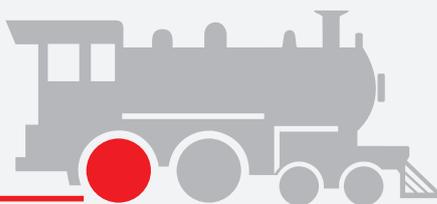


сетевое издание

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

## ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

### В ВЫПУСКЕ

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

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

«ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ РАССУЖДЕНИЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ»

Щенников А.Н.

«ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ БЛОКОВ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ»

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

Боженюк А.В., Косенко О.В., Алехина О.М.

«ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКА НА ТРАНСПОРТЕ»

Козлов А.В.

«ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ»

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

Духин С.В., Тясто М.А.

«МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КАДАСТРА И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА»

Ознамец В.В.

«ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА»

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

Дзюба Ю.В.

«МНОГОЦЕЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ»

Охотников А.Л.

«ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ДЕМПСТЕРА-ШАФЕРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК»

#### **ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА ТРАНСПОРТЕ**

Беляков С.Л., Орехова Д.А., Залилов Э.Ф.

«ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
В МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ»

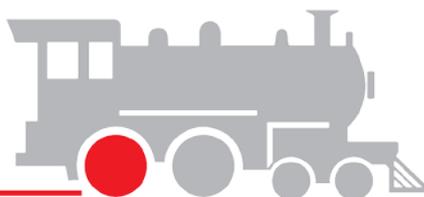
Коваленко Н.И., Аноховская И.В.

«ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ  
ЛИНЕЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА В ОАО «РЖД»

№ 1

Март 2019





### Стратегия развития железных дорог

- Лёвин Борис Алексеевич, Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич*  
Пространственные логические рассуждения при поддержке принятия решений 3
- Щенников Алексей Николаевич*  
Применение виртуальных блоков в управлении транспортом 17

### Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

- Боженюк Александр Витальевич, Косенко Олеся Валентиновна, Алехина Ольга Михайловна*  
Оптимизация распределения грузопотока на железнодорожном транспорте 27
- Козлов Александр Вячеславович*  
Логические модели в управлении транспортом 34

### Геоинформационные технологии и системы на транспорте

- Духин Степан Владимирович, Тясто Марина Алексеевна*  
Методы и способы использования глобальных навигационных систем для решения задач кадастра и землеустройства 41
- Ознамец Владимир Владимирович*  
Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства 46

### Цифровые методы на железнодорожном транспорте

- Дзюба Юрий Владимирович*  
Многоцелевое управление подвижными объектами 53
- Охотников Андрей Леонидович*  
Применение теории Демпстера-Шафера для оптимизации перевозок 61

### Вопросы комплексной безопасности и организации труда на транспорте

- Беляков Станислав Леонидович, Орехова Диана Александровна, Залилов Эльдар Фаридович*  
Предотвращение локальных аварийных ситуаций в механической транспортной системе 75
- Коваленко Николай Иванович, Аноховская Инна Валерьевна*  
Особенности организации инфраструктурных линейных предприятий путевого хозяйства в ОАО «РЖД» 85



УДК: 656, 004.89, 656.052

## **ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ РАССУЖДЕНИЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

- Лёвин Б.А.** д.т.н., профессор, Президент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: tu@miit.ru, Москва, Россия
- Розенберг И.Н.** д.т.н., профессор, Генеральный директор, АО «НИИАС», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Москва, Россия
- Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, зам. руководителя Центра, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье исследуются пространственные логические рассуждения как средства принятия решений и поддержки принятия решений. Описаны качественные пространственные рассуждения как основа пространственных логических рассуждений. Описаны основы пространственной логики. Показаны основные отличия от математической логики. Показаны факторы эффективности пространственной логики и технологий образных рассуждений. Показано, что логической основой пространственных рассуждений является логическое следование. Описан язык пространственной агрегации как средство выражения пространственных отношений в логике. Описаны дополнительные требования к пространственным образам и пространственной логике: комплементарность и репрезентативность.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, поддержка принятия решений, математическая логика, пространственная логика, пространственные отношения.

## **SPATIAL LOGICAL REASONING WITH DECISION SUPPORT**

- Levin B.A.** D.ofSci.(Tech), President, Rector, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: tu@miit.ru, Moscow, Russia
- Rosenberg I.N.** DofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIIAS», E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC "NIIAS", E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article are studied the spatial logical reasoning as a means of decision making and support tools. Qualitative spatial reasoning is studied as the basis of spatial logical reasoning. Paper describes the basics of spatial logic. The main differences between spatial logic and mathematical logic are shown in the article. Efficiency factors of spatial logic and imaginative reasoning technologies are described in the paper. The article proves that the logical basis of spatial reasoning is logical following. The article briefly describes the language of spatial aggregation as a means of expressing spatial relations in logic. The article formulates additional requirements for spatial images and spatial logic: complementarity and representativeness.
- Keywords:** transport, management, decision support, mathematical logic, spatial logic, spatial relations.

**Введение.**

Пространственные логические рассуждения при поддержке принятия решений применяют в управлении транспортом [1], при обработке информации в ГИС, при пространственном анализе транспортной инфраструктуры, при анализе функционирования цифровой железной дороги [2]. Информационной основой пространственных логических рассуждений (ПЛР) служит пространственная информация, пространственные модели, эвристическая обработка информации, визуальное моделирование. Методической основой ПЛР служит качественный анализ, качественные пространственные рассуждения [3], методы логического следования [4], методы математической логики [5].

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. Существуют разные точки зрения на этот феномен. Объективно QSR связаны с пространственным знанием. Логические рассуждения, с использованием пространственных данных, являются важной задачей во многих приложениях, таких как автоматизированное проектирование, лучевая диагностика, архитектурное и ландшафтное проектирование, геоинформационные технологии, анализ потоков, пространственное управление [6] и др. Такие приложения часто требуют манипулирования и анализа с качественными пространственными данными. Качественное пространственное рассуждение [7, 8, 9] имеет несколько направлений развития.

Одним из основных направлений является рассуждение, связанное с предоставлением исчисления, которое позволяет человеку и компьютеру представлять и работать с пространственными объектами без применения традиционных количественных методов. Представление касается различных форм пространственных знаний, а рассуждения касаются визуальных методов и логических методов принятия решений. Информационное поле [10, 11] качественного пространственного рассуждения включает два внутренних поля - визуального представления и логического рассуждения.

Второе направление - QSR связано с обучением в области информатики, целью которого является предоставление способов рассуждения о пространстве без необходимости получения точной количественной информации.

Третье направление QSR представляет собой исследование механизмов вывода, которые связаны с когнитивными, вычислительными и формальными аспектами логических выводов, представляя непрерывные свойства пространства реального мира дискретными системами символов.

Четвертое направление QSR связано с представлением непрерывных свойств мира дискретными символами, а затем рассуждение над такими символами без использования более дорогого (вычислительного) количественного знания. Качественные знания и рассуждения лучше имитируют процессы пространственного мышления человека. Топология, геометрия, теория множеств – яркий пример наук, использующих пространственные рассуждения. Использование этих методов для поддержки принятия решений отличается от решения математических задач и представляет предмет исследования данной статьи.

**Логическое следование как основа пространственных рассуждений.**

Логика имеет две основные задачи [12]: поиск истинности высказываний и формирование логических цепочек [13] в виде логического следования. Семантическое понятие логического

следование введено Тарским [14] Однако, несмотря на это, многочисленные учебники по матлогике дают упрощенную трактовку, сводя логическое следование к импликации [5]. В некоторых учебниках это понятие не упоминается, хотя является важным аспектом логики. Основные методы вывода логики: дедукция, индукция, тридукция, абдукция [15] и даже редукция - представляют собой различные методы логического следования [16]. Понятие логического следования не имеет точного определения. В частности, описание его с помощью модальных выражений "видимо", "вытекает" и т.п. содержит неявный круг, поскольку они являются синонимами слова "следует".

Упрощенно логическое следование – это отношение, существующее между посылками и заключениями. Для импликации существует одна посылка и одно следование. Для силлогизмов посылок больше. Для гипотез и кванторных вычислений посылок также много. Понятие следования обычно характеризуется путем указания его связей с другими логическими понятиями. Понятие логического следования является основным в научном выводе.

В работе [17] отмечается, что семантическое следование равносильно выводимости. Это подчеркивается сходством символов. Существует символ  $\vdash$  «выводимость» и аналогичный символ  $\vDash$  «логического следования». В соответствии с законами логики логическое следование исключает неопределенность, модальность и вопросительные предложения.

В узком, иногда ошибочном, смысле логическим следованием называют импликацию. Импликация определяется [5] как логическое высказывание  $A \rightarrow B$ , которое ложно только тогда, когда  $A$  истинно, а  $B$  – ложно.

Семантическое определение логического следования имеет другой смысл:

$$(A_1, \dots, A_n) \vDash B, \quad (1)$$

Выражение (1) в семантической интерпретации звучит так: Определение 1. Из посылок  $(A_1, \dots, A_n)$  логически следует высказывание  $B$ , если не может быть так, что высказывания  $A_1, A_n$  истинны, а высказывание  $B$  – ложно, (т.е. если  $B$  истинно в любой модели, в которой истинны  $A_1, \dots, A_n$ ).

Отличительной чертой логического следования является то, что оно ведет от истинных высказываний только к истинным. Для сравнения рассмотрим таблицу истинности импликации.

Таблица 1.

Таблица истинности импликации [5].

A	B	$A \rightarrow B$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Таблица 1 допускает множество ситуаций, в то время как определение 1 исключает ряд строк таблицы. Выполнение условий определения 1 сводит таблицу 1 к таблице 2.

Таблица 2.

Семантическое логическое следование для импликации [17].

A	B	A→B
1	1	1

Сутью логического следования является сохранение истины во всех случаях. Однако существует критика, которая состоит в том, что данное Тарским определение логического следования не позволяет выяснить, что такое логика, поскольку должны приниматься во внимание случаи, включенные в определение логического следования.

Классическое отношение логического следования  $\vdash$  между подмножествами множества формул  $Fm$  и элементами  $Fm$  выполняет следующие три условия для всех  $\Gamma, \Delta \subseteq Fm$  и  $A, B \in Fm$ :

- $A \in \Gamma \Rightarrow \Gamma \vdash A$  (рефлексивность),
- $\Gamma \vdash A$  и  $\Gamma \subseteq \Delta \Rightarrow \Delta \vdash A$ , (монотонность),
- $\Gamma \vdash A; \Gamma, A \vdash B, \Rightarrow \Gamma \vdash B$  (транзитивность или сечение).

Различные интерпретации понятия логического следования ведут к различным логическим системам и к новым неклассическим направлениям в логике.

Приведем следующий пример. Пусть  $\vdash$  есть отношение логического следования. Назовем его чрезмерным (explosive), если оно удовлетворяет условию, что для любых формул  $A$  и  $B$ : из  $A$  и  $\neg A$  следует  $B$  (символически:  $\{A, \neg A\} \vdash B$ ). Классическая логика, интуиционистская логика, многозначные логики Лукасевича и большинство других логик являются чрезмерными. Логика называется паранепротиворечивой тогда и только тогда, когда её отношение логического следования не является чрезмерным.

Таким образом, в пространственных логических рассуждениях логически правильные выводы могут быть получены только при использовании логического следования.

### Пространственное агрегирование как базис пространственных рассуждений.

Один из подходов логики пространственных рассуждений является пространственное агрегирование [18] (Spatial Aggregation - SA). Он построен на следовании образному мышлению [19] и применяет комбинацию образов для манипуляции в многослойными геометрическими и топологическими структурами. Пространственное агрегирование позволяет использовать описанные выше пространственные отношения и пространственные информационные ситуации с визуальным моделированием и интеллектуальным анализом данных. Однако в контексте качественных рассуждений основное внимание должно уделяться явному представлению и объяснению результатов агрегации.

Пространственная агрегация мотивирована некоторыми проблемами пространственного рассуждения, поднятыми Абельсоном и др. [20]. В статье Абельсона описывается ряд подходов к интерпретации численных результатов моделирования динамических систем. Эти проблемы имеют набор геометрических и топологических ограничений. Такого рода ограничения используют для значительного сокращения пространства информационного поиска, а также могут использоваться для передачи результатов интерпретации экспертам-специалистам.

Например, при интерпретации качественного поведения нелинейной динамической системы можно визуально описать множество траекторий, которые имеют одинаковое качественное поведение как один геометрический объект, который можно легко визуализировать [18].

Метод SA позволяет описывать структуры в информационных полях на нескольких уровнях абстракции. При этом структуры, выявленные на одном уровне, становятся основой построения структуры на следующем уровне. Например, в приложении для анализа метеорологических данных [21] SA могла извлекать из данных давления изобары, ячейки давления и прочее.

Поле пространственных данных, как правило, является гетерогенным, состоящим из однородных областей. Однородные области в информационном поле можно объединять отношениями и рассматривать как пространственные структуры (например, изотермические контуры являются связанными кривыми равного значения). То же самое можно говорить о горизонталях на карте. Поэтому многослойные структуры возникают из однородных областей в полях разных масштабов.

Наличие масштабов позволяет рассматривать сложные составные объекты и элементарные объекты, образующие информационные пространственные поля. Элементарные пространственные объекты вводятся в качестве примитивов в QSR. В другой интерпретации эти примитивы можно рассматривать как информационные единицы, элементы информационного языка. Информационные единицы служат основой инкапсуляции геометрических и топологических свойств в объекты, которые они образуют.

Параметрически пространственный объект представляет собой ячейку параметрического пространства, топологически эквивалентную шару [22]. Сходство между объектами определяется сходством параметрических ячеек. Перемещение отображения из поля в абстрактное описание через несколько слоев, а не на один гигантский шаг, позволяет создавать модульные программы с управляемыми элементами, которые могут использовать аналогичные методы обработки на разных уровнях абстракции. Схема пространственного агрегирования представлена на рис. 1

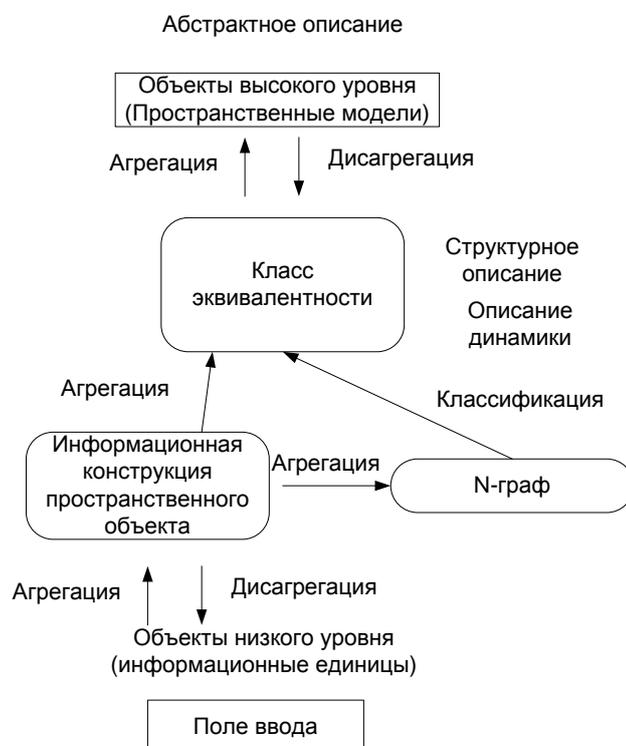


Рисунок 1. Пространственное агрегирование с помощью информационных единиц и информационных конструкций

Многоуровневое сопоставление также позволяет уровням более высокого уровня использовать глобальные свойства объектов нижнего уровня как локальные свойства объектов более высокого уровня. Например, средняя температура в области является глобальным свойством, если рассматривать ее относительно температурных точек данных, но является локальным свойством при рассмотрении более абстрактного описания области.

Метод SA предоставляет набор типов информационных единиц и процессуальных информационных конструкций (операторов) для построения иерархии пространственной совокупности. Информационные единицы и информационные конструкции явно используют знания о предметной области (Рис.1), в частности сходство или близость объектов информационного поля и их функций, которые кодируются метриками, смежными отношениями и предикатами эквивалентности [22].

Метод SA позволяет создавать ряд прикладных программ, начиная от анализа динамических систем и заканчивая механическим анализом, с точки зрения одного и того же набора родовых операторов из области пространственных знаний. Центральный тип данных SA, граф окрестности (N-граф), является явным представлением отношения смежности объекта. Определение смежности является специфичным и зависит от метрических свойств входного поля. К общим отношениям смежности относятся, например, триангуляции Делоне, связующие деревья и равномерные сетки. График окрестности служит информационной конструкцией, локализующей информационное взаимодействие между соседними объектами. Основные операторы SA объединяют объекты в графы окрестности или информационной ситуации. Эти модели удовлетворяют предикату смежности и классифицируют соседние узлы в классах эквивалентности, определяя сходство функции, и трансформируют классы эквивалентности в объекты более высокого уровня. Дополнительные операторы выполняют пространственный информационный поиск по графам окрестностей, проверяют согласованность объектов, извлекают их геометрические свойства и т.д.

Механизм пространственной агрегации использует свой собственный информационный язык, основанный на применении информационных единиц (примитивов) и их комбинаций (составных информационных моделей). Иногда его называют языком пространственной агрегации (The Spatial Aggregation Language - SAL) [18, 19].

Информационный язык пространственных рассуждений включает две группы единиц: информационные единицы репрезентации, информационные единицы взаимодействия.

Информационные единицы репрезентации иногда представляют как графические информационные единицы [23]. В картографии единицами репрезентации являются условные картографические знаки, которые подразделяют на точечные, линейные и ареальные.

Библиотека информационных единиц репрезентации единиц поддерживает построение пространственных рассуждений. Единицы делят на базисные и составные. На рис.2 приведены базисные информационные единицы репрезентации.

В соответствии с понятиями формального или конфигурационного знания [24, 25] эти четыре типа единиц соответствуют четырем типам объектов конфигурационного или морфологического знания [24]. На рис.2 следующие обозначения пространственных единиц: 1 – точка; 2 – линия; 3 – плоская фигура; 4 – объемная единица.

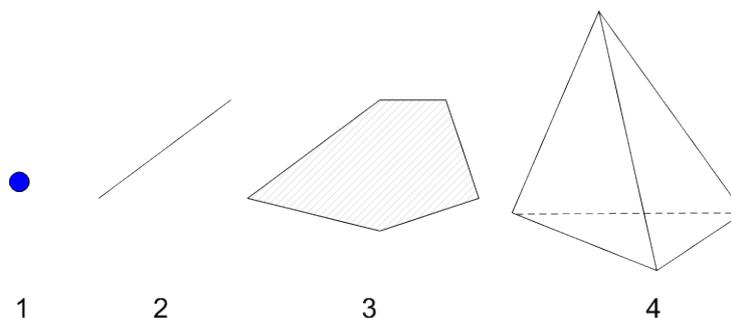


Рисунок 2. Базисные информационные единицы репрезентации

Кроме простых информационных единиц применяют их комбинации или составные информационные единицы. На рис.3 приведены составные информационные единицы, взятые из [26].

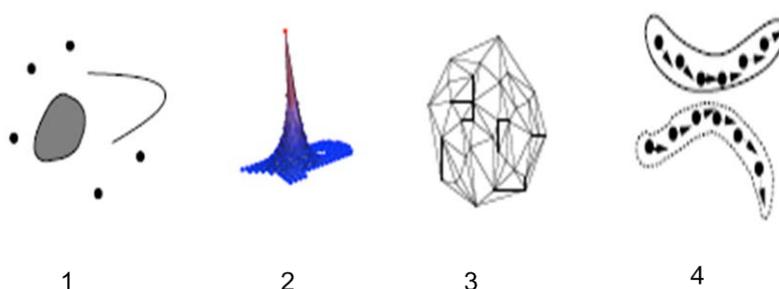


Рисунок 3. Составные информационные единицы репрезентации

На рис.3 следующие обозначения: 1 – точки, ареал и линия; 2 – фрагмент поля, объемная точка (температура); 3 – N-граф как приближенное отображение объекта, Делане триангуляция; 4 – эквивалентный класс, группа схожих объектов, фрагмент векторного поля.

На рис.4 приведены информационные единицы, выражающие пространственные отношения [7, 26].

