 14.11.2016 года № 2288р (далее, Инструкция ЦП № 2288р).

С учетом вышеперечисленных нормативных документов, разработаны «Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 года № 75р (в редакции распоряжений ОАО «РЖД» от 30.12.2013 № 2954р, от 28.04.2014 № 1035р) (далее, ТУ от 28.04.2014 № 1035р) с изменениями и уточнениями согласно распоряжению ОАО «РЖД» от 19.01.2018 года № 101р (далее, распоряжение от 19.01.2018 года № 101р).

В Положении нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути для каждого участка с различной грузонапряжённостью и установленными скоростями движения поездов, определяющими класс пути, рассчитывается по формуле:

$$W_{norm} = \frac{L_i \times G_{god}}{Q_{norm} \times f_i} = \frac{L_i}{N_{god} \times f_i} \quad (1)$$

где  $W_{norm}$  - нормативная потребность работ, км;

$G_{god}$  – грузонапряжённость, млн. ткм брутто/км в год;

$Q_{norm}$ ,  $N_{god}$  – тоннаж в млн. т брутто и количество лет, соответствующие нормативному периоду между капитальными ремонтами пути;

$L_i$  – развёрнутая длина участка пути данного класса, км;

$f_i$  - коэффициент, учитывающий дополнительные эксплуатационные факторы, например, наличие средней длины плетей меньше нормативной; наличие на участках недостаточной толщины чистого щебня; невыполнение шлифовки рельсов; близость мест погрузки угля или руды и другие.

Численные значения приведенных выше величин берутся из технического паспорта дистанции пути.

Потребный объём работ разных видов ( $V_i$ ) по участкам определяются по формуле:

$$V_i = w_{kap} \times n_i \quad (2)$$

где  $w_{kap}$  - нормативная потребность работ по капитальному ремонту пути;

$n_i$  - количество повторений работ различного вида за период между капитальными ремонтами пути.

Условием эффективности организации ремонтов пути является минимизация суммарных затрат, связанных с выполнением путевых ремонтных работ и задержек поездов, с учетом количества и продолжительностью требуемых «окон» (закрытия перегона). При выполнении расчетов учитываются только переменные факторы, зависящие от организации и технологии выполнения работ.

Исследованиями [2] для полигона Западно - Сибирской магистрали установлено, что уровень загрязнения балласта частицами менее 25мм существенно увеличивается при пропуске тоннажа до 200 млн. т. Далее наблюдается, практически, равномерный рост загрязнения балласта, практически, до величины наработки тоннажа 1200 млн. т. Установлено, что, например, при достижении величины 700 млн. т загрязненность балласта составляет порядка 28%, а при пропущенном тоннаже 1200 млн. т – около 33%.

При оценке данными исследованиями загрязненности щебеночного балласта частицами диапазона от 5 до 0,1 мм наблюдается равномерный рост загрязненности балластной призмы на

всем протяжении межремонтного периода.

Структура загрязнителей при сверхнормативном пропущенном тоннаже (более 700 млн. т) составляет 16% для фракции от 25 до 5мм, для фракции от 5 до 0,1 мм – 12% и при размере частиц загрязнителей до 0,1 мм порядка 6%.

Установлено что, загрязненность балласта для 5-6-летнего периода эксплуатации для загрязнителей фракции до 0,1 мм получены зависимости величины загрязнения щебеночного балласта от толщины балластного слоя. Выявлена тенденция уменьшения доли таких частиц при увеличении толщины балласта, например, для слоя до 30 см она составляет 38%, при толщине 40 см загрязненность составляет в среднем 32%. При увеличении толщины на 10 см, то есть до толщины порядка 50 см, наблюдается снижение загрязненности еще на 15%.

Исследованиями [2] разработаны рекомендации по величине предельного значения допустимого засорения щебеночного балласта более 30% для Транссибирской магистрали, которое возникает при величине пропущенного тоннажа 500 млн. т (или, порядка, восьми лет). В среднем для Среднесибирского региона пропущенный тоннаж для достижения предельного засорения балласта составляет порядка 800 млн. т (или 10 лет эксплуатации). Такие рекомендации могут служить ориентиром для проведения ремонтов пути с использованием тяжелых машин для глубокой очистки балласта.

Важнейшей операцией продления сроков работы балластного слоя является его необходимая своевременная очистка и пополнение новым балластом образовавшегося дефицита балласта. Вышеприведенные результаты исследований свидетельствуют о необходимости производства средних ремонтов. Однако производство среднего ремонта по современной технологии с применением современных машин является трудозатратной работой, дорогостоящей и продолжительной во времени.

Схема проведения ремонтов от капитального до капитального, представляет собой жизненный цикл работы пути.

Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особо грузонапряженных участках (таблица 1) не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей наработку 2,5 млрд. тонн брутто пропущенного тоннажа.

Таблица 1.

Периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особо грузонапряженных участках (О)

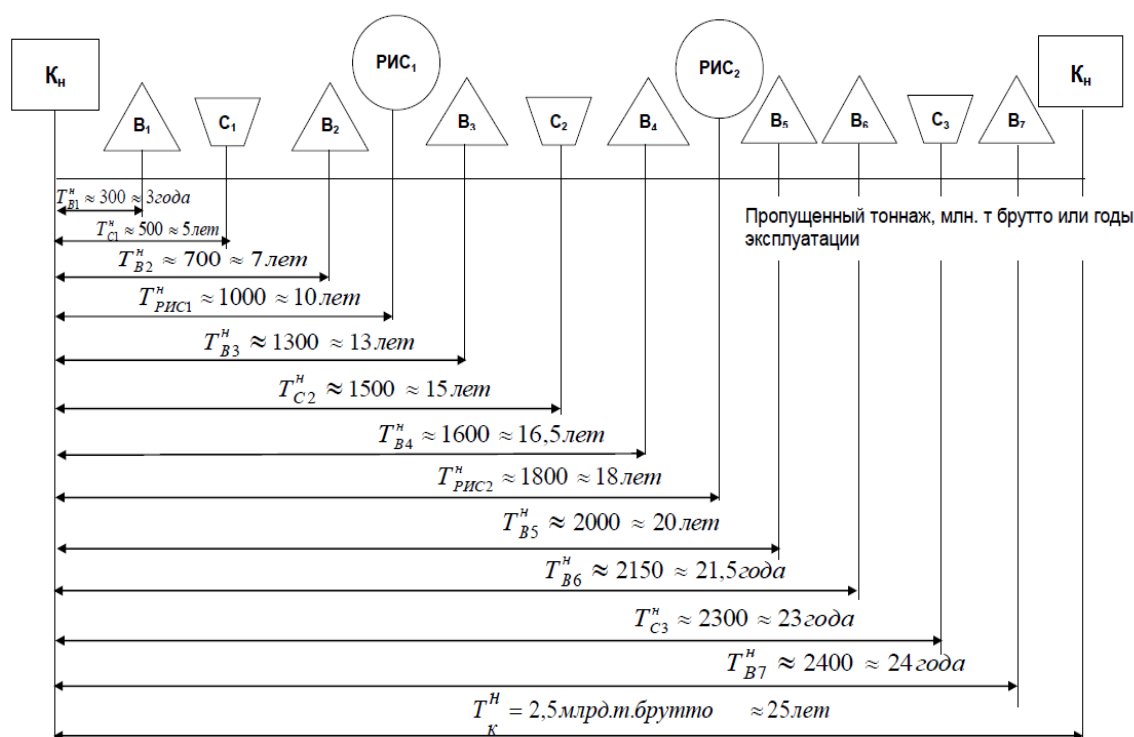
| Код группы (специализация) | Класс пути | Периодичность выполнения капитального ремонта $K_n$ , $K_{рс}$<br>(числитель - млн. тонн брутто, знаменатель - годы) |                       |                  |                       | Ремонтные схемы: виды<br>путевых работ и<br>очередность их выполнения<br>за межремонтный цикл |
|----------------------------|------------|--|-----------------------|------------------|-----------------------|---|
|                            |            | Железобетонные шпалы   |                       | деревянные шпалы |                       |   |
|                            |            | новые материалы  | старогодные материалы | новые материалы  | старогодные материалы |   |
| О                          | 1, 2       | 1400   | нет                   | нет              | нет                   | $K_n$ -В-В-РИС-В-П- $K_n$   |

Общая продолжительность времени «окон» для выполнения ремонтных работ в течение жизненного цикла для типовых технологических схем (таблица 1) в соответствии с ТУ от 28.04.2014 № 1035р (с дополнениями и уточнениями, согласно распоряжению ОАО «РЖД» от 19.01.2018г № 101р) ориентировочно составляет 148 часов.

Наиболее предпочтительным видом ремонта является производство среднего ремонта с очисткой поверхностного слоя балласта ( $C_{PCB}$ ) с глубиной очистки 15-25см с применением машин типа ЩОМ-Д на базе очистного устройства Драгавцева (центробежный способ очистки) [10, 11]. Данный вид среднего ремонта широко использовался на сети железных дорог страны в прошлом веке.

На рисунке 1 в качестве примера приведена схема жизненного цикла бесстыкового пути с рельсами Р65 на железобетонных шпалах и щебеночном балласте и производством капитального ремонта III-ого уровня (РИС) в середине жизненного цикла. На рисунке в скобках указаны рекомендуемые сроки ремонтов ( $t_i = T^H/G_{год}$ ) для принятой постоянной грузонапряженности  $G_{год} = 100$  млн. ткм брутто/км в год.