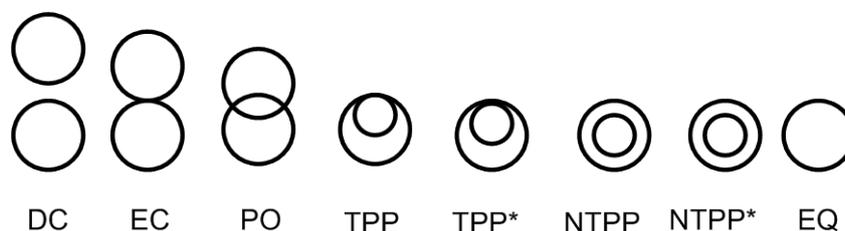


Рисунок 4. Информационные единицы пространственных отношений

На рис. 4 приведены следующие обозначения для двух ареальных объектов: отсутствие взаимодействия – DC; взаимодействие общая граница – EC; частичное перекрытие – PO; тангенциально правильное взаимодействие – TPP; инверсное тангенциально взаимодействие – TPP\*; объект внутренний не взаимодействует тангенциально с объектом внешним – NTPP; объект внешний не взаимодействует тангенциально с объектом внутренним – NTPP\*; объекты эквивалентны – EQ.

Язык пространственной агрегации SAL позволяет пользователям изучать спецификации пространственных знаний, такие, как отношения соседства и предикаты эквивалентности, а также интерактивно и графически изучать и изменять результаты. Этот язык является одним из многих языков информатики [27]. Исходный код SAL можно загрузить с сайта [www.cs.purdue.edu/homes/cbk/sal.html](http://www.cs.purdue.edu/homes/cbk/sal.html) или [www.parc.com/zhao/sal.html](http://www.parc.com/zhao/sal.html).

### **Пространственная логика**

Пространственная логика (spatial logic) является важнейшей частью пространственных логических рассуждений. Пространственная логика в другом значении используется в психологии как область пространственного мышления и восприятия мира. Пространственная логика в пространственных рассуждениях может быть рассмотрена как семейство частных пространственных логик. Пространственная логика включает получение пространственных знаний (область искусственного интеллекта). Геометрическая логика включает следующие компоненты: определения; постулаты; теоремы; целевые утверждения (задачи), которые требуется доказать или построить, используя некоторый стандартный механизм логического вывода.

Такую схему получения знаний из изображений воспроизводят системы логического программирования, включая системы геометрического вывода. При автоматизированной обработке изображений задачам построения соответствуют задачи латентного анализа, а задачам доказательства соответствуют задачи распознавания объектов

Топологическая логика использует топологические свойства объектов, наличие которых означает «истину», отсутствие «ложь». Например, ориентированная дуга соответствует импликации. Пересечение соответствует конъюнкции. Топологическая инвариантность соответствует эквивалентности или тавтологии. Это позволяет строить формальные логические последовательности, соответствующие плоским топологиям. В топологической логике по топологическим схемам строят логические схемы. Теоретико-множественная логика использует теоретико-множественные отношения как логические отношения между множествами. В теоретико-множественной логике в противоположность топологической логике формальными выражениями ставят в соответствие абстрактные геометрические образы, наиболее яркими из которых являются диаграммы Эйлера – Вена.

Образная логика включает первичные модели объектов (информационные единицы) и априорные знания об объектах и их свойствах (семантика). Примером таких образов являются условные знаки на картах и язык пространственной агрегации [7, 26] (рис.4). Образная логика работает не с абстрактными образами, а с образами, несущими содержательность. Эта логика используется в картографии, геоинформатике и при работе с ГИС. Наиболее частыми задачами в этой логике являются задачи верификации, идентификации, построения, редактирования.

Логика образов может быть интерпретирована как любые геометрические свойства пространственных объектов или пространственные отношения, определенные в разных областях: топологическая связанность областей, параллельность линий или, равноудаленность двух точек от третьей. Образная логика включает более простые логики.

В широком смысле под пространственной логикой [28] понимают любой формальный язык, интерпретируемый над классом структур, представляющих геометрические объекты и пространственные отношения. В этом формальном языке может использоваться любой логический синтаксис: синтаксис логики первого порядка, некоторый фрагмент логики первого порядка или, возможно, логика высшего порядка. Структуры, над которыми он интерпретируется, могут обитать в любом классе геометрических «пространств»: топологических пространствах, аффинных пространствах, метрических пространствах или, возможно, в одном пространстве, таком как проективная плоскость или евклидово 3-пространство.

В современном понимании пространственная логика (в первую очередь ее наиболее сложная часть – образная логика) близка к более исследованной области - модальной логике. Это иллюстрируется на рис. 5, где показаны разные обозначения одного объекта, применяемые на разных схемах.



Рисунок 5. Разные степени абстракции одного объекта

Большой вклад в становление пространственной логики внес Тарский [29, 30]. В частности, Тарский использовал логику первого порядка с переменными, расположенными по точкам в евклидовой плоскости, и с нелогическими предикатами, обозначающими два примитивных пространственных отношения: троичное отношение «между» и четвертичное отношение «равноудаленности». Получившийся язык достаточно выразителен, чтобы сформулировать большую часть евклидовой геометрии - например, теорему Пифагора или существование девятиточечного круга Фейербаха.

В элементарной геометрии Тарского [30] переменные располагаются по совокупности точек на евклидовой плоскости; аналогично, в его «Геометрии твердых тел» переменные располагаются по совокупности регулярных замкнутых подмножеств  $R^3$ ; и в его модальном топологическом языке переменные располагаются по совокупности всех подмножеств некоторого топологического пространства. Тарский показал, что теория элементарной геометрии является разрешимой: существует логическая процедура для определения любого данного предложения на соответствующем языке, является ли это предложение истинным согласно рекламируемой интерпретации. Напротив, теория второго порядка, необходимая для выражения всех аксиом Гильберта, неразрешима.

Наиболее отличительная черта современной логики - теоретико-модельный подход [17]. Он ярко представлен в пространственной логике. Теоретико-модельный подход к логике в качестве основной проблемы часто использует разные отношения между математическими структурами и объектами. С этой точки зрения пространственная логика становится инструментом изучения отношений между геометрическими структурами и реальными пространственными объектами

Развитию пространственной логики способствовали работы по автоматизации логического вывода и автоматизации распознавания образов. В этом контексте проблема баланса выразительной силы образной логики и вычислительной сложности модели (рис.5) занимает центральное место. Пространственная логика отличается от математической логики по трем основным отличиям. Первое касается качественно разных наборов геометрических объектов, которые требуют разной логики и разной интерпретации: точки, линии, ареалы разных видов, поверхности, объемные тела.

Второе принципиальное отличие касается выбора качественно разных базовых единиц описания, базовых отношений и операций над этими объектами. В этом отличие качественно различаются информационные единицы. В математической логике они только формальные. А в пространственной логике используют формальные и семантические информационные единицы. Третье принципиальное отличие касается чисто введения неопределенности и модальности в логические пространственные описания.

Основой преобразований в математической логике являются тавтологии и эквивалентности. Инвариантность в пространственной логике - это полный аналог эквивалентности или тавтологии в математической логике. Примером являются топологические инварианты. При этом многие отношения инвариантности могут точно соответствовать логике первого порядка.

Для пространственных образов и пространственной логики возникает проблема сложности логической модели и сложности ее анализа. На рис.6 приведен космический снимок площади трех вокзалов.



Рисунок 6. Снимок площади трех вокзалов в г. Москве

На рис.7 приведена пространственная картографическая модель той же территории.

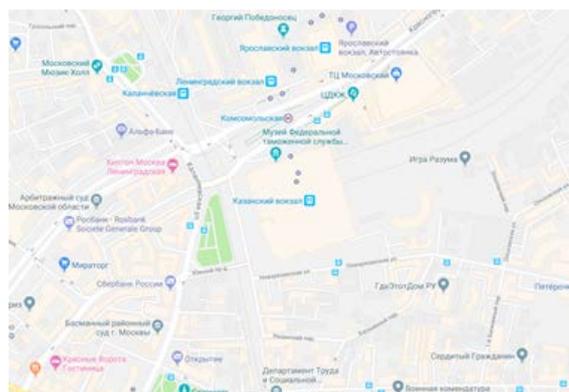


Рисунок 7. Пространственная модель территории по рис.6

Сравнение рис.6 и рис.7 показывает главную проблему пространственной логики (является ли модель истинной в данной интерпретации). Однако попытка изобразить пространственную модель на рис.7 словами обречена на неудачу по когнитивным и лингвистическим факторам.

Бертран Рассел трактовал природу пространственных образов так: «Существует сложность в отношении языка как метода представления системы, а именно того, что слова, которые означают отношения, сами по себе не являются отношениями. Графический образ – карта -

превосходит язык, поскольку тот факт, что одно место находится к западу от другого, представлен тем фактом, что соответствующее место на карте находится слева от другого, то есть фактическое отношение представлено пространственным отношением» [31, с. 152].

Проверка моделей мало изучена в контексте пространственной логики; в отличие от этого, проверке выполнимости уделяется гораздо больше внимания. Большинство пространственных логик выше первого порядка, интерпретируемых по знакомым пространственным областям, неразрешимы. Следовательно, эта проблема представляет наибольший интерес при работе с пространственной логикой.

Ярким примером разрешимых являются пространственные логики, интерпретируемые по регулярным замкнутым множествам произвольных топологических пространств. Язык этих логик включает в себя только булевы связки (без кванторов), пространственные информационные единицы (примитивы) и представляют различные топологические отношения и функции. Проблема разрешимости для таких логик, как правило, существует

Современная пространственная логика представляет собой интересную проблему, которая еще не до конца понятна [28]. Общая методология в логическом обобщении состоит в том, чтобы найти выразительные пространственные модели, которые логически анализируемы. Обычные методы анализа, которые работают с простыми моделями, часто оказываются бессильными, когда сталкиваются с языками, интерпретируемыми по определенным структурам, как это обычно имеет место в пространственной логике.

При сложности и непонятности интерпретации следует отметить преимущества и эффективность пространственной логики. Ряд исследователей пытаются объяснить наблюдаемую «эффективность» образных рассуждений (ОР) с помощью понятий «ограниченная абстракция» и невыразительность [32].

Авторы работы [33] утверждают, что применение концепций вычислительной сложности к системам (ОР) необходимо для оценки точных утверждений об их эффективности. Формальный анализ (ОР) не в состоянии объяснить способы, которыми они используют пространственные отношения в своей репрезентативной работе. Этот факт поднимает некоторые проблемы репрезентативности графических систем, связанные с топологическими и геометрическими ограничениями среды.

Формальный анализ схем образного представления является растущей областью исследований, которая обещает полезные приложения в таких областях, как пространственные знания и визуальное программирование. Однако применяемый формальный анализ образных представлений не всегда учитывает способы использования пространственных отношений в таком представлении. Например, пространственное отношение перекрытия [34] между земельными участками (рис.8) является свидетельством нарушения комплементарности системы земельных участков.

Это обусловлено пренебрежением анализа пространственно – временных отношений, и оно приводит к серьезным рискам и ошибкам.

Особенностью пространственных моделей и пространственной логики является то, что пространственные отношения между символами языка несут информацию. В естественных вербальных и текстовых языках используется только конкатенация, поскольку акустическая среда является последовательной.



Рисунок 8. Нарушение границ участка из-за неверного определения дирекционных углов.

В двумерном пространстве (образов) доступны более разнообразные соотношения. Такие отношения как связь, перекрытие, порядок стратификации, наложение (оверлей) и включение между областями – широко используют при работе с ГИС. Эти отношения используют для репрезентативного эффекта, как это обычно происходит в картах и в известной системе кругов Эйлера. Более интересные эффекты проявляются в пространственном концептуальном смешивании [35], которое естественным языком описать сложно, а сконструировать невозможно.

Графические представления в пространственной логике, в отличие от аппарата математической логики, имеют ресурсы для выражения различных видов неопределенности. Основное различие между графической и лингвистической системами заключается в использовании отношений. Пространственные модели используют пространственные отношения для представления отношений в своей целевой области. В лингвистических системах слова используются для представления отношений, и единственное отношение между жетонами слов – это конкатенация, которая не «напрямую интерпретируется» так, как это делают пространственные отношения.

Однако это выдвигает дополнительные требования к пространственным образам и пространственной логике. Первое требование - это «комплементарность» [36], то есть система пространственных образов должна быть согласованной и не выражать противоречия (рис.8). Второе требование – репрезентативность. Оно состоит в том, что система графического языка или графических информационных единиц может использоваться для описания любой возможной ситуации предметной области.

### **Заключение**

Пространственные логические рассуждения строят на основе пространственной логики, пространственного моделирования, пространственных информационных единицах и пространственных отношениях. Неявно, то есть без выделения в отдельное направление, пространственную логику на эвристическом уровне применяют в ГИС и ситуационных центрах.

Более высока эффективность пространственной логики и логики образов состоит в том, что они содержат семантику, в то время как математическая логика семантику не содержит в таком же объеме. Это обеспечивает выразительность представления.

Другой причиной эффективности пространственной логики и пространственных образов (картографических) – это возможность прямо средствами графики выражать пространственные отношения, что на три порядка повышает скорость анализа таких моделей человеком. Соответственно повышается скорость принятия решений.

Это послужило основой того, что ситуационные центры [37] широко применяют как инструмент управления во многих областях, включая транспорт. Однако пока ситуационные центры выполняют репрезентационные функции, в то время как пространственный логический анализ в них практически отсутствует, несмотря на их высокую стоимость.

### Список литературы

1. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С. 268-274.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
3. Cohn, A. G., & Hazarika, S. M. Qualitative spatial representation and reasoning: An overview.// *Fundamenta informaticae*, 2001, 46(1-2), - p. 1-29.
4. Цветков В.Я. Логическое следование // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 126-130.
5. Агарева, О.Ю. Математическая логика и теория алгоритмов: учеб. пособие./ О.Ю. Агарева, Ю.В. Селиванов. — М. : МАТИ, 2011. —80 с.
6. Бахарева Н.А. Пространственная информация в региональном и муниципальном управлении // Государственный советник. – 2013. - №4. – С. 39-42.
7. Цветков В.Я. Качественные пространственные рассуждения./ В.Я. Цветков. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 60 с.
8. Moratz, R., Ragni, M. Qualitative spatial reasoning about relative point position./ R. Moratz, M. Ragni, // *Journal of Visual Languages & Computing*, 2008, 19(1), p.75-98.
9. Wallgrün, J. O. Exploiting qualitative spatial reasoning for topological adjustment of spatial data. In *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems 2012*, November p.229-238.
10. Кудж С.А. Информационное поле./ С.А. Кудж – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с.
11. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение/Т.А. Ожерельева// *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2014. – № 10 – С. 21-24.
12. Фреге Г. Логика и логическая семантика./Г. Фреге. –М. Аспект Пресс, 2000. -512 с.
13. Раев В.К. Логические цепочки/В.К. Раев, В.Я. Цветков// *Дистанционное и виртуальное обучение*. 2018. - № 1(120). – С. 14-21.
14. Tarski A. On the concept of logical consequence/A. Tarski// *Logic, Semantics, Metamatematics*, second edition, Indianapolis: Hackett, 1983, p. 409-420.
15. Болбаков Р.Г. Абдуктивный вывод/ Р.Г. Болбаков, В.Я. Цветков// Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 68-72.
16. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 2. Языки и исчисления./ Н.К. Верещагин, А. Шень — 4-е изд., испр. — М.: МЦНМО, 2012. — 240 с.

17. Кудж С.А., Цветков В.Я. Логика и алгоритмы: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2019. – 112 с. ISBN 978-5-317-06054-1.
18. Yip K., Zhao F., (1996). Spatial aggregation: theory and applications. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 5, p. 1–26.
19. Yip K., Zhao F., Sacks E., Imagistic reasoning.//*ACM Computing Surveys* 1995.27(3), 363-365 p.
20. Abelson H., Eisenberg M., Halfant M., Katzenelson J., Sacks E., Sussman G., Wisdom J., Yip K., Intelligence in scientific computing. / 1989. *CACM* 32(5), p. 546–562.
21. Huang X., Zhao F. Relation-Based Aggregation: Finding Objects in Large Spatial Datasets./ 2000. *Intelligent Data Analysis* 4(2), p.129–147.
22. Munkres J. *Elements of Algebraic Topology*. / 1984. Addison-Wesley.
23. Докукин П. А. Графические информационные единицы//*Перспективы науки и образования*. - 2015. - №3. - С. 32-39.
24. Цветков В.Я. Формирование пространственных знаний // – М.: МАКС Пресс, 2015. – 68 с.
25. Савиных В.П. *Геознание*. - М.: МАКС Пресс, 2016. - 132 с.
26. Bailey-Kellogg C., Zhao F. Qualitative spatial reasoning extracting and reasoning with spatial aggregates. // 2003. *AI Magazine*, 24(4), 47 p.
27. Цветков В. Я. Язык информатики // *Успехи современного естествознания*. - 2014.- №7. - С. 129-133.
28. Aiello M., Pratt-Hartmann I., Van Benthem J. What is Spatial Logic? // *Handbook of spatial logics*. – Springer, Dordrecht, 2007. – p. 1-11.
29. Tarski Alfred (1956). Foundations of the geometry of solids. In *Logic, Semantics, and Metamathematics*, p. 24-29. Clarendon Press, Oxford.
30. Tarski Alfred (1959). What is Elementary Geometry? In Henkin, L., Suppes, P., and Tarski, A., editors, *The Axiomatic Method, with Special Reference to Geometry and Physics*, p. 16-29. North-Holland Publishing Co., Amsterdam.
31. Bertrand Russell. Vagueness. In John Slater, editor (1923), *Essays on Language, Mind, and Matter 1919-26, The Collected Papers of Bertrand Russell*, p. 145 - 154. Unwin Hyman, London.
32. Keith Stenning and Jon Oberlander. A Cognitive Theory of Graphical and Linguistic Reasoning: Logic and Implementation. // 1996. *Cognitive Science*, 19(1), p. 97 - 140.
33. Lemon O., Pratt I. Spatial logic and the complexity of diagrammatic reasoning //*Machine Graphics and Vision*. 1997. – V. 6. – №. 1. – p. 89-108.
34. Ознамец В.В., Сельманова Н.Н. Ошибки кадастровой информации// *Славянский форум*. - 2018. – 1(19). - С. 49-55.
35. Савиных В.П. Концептуальное смешивание в геознании // *Славянский форум*. - 2017. - 2(16). – С.19-24.
36. Богутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // *Вестник Мордовского университета*. - 2014. - Т. 24. № 4. – С. 103-116.
37. Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития - М.: МедиаПресс, 2011. -336 с.

УДК: 656.052

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ БЛОКОВ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ**

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

**Аннотация.** В статье исследуется применение технологии виртуальных блоков в управлении железной дорогой. Показано, что блоковое или интервальное управление является основой управления цифровой железной дорогой. Это управление основано на информационном моделировании. Статья проводит сравнение обычного управления и блокового управления. Описан механизм формирования блока. Показаны преимущества блокового управления. Статья описывает два из многих математических принципов, которые применяют при блоковом управлении. Первый принцип связан с поиском оптимального решения при изменении условий управления. Это теорема об огибающей. Вторым принципом слабо применяют в явной форме при управлении транспортом. Это принцип комплементарности ресурсов или воздействий.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, цифровая железная дорога, блоковое управление, комплементарность управления, виртуальный блок, информационное взаимодействие.

## **THE USE OF VIRTUAL BLOCKS IN TRANSPORT CONTROL**

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

**Annotation.** The article explores the use of virtual block technology in the control of the railway. The article proves that block or interval control is the basis of management of the digital railway. Such management uses information modeling. The article compares conventional control and block control. The article describes the information mechanism of the formation of the block. This article describes the benefits of block management. The article describes two of the many mathematical principles that apply to block management. The first principle is connected with the search for the optimal solution when the control conditions change. This is an envelope theorem. The second principle is weakly applied explicitly in the management of transport. This is the principle of complementarity of resources or impacts.

**Keywords:** transport, control, digital railway, block control, control complementarity, virtual block, information interaction.

### **Введение.**

Первый этап цифрового управления, включая железную дорогу, являлся реализацией методов автоматизированного управления. Вторым этапом цифрового управления является переходным между интеллектуальным и автоматизированным управлением. Третьим этапом цифрового управления, являлся реализацией интеллектуального управления. Такая ситуация

обуславливает значение и актуальность исследования феномена цифровой железной дороги [1-5]. Железная дорога находится на земной поверхности, поэтому является геотехнической системой [6]. Геотехнические системы для нормального функционирования требуют поддержки. Цифровая железная дорога (ЦЖД) также является геотехнической системой и также требует поддержки [7, 8]. Кроме технической поддержки ЦЖД требует методической, организационной и теоретической поддержки. Теоретическая поддержка управления ЦЖД опирается на опыт разных школ управления [9]. Более детально управление ЦЖД использует следующие виды управления: организационное [10, 11], информационное [12-14], семиотическое [15, 16], ситуационное [17-19] и субсидиарное [20-22]. Управление ЦЖД относится к виду управления при непредвиденных обстоятельствах [9]. Технологически ЦЖД использует опыт эвристического управления, метода прецедентов и др. Понятие блока является одним из ключевых понятий ЦЖД и требует специального рассмотрения.

**Сигнально блоковое движение и подвижные блоки.**

Движение подвижного состава на железной дороге можно определить как сигнально-блоковое. Оно осуществляется по сигналам, которые стоят на отрезках пути и разрешают или запрещают движение (рис.1) [4].

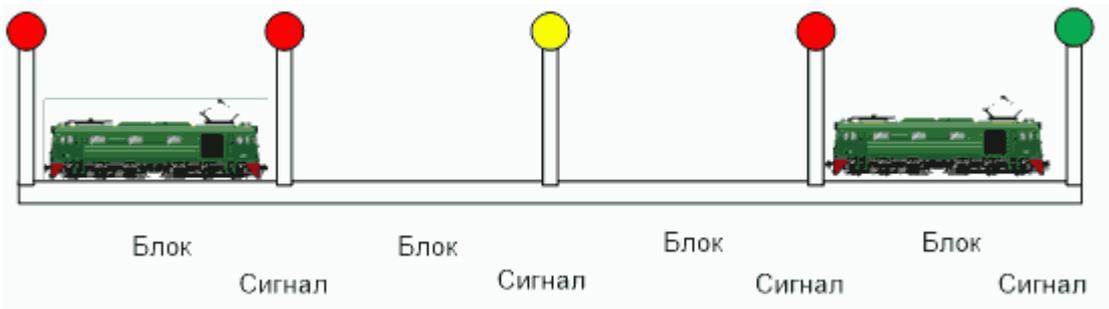


Рисунок 1. Принцип обычного движения [4].

В этой технологии блок движения предопределен заранее и не зависит от скорости или иных факторов. Между поездами существуют блоки, движение по которым разрешено оптическими и дополнительными сигналами. Если сигнал разрешающий, то происходит движение, при запрещающем сигнале транспортное средство стоит.

Технология подвижных сигнальных блоков (Moving block signaling) поясняется на рис.2. Она состоит в том, что расстояние между поездами вычисляется и влияет на характеристики движения следующего поезда.

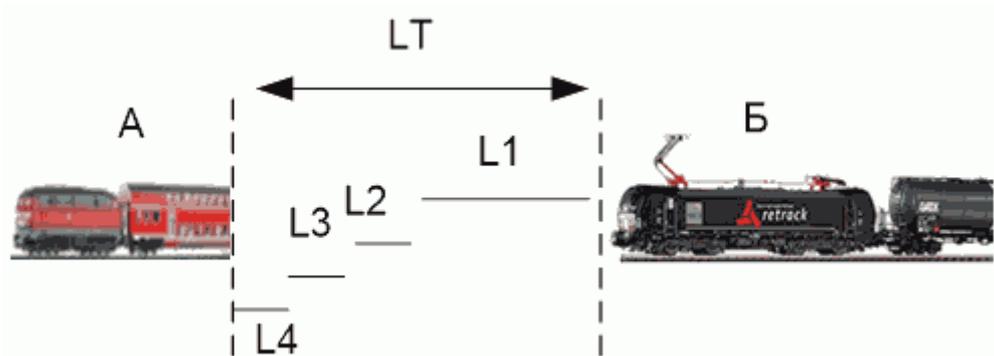


Рисунок 2. Технология подвижных блоков

В технологии подвижных блоков (рис.2): последующий объект (Б) содержит внутреннюю информационно-вычислительную систему [23] и осуществляет интеллектуальное взаимодействие [24] с другими объектами (например, с впереди идущим объектом А).

Размер блока LT не является фиксированным, а рассчитывается на основе компонент L1-L4. Параметр L1 (тормозной путь) является основным. Он рассчитывается на основе безопасного тормозного пути, и регулируется по скорости, нагрузке, кривой наклона рельса и условиям движения. Параметр L2 (инерционный) определяется общей временной задержкой принятия решений системой, которая обусловлена: временем задержки связи, временем работы датчиков о состоянии подвижного объекта, временем реакции бортовой компьютерной системы. Параметр L3 (навигационный) определяется допустимой погрешностью определения местоположения на основе данных GIS-GPS или данных мобильной локации [25]. Параметр L4 (управленческий) определяется задержкой управленческого сигнала и его обработкой в центре управления [21].

Общий линейный размер блока саморегулируется в зависимости от скорости, местного значения, кривизны рельсового склона, погодных условий и других компонент.

Следует отметить, что верхняя граница подвижного блока (рис.2) определяется либо концом предшествующего поезда А, либо другими препятствиями, независимыми от связи с бортовыми датчиками. Это могут быть объекты на трассе, фиксируемы с помощью видео, инфракрасных изображений, акустических сигналов, данных от радиорелейных станций. В этом случае говорят о дальнем цифровом обзоре и «слепом» обзоре. «Слепой» обзор означает обзор пути, не видимый из кабины машиниста, но фиксируемый с помощью технических средств. Дальний цифровой обзор предупреждает о непредвиденных препятствиях на пути, и является всепогодным.

Подвижный блок называют часто виртуальным блоком, поскольку он постоянно моделируется и не имеет четко фиксированного размера, а является функцией от параметров движения. Недостатки сигнального движения показаны на рис. 3.

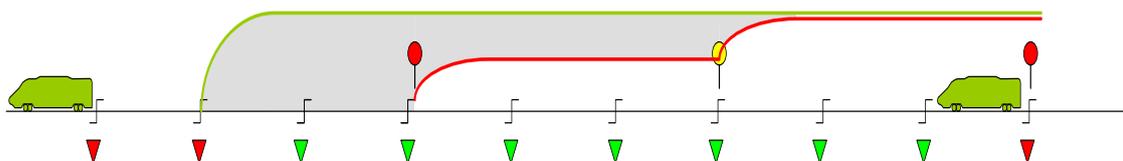


Рисунок 3. Мертвые зоны при сигнальном движении.

При традиционной системе (рис.3) скорость поезда снижается слишком рано и расстояние между поездами больше, чем это необходимо из требований безопасности. При этом блоки и движение привязаны к меткам местности. На рис.3 это зеленые треугольники. Сигналы красный и желтый показаны кружочками. При использовании технологии подвижных блоков (рис. 4) расстояние между поездами определяется исходя из соображений экономической целесообразности.

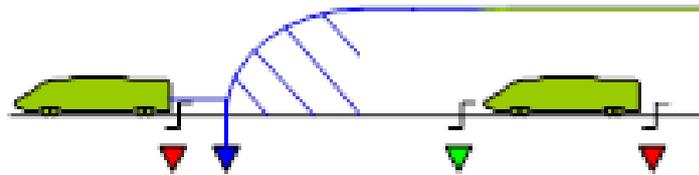


Рисунок 4. Зоны при использовании технологии подвижных блоков.

Использование виртуальных блок-участков увеличивает эффективность и пропускную способность, исключается дополнительная работа по установке меток и сигнальных устройств. Такая схема движения реализована на МЦК. Использование подвижных блок-участков дает увеличение эффективности движения с возможностью интервального регулирования движения [26]. Интервальное регулирование осуществляется с учетом временного интервала попутного следования, а не фиксированного расстояния между поездами. Таким образом, в случае высокой скорости сохраняется большая дистанция между поездами, а в случае низкой скорости дистанция между поездами уменьшается.

Дистанция между поездами определяется исходя из длины тормозного пути, рассчитанного с учетом интегрированного комплекса связанных факторов: фактической скорости движения и характеристик каналов связи. Такое управление следует считать интегральным [26].

Следует отметить недостатки линейных моделей движения, которые обычно иллюстрируют ЦЖД и представлены на рис.1, 3, 4. С точки зрения пространственного анализа такие схемы являются профильными и описывают последовательное синхронное движение. В реальной практике необходимо использовать плановые модели (рис. 5).

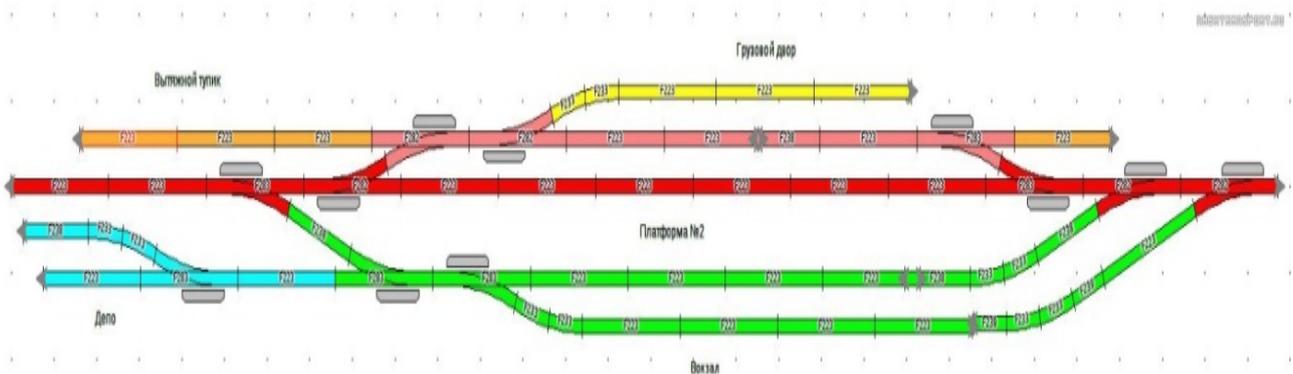


Рисунок 5. Плановая схема возможного движения

Плановая схема путей (рис.5) создает возможность сортировки и перегруппировки поездов. Сортировка является необходимым инструментом при асинхронном движении. Асинхронная ситуация обусловлена разным приоритетом поездов и разными скоростями движения. Высокоскоростное движение является синхронным, поскольку для него обычно выделяют специальные трассы. На рис.6. показаны разные типы поездов и их примерные скорости.

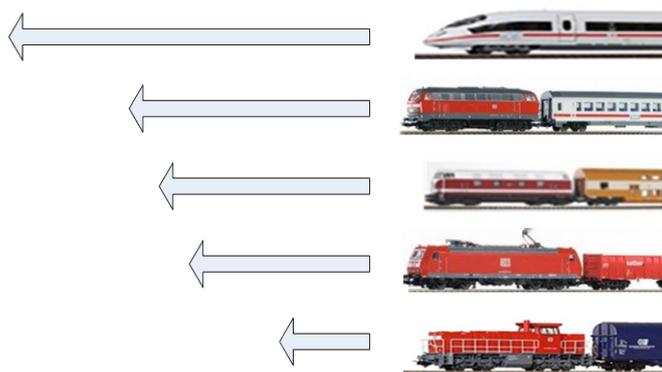


Рисунок 6. Типы поездов и их средние скорости.

Наличие существенно разных типов поездов ставит задачу согласованного управления движением, которая называется задачей комплементарности [27]. При этом стрелки на рис.6 могут характеризовать не только скорость, но и приоритет поезда, например перевозка особо важных грузов или грузов, требующих четкого соблюдения графика движения. Существуют ситуации разветвления и сужения путей (рис. 7).



Рисунок 7. Плановая схема путей, требующая сортировки движения.

Информационная ситуация на рис.7 требует вмешательства для регулирования движением. Это вмешательство осуществляет либо интеллектуальная система, либо диспетчерский пункт. Математически ситуация на рис.7, требует применения алгоритмов сортировки по приоритетам.

**Некоторые математические модели, применяемые при виртуальном блоковом управлении.**

*Теорема об огибающей.* Виртуальный блок в некоторых технологиях ЦЖД называют также конверт (envelope). Такое название обусловлено не только аналогией – поезд движется как в конверте, который образуют виртуальные блоки. При управлении комплексом объектов с разными характеристиками (рис.6) функция оптимизации, точнее условия ее получения, меняются. Для этих случаев управления применяют «теорему об огибающей», которая в английской интерпретации звучит как The envelope theorem [28].

Теорема об огибающей является описанием свойства дифференцируемости целевой функции для задачи оптимизации. При изменении параметров цели или условий оптимизации, теорема

об огибающей показывает, что в определенном смысле изменения в оптимизаторе цели не способствуют изменению целевой функции. Теорема об огибающей является важным инструментом для сравнительной статики оптимизационных моделей [29].

Пусть  $f(x, \alpha)$  а также  $g_j(x, \alpha)$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  – вещественно непрерывно дифференцируемые функции на  $R^{n+1}$ , где  $x \in R^n$  переменные выбора и  $\alpha \in R^j$  параметры. Рассмотрим проблему выбора  $x$ , для данного  $\alpha$ , так чтобы:  $\max_x f(x, \alpha)$  при условии  $g_j(x, \alpha) > 0$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ , а также  $x \Rightarrow 0$ ,

Лагранжево выражение этой задачи имеет вид

$$L(x, \lambda, \alpha) = f(x, \alpha) - \lambda g_j(x, \alpha),$$

где  $\lambda \in R^m$  множители Лагранжа

Пусть  $x^*(\alpha)$  а также  $\lambda^*(\alpha)$  есть решение, которое максимизирует целевую функцию  $f(x, \alpha)$  с учетом ограничений. Эти точки, следовательно, являются седловыми точками Лагранжиана.

$$L^*(x^*(\alpha), \alpha) = f(x^*(\alpha), \alpha) - \lambda^* g_j(x^*(\alpha), \alpha),$$

Определим функцию значения

$$V(\alpha) \equiv L^*(x^*(\alpha), \alpha)$$

Тогда мы имеем следующую теорему [30]

Теорема: предположим, что  $f$  а также  $g_j$  непрерывно дифференцируемы. Тогда

$$\frac{\partial V(\alpha)}{\partial \alpha} = \frac{\partial L^*(\alpha)}{\partial \alpha} = \frac{\partial L(x^*(\alpha), \lambda^*(\alpha), \alpha)}{\partial \alpha}$$

где

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{\partial f}{\partial \alpha} - \lambda \frac{\partial g}{\partial \alpha}$$

На рис.8 дается иллюстрация этой теоремы. Ее графическое представление может быть разным, а на рис.8 представлен типовой вариант.

Сущность выполнения теоремы в том, что при изменении условий оптимизации, функция  $V(\alpha)$  всегда будет описывать максимум целевой функции  $f(x, \alpha)$ .

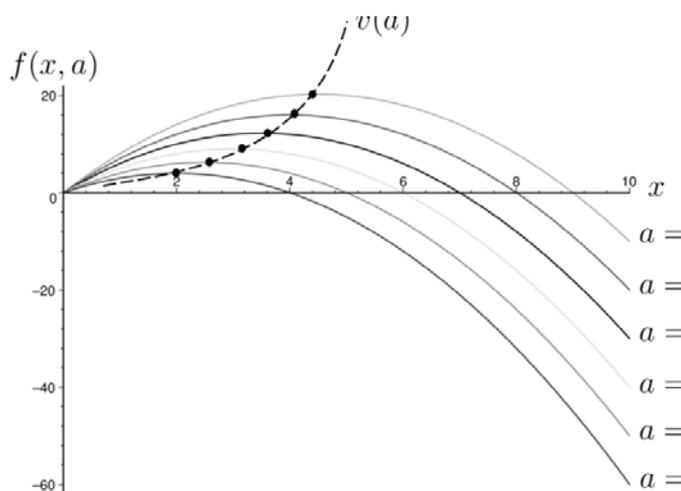


Рисунок 8. Теорема об огибающей.

Применение этой теоремы при блоковом управлении транспортом гарантирует то, что при изменении условий движения, размера блоков и порядка следования поездов, теорема обеспечивает условия максимальной полезности. Это делается путем алгоритмизации и введения реальных условий движения с учетом данной теоремы.

*Комплементарность как состояние комплексного движения.* Комплементарность применяют для нескольких, минимум двух объектов [31, 32]. Комплементарность имеет множество видов, что отражается в ее толковании: согласование, дополнение, взаимность. Словарь "Академика" [33] содержит 20 определений, которые в большинстве представляют собой близкие интерпретации, связанные с терминами: "дополнительность" (20), взаимодополняемость (3), сопряженность (1). В отличие от такой простой интерпретации иностранные словари дают расширенную трактовку этого понятия, которая включает несколько терминов. Дополнительно к базовому термину дается детализация понятия в виде нескольких предложений. Например, Оксфордский словарь [34] содержит следующую трактовку: отношение или ситуация взаимной дополняемости, в которой две или более вещи улучшают качества друг друга. Мериам-Вебстер [35] дает такое разъяснение: 1. качество или состояние взаимной дополняемости. 2. взаимодополняющее соотношение теорий, объясняющих природу света или другого квантованного излучения, как по электромагнитным волнам, так и по частицам. В словаре делового английского отмечается, что принцип комплементарности как принцип дополнительности в физике означает наличие у объектов дополнительных свойств, которые не могут быть измерены одновременно. Это устанавливает связь комплементарности с эмерджентностью [36], хотя не всегда комплементарность создает эмерджентность. В целом следует констатировать важное опосредованное свойство, которое создает комплементарность. Она создает согласованность упорядоченность, системность и взаимность и является оппозиционной характеристикой хаоса и неопределенности. Такое свойство обуславливает применение комплементарности в оптимизации [37] как инструмента оптимизации.

В вычислительном аспекте комплементарность близка к симплекс методу. Но симплекс метод имеет ограниченное применение для оптимизации кусочно-линейных и не дифференцируемых функций. Комплементарность применима для нелинейных дифференцируемых функций.

Существуют разные математические модели комплементарности. Общая комплементарная система имеет вид двух уравнений 1, 2 и двух условий 3, 4.

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

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

В выражениях 1, 2  $x(t)$  -  $n$ -мерная переменная состояния подвижного объекта,  $u(t) \in R^k$  - входной вектор управляющего воздействия, а  $y(t) \in R^k$  - выходной вектор помех. Выражение 1 означает, что изменение состояния определяется суперпозицией текущего состояния и входного вектора. Выражение 2 означает, что выходной вектор определяется другой суперпозицией текущего состояния и входного вектора. К описаниям 1, 2 следует добавить условие стандартного отношения комплементарности, которое выглядит как скалярное произведение

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

При

$$0 \leq y(t) \wedge u(t) \leq 1, \quad (4)$$

Выражение 3 означает скалярное произведение между входным и выходным векторами.

Выражение 4 означает конъюнкцию и определяет вектора как положительно определенные величины. В приведенном отношении подразумевается выбор «активного набора индексов» [38]  $\alpha(t) \subset \{1, \dots, k\}$ , который таков, что  $u_i(t) = 0$  для  $i \in \alpha(t)$  и  $u_i(t) = 0$  для  $i \notin \alpha(t)$ . Говорят, что любой такой набор индексов представляет фиксированный режим.

В фиксированном режиме комплементарная система ведет себя как динамическая система, описываемая дифференциальным уравнением 1 и алгебраическими уравнением 2, Она вместе с равенствами 3, 4, которые следуют из выбора активного индекса. «Смена режима» происходит, когда продолжение в данном режиме нарушает ограничения не отрицательности, связанные с этим режимом.

Решение задачи комплементарности [39] при управлении движением поездов обеспечивает их согласованное движение и обеспечивает получения максимального эффекта от перевозки.

### Заключение.

Введение виртуальных блоков в управлении транспортом повышает интенсивность движения и увеличивает грузопоток. Однако применение этого подхода требует привлечения дополнительных математических методов управления, которые в обычном управлении транспортом не используют. Сущность блокового управления максимально исключить медлительный инструмент принятия решений – человека. Эффект блокового управления в максимальной оперативности принятия решений. То есть можно рассматривать блоковые системы управления как реактивные, то есть оперативно реагирующие на изменение ситуации. При этом преимущество блоковых систем в том, что их можно применять при автоматизированном и при интеллектуальном управлении транспортом. Это позволяет накапливать опыт автоматизированного управления для переноса его в интеллектуальное управление транспортом и даже при использовании киберфизических систем [40].

### Список литературы

1. Розенберг Е. Н. Цифровая железная дорога - ближайшее будущее // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 4-7.
2. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 69-79.
3. Уманский В. И. Цифровая Железная Дорога. Технологический уровень/ В.И. Уманский, А.А. Павловский, Ю.В. Дзюба // Перспективы науки и образования. – 2018. – 1(31). – С. 208-213.
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
5. <https://digitalrailway.co.uk/> data view 10.01.2019.
6. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С. 52.
7. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 3(7). – С. 64-70.
8. Дзюба Ю. В. Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С. 43-53.
9. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С. 5-10.

10. Wood R., Bandura A. Social cognitive theory of organizational management //Academy of management Review. – 1989. – V. 14. – №. 3. – p. 361-384.
11. Zur Muehlen M. Organizational management in workflow applications–issues and perspectives //Information Technology and Management. – 2004. – V. 5. – №. 3-4. – p. 271-291.
12. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С. 11-24
13. Цветков В.Я. Информационное управление. - LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany 2012 -201 с.
14. Александров А. В. Информационное моделирование в управлении банковской деятельностью // Славянский форум, 2015. - 3(9) - С. 13-19.
15. Поспелов Д.А. Прикладная семиотика и искусственный интеллект // Программные продукты и системы. – 1996. – №3. – С. 10-13.
16. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Семиотическое управление транспортными системами // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С. 275-282.
17. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С. 42-46.
18. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 2(2). – С. 2-10.
19. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте. Saarbruken. : Palmarium. Academic Publising, 2018. –143 с. ISBN 978-613-9-82104-4.
20. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. – С .40-43.
21. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления // Государственный советник. – 2017. - №1. – С. 10-15.
22. Козлов А.В. Субсидиарные системы и технологии. - Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2019. – 125 с. ISBN 978-3-659-89076-5.
23. Никифоров В. О., Слита О. В., Ушаков А. В. Интеллектуальное управление в условиях неопределенности. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2011.
24. Tsvetkov V. Ya. Intelligent control technology. // Russian Journal of Sociology, 2015, Vol. (2), Is. 2. - p. 97-104.
25. Дзюба Ю. В., Охотников А. Л. Мобильное управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 16-25.
26. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С. 6-9.
27. Богутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С. 103-116.
28. The envelope theorem. [https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope\\_theorem](https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_theorem) data view 10.01.2019.
29. Carter, Michael (2001). Foundations of Mathematical Economics. Cambridge: MIT Press.,365 pp. ISBN 978-0-262-53192-4.
30. Afriat, S. N. (1971). “Theory of Maxima and the Method of Lagrange”. SIAM Journal on Applied Mathematics. 20(3): p.343—357. DOI:10.1137/0120037.
31. Chang K. H. Complementarity in data mining:thesis./ University of California, Los Angeles, 2015.
32. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С. 182-185.
33. <https://translate.academic.ru/complementarity/en/ru/> дата просмотра 11.12.2018.

34. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/complementarity>. дата просмотра 11.12.2018.
35. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/complementarity>. дата просмотра 11.12.2018.
36. Цветков В.Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С. 137-138.
37. Cottle R. W. Linear complementarity problem linear complementarity problem // Encyclopedia of Optimization. – Springer US, 2008. – p. 1873-1878.
38. Schumacher J. M. Complementarity systems in optimization // Mathematical Programming. – 2004. – V. 101. – №. 1. – p. 263-295.
39. Щенников А.Н. Комплементарность сложных вычислений // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С. 118-123.
40. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.

УДК: 519.852.33

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

- Боженюк А.В.** д.т.н., профессор, Южный федеральный университет,  
E-mail: avb002@ya.ru, Таганрог, Россия
- Косенко О.В.** к.т.н., Южный федеральный университет, E-mail: o\_kosenko@mail.ru,  
Таганрог, Россия
- Алёхина О.М.** аспирант, Южный федеральный университет, E-mail: ochemes@sfedu.ru,  
Таганрог, Россия
- Аннотация.** В статье рассмотрена задача оптимизации перемещения материального потока. Предложена комплексная модель единого процесса перевозки, учитывающая пункты отправления, пункты прибытия, наличие сортировочных станций, неоднородность распределяемых потоков, а также различные типы вагонов. Построена математическая модель, позволяющая учесть основные факторы, определяющие стоимость перевозки. Проведена оценка применимости классических методов при решении задач данного класса. Предложен метод, позволяющий найти оптимальное решение для многомерной задачи распределения.
- Ключевые слова:** Распределение материального потока, многоиндексная транспортная задача, оптимизация

## OPTIMIZATION OF CARGO FLOW DISTRIBUTION IN TRANSPORT

- Bozhenyuk A.V.** D.ofSci.(Tech), Professor, Southern Federal University,  
E-mail: avb002@yandex.ru, Taganrog, Russia
- Kosenko O.V.** Ph.D.(Tech), Assistant Professor, Southern Federal University,  
E-mail: o\_kosenko@mail.ru, Taganrog, Russia
- Alekhina O.M.** Graduate student, Southern Federal University, E-mail: ochemes@sfedu.ru,  
Taganrog, Russia
- Annotation.** The article considers the problem of optimizing the movement of a material flow. A comprehensive model of a single transportation process is proposed, taking into account points of departure, points of arrival, the presence of sorting stations, heterogeneity of distributed flows. A mathematical model was constructed, which allows to take into account the main factors determining the cost of transportation. An assessment of the applicability of classical methods in solving problems of this class. A method is proposed that allows finding the optimal solution for the multidimensional distribution problem.
- Keywords:** Distribution of material flow, multi-index transport problem, optimization

Роль железнодорожного транспорта для России трудно переоценить. В России железнодорожный транспорт – отрасль экономики, без которой не возможна бесперебойная работа всех экономических секторов. Одной из основных задач производственной деятельности предприятий – это оптимальное распределение и перераспределение материальных потоков.

Железнодорожный транспорт является важным двигателем глобального социально-экономического роста и является основной формой пассажирских и грузовых перевозок. При этом все районы и области России связываются воедино железными дорогами, тем самым обеспечивая потребности в перевозках не только население, но и промышленность, сельское хозяйство [1-2].

Главной задачей при распределении грузо - и пассажиропотока является оптимизация процесса перевозки, обеспечивающая минимальные затраты. [3-7]. Задача оптимизации распределения может возникать не только в транспортно-логистических областях. Вопрос оптимального распределения различного вида материальных и нематериальных потоков может возникать в разных областях науки и техники. Смысл целевой функция будет зависеть от конкретной задачи и ограничений, накладываемых на исходные данные.

В 30-х годах XX века советские математики Толстой А.С. и Канторович Л.В. предложили решение задачи минимизации километража транспортного предприятия. В работе Толстого А.С. был отображен алгоритм нахождения оптимального плана перевозок, на основе которого позже Канторович Л.В. и Гавурин М.К. предложили метод потенциалов, обеспечивающий оптимальное решение транспортной задачи[8].

Транспортная задача в классической постановке отражает не все параметры, которые могут повлиять на оптимальное перемещение материального потока [10-11], так как не принимается во внимание разнородность распределяемых материальных потоков, тип транспортного средства (тип вагона), наличие сортировочных центров (станций).

Для решения комплексной задачи оптимизации распределения необходимо учитывать пункты прибытия, наличие сортировочных станций, неоднородность распределяемых потоков, а также различные типы вагонов [11] (рис.1).

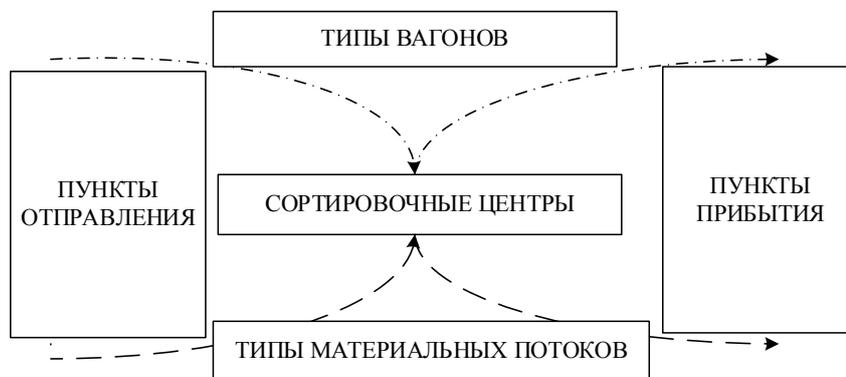


Рисунок 1. Основные элементы железнодорожной транспортно-распределительной системы

Задачи распределения тесно связаны с транспортными задачами. Для отображения большего числа параметров необходимо классическую двухиндексную задачу расширить до пятииндексной. Многоиндексная задача позволит учесть взаимозависимость вышеперечисленных параметров и те, которые влияют на оптимальное распределение материального потока. [4, 10, 12]. Математическую модель пятииндексной транспортной задачи представим следующим образом:

$$F(X) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R c_{ijklr} x_{ijklr} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$x_{ijklr} \geq 0, i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K; l = 1, 2, \dots, L; r = 1, 2, \dots, R.$$

Ограничивающие условия:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R x_{ijklr} &\leq a_i, i = 1, 2, \dots, I, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R x_{ijklr} &= b_j, j = 1, 2, \dots, J, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R x_{ijklr} &\leq d_k, k = 1, 2, \dots, K, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R x_{ijklr} &\leq q_l, l = 1, 2, \dots, L, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R x_{ijklr} &\leq v_r, r = 1, 2, \dots, R, \\ (i, j, k, l, r) &\in E = I \times J \times K \times L \times R, \end{aligned}$$

где  $c_{ijklr}$  - стоимость перемещения единицы  $r$ -го груза от  $i$ -го пункта отправления к  $j$ -му пункту прибытия, через  $k$ -й сортировочный центр,  $l$ -ым типом вагона;

$x_{ijklr}$  - количество  $r$ -го груза, перевозимого от  $i$ -го пункта отправления к  $j$ -му пункту прибытия, через  $k$ -й сортировочный центр,  $l$ -ым типом вагона;

$a_i$  - имеющийся объем грузо - и пассажиропотока в соответствующем пункте отправления;

$b_j$  - необходимый объем грузо - и пассажиропотока соответствующему пункту прибытия;

$d_k$  - пропускная способность соответствующих сортировочных станций;

$v_r$  - объем соответствующего распределяемого груза;

$q_l$  - грузоподъемность (вместимость) вагона, для определенного вида грузов.

Для решения распределительных задач, с числом индексов больше двух, возможно применение метода потенциалов, который разработан для решения двухиндексной транспортной задачи. В работах [10, 12-14] представлено решение задач методов потенциалов для трех параметров.

В распределительной задаче с двумя индексами решение уравнений вида (2), (3) можно получить достаточно просто:

$$v_j - u_i \leq c_{ij}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

$$v_j - u_i = c_{ij}, \forall x_{ij} > 0, \quad (3)$$

где  $u_i$  и  $v_j$  - потенциалы соответствующих пунктов отправления и пунктов прибытия [4, 10].

Но особенностью данного алгоритма является двукратное решение системы уравнений линейных в каждой итерации, что значительно увеличивает время решения задачи большой размерности. Трудоемкость вычисления значительно возрастает с увеличением размерности рассматриваемой задачи распределения материального потока. На практике задача распределения может иметь порядок от  $10^8 - 10^9$  [12, 14]. Следовательно, быстрое и точное решение многоиндексных распределительных задач будет сложно получить, даже с учетом

применения современной вычислительной техники. Вопрос разработки эффективного метода решения задачи распределения материальных и нематериальных потоков, учитывающих множество параметров, влияющих на решение задачи, является актуальным.

В настоящее время предложены алгоритмы, которые в той или иной степени повышают эффективность решения задач распределения ресурсов. Например, в работах [14-15] основанных на применении алгоритма Романовского, представлены методы повышения эффективности, но они могут быть применены только для однородных систем.

Если же распределительная система неоднородна, то поиск оптимального решения значительно усложняется, особенно при применении классических точных методов. Использование данных методов для неоднородной неоднородных транспортных систем большой размерности неэффективно и часто приводит к вырожденному решению, и как следствие, недостижимости оптимального решения. В работах [4, 10] были обоснованы критерии оптимальности распределительных задач и проведены исследования на разрешимость решения задач данного класса методом потенциалов. Данное исследование позволило выявить проблему вырожденности при решении методом потенциалов многоиндексных распределительных задач. Верховской Б.С. разработал прием, позволяющий исключить вырожденность в двухиндексных транспортных задачах. Для задач большей размерности применение данного метода не эффективно [16].

Также в работе [17] были исследованы причины возникновения вырожденности. Предложено несколько способов борьбы с вырожденностью в распределительных задачах, но все они также эффективны лишь для двухиндексных задач небольшой размерности. Если двухиндексная задача имеет размерность  $k > 10000$  (где  $k$  – размерность задачи), то число вырожденных решений доходит до тридцати процентов от общего числа опорных планов. При вырожденном опорном плане применение метода потенциалов для нахождения оптимального решения многоиндексной распределительной задачи затруднено. Если классический метод потенциалов целесообразно применять для решения двухмерных и трехмерных распределительных задач небольшой размерности, то для нахождения решения многомерной задачи большой размерности необходим метод, позволяющий находить оптимальный план задачи за определенное время. Так как точные методы являются наиболее ресурсоемкими, то нахождение оптимума распределительной задачи большой размерности за определенный временной промежуток времени может стать недостижимым. Для решения задач данного класса предложено использовать приближенные методы.

Метод минимального элемента в сечении является – одним из приближенных методов, применяемых для вычислений лучшего решения трехиндексных распределительных задач с тремя индексами [10]. В данном методе необходимо определить ведущий элемент, соответствующий минимальному значению коэффициентов критериальной функции в заданном сечении. Согласно исследованиям [10], более эффективным является метод нуль-преобразований. В приближенном методе минимального элемента в сечении используются исходные значения коэффициентов целевой функции без предварительных преобразований. В методе нуль-преобразования осуществляется преобразование матрицы, в которую записаны коэффициенты критериальной функции. Для этого вычитается минимальный элемент в каждом ряду из каждого элемента такого ряда к модифицированной матрице, в которой каждый ряд содержит в себе хотя бы один нулевой элемент. Так полученные нулевые элементы дают набор положений матрицы для оптимального распределения материального потока.

Для определения оценки эффективности применения приближенных методов при решении классической распределительной задачи с двумя индексами размерностью  $10 \times 11$  были решены тестовые примеры в среде Matlab [19]. Коэффициент соответствия точному методу рассчитаем как соотношение результата, полученного точным методом, а именно методом потенциалов, к результату, полученному соответствующим приближенным методом. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценка эффективности методов решения двухиндексной распределительной задачи

Название метода	Значение критериальной функции	Коэффициент соответствия точному методу
Метод последовательного распределения (метод северо-западного угла)	298	0,41
Метод минимального элемента в строке	214	0,58
Метод минимального элемента в сечении	194	0,64
Метод минимального элемента матрицы	148	0,85
Метод нуль-преобразований	136	0,93
Метод потенциалов (точный метод)	126	1

Аналогично были решены тестовые примеры для оценки целесообразности применения приближенных методов решения трехиндексной транспортной задачи, размерностью  $10 \times 11 \times 12$ . Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка эффективности методов решения трехиндексной распределительной задачи

Название метода	Значение критериальной функции	Коэффициент соответствия точному методу
Метод последовательного распределения	3816	0,56
Метод минимального элемента в строке	3213	0,67
Метод минимального элемента в сечении	2850	0,76
Метод минимального элемента матрицы	2441	0,90
Метод нуль-преобразований	2243	0,95
Метод потенциалов (точный метод)	2231	1

Можно сделать вывод, что эффективность приближенных методов растет с увеличением размерности задачи. Анализ представленных таблиц позволяет сделать выводы, что приближенные методы решения задач распределения ресурсов, такие как метод минимального элемента и метод нуль-преобразований могут успешно конкурировать с точными методами, так как обладают достаточно высокой эффективностью. Наилучшие результаты соответствия точному методу показал метод – нуль-преобразований, так как коэффициент соответствия точному методу при нахождении оптимального решения для задачи с двумя индексами равен 0,93, для трех индексов равен 0,95.

Для нахождения оптимального решения пятииндексной задачи распределения неоднородного материального потока при использовании вагонов различного типа из пунктов

отправления к пунктам прибытия через сортировочные центры необходимо определить ведущие индексные элементы, которые сформируют значение целевой функции, определяющей минимальную стоимость распределения ресурса. Для решения задачи минимизации стоимости перемещения материального потока предложен метод решения многоиндексной задачи распределения ресурсов, определяемый шагами, представленными на рисунке 2.

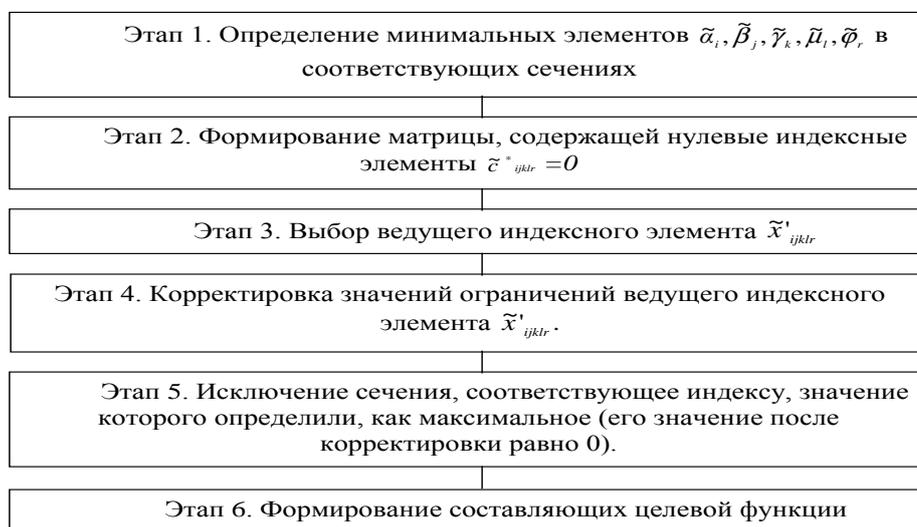


Рисунок 2. Алгоритм нахождения оптимального решения методом индексных элементов

Данный метод разработан для пятииндексной задачи, определяющий минимальную стоимость распределения  $r$ -го груза от  $i$ -го пункта отправления к  $j$ -му пункту прибытия, через  $k$ -й сортировочный центр,  $l$ -ым типом вагона [20]. Для различных областей исследования решение задачи распределения материальных и нематериальных потоков может определяться и большим числом индексов, чем в рассмотренной пятииндексной задаче.

Методы решения распределительных задач имеют разные приложения, в частности при решении различного типа экономических задач, не имеющих ничего общего с распределением материального потока в пункты прибытия. Задача оптимального распределения материальных и нематериальных потоков заключается в том, чтобы были соблюдены все ограничения, и распределение определяло эффективное функционирование системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-01-00023, №17-01-00060.

### Список литературы

1. Розенберг И.Н., Шабельников А.Н. Сущность и особенности реализации проектного менеджмента на железнодорожном транспорте. / Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2017. № 2 (66). С. 64-69.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Распределенное управление на транспорте / Наука и технологии железных дорог. 2018. Т. 2. № 3 (7). С. 3-16.
3. Сток Д. Р. Стратегическое управление логистикой / Д. Р. Сток, Д.М. Ламберт. – М.: Инфра-М, 2005. – 830 с.
4. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1969. – 535 с.

6. Гудович Д.В. Использование задач линейного программирования для оптимизации затрат [Электронный ресурс] / Д.В. Гудович. – г. Липецк, ЛГТУ – Режим доступа: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2008/ekonom\\_2008-2/gudovih\\_isp.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2008/ekonom_2008-2/gudovih_isp.htm).
7. Gudehus T. *Comprehensive Logistics* / T. Gudehus, H. Kotzab. – Springer, 2012. – 933 p.
8. Белых А.А. История российских экономико-математических исследований: Первые сто лет. / А.А. Белых. – URSS, 2011. – 240 с.
9. Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов / Л.В. Канторович. – М.: Изд. Академия наук СССР, 1960. — 350 с.
10. Раскин Л.Г. Многоиндексные задачи линейного программирования / Л.Г. Раскин, И.О. Кириченко. – М.: – Радио и связь, 1982. – 240 с.
11. Kosenko O. V., Sinyavskaya E. D., Shestova E. A., Kosenko E. Yu., Chemes O. M. Method for solution of the multi-index transportation problems with fuzzy parameters // *Proceedings XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, 2016. p. 179 – 182.
12. Серая О.В. Модифицированный метод нормирующего преобразования для решения триаксиальной задачи назначения /О.В. Серая // *Открытые информационные и интегрированные технологии: сб. науч. тр. «ХАИ». Вып. 25 –Х., 2004. – С. 86–89.*
13. Борисова Е.А. Трехиндексные распределительные задачи с нечеткими параметрами / Е.А. Борисова, В.И. Финаев – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. – 190 с.
14. Титов Д. В. Методы повышения эффективности алгоритмов решения распределительных минимаксных задач в однородных системах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.01. / Титов Дмитрий Вячеславович. – Ростов н/Д., 2010. – 148 с.
15. Жикулин А.А. Исследование ресурсно-временных возможностей алгоритма полного перебора при решении однородных распределительных задач / А.А. Жикулин // *Системный анализ, управление и обработка информации: Тр. 4-го Междунар. семинара. – Ростов н/Д: ДГТУ, 2013. – С. 17–22.*
16. Гудович Д.В. Использование задач линейного программирования для оптимизации затрат [Электронный ресурс] / Д.В. Гудович. – г. Липецк, ЛГТУ – Режим доступа: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2008/ekonom\\_2008-2/gudovih\\_isp.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2008/ekonom_2008-2/gudovih_isp.htm).
17. Ветошкин А.А. Вырожденность транспортной задачи и как с ней бороться / А.А. Ветошкин, А.И. Костякова // *Современные научные исследования и инновации*, 2012. –№ 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2012/02/7654>.
18. Иванов В.В. Методы вычислений на ЭВМ / В.В. Иванов. – К.: Наукова думка, 2003. – 583 с.
19. Косенко О.В. Повышение эффективности методов решения многоиндексных задач распределения ресурсов / О.В. Косенко // *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2016. – № 4 (177). – С. 73–81.
20. Косенко О.В. Разработка методов и алгоритмов решения многоиндексных распределительных задач в условиях неопределенности. Автореферат дис. ... кандидата технических наук / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). Таганрог, 2017.

УДК: 334.71: 656: 338.245.

## ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ

- Козлов А. В.** Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья описывает применение логических цепочек как перспективную управленческую модель. Логические цепочки являются ответом на необходимость решения задач в сложных ситуациях для повышения надежности принимаемых решений. Логическая проверка позволяет снижать риски. Статья раскрывает содержание логического подхода к принятию решений. Описаны основные методы построения логических цепочек.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, логический анализ управления, математическая логика, логическая последовательность, логическая цепочка.

## THE LOGICAL MODELS IN THE MANAGEMENT OF TRANSPORT

- Kozlov A. V.** Deputy Director of the Physics -Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes logical chains as a perspective management model in transport. Logical chains are a response to the need to solve problems in complex situations and improve the reliability of decisions. Logical validation checks to reduce risks. The article reveals the content of the logical approach to decision-making. The basic methods of constructing logical chains are described.
- Keywords:** transport management, logical analysis of management, mathematical logic, logical sequence, logical chain.

### Введение.

Рост сложности управленческих ситуаций на транспорте имеет две причины: сложность управления транспортом [1, 2] и сложность оценки износа технических средств [3, 4]. Дополнительное требование оперативного принятия решений в условиях высокоскоростного движения приводит к необходимости алгоритмизации принятия решений и использования вычислительных средств. Основная причина сложности управления состоит в управлении многообразием не полностью формализуемых технологий технических систем. Получение решений и алгоритмизация выдвигают дополнительную проблему верификации и валидации набора решений для задач управления.

Проблема «больших данных» [5, 6, 7] требует также применения вычислительных методов. Повышение надежности достигается применением методов математической логики. Любое решение должно отличаться последовательностью действий и связанностью этапов. Любое управленческое решение не должно содержать противоречивые действия. Для выполнения этих условий необходима логическая проверка на логическое следование и на непротиворечивость. При принятии решений необходимо различать три понятия: поиск решения, описание

найденного решения, реализацию найденного решения. Поиск решения также требует логического обоснования. Описание решения должно быть последовательным и не противоречивым. Реализация решения, часто в виде алгоритма, также требует верификации, поскольку даже правильное решение, реализованное с ошибками, не позволяет достичь цели управления с нужной эффективностью. Эти обстоятельства также требуют применения методов математической логики.

### **Решение и его реализация.**

Определим *управленческое решение* (УР) как совокупность логически точных последовательно выполняемых описаний действий. Определим *реализацию управленческого решения* (РУР) как алгоритм управленческого решения (АУР) в виде точных последовательно выполняемых предписаний.

Таким образом, решение и его реализация представляют связанные между собой дескриптивную и прескриптивную модели [8]. Для УР и РУР существуют общие признаки оценки качества, которые имеют разные оценки и значения для УР и РУР. Эти характеристики следующие: логичность, конечность, допустимость, вычислимость, определенность [9].

*Логичность* УР и РУР состоит в том, что они могут быть представлены в виде логических цепочек [10] или логических следований.

*Допустимость* УР и РУР состоит в том, что возможно выполнить предписания за конечное время.

*Вычислимость* УР и РУР состоит в том, что процедура решения состоит из "конечного числа команд, каждая из которых выполняется за фиксированное время и с фиксированными затратами". *Вычислимость* УР и РУР состоит в том, что существует вычислительная процедура, следуя которой для исходных значений аргументов можно найти значение функции [11].

*Определенность* УР и РУР состоит в том, что существует возможность точного математического описания решения и содержания вычислительных действий для последовательного их применения в вычислительной процедуре.

*Конечность* УР и РУР состоит в том, что реализация решения при конкретных исходных данных осуществляется за конечное число шагов.

Для описания решений и алгоритмов в теории используют информационные единицы [12, 13] или совокупность слов и предложений формального языка [14, 15].

В формальных описаниях решение задачи управления конструктивно связывают с моделью, предназначенной для описания схем преобразований информации. Таким образом, при анализе УР и РУР, соединяют математическое, формальное и логическое описание, позволяющее реализовать решение с помощью вычислительной машины. Графический интуитивный метод построения схем принятия решений сохраняет актуальность и поддерживается методами интуиционистской логики [16].

### **Логические методы в управлении.**

В работе [17] введено понятие логическая информационная ситуация как механизм управления транспортом. Логическая информационная ситуация это всего лишь условие. Полная схема принятия решений представляет собой информационную конструкцию, которая учитывает не только исходные условия, но и возможное изменение их на момент принятия решений и возможное изменение ситуации в процессе реализации решений.

Поэтому для получения или поиска решений используют различные модели, включая логические модели. Для управления в сложных ситуациях применяют когнитивные карты, которые чаще всего представляют собой модели с нечеткой логикой.

Многие средства и методы управления объединяет логический подход. При управлении транспортом применяют пространственный анализ и пространственное управление [18]. Пространственный анализ тесно связан с топологией. Принятие решений в сложной ситуации представляет собой сложный граф, который включает все возможные решения от исходной точки к целевой точке. Этот граф назовем графом решений. Граф решений - это граф, содержащий вершины как этапы решений и переходы между ними как возможные варианты решений. Принципиальным в принятии решений с использованием топологических моделей является то, что решение представляет собой маршрут в выбранном графе решений. В графе решений необходимо найти оптимальный с точки выбранных критериев маршрут – решение. Несмотря на широкое применение топологических моделей, они имеют существенный недостаток – они не имеют механизма проверки на логическую непротиворечивость и комплементарность [19, 20]. Поэтому как топологических моделей применяют, логические [10, 17, 21] модели. Этот подход основан на применение логических правил, описывающих конкретную информационную ситуацию, что приводит к ситуационному методу анализа. Информационная ситуация как модель [22, 23, 24] служит основой принятия.

### **Принципы построения логических цепочек.**

Использование методов математической логики дает возможность строить решения и их реализации в виде совокупности связанных логических выражений. Эти связанные выражения и образуют логические цепочки. Логические цепочки представляют собой логическое следование в виде совокупности связанных логических формул. Основой построения и преобразования логических цепочек является логическая эквивалентность. Она состоит в том, что разные логические формулы могут описывать содержательно равные логические функции. Равносильность формул в алгебре логики обозначается знаком тождественного равенства  $\equiv$ . Стандартный метод установления равносильности двух формул включает два правила:

- 1) по каждой формуле восстанавливается таблица истинности;
- 2) полученные таблицы сравниваются по каждому набору значений переменных.

Необходимо качественно различать символы  $\equiv$  и  $\sim$ . Символ  $\sim$  является символом формального языка, с помощью которого строятся формулы. Символ  $\equiv$  обозначает отношение на множестве формул. При построении логических цепочек применяют символ  $\sim$ , который подразумевает некую вариабельность. Необходимость логических преобразований состоит в том, что, как правило, исходные логические условия выражают с помощью логических операторов, которые очевидно описывают условия. Однако проверку истинности осуществляют с применением нормальных форм КНФ, ДНФ, СДНФ, СКНФ. Применение нормальных форм позволяет по виду формы оценивать вычислимость истинность или ложность, не прибегая к расчетам. Поэтому исходные логические выражения преобразуют к виду СДНФ и СКНФ.

Для такого преобразования используют базисные логические преобразования или тавтологии для построения и преобразования логических цепочек. В логике выделяют следующие основные эквивалентные соотношения (правила, законы):

- $A \equiv A$  (закон тождества);
- $A \& 0 \equiv 0$ ;

$A \vee 0 \equiv A$ ;  
 $A \& 1 \equiv A$ ;  
 $A \vee 1 \equiv 1$ ;  
 $\neg(\neg A) \equiv A$  (закон двойного отрицания);  
 $A \& (\neg A) \equiv 0$  (закон логического противоречия);  
 $A \vee (\neg A) \equiv 1$  (закон исключенного третьего);  
 $A \& A \equiv A$  (идемпотентность конъюнкции);  
 $A \vee A \equiv A$  (идемпотентность дизъюнкции);  
 $A \& B \equiv B \& A$  (коммутативность конъюнкции);  
 $A \vee B \equiv B \vee A$  (коммутативность дизъюнкции);  
 $A \& (B \& C) \equiv (A \& B) \& C$  (ассоциативность конъюнкции);  
 $A \vee (B \vee C) \equiv (A \vee B) \vee C$  (ассоциативность дизъюнкции);  
 $A \& (B \vee C) \equiv (A \& B) \vee (A \& C)$  (дистрибутивность конъюнкции относительно дизъюнкции);  
 $A \vee (B \& C) \equiv (A \vee B) \& (A \vee C)$  (дистрибутивность дизъюнкции относительно конъюнкции);  
 $A \& (A \vee B) \equiv A$  (первый закон поглощения);  
 $A \vee (A \& B) \equiv A$  (второй закон поглощения);  
 $\neg(A \& B) \equiv \neg A \vee \neg B$  (первый закон де Моргана);  
 $\neg(A \vee B) \equiv \neg A \& \neg B$  (второй закон де Моргана);  
 $A \equiv (A \& B) \vee (A \& \neg B)$  (первый закон расщепления);  
 $A \equiv (A \vee B) \& (A \vee \neg B)$  (второй закон расщепления);  
 $A \rightarrow B \equiv \neg B \rightarrow \neg A$  (закон контрапозиции);  
 $A \rightarrow B \equiv \neg A \vee B = \neg(A \& \neg B)$ ;  
 $A - B \equiv (\neg A \vee B) \& (\neg B \vee A) = (A \& B) \vee (\neg A \& \neg B)$ ;  
 $A \oplus B = (A \& \neg B) \vee (\neg A \& B)$ ;  
 $A \vee B = \neg A \rightarrow B = \neg(\neg A \& \neg B)$ ;  
 $A \& B = \neg(A \rightarrow \neg B) = \neg(\neg A \vee \neg B)$ .

Все эти выражения доказываются с помощью таблиц истинности [10, 11]. Выражения 24-28 показывают, что одни логические операции могут быть выражены через другие. Эквивалентным (или тождественным) преобразованием некоторой формулы называют переход (по определенным правилам) к любой формуле, эквивалентной данной. Например, часто применяется правило подстановки формулы  $F$  вместо переменной  $A$ . При подстановке формулы  $F$  вместо переменной  $A$  все вхождения переменной  $A$  в исходное соотношение должны быть одновременно заменены формулой  $F$ . Это правило применяется к эквивалентным соотношениям для получения новых эквивалентных соотношений.

Правило замены логических единиц позволяет, используя известные эквивалентные соотношения, получать формулы, эквивалентные данной (в частности, упрощать логической единицы). Логической единица — это часть формулы, сама являющаяся формулой. Если некоторая формула  $F$  содержит  $F1$  в качестве подформулы, то можно заменить  $F$  на эквивалентную ей  $F^*$ . Полученная с помощью такой замены новая формула  $G$  эквивалентна исходной  $F$ .

### **Общее утверждение о выводимости в логических цепочках.**

Логические цепочки служат основой принятия решений в интеллектуальных транспортных системах [25]. Анализ логической цепочки осуществляют с помощью исчисления высказываний. Предполагаем, что выполнено какое-то утверждение  $A$ , на основе которого мы

строим различные логические цепочки  $B$ . После того как утверждение  $B$  доказано, мы отмечаем, что использовали утверждение  $A$  как предположение и полагаем, что мы доказали утверждение  $A \rightarrow B$ . Рассмотрим некоторое множество формул  $\Gamma$ . Оно является расширением по отношению к выводам в исчислении высказываний, поскольку кроме аксиом содержит формулы.

Напомним правило вывода в исчислении высказываний: выводом в исчислении высказываний называется конечная последовательность формул, каждая из которых есть аксиома или получается из предыдущих формул по правилу *modus ponens*. По аналогии выводом из множества  $\Gamma$  называют конечную последовательность формул, каждая из которых является аксиомой, принадлежит  $\Gamma$  или получается из предыдущих по правилу *MP*. В этом случае мы добавляем формулы из  $\Gamma$  к аксиомам исчисления высказываний как формулы, а не как схемы аксиом.

*Общее утверждение о выводимости логической цепочки.*

Формула  $A$  выводима из  $\Gamma$ , если существует вывод из  $\Gamma$ , в котором она является последней формулой. В этом случае мы пишем  $\Gamma \vdash A$ . Знак  $\vdash$  означает выводимость. Если  $\Gamma$  пусто, то речь идёт о выводимости в исчислении высказываний, и вместо  $\emptyset \vdash A$  пишут просто  $\vdash A$ .

Следующая лемма, называемая «леммой о дедукции», показывает, что этот подход применим для исчисления высказываний.

$\Gamma \vdash A \rightarrow B$  тогда и только тогда, когда  $\Gamma \cup \{A\} \vdash B$ .

Читается «Из множества формул  $\Gamma$  выводима импликация  $(A \rightarrow B)$  тогда и только тогда, когда из объединения формул  $\Gamma$  и множества формул  $A$  выводимо  $B$ ». Для упрощения знак объединения  $\cup$  заменяем запятой и опускаем фигурные скобки.

Пусть  $\Gamma \vdash (A \rightarrow B)$ . Тогда и  $\Gamma, A \vdash (A \rightarrow B)$ .

Согласно определению,  $\Gamma, A \vdash A$ , откуда по *MP* получаем  $\Gamma, A \vdash B$

Для анализа логических цепочек часто применяют понятие секвенции. Исчисления секвенций изучают в теории доказательств. Они оказываются более удобными для анализа синтаксической структуры выводов. Секвенциями называют записи одного из следующих видов:

$$A_1, A_n \vdash B, \quad (1)$$

$$A_1, A_n \vdash, \quad (2)$$

$$\vdash B, \quad (3)$$

Секвенция (1) означает, что из формул  $A_1, A_n$  выводится формула или логическая цепочка  $B$ . Секвенция (2) означает, что совокупность формул  $A_1, A_n$  противоречива. Секвенция (3) означает, что формула или логическая цепочка  $B$  выводима. Знак  $\vdash$  означает выводимость или следование.

Принципы построения логических цепочек строятся в первую очередь на основе применения методов математической логики. В свою очередь, математическая логика включает четыре основных раздела: теория множеств; теория моделей; теории рекурсии; пропозициональная логика. В данной работе использована пропозициональная логика. Но все четыре раздела применимы для построения логической цепочки в области принятия решений.

Например, теоретико-множественные методы позволяют строить инфологические модели. Поэтому использование теоретико-множественного формализма также можно рассматривать как метод построения логической цепочки. Процессы логического анализа управленческого решения можно рассматривать как логическую проверку управленческих решений из некоторого набора допустимых управляющих воздействий.

### **Заключение.**

Для уменьшения влияния ментальных ограничений при управлении транспортом требуется создание новых технологий управления, позволяющих разделять функции управления на уровнях мышления и алгоритма. Логические методы минимизируют участие человека. По существу, логическая цепочка представляет собой трансформацию организационного и функционального решения в логическую форму для выполнения логического анализа.

Применение логической цепочки требует использования понятий логическая ситуация [17]. Логическая ситуация, в свою очередь, опирается на информационную ситуацию [26, 27]. Построение логических цепочек и проведение логического анализа широко применяется в интеллектуальных транспортных системах и в технологиях цифровой железной дороги. Логический анализ легко поддается алгоритмизации и позволяет применять компьютерное моделирование, существенно сокращая время принятия решений.

Достоинством логических цепочек является то, что их можно запоминать в базе знаний или в базе стереотипов. Управление транспортом требует высокой надежности и оперативности управления. Эта надежность и оперативность может быть достигнута применением правил логического анализа и применением логических цепочек. Логическая цепочка может восприниматься как опыт управления, который следует использовать в стереотипной ситуации. Это приводит к необходимости не только построения логических цепочек, но хранения их в базе знаний, а также в периодическом обновлении базы знаний. Модель логической цепочки является новой моделью управления. Модель логической цепочки снижает информационную нагрузку на человека и позволяет перенести основную нагрузку на компьютер. Модели логических цепочек позволяют систематизировать управление для разных исходных ситуаций. Эти модели позволяют обобщать опыт управления транспортом.

Недостатком метода является необходимость знания методов математической логики и других логик, интуиционистской, дескриптивной, вероятностной и даже троичной логики, если существенное влияние оказывает информационная неопределенность. Особенность многих подходов к принятию решений в том, что некоторые методы оценки качества решения применяют на уровне интуиции. В целом можно говорить о методе логических цепочек как средстве обязательного создания логически обоснованного управления транспортом при стратегическом и тактическом управлении. Метод логических цепочек является развивающимся направлением и требует дальнейших исследований и развития

### **Список литературы**

1. Пунда Д. И. Когнитивная природа современной сложности управления //Труды СПИИРАН. – 2011. – Т. 18. – №. 0. – С. 320-335.
2. Белый О. В., Еналеев А. К., Цыганов В. В. Оценка показателей сложности управления движением //Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №. 2 (5).
3. Буйносов А. П., Пышный И. М., Тихонов В. А. Модель эксплуатационного износа сложной технической системы //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – Т. 138. – С. 52.
4. Буйносов А. П. Модель эксплуатационного износа сложных систем железнодорожного транспорта //Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – №. 4. – С. 21-25.
5. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. - 2016. - №3. - С. 7-11.

6. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. - 2017. – Т.15, №6(73). – С. 20-30.
7. Данилов К.В., Капустин Н.И. Технологии Big Data в железнодорожной отрасли инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С. 25-33.
8. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 28-32.
9. Охотников А.Л. Информационное ситуационное управление на транспорте.// Saarbruken. : Palmarium Academic Publising, 2018. –143 с. ISBN 978-613-9-82104-4.
10. Раев В.К., Цветков В.Я. Логические цепочки // Дистанционное и виртуальное обучение. 2018. - № 1(120). – С.14-21.
11. Щенников А.Н. Информационные конструкции алгоритмов // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 54-60.
12. Чехарин Е.Е. Информационные единицы в сложных системах // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С. 93-99.
13. Tsvetkov V.Ya. Information objects and information Units // European Journal of Natural History. 2009. - №2. - p. 99.
14. Hermes H. Introduction to mathematical logic. – Springer Science & Business Media, 2013.
15. Глухов, М.М. Математическая логика. Дискретные функции. Теория алгоритмов . — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — 416 с.
16. Козлов А.В., Цветков В.Я. Поддержка принятия решений с применением интуиционистской логики // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С. 93-98.
17. Охотников А.Л. Логическая информационная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.23-32
18. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.268-274.
19. Щенников А.Н. Комплементарность сложных вычислений // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.118-123.
20. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. - 2014. - Т. 24. № 4. – С. 103-116.
21. Розенберг И.Н., Козлов А.В. Логический анализ схем управления // Славянский форум. - 2018. – 2(20). - С. 83-89.
22. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol(36), № 12-1, p.2166- 2170.
23. Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. - 2017. -2(16). – С.39-44.
24. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European Researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, p. 1901-1909.
25. Лёвин Б. А., Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Развитие интеллектуального управления на транспорте // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.3-15.
26. Охотников А. Л. Информационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -2(2). – С. 60-75.
27. Павловский А.А., Охотников А. Л. Информационная транспортная ситуация // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С. 16-24.

УДК: 528.02, 528.083

## **МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КАДАСТРА И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА**

- Духин С.В.** к.т.н., доцент, руководитель научно-технического комплекса, АО «НИИАС», E-mail: s.duhin@vniias.ru, Москва, Россия
- Тясто М.А.** бакалавр, специалист II категории, АО «НИИАС»  
E-mail: m.tyasto@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению основных глобальных навигационных систем, используемых для решения задач геодезии, кадастра и землеустройства. Рассмотрены основные методы и режимы сбора данных для получения координат местоположения с применением спутниковой аппаратуры. Произведен анализ собранных и обработанных данных с целью оценки точности измерений по времени наблюдения, а также выработки рекомендаций по времени измерений в зависимости от расстояния между базовыми точками.
- Ключевые слова:** спутниковая навигационная система, спутниковый приёмник, точность измерений, время наблюдения

## **THE METHODS AND MODES OF USING GLOBAL NAVIGATION SYSTEMS FOR CADASTER AND LAND MANAGEMENT.**

- Duhin S.V.** Ph.D., associate Professor, Head of Department of Geoinformation systems and satellite technologies, JSC "NIAS", E-mail: s.duhin@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tyasto M.A.** B.Sc., JSC "NIAS", E-mail: m.tyasto@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation** The article provides an overview of the main global navigation systems used for solving problems of geodesy, cadastre and land management. The main methods and modes of data collection for obtaining the coordinates of the location using satellite equipment are considered. The analysis of the collected and processed data was carried out in order to assess the accuracy of measurements from the observation time, as well as to develop recommendations on the measurement times depending on the distance between the base points.
- Keywords:** Global Navigation Satellite Systems, satellite receiver, measuring, observation time

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), представляющие собой сплав научных и технических достижений человечества в таких областях как радиосвязь, вычислительная техника, измерительные технологии, математика кинематика, и многие другие, в настоящее время находят широкое применение, в том числе для решения задач геодезии. В первую очередь, спутниковые приемники используются в качестве референчных станций, закрепляющих на местности системы координат с возможностью перехода от геоцентрических координат к плоским и обратно, а также обеспечения возможности использования местных систем координат.

На сегодняшний день основными функционирующими глобальными навигационными системами являются:

- ГЛОНАСС – отечественная система,
- NAVSTAR – американская система,
- Galileo – европейская система,
- BeiDou – китайская спутниковая система навигации [1].

В том случае, если точность определения местоположения приемника-ровера недостаточна для решения поставленной задачи, например, для выполнения геодезических измерений с точностью менее 10 см, производят сгущение геодезической сети путем увеличения количества опорных пунктов сети и уменьшения расстояний между пунктами. В том случае, если измерения в координатном пространстве производятся не однократно, а периодически, и требования к точности измерений высокие, проектируют так называемую сеть дифференциальных поправок, представляющую собой сеть референсных станций, работающих круглосуточно и соединенных каналами связи с целью обеспечения измерений в так называемом дифференциальном режиме, когда данные собственно спутников обрабатываются приемником-потребителем совместно с данными ближайших референсных станций. В этом случае точность определения местоположения фазового центра антенны приемника-потребителя повышается в десятки раз.

В случае отсутствия необходимости создания дифференциальной сети, создается сеть съемочного обоснования – совокупность долгосрочных фундаментальных реперных пунктов с известными координатами в геоцентрической и плоской местной системе координат.

При определении координат пользователей спутниковой радионавигационной системы используется абсолютный и относительный методы определения координат. При наличии сети съемочного обоснования (в качестве которой может выступать и государственная геодезическая сеть) геодезических работах используются относительные измерения как наиболее точные. Режимы относительных наблюдений подразделяются на две группы: статические и кинематические. При относительных измерениях один из приемников находится на пункте с известными координатами (реперном пункте), а другие приемники служат для определения координат измеряемых пунктов.

Для решения задач кадастра и землеустройства используются следующие относительные режимы: Статика, Stop-and-go, Real Time Kinematic (RTK) [2, 3].

Источники погрешностей при спутниковом определении координат могут быть следующие: ошибки пользователя, ошибки аппаратуры, влияние внешних условий по пути распространения сигнала, ошибки постобработки (математической обработки) [1, 4].

Точность измерений зависит также от периода времени наблюдения и от параметров используемой аппаратуры при выполнении работ [5].

Для изучения зависимостей точности измерений от времени наблюдения, используемых приемником частот и систем, а также для выработки рекомендаций по периодам измерений в зависимости от расстояния между приёмниками, был поставлен следующий эксперимент.

С помощью программного обеспечения Javad Positioning Systems Pinnacle была произведена обработка данных исходной спутниковой сети, состоящей из пяти точек, полученных одночастотным и двухчастотным приемниками (рис. 1).

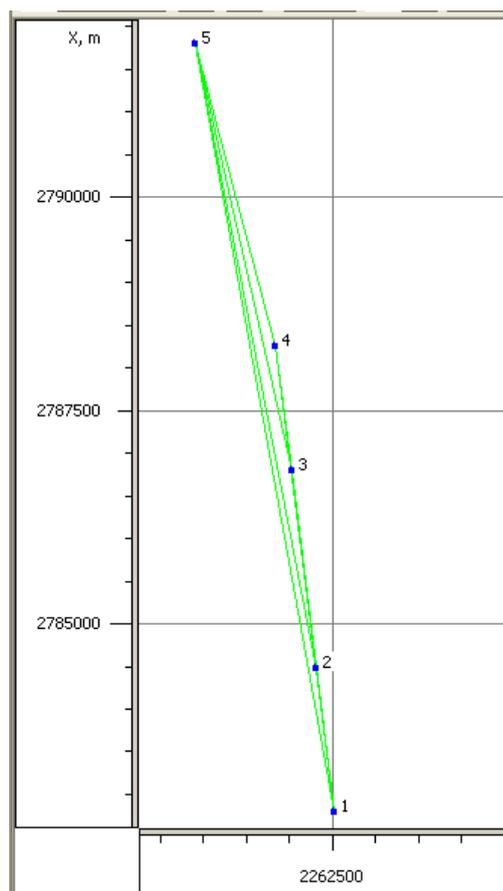


Рисунок 1. Схема исходной спутниковой сети

Для расчета погрешностей были выделены несколько треугольников с максимальной длиной стороны 4457,66 м и 10024,2 м, и вычислены длины составляющих их векторов с использованием различных наборов 1-2-3, 1-3-5, 1-2-5. В процессе подготовки данных для обработки производилась нарезка временных перекрытий по пятиминутным интервалам для обработки различных временных интервалов.

В каждом из интервалов производилось исключение не участвующих в вычислениях векторов, установление настроек наблюдений (GPS/ГЛОНАСС), выбор используемой частоты (L1/L2) и редактирование оккупации на соответствующий расчетам временной промежуток. Промежутками являлись временные перекрытия в 30, 20, 15, 10 и 5 минут. При построении геодезической сети все линии сети были определены независимо.

После запуска уравнивания был получен отчет с рассчитанными невязками по каждому временному промежутку.

По полученным данным были построены диаграммы. Диаграммы иллюстрируют общую тенденцию снижения невязки с увеличением времени.

На рис. 2 представлена зависимость уменьшения невязки с увеличением времени съёмки треугольника 1-3-5 с максимальной стороной хода 10024,2 м. При расчете включены сети ГЛОНАСС и GPS и две активные частоты.

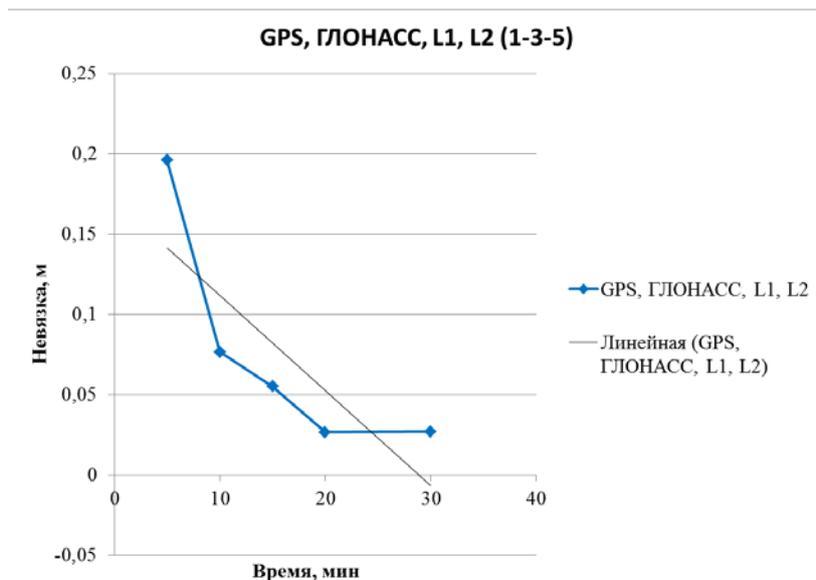


Рисунок 2. Зависимость уменьшения невязки с увеличением времени съёмки

На рис.3 представлена зависимость уменьшения невязки с увеличения времени съёмки треугольника 1-3-5, с максимальной стороной хода 10024,2 м. При расчете была включена только сеть GPS, и две активные частоты.

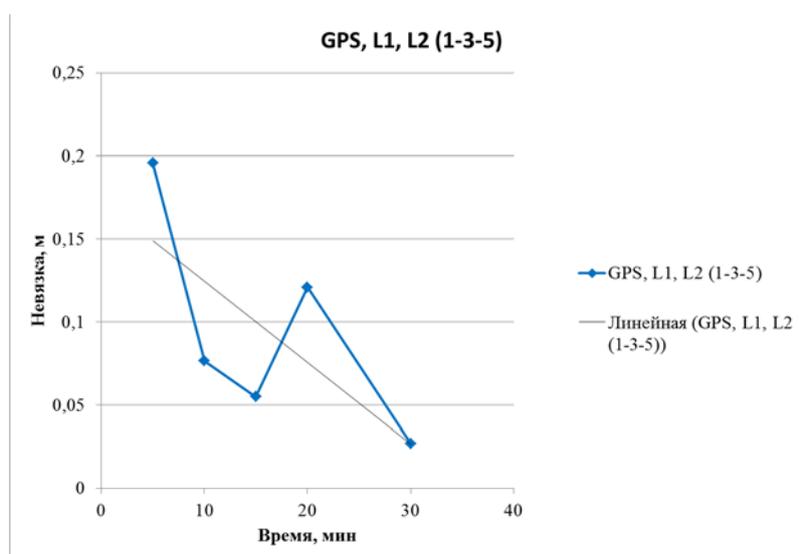


Рисунок 3. Зависимость уменьшения невязки с увеличения времени съёмки

На рис. 4 представлена зависимость уменьшения невязки с увеличения времени съёмки треугольника 1-3-5, с максимальной стороной хода 10024,2 м. При расчете была включена только сеть GPS, и одна активная частота L1.

На основе анализа, проведенного по данному эксперименту, можно отметить, что для получения координат съемочного обоснования в режиме статики с достаточно высокой точностью при условии, что расстояние до определяемых точек составят до 10 км, необходимо использовать двухчастотную аппаратуру, и время сеансов должно составлять от 25 до 35 мин.

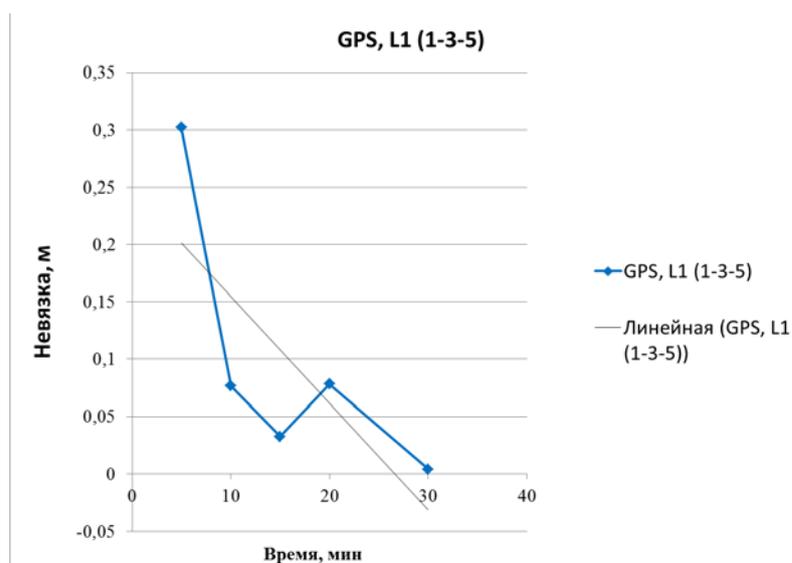


Рисунок 4. Зависимость уменьшения невязки с увеличением времени съёмки

Методы, рассмотренные в эксперименте, подходят для решения задач кадастра и землеустройства, так как точность получаемых данных при съёмке полностью соответствует требуемым нормативом допускам. Величину невязки для сети референционных станций определим равной 1 см (0,01 м).

Также нужно отметить, что использование двухчастотных или мультисистемных (GPS/ГЛОНАСС) приёмников в данном случае не приносит увеличения точности. При определении координат рядовых пунктов (границы участков, границ землепользования и так далее) или пунктов съёмочного обоснования, расположенных на более коротких расстояниях, можно использовать одночастотную аппаратуру, тем самым уменьшая экономические затраты на проведение работ.

Пользователь, самостоятельно проведя несколько подобных экспериментов, может решить, сколько времени, при какой аппаратуре и на каких расстояниях нужно наблюдать, чтобы достигнуть нужной точности измерений. Тем самым получить возможность обоснования сокращения время полевых работ при условии обеспечения необходимой точности, что очень важно при решении задач кадастра и землеустройства.

#### Список литературы:

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 1; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Ключин Е.Б., Куприянов А.О., Шлапак В.В. Спутниковые методы измерений в геодезии. (Часть 1). Учебное пособие. М.: Изд. МИИГАиК. УПП «Репрография», 2006 г.- 60 с.
3. Аврунев Е.И. Геодезическое обеспечение Государственного кадастра недвижимости. Новосибирск: СГГА, 2010. – 144 с.
4. Шануров Г.А. Атмосфера и ее влияние на результаты измерения расстояний. Учебное пособие. М.: Москва 2013. – 14 с.
5. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Картгеоцентр, 2004. - 355 с.

УДК: 528.02; 528.06

## ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

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

**Аннотация.** В статье анализируется геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства. Особенность геодезического обеспечения в том, что оно решает три основные задачи. Первая задача связана с координированием радиорелейных мачт. Вторая задача связана с определением координат подвижных объектов в радиорелейном пространстве. Третья задача связана с поддержанием функциональной готовности радиорелейного информационного пространства за счет систематизированного мониторинга. Система геодезического обеспечения радиорелейного информационного пространства в зоне железной дороги может служить для поддержки управления движением.

**Ключевые слова:** транспорт, геодезическое обеспечение, информационное пространство, коммуникационное пространство, мониторинг, управление подвижными объектами.

## GEODETIC SUPPORT OF RADIO RELAY INFORMATION 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.** In article is analyzed the geodetic support of the radio relay information space. The peculiarity of geodetic software is that it solves three main tasks. The first task is to determine the coordinates of microwave relay masts. The second task involves determining the coordinates of moving objects in radio relay space. The third task is to maintain the functional readiness of the radio relay information space through systematic monitoring. The system of geodetic support of radio relay information space in the area of the railway can serve to support traffic control.

**Keywords:** transport, geodetic support, information space, communication space, monitoring, control of moving objects.

### Введение.

Радиорелейное информационное пространство (РРИП) представляет собой логическое объединение, интеграцию информационного поля [1, 2] и информационного пространства [3]. По названию РРИП является пространством, но по сущности оно является сложной организационно-технической системой [4, 5]. В настоящее время используют разные виды информационных пространств: коммуникационное [6], навигационное [7], управляющее [3], сетевое [8], виртуальное [9], координационное [10, 11]. Одной из разновидностей коммуникационного пространства является радиорелейное коммуникационное пространство. Оно выполняет функции связи. В дополнение к радиорелейному коммуникационному пространству в последние десятилетия применяют радиорелейное информационное пространство.

В отличие от радиорелейного коммуникационного пространства, радиорелейное информационное управляющее пространство выполняет функции: координации, измерения и управления. Его применяют для управления железнодорожным и автомобильным транспортом. Его используют для создания зон контроля вблизи особо охраняемых объектов, аэропорты, АЭС. Радиорелейное управляющее информационное пространство можно рассматривать как геопространство. Как инструмент измерения РРИП выполняет координационные функции [11]. При измерении подвижных объектов РРИП выполняет функции информационно - измерительного поля, подобно навигационному полю.

В контексте управления подвижными объектами РРИП осуществляет обратную связь и поддержку управления подвижными объектами. Как информационная модель РРИП представляет собой информационную конструкцию [12], которая задает некое пространство. Управление в таком пространстве осуществляется путем контроля информационной ситуации [13] и оценке позиции [14] подвижного объекта по отношению к целевому заданию. Как сложная техническая система [15] РРИП включает технику, технологии измерения, технологии поддержки. Для функционирования РРИП требуется постоянный мониторинг и предпочтительно геоинформационный мониторинг [16]. По результатам мониторинга могут производиться геодезические работы по привязке радиорелейных мачт. В настоящее время РРИП является основой управления цифровой железной дорогой [17, 18, 19].

#### **Радиорелейная связь и радиорелейное пространство.**

Радиорелейной связью называют радиосвязь, основанную на ретрансляции радиосигналов дециметровых и более коротких волн станциями, расположенными на поверхности Земли. Совокупность технических средств и среды распространения радиоволн для обеспечения радиорелейной связи образует радиорелейную линию связи (РРЛС). РРЛС применяют в разных областях, включая транспорт. В системах РРЛС используется радиоволна, распространяющаяся около земной поверхности. Радиоволны длиной менее 1 м хорошо распространяются только в пределах прямой видимости. Поэтому РРЛС на большие расстояния строят в виде цепочки приёмно-передающих радиорелейных станций, в которой соседние станции размещают на расстоянии, обеспечивающем радиосвязь прямой видимости и называемом радиорелейной линией прямой видимости. Системы связи прямой видимости используют для передачи сигналов многоканальных телефонных сообщений, радиовещания, телевидения, фототелеграфных сигналов, передачи данных и для технологических нужд железнодорожного транспорта. Радиорелейные линии связи являются широкополосными системами.

Простейшее звено РРЛС представляет собой две станции. Их большее число образует линейную цепочку, обеспечивающую связь между начальным и конечным пунктами. Сложные сети строятся путем ответвления от основной линии. Кроме того, создают кластеры сетей, обслуживающих регионы, населённые пункты.

Международными рекомендациями МСЭ-Т (Международный союз электросвязи - сектор телекоммуникации) выделено несколько диапазонов частот СВЧ, в каждом из которых определены частотные планы для работы РРЛ; при этом полоса частот радиоканала не превышает 40 МГц. Для повышения пропускной способности РРЛ, применяют многоствольную работу, заключающаяся в том, что связь организуется на нескольких параллельных радиоканалах, использующих общие станции.

В структуре радиорелейной связи различают оконечные, узловые и промежуточные станции. Узловые и промежуточные станции выполняют функции ретрансляторов, но на узловых

станциях можно выделять или вводить информацию в канал связи, а также ответвлять сигналы на другие направления.

Развитие современной техники привело к необходимости быстрого и точного решения задач управления и координации с учетом событий, происходящих на больших расстояниях от центров управления. При этом резко возросла роль связи для передачи данных в схеме, соединяющей между собой два или несколько центров. Характер в этом случае обуславливает особые требования к тракту: во-первых, повышение пропускной способности систем связи, и, во-вторых, увеличение требований к надежности и качеству передачи.

Особенностью радиорелейной связи является использование УКВ диапазона. Как известно, в диапазоне УКВ имеется возможность применения антенн с большой направленностью (усилением порядка 40 дБ) и малыми габаритами. Это позволяет уменьшить взаимные помехи между станциями и дает возможность использовать передатчики малой мощности (от нескольких мВт до единиц Вт). Кроме того, в диапазоне УКВ может быть передан достаточно широкий спектр частот. Это дает возможность передавать на одной несущей частоте сигналы большого числа каналов, например, до нескольких тысяч телефонных сообщений. Важным преимуществом диапазона УКВ по сравнению с более низкими частотами является весьма малое влияние различного рода помех. Действительно, с одной стороны, вероятность появления промышленных или атмосферных помех в этом диапазоне меньше, а с другой стороны, направленность антенн выше и меньше вероятность проникновения помехи в приемник.

По характеру линейного сигнала РРЛС разделяются на аналоговые и цифровые. Существуют и смешанные системы, работающие с теми и другими сигналами. В настоящее время широкое развитие получили цифровые системы РРЛ, обеспечивающие передачу цифровой формы информации. Цифровые РРЛ решают одну из главных задач создания помехоустойчивых каналов связи, позволяющих передавать информацию с высокой скоростью и требуемой достоверностью. Продолжается дальнейшее усовершенствование систем, которое предполагает повышение эффективности использования РРЛ, увеличение дальности, повышение качества и надежности связи.

В настоящее время помимо строительства новых РРЛС на магистральных линиях, функционирующих десятки лет, идет активный процесс модернизации: устанавливается радиорелейное оборудование РДН нового поколения, осуществляется переход с РДН на SDH-оборудование, которое имеет высокую пропускную способность и позволяет наиболее полно удовлетворить возросшие требования потребителей информации. Переходя к РРИП, следует отметить, что они базируются на кластерных и многоствольных моделях РРЛС.

**Различие между коммуникационным и управляющим радиорелейными пространствами.**

Железная дорога представляет собой геотехническую систему [20]. Поэтому создание РРИП предназначено для управления такой системой. Как система РРЛС представляет собой линейный объект. Окружающее его пространство можно рассматривать как коммуникационное пространство. Для анализа различий пространств введем две аббревиатуры: радиорелейное *информационное* коммуникационное пространство (РКП) и радиорелейное *информационное управляющее* пространство (РРИП). Курсивом выделены слова, не входящие в аббревиатуру и играющие не главную роль в этих понятиях. Основное назначение и основная функция радиорелейного коммуникационного пространства (РКП) это коммуникация или передача информации.

Хорошей характеристикой свойств и назначения радиорелейной коммуникационной связи является ГОСТ 53363. Хотя термин «коммуникационная» в ГОСТе отсутствует, но по контексту вытекает, что ничего кроме коммуникации радиорелейная связь обеспечивать не должна. В тоже время ГОСТ содержит ряд полезных дефиниций в отношении раскрытия содержания радиорелейной связи. Например, в этом документе радиорелейная связь интерпретируется как: «наземная» «радиосвязь», основанная на «ретрансляции» «радиосигналов» на коротких радиоволнах «дециметрового и еще более коротких диапазонах».

В кавычках выделены ключевые понятия, которые необходимо проанализировать для выяснения специфики, а также последующего сходства различия с управляющим РРИП. Термин «наземная» говорит об альтернативе данного метода широко используемых космических методов позиционирования и связи. Существует наземная мобильная связь, существуют альтернативные ей спутниковые системы мобильной связи. Существует космическое позиционирование, существует наземное позиционирование. Таким образом, термин «наземная» исключает область космических технологий.

Термины «радиосвязь» и «радиосигналов» задают диапазон и исключают оптоволоконную связь или оптическую связь. Термин на «ретрансляции» допускает возможность передачи сигналов в случае отсутствия прямой видимости между станцией и приемником. Этим расширяются технологически возможности данного метода. Вместо большого количества передающих станций можно использовать небольшое количество станций и ретрансляторов, что экономично и технологично. Термины «дециметрового и еще более коротких диапазонах» вырезают из всего радиодиапазона область передачи информации и определяют полосу пропускания. Напомним, что чем короче диапазон, тем шире полоса пропускания.

Характерным является определение «радиорелейная линия». Это понятие определяется в ГОСТ 53363 как «Совокупность *технических средств и среды* распространения радиосигнала для *обеспечения связи*». Здесь курсивом также выделены ключевые слова, главным из которых является *обеспечения связи*. Это определяет главную функцию РКП и исключает понятия управление, позиционирование, транспорт.

Для анализа РРИП рассмотренные два определения можно расширить. Понятие радиорелейная связь в этом случае звучит так: наземная радиосвязь», основанная на ретрансляции, приеме и передаче радиосигналов на коротких радиоволнах для решения задач коммуникации, позиционирования и массового управления подвижными объектами. В это определение коммуникация как не главная функция введена в явном виде и отмечены две главные функции позиционирования и управление.

Термин «позиционирования» означает, что дополнительно к технологиям передачи информации в РРИП применяют технологии позиционирования. То есть определения координат подвижного объекта в РРИП. Для реализации такой возможности подвижные объекты (железнодорожный транспорт и автотранспорт) должны быть оборудованы специальными приемными устройствами и устройствами вычислений. Контекстно это приближает данную технологию к технологиям интернет вещей.

Термин «массового управления» означает, что дополнительно к технологиям передачи информации в РРИП применяют технологии управления не одним, а множеством объектов в транспортной сети. При этом управление является динамическим. При таком управлении речь идет не о параметрическом состоянии стационарного объекта, а, совокупно, параметрическом, пространственном и временном состоянии подвижного объекта. Кроме того, подразумевается

не независимое управление одним подвижным объектом, а согласованное, координированное управление совокупностью объектов, решающих общие задачи перевозки грузов.

Также, по сравнению с ГОСТ 53363, меняется содержание понятия «радиорелейная линия». В РКП это понятие является основными. В РРИП оно является вспомогательным. Можно трансформировать понятие «радиорелейная линия» для РРИП следующим образом: «Инструмент поддержки РРИП, который содержит технические и технологические средства передачи и приема радиосигналов для *управления и позиционирования*».

Яркое различие между РКП и РРИП существует в области пространственной локализации. ГОСТ 53363 для этой цели имеет раздел «4.5. Топографическое описание радиорелейного интервала». Он содержит следующую информацию: « $R$  — длина трассы интервала, м (км);  $Ш_1$ ,  $Д_1$ ,  $Ш_2$ ,  $Д_2$  — широта и долгота конечных ЦРРС интервала, град. Топографическая карта местности масштаба 1:50000 или крупнее в системе геодезических координат 1995 г. (СК-95) или 1942 г. (СК-42)».

Это очень грубая оценка, не пригодная для позиционирования транспорта, и тем более для расчета скорости транспорта. Картографические требования допускают погрешность картографического материала 0.1 мм в масштабе карты. Для карты масштаба 1:50000 это дает погрешность на местности для одной станции 5 метров, плюс дополнительная погрешность за счет картографических искажений. Эти погрешности нарастают при использовании нескольких радиорелейных станций РКП для оценки положения подвижного объекта. Для позиционирования скоростного движения этой точности измерений не хватает. Для установки станций РРИП необходимо применять геодезические разбивочные работы и определение антенн станций с сантиметровой точностью.

Таким образом, сравнение показывает, что РРИП является более сложной системой по сравнению с РКП. РРИП обладает большими функциональными возможностями и позволяет решать дополнительные задачи в сравнении с задачами РКП. В частности, одной из задач является интегральное управление движением [21].

#### **Геодезические работы в радиорелейном пространстве.**

На рисунке приведена структурная схема геодезического обеспечения радиорелейного пространства. В ней выделено три компонента: железная дорога ЖД; радиорелейные мачты РРМ; пункты геодезической основы – ГО.

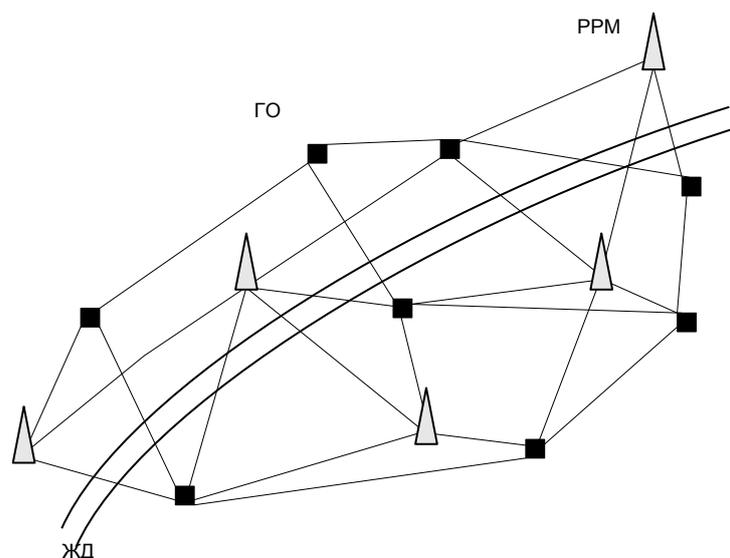
Радиорелейное пространство представляет совокупность двух сетей. Кластер радиорелейной сети, вложенный в сеть геодезической основы. Первоначально устанавливается сеть РРС, а затем вокруг нее проводят геодезические работы, которые составляют суть геодезического обеспечения.

Радиорелейное информационное пространство может выполнять две функции активную и пассивную. Активная функция или функция управления выполняется, когда на подвижный объект устанавливают приемник и вычислительное устройство. В этом случае сигналы станции служат основой вычисления место положения объекта на самом объекте и последующего управления.

В этом случае управление может быть централизованным или субсидиарным.

Пассивная функция или функция контроля выполняется, когда подвижный объект выдает отраженные сигналы, по которым в центре контроля определяют его местоположение и направление движения.

Опорные геодезические сети создаются в целях создания информационно измерительного пространства. С их помощью получают координаты и высоты пунктов сети с плотностью и точностью, необходимой для выполнения пространственных работ и пространственного управления.



Структурная схема геодезического обеспечения радиорелейного пространства, где: ЖД - железная дорога; РРМ - радиорелейные мачты; ГО - пункты геодезической основы.

На местности геодезические пункты закрепляются грунтовыми реперами. Определение положения геодезических пунктов в настоящее время проводят спутниковыми методами с помощью ГНСС приемников.

Развитие сетей выполняют с помощью электронных тахеометров и геометрическим нивелированием с помощью цифровых (электронных) и оптических нивелиров [22].

Требования к плотности реперов геодезической основы для РРИП выполняют в соответствии с типом территории «Застроенные и подлежащие застройке в ближайшие годы территории городов».

Требования к точности определения планового положения пунктов создаваемой опорной геодезической сети для РРИП определяет СКП определения координат 20 мм. Требования к точности определения высот пунктов создаваемой опорной геодезической сети для РРИП соответствует II классу.

### Заключение.

Геодезическое обеспечение радиорелейного информационного пространства есть комплекс, включающий: установку мачт, разбивку опорной геодезической сети, измерение и уравнивание радиорелейной сети, мониторинг сети, цифровое моделирование трассы и местности, пространственный анализ и использование геоданных. Точность позиционирования подвижных объектов зависит от качества геодезического обеспечения РРИП и качества последующего геоинформационного мониторинга. Система геодезического обеспечения РРИП может быть рассмотрена как система поддержки управления движением в зоне РРИП.

### Список литературы

1. Кудж С.А. Информационное поле: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с. ISBN 978-5-317-05530-1.
2. Цветков В.Я. Естественное и искусственное информационное поле// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2014. - №5-.2. – С. 178 -180.

3. Ожерельева Т.А. Информационное пространство как инструмент поддержки принятия решений // Славянский форум, 2016. -4(14). – С. 169-175.
4. Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Соловьёв И. В., Цветков В.Я. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. - М.: МАКС Пресс, 2010. -228 с.
5. Буравцев А.В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. - 2017. -3(3). – С. 48-58.
6. Healey P. G. T. et al. Communication spaces //Computer Supported Cooperative Work (CSCW). – 2008. – V. 17. – №. 2-3. – С. 169-193.
7. Persson P. et al. GeoNotes: a location-based information system for public spaces //Designing information spaces: the social navigation approach. – Springer, London, 2003. – p. 151-173.
8. Lu W. et al. Node similarity in networked information spaces//Proceedings of the 2001 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research. – IBM Press, 2001. – С. 11.
9. Göbel F. et al. Gaze-supported foot interaction in zoomable information spaces //CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. – ACM, 2013. – p.3059-3062.
10. Ducasse S., Hofmann T., Nierstrasz O. OpenSpaces: an object-oriented framework for reconfigurable coordination spaces //International Conference on Coordination Languages and Models. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2000. – p. 1-18.
11. Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 62-68.
12. Tsvetkov V. Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. - 2014, Vol (5), № 3. – p. 147-152.
13. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. Series A. 2012, Vol.(36), 12-1, p. 2166- 2170.
14. Потапов А. С. Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. - 2017. - 1(15). – С. 283-289.
15. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С. 86-92.
16. Цветков В.Я. Геоинформационный мониторинг //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2005.- №5. - С. 151 -155.
17. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С. 43-53.
18. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С. 69-79.
19. Уманский В.И., Павловский А.А., Дзюба Ю.В. Цифровая Железная Дорога. Технологический уровень // Перспективы науки и образования. – 2018. – 1(31). – С. 208-213.
20. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система //Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С. 52.
21. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С. 6-9.
22. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 3(7). – С. 64-70.

УДК: 334.71: 656: 338.245

## **МНОГОЦЕЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

- Дзюба Ю.В.** Руководитель Центра стратегического анализа и развития, АО «НИИАС», E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье рассматривается управление транспортом на основе метода многоцелевого управления. Показано различие между управлением с выбором цели и многоцелевым управлением, отмечено появление многоцелевого цифрового управления. Раскрывается содержание структуры многоцелевого управления. В статье доказано, что модель многоцелевого управления является сетцентрической, а не иерархической. Показано, что многоцелевое управление включает элементы субсидиарности. Вводится понятие ситуативности управления, рассматривается понятие целесущественных факторов управления. Раскрывается содержание векторного, матричного и многомерного управления. Показано, что метод дерева целей не работает при динамическом многоцелевом управлении.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, многоцелевое управление, векторное управление, матричное управление.

## **MULTI-PURPOSE OPERATION OF MOBILE OBJECTS**

- Dzuba Yu.V.** Head of Strategic analysis and development center, JSC "NIAS", E-mail: u.dzuba@vniias.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article is discussed the control of transport based on the method of multi-purpose management. Is shown the distinction between control with target selection and multi-purpose control, is noted the emergence of multi-purpose digital control. The content of the multipurpose management structure is revealed. The article proves that the multipurpose management model is network-centric, not hierarchical. It is shown, that multipurpose management includes elements of subsidiarity. The concept of situational control is introduced, the concept of goal-oriented management factors is considered. The content of vector, matrix and multidimensional control is revealed. It is shown, that the goal tree method does not work under dynamic multi-purpose control.
- Keywords:** transport, control, multipurpose control, vector control, matrix control.

**Введение.** Управление с выбором цели и многоцелевое управление являются разными видами управления. Управление с выбором цели включает одну цель управления и достижение именно этой цели. Этот вид управления включает анализ целей и выбор наиболее важной цели среди альтернатив. В теории для такого вида управления характерно понятие – дерево целей [1]. Многоцелевое управление допускает наличие нескольких целей одновременно [2]. Оно включает поиск приоритетов целей, который может меняться в процессе управления или производства. При этом стратегическая цель может быть неизменной, но локальные или ситуативные цели могут менять приоритет. Такая ситуация возникает при перевозке грузов в мегаполисе [3]. Стратегическая цель доставки груза не меняется. Локальные цели – выбор

маршрута, могут менять приоритеты. Характерным является появление нештатной ситуации в процессе перевозки грузов, когда возникает необходимость изменения маршрута доставки груза.

Многоцелевое управление применяют при решении разнообразных практических задач. Например, многоцелевая задача управления возникает при управлении движением околоземной пилотируемой станции на больших временных интервалах [4]. Многоцелевое государственное управление встречается в сфере природопользования [5]. Многоцелевое управление требуется при устойчивом развитии территорий [6]. Многоцелевое управление применяют при управлении группами многоруких роботов [7]. Многообразие применения этого подхода говорит о важности исследования в данном направлении. Особое внимание уделяется системам управления подвижными объектами. Это обусловлено необходимостью обеспечения необходимой функциональности и безопасности эксплуатации. В таком управлении широко применяют компьютерные технологии. Методически применяют анализ и синтез моделей движения. Применяют математическое и имитационное моделирование, а также дискретную реализацию законов управления на борту. Такое управление называют также цифровым в силу использования дискретных сигналов и дискретной обработки.

Многоцелевые законы цифрового управления подвижными объектами исследованы в диссертации Сотниковой М. В. [8]. В настоящее время методы многоцелевого управления развиваются за счет использования математической логики, вычислительных средств. Методы многоцелевого управления развиваются за счет моделирования при использовании анализа и синтеза обратных связей. Следует выделить особую роль технологий киберфизических систем [9, 10] для бортовой реализации систем управления подвижными объектами. Возник новый термин локальные вычисления и локальные вычислительные узлы. При локальных вычислениях в первую очередь важна высокая скорость вычислений, выполняемых в режиме реального времени с учетом существенной ограниченности возможностей локальных вычислителей или бортовой вычислительной техники [11].

Ориентация на применение цифровых устройств определяет необходимость построения законов цифрового управления [8]. Это мотивирует развитие методов, базирующиеся на математических моделях объектов управления, представленных разностными уравнениями. Важнейшую роль играют вопросы пространственного управления [12] и пространственного анализа [13]. Функционирование автоматизированных систем для управления подвижными объектами в современных условиях является многорежимным. При этом каждому режиму соответствует свой комплекс требований, которые возникают исходя из условий перевозки. Достижение высокого качества управления возможно за счет адаптивной настройки управления на борту в режиме реального времени [14]. Это означает ярко выраженное субсидиарное управление.

Для повышения адаптивности многоцелевого управления используют прогнозирующие модели типа Model Predictive Control, MPC. Этот вариант базируется на применении оптимизационного подхода: соответствующие задачи необходимо решать на каждом такте работы в дискретном времени. Следует отметить, что дискретное многоцелевое управление возникло не в теории цифровой железной дороги [15], а задолго до этого при многоцелевом управлении морскими судами. В этой области формализована и решена задача синтеза динамической корректировки для управления движением морских судов, при этом принималось во внимание морское волнение с учетом динамических ограничений.



Важными характеристиками схемы на рис.1 являются три: построение ее по сетевому типу, сетецентричность [17] и наличие субсидиарности [18]. Локальный вычислитель реализует функции субсидиарности. Сетецентрические модели это модификация иерархических моделей с включением дополнительных горизонтальных связей. Такая модель напоминает сетевую модель, но определенного типа. Для нее характерно наличие центра, из которого исходят управляющие звенья.

**Ситуативность при многоцелевом управлении.** При многоцелевом управлении изначально всегда имеется несколько возможных целей управления и выбранных целей из числа возможных. При тактическом или оперативном управлении выбор наиболее важной цели или приоритета цели осуществляют исходя из оперативной информационной ситуации [19]. При стратегическом управлении выбор наиболее важной цели осуществляют на основе директивной информации. Вариабельность цели по оперативной ситуации, означает решение задачи доставки груза, при котором критерий оптимизации может существенно меняться [20]. Например, при перевозке груза могут возникать разные ситуации.

Ситуация 1 требует перевозки по самому короткому маршруту. Отсюда критерий оптимальности — минимальное расстояние маршрута;

Ситуация 2 требует доставки за минимальное время (скорая помощь) Отсюда критерий оптимальности — минимальное время в пути;

Ситуация 3 требует минимизации транспортных расходов. Критерий оптимальности — минимальные затраты на доставку;

Ситуация 4 характеризуется возможным изменением условий в процессе перевозки. Отсюда возникает требование оперативного принятия решения перевозчиком без обращения в центр. Это требует введения элементов субсидиарности в оперативное управление

Ситуация 5. характеризуется возможным изменением директивной информации. Это требует наличие многоплановых вариантов перевозки.

Наличие множества возможных ситуаций при перевозке груза называется ситуативность. Ситуативность влечет множество вариантов выбора целей, множество критериев оптимизации и множество видов задач оптимизации.

Ситуации 1-5 являются основой для применения многоцелевого управления. Они не исключают возникновение множества дополнительных ситуаций, которые также требуют многоцелевого управления.

Внешняя среда и внешние факторы оказывают воздействия на объект управления. В аспекте влияния факторов на выбор цели можно разделить их на две группы: существенные по выбору цели, не существенные по выбору цели.

*Целесущественным или существенным по выбору цели* называют такой фактор или такое воздействие на объект управления, которые требуют изменения цели управления. *Несущественным по выбору цели* называют такой фактор или такое воздействие на управляемый объект, которые не требуют изменения цели управления.

Для каждой группы могут быть внешние и внутренние причины. Внешние причины обусловлены влиянием внешней среды на объект управления. Внешние причины обусловлены изменением внутреннего состояния объекта управления.

**Три группы многоцелевого управления.** Многоцелевое управление включают три группы: векторные, матричные, многомерные. Векторное многоцелевое управление является наиболее простым. Оно допускает множество условий выбора цели ( $C_i$ ) и множество целей ( $T_i$ ), между

которыми существует информационное соответствие. Это означает, что вектору условий  $|C_i\rangle$  соответствует вектор целей  $|T_i\rangle$ . Эта группа многоцелевого управления описывается с помощью правила *Ru1* выбора целей.

$$Ru1: (C_i) \rightarrow (T_i) \quad (1)$$

или

$$Ru1: \quad Op1 | c_1, c_2, \dots, c_n \rangle = |tc_1, tc_2, \dots, tc_n \rangle \quad (2)$$

$$T_i = f(c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (3)$$

Выражение (1) является логическим, выражение (2) является операционным, выражение (3) является функциональным. Вектора имеют одинаковую вариантность, они являются ковариантными. В выражении (2) *Op1* – оператор линейного преобразования. В выражениях (1-3)  $i=1, n$ ;  $n$  - число целей. Выражения (1-3) предполагают выбор цели до начала перевозки. Этот вид управления наиболее простой.

Матричное управление означает наличие множества условий выбора цели ( $C_i$ ) и множества целей ( $T$ ) и множества факторов изменения условий выбора целей ( $W_k$ ). В этом случае вектору условий ( $C_i$ ) и вектору факторов изменения условий выбора целей ( $W_k$ ) соответствует матрица целей ( $T_{ik}$ ). Матрица целей формируется как результат векторного произведения ковариантного вектора  $C_i$  (вектора столбца) на контрвариантный вектор  $W_k$  (вектор строку). То есть

$$[T_{ik}] = | C_i \rangle \langle W_k |$$

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

$$\Phi = \langle C_i | W_i \rangle$$

Матричное многоцелевое управление описывается с помощью логического правила выбора целей *Ru2*.

$$Ru2: (C_i) \wedge (W_k) \rightarrow (T_{ik}) \quad (4)$$

Такая группа правил выбора создает многопараметрическую матрицу. Примерами многопараметрического многоцелевого управления по нескольким факторам является доставка груза транспортными средствами с учетом многих факторов. В процессе доставки значение этих факторов меняются. То есть эти факторы в процессе перемещения груза не являются стационарными. Если рассматривать как компоненты временного ряда, то они относятся к конъюнктурным факторам.

Пример, увеличение скорости движения подвижного объекта, влечет существенное увеличение расхода топлива. Это увеличивает затраты при перевозках. Изменение затрат может привести к изменению оптимальности перевозки, что в итоге может привести к изменению целей. Можно записать простое логическое следование

Длительная перевозка  $\rightarrow$ повышение мощности двигателя  $\rightarrow$ перегрев двигателя  $\rightarrow$ выход из строя  $\rightarrow$  ремонт

При длительной перевозке транспортным средством, или повышении мощности двигателя возрастает риск перегрева двигателя. Перегрев двигателя может привести к дополнительным затратам на ремонт и т.д. Эти факторы также могут привести к изменению целей.

На практике во многих случаях при интермодальной перевозке необходимо учитывать связанные факторы в комплексе, что возможно только при использовании предварительного коррелятивного анализа. Учет коррелятивных факторов, в том числе и латентного характера, позволяет учитывать динамику критериев оптимальности и выбирать правильную цель при изменении ситуации.

Другими словами, ключевые факторы вектора цели, которые при первичном решении задачи считают стационарными и независимыми, при изменении состояния объекта или изменении внешней среды могут влиять друг на друга и становиться зависимыми и нестационарными.

При этом не стационарность может включать элемент скачкообразности. Динамика критериев оптимальности изменяет оптимальность решения задачи. Она требует перехода от одного типа управления к другому, которое становится оптимальным в новых условиях. Получение нового решения изменяет цель. Отсюда следует, что коррелятивный анализ является инструментом динамической оптимизации и вспомогательным инструментом многоцелевого управления.

Такие взаимосвязанные факторы, влияющие на управление, связаны с логистикой, организацией цепочки доставки и управления этой цепочкой. Однако в классических логистических задачах они не рассматриваются и логистические задачи решаются большей частью при стационарных условиях и выборе одной цели.

Управление с динамическим выбором цели согласно правилам *Ru1* требует решения задач первого рода [21]. Управление согласно правилам *Ru2* требует решения задач второго рода [22]. Напомним, что задачами первого рода называют задачи, алгоритм которых определен до начала решения. Задачами второго рода называют задачи, путь решения которых неизвестен и определяется по мере завершения одного из этапов решения. Развитием матричного многоцелевого управления является многомерное многоцелевое управление.

Многомерное управление означает, что существует вектор условий выбора цели ( $C_i$ ) и вектор целей ( $T$ ) и множество групп  $J$  факторов изменения условий выбора целей ( $WJ_k$ ). В отличие от (4), где факторы представляют вектор ( $WJ_k$ ) представляет множество. Параметр  $J$  задает размерность управления. Для  $J=1$  имеется матричное управление. Для  $J=2$  имеем куб, для  $J>2$  имеем гиперкуб. Отсюда вектору условий ( $C_i$ ) и матрице факторов изменения условий для выбора целей ( $W_k$ ) информационно соответствует многомерный куб целей ( $T_{ikl(j)}$ ).

Многомерный куб целей или полиразмерная матрица формируется как результат многомерного векторного произведения. Эта группа многоцелевого управления описывается с помощью логических правил выбора целей *Ru3*.

$$Ru3: (C_i) \wedge (W0_k) \wedge (W0_l) \rightarrow (T_{ikl}) \quad (5)$$

В выражении (5) для простоты приведен пример трехмерного куба, то есть трех групп параметров, влияющих на управление и приводящих к изменению цели. Внутри каждой группы параметры альтернативные, но в разных группах они дополняют друг друга и увеличивают размерность анализа и принятия решений.

### **Заключение.**

Многоцелевое управление требует создания новых методов и алгоритмов для решения постоянно усложняющихся задач управления. Оптимизация управления в современных условиях осуществляется в центре управления и в самом подвижном объекте. При оптимизации в центре экономия вычислительных ресурсов не важна. При оптимизации на борту она важна. Классические методы получения оптимальных решений не работают в условиях *целесущественных воздействий*. В этих условиях получение решения возможно пошаговым методом. В качестве основы анализа такой ситуации и получения шагового решения можно использовать взвешенные графы. Технически такие решения можно получать с применением искусственных нейронных сетей или интеллектуальных мультиагентных систем. Кроме того, по мере накопления опыта, можно использовать матричные наборы стереотипных решений и тогда полиматрица может давать эффективное решение при многоцелевом управлении. Пока не исследован широкий круг вопросов в этой области. Это требует развития теории многоцелевого управления. Особо важны развития методов, направленных на расширение многоцелевой модели. Требуется развития теория нелинейных систем с адаптивной перенастройкой алгоритмов в режиме реального времени.

### **Список литературы**

1. Debeljak M., Džeroski S. Decision trees in ecological modelling //Modelling complex ecological dynamics. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. – p. 197-209.
2. V. Ya. Tsvetkov Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p. 140-143.
3. Кужелев П.Д. Комплексное управление мегаполисом // Государственный советник. – 2015. - №3. – С. 14-18.
4. Мельников Е. К. Метод решения многоцелевой задачи управления движением околоземной пилотируемой станции на больших временных интервалах. Дис.к.т.н.,спец. 05.07.09. – М., 2006. – 153 с.
5. Кривич И.Г. Модели принятия решений многоцелевого государственного управления в сфере природопользования. . Дисс.к.т.н.,спец. 05.13.10. Воронеж, Воронежский институт высоких технологий (ВИВТ), 2007. – 147 с.
6. Ознамец В. В. Проблемы устойчивого развития территорий // Государственный советник. – 2018. - №2. – С.11-19.
7. Ryatnitskiy E. S. Multipurpose control of multiarm robot manipulators //IFAC Proceedings Volumes. – 1997. – V. 30. – №. 6. – p.1-6.
8. Сотникова М.В. Многоцелевые законы цифрового управления подвижными объектами. Дис..д.ф-м.н.,спец. 05.13.01. СПб, СПбГУ, 2007. – 371 с.
9. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -2 (19). – С. 86-92.
10. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
11. Koch B. R. Digital automatic speed control for railway vehicles : пат. 3655962 США. – 1972
12. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С. 268-274.

13. Булгаков С.В., Цветков В.Я. Пространственный анализ: Монография. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – 216 с. ISBN 978-5-317-05841-8.
14. Salomonsson D., Soder L., Sannino A. An adaptive control system for a DC microgrid for data centers //Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE. – IEEE, 2007. – С. 2414-2421.
15. Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С. 43-53.
16. Frazier G. L., Spekman R. E., O'neal C. R. Just-in-time exchange relationships in industrial markets //The Journal of Marketing. – 1988. – р. 52-67.
17. Кудж С.А. Принципы сетцентрического управления в информационной экономике // Государственный советник. – 2013. - №4. – С. 30-33.
18. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С. 40-43.
19. Tsvetkov V.Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority// European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, p.1901-1909.
20. V. Ya. Tsvetkov. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, Vol.(1), №1. p. 40-44.
21. Щенников А.Е. Модели прямых алгоритмов // Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.103-109.
22. V.Ya. Tsvetkov. Incremental Solution of the Second Kind Problem on the Example of Living System, Biosciences biotechnology research Asia, November 2014. Vol. 11(Spl. Edn.), p. 177-180. doi: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1458>.

УДК: 334.71: 656.09: 338.245

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ДЕМПСТЕРА-ШАФЕРА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК**

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

**Аннотация.** В статье рассматривается практическое приложение теории Демпстера-Шафера к оценке целесообразности перевозок. Раскрывается типизация экспертных систем и выделено два класса экспертных систем. Теория Демпстера-Шафера относится к области советующих экспертных методов. Она применима при экспертном оценивании и в интеллектуальных системах. Статья доказывает, что советующие системы обрабатывают более разнообразную информацию, по сравнению с системами принятия решений. Это объясняется тем, что советующие системы анализируют неопределенность и информацию с неопределенностью. Приведены практические ситуации применения теории Демпстера-Шафера при организации перевозок различными видами транспорта.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, вероятностная логика, информационная неопределенность, троичная логика, функция веры (доверия), экспертное оценивание.

## **APPLICATION OF THE THEORY OF DEMPSTER-SHAFER TO OPTIMIZE TRAFFIC**

**Okhotnikov A.L.** Deputy Head, Strategic analysis and development center of JSC «NIAS»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

**Annotation.** In article is described the practical application of the Dempster-Shafer theory to the assessment of the expediency of transportation. The typification of expert systems is revealed and two classes of expert systems are distinguished. Dempster-Shafer theory relates to the field of advising expert methods. It is applicable in expert evaluation and intelligent systems. The article proves that consulting systems process more diverse information than decision-making systems. This is because the Advisory systems analyze uncertainty and information with uncertainty. Practical situations of application of the Dempster-Shafer theory in the organization of transportation by different modes of transport are given.

**Keywords:** transport, control, probabilistic logic, information uncertainty, ternary logic, belief function, expert evaluation.

### **Введение**

Управление перевозками при использовании разных видов транспорта характеризуется ситуациями с выбором альтернатив и принятием решений в условиях неполных знаний об информационной ситуации. Выбор альтернатив на практике часто сопровождается наличием информационной неопределенности [1]. Это обуславливает применение и разработку методов,

учитывающих неопределенность при принятии решений [2, 3]. Увеличение времени принятия решений недопустимо в скоростном и высокоскоростном движении. Поэтому возрастание сложности управления требует применения цифровых методов и методов цифровой экономики. Используя теорию вероятностей в условиях неопределенности, возникает ряд трудностей, которые стимулировали возникновение теории, разработанной Артуром П. Демпстером (Arthur P. Dempster), а в дальнейшем развита Гленном Шафером (Glenn Shafer). Она получила название «Теории Демпстера-Шафера» (далее Теория ДШ) [4, 5, 25].

Особенность теории в том, что она вводит такие понятия как знание, незнание и неопределенность. Такой подход связан с троичной логикой и с теорией «не факторов» [6]. Теория ДШ применяется в экспертных системах [7], в образовании [8], в моделировании [9], при использовании нейронных сетей [10], как альтернативный подход к многокритериальному принятию решений [11].

### **Два класса экспертных систем.**

В современных условиях принятие решений связано с экспертной оценкой и с применением экспертных систем. Экспертная система предполагает применение принципов и инструментов из области искусственного интеллекта в решении сложных прикладных задач, которые требуют опыта и знаний экспертов. В ситуациях с наличием неопределенности экспертные системы дают правдоподобный, но не достоверный результат. Поэтому участие человека является обязательным. Упрощенно экспертную систему возможно разделить на две подсистемы: базу знаний и механизм вывода. База знаний определяет правила и факты. Механизм вывода применяет правила к известным фактам для вывода новых фактов и может включать в себя диалог (объяснения) и отладку [12].

Механизм вывода – это автоматизированная система рассуждений, оценивающая текущее состояние базы знаний, которая применяет необходимые правила, по которым позволяет получить новый вывод-решение. Новый вывод представляет собой новые знания, которые вводят в базу знаний. Механизм логического вывода может включать в себя способности к объяснению – диалогу, чтобы он мог выдать оператору последовательность рассуждений, использованную для получения определенного вывода, путем применения правил, которые привели к выводу [13].

Для механизма вывода применяют два режима: прямой и обратный (метод резолюций). Различные подходы продиктованы тем, управляется ли механизм логического вывода предшествующим (левая сторона) или последующим (правая сторона) правилом. В цепочке вперёд предшествующая ссылка формулирует и утверждает следствие. Дополнительная цель экспертных систем – трансформировать критическую информацию, необходимую для принятия решений из неявной в явную информацию [14] или из менее определенной информации в более определенную. Хейс-Рот выделяет 10 категорий экспертных систем, указанных в таблице 1 [13].

Хотя эти категории и позволяют обеспечить описание пространства приложений для экспертных систем, они не являются жесткими, а в некоторых ситуациях приложение может демонстрировать признаки нескольких категорий.

Однако все эти категории можно разбить на два класса: советующие системы и системы, формирующие решение. Советующие системы осуществляют поддержку принятия решений [15]. Формирующие системы – создают само решение. Теория ДШ относится к классу технологий советующих экспертных систем.

Таблица 1.

Категории экспертных систем по Хейс-Роту [13].

Категория	Решаемая проблема
Интерпретация	Вывод описания ситуации из данных датчика
Прогнозирование	Определение вероятных последствий данных ситуаций
Диагностика	Определение системной неисправности из наблюдаемых
Дизайн	Настройка объектов под ограничения
Планирование	Разработка мероприятий
Мониторинг	Сравнение наблюдений для планирования уязвимостей
Отладка	Предоставление дополнительных решений для сложных проблем
Ремонт	Выполнение плана по назначению лекарства
Инструкция	Диагностика, оценка и исправление поведения учащихся
Контроль	Интерпретация, прогнозирование, исправление и мониторинг поведения системы

Парадоксальным является то, что советующие системы обрабатывают более разнообразную информацию, по сравнению с системами принятия решений. Это объясняется тем, что советующие системы анализируют неопределенность и информацию с неопределенностью. Системы принятия решений используют в основном информацию достоверную, которая не содержит неопределенности. Советующие экспертные системы и экспертные методы учитывают информационную асимметрию [16], неопределенность [1], энтропию [17], недостоверность [18] и тем самым комплексно оценивают риски таких ситуаций.

Принципы Теории ДШ.

Альтернативный подход, называемый теорией обоснования Демпстера-Шафера, рассматривает множества предположений и ставит в соответствие каждому из них вероятностный интервал доверия (правдоподобия), которому должна принадлежать степень уверенности в каждом предположении. Мера доверия обозначается  $Bel(p)$  и изменяется от нуля, что указывает на отсутствие свидетельств в пользу множества предположений, до единицы, означающей определенность. Мера правдоподобия предположения  $p$  -  $pl(p)$  определяется следующим образом:

$$pl(p) = 1 - Bel(not(p))$$

Таким образом, правдоподобие также изменяется от нуля до единицы и вычисляется на основе меры доверия предположению  $not(p)$ . Если  $not(p)$  вполне обоснованно, то  $Bel(not(p)) = 1$ , а  $pl(p)$  равно 0. Единственным возможным значением для  $Bel(p)$  также является нуль. Предположим, что существуют две конкурирующие гипотезы  $h_1$  и  $h_2$ . При отсутствии информации, поддерживающей эти гипотезы, мера доверия и правдоподобия каждой из них принадлежат отрезку  $[0; 1]$ . По мере накопления информации эти интервалы будут уменьшаться, а доверие гипотезам - увеличиваться. Согласно байесовскому подходу (при отсутствии свидетельств) априорные вероятности распределяются поровну между двумя гипотезами:  $P(h_i) = 0,5$ . Подход Демпстера-Шафера также подразумевает это.

С другой стороны, байесовский подход может привести к такой же вероятностной мере независимо от количества имеющихся данных. Таким образом, подход Демпстера-Шафера может быть очень полезен, когда необходимо принимать решение на основе накопленных данных. Итак, подход Демпстера-Шафера решает проблему измерения достоверности, делая

коренное различие между отсутствием уверенности и незнанием. В теории вероятностей мы вынуждены выражать степень нашего знания о гипотезе  $h$  единственным числом  $P(h)$ . Функция доверия Демпстера-Шафера удовлетворяет аксиомам, которые слабее аксиом теории вероятности, и сводится к теории вероятности, если все вероятности известны.

Предпосылкой возникновения теории явилось необходимость преодоления ряда ограничений, которые определялись классической теорией вероятностей при описании неопределенных знаний. Эти ограничения можно представить, как следующие [25]:

- полное незнание, когда мы не знаем об объекте ничего;
- жесткие условия  $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ , которые требуют знания или определение вероятностей всех возможных вариантов (гипотез);
- фиксация вероятности отрицательной гипотезы к вероятности прямой гипотезы, т.к.  $P(H) + P(\neg H) = 1$ .

Первое ограничение определено традиционным байесовским подходом, который представляет собой неопределенность (незнание) равномерными вероятностями. Основным недостаток данного подхода заключен в том, что равномерное распределение вероятности позволяет представить больше информации, чем дано. На примере эксперта, который утверждает, что для всех возможных видов отправки груза, нам необходимо использовать железнодорожный («ЖД»), речной транспорт («РТ»), это