Предварительными расчетами установлено, что общее время занятия перегона для выполнения ремонтных работ в течение жизненного цикла наработки тоннажа до 2,5 млрд. т брутто по предлагаемой схеме организации (рисунок 1) составляет порядка 106 часов продолжительности «окон».



**Рисунок 1.** Ремонтный цикл бесстыкового пути с рельсами Р65 на железобетонных шпалах, щебеночном балласте и производством 2-х капитальных ремонтов III-ого уровня (РИС) в середине жизненного цикла при грузонапряженности участка 100 млн. ткм бр./км в год при общей наработке тоннажа 2,5 млрд. т брутто.

Примечания к рисунку 1: С – средний ремонт пути с очисткой поверхностного слоя балласта ( $C_{PCB}$ ) глубиной очистки 15-25 см с применением машин типа ЩОМ-Д на базе очистного устройства Драгавцева; В – планово-предупредительная выправка (ППВ) для восстановления равноупругости пути.

Таким образом, на основании выполненных предварительных исследований установлено,

что выполнение в течение жизненного цикла капитального ремонта III-ого уровня (РИС) в середине жизненного цикла и производство средних ремонтов с очисткой поверхностного слоя балласта ( $C_{PCB}$ ) с глубиной очистки 15-25 см с применением машин типа ЩОМ-Д на базе очистного устройства Драгавцева, ориентировочно на 70%, позволяет уменьшить время «окон» на производство ремонтов пути в течение жизненного цикла наработки тоннажа до 2,5 млрд. т брутто.

**Выводы:** При высокой грузонапряженности ( $G_{god} \geq 140$  млн. ткм брутто/км в год) и малых в этом случае фактических межремонтных сроках в годах может не возникнуть необходимость в выполнении третьего среднего ремонта с очисткой поверхностного слоя балласта в связи с тем, что за короткий период времени эксплуатации балластный слой не успевает накопить остаточные неравномерные деформации до уровня недопустимой неравноупругости и неработоспособности, устраняемой при средних ремонтах.

Применяемая в настоящее время периодичность и схема выполнения ремонтов и планово-предупредительной выправки железнодорожного пути на особо грузонапряженных участках не удовлетворяет перспективным техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути и системе его технического обслуживания, обеспечивающей наработку 2,5 млрд. тонн брутто пропущенного тоннажа.

Наиболее предпочтительным видом промежуточного ремонта является производство среднего ремонта с поверхностной очисткой щебня ( $C_{PCB}$ ) с глубиной очистки 15-25 см с применением машин типа ЩОМ-Д на базе очистного устройства Драгавцева. Данный вид среднего ремонта широко использовался на сети железных дорог страны в прошлом веке. Такой способ позволяет ориентировочно на 70% уменьшить время «окон» на производство ремонтов пути в течение жизненного цикла наработки тоннажа до 2,5 млрд. т брутто.

### Список литературы.

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. № 1734-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года» (в ред. распоряжения Правительства РФ от 11.06.2014 № 1032-р).
2. Величко Д.В. Толстикова Н.А. Анализ загрязненности щебеночного балласта // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск. – 2016. – № 3 (27). – С.110 – 117.
3. Гринь Е.Н., Коваленко Н.И. Факторный анализ оценки состояния пути // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С.22-23.
4. Гапеенко Ю.В. Стабилизация пути после глубокой очистки балласта // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 10. - С.13–16.
5. Kovalenko Nikolay, Volkov Boris, Kovalenko Aleksandr, Kovalenko Nina (2020). Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC “Russian Railways” in the Light of Modern Classification of Railway Lines. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer Cham 05 January 2020, PP.177-183.
6. Kovalenko Nikolay, Ponomarev Valentin, Kovalenko Nina, Fomina Nadegda, Kovalenko Aleksandr (2020). Assessment of the Mitigation of Consequences Resulting from Incidents at the Railway. / In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian



Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, Cham05 January 2020, PP.184-194.

7. Kovalenko Nikolai, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level, E3S Web of Conferences, Vol. 157 06031 (2020). doi.org/10.1051/e3sconf/202015706031 Springer, 20 March 2020, PP.92-99.

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

9. Методика классификации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2015г. № 551Р.

10. Путьевые машины. Учебник для вузов ж.д. транспорта/С.А. Соломонов, М. В. Попович, В.М. Бугаенко и др.; под ред. С. А. Соломонова. — М.: Желдориздат, 2000. — 756с.

11. Путьевые машины для выправки железнодорожного пути, уплотнения и стабилизации балластного слоя. Технологические системы. Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта / Атаманюк А.В., Бредюк В.Б., Бугаенко В.М. и др.; под ред. Поповича М.В., Бугаенко В.М. - М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 285с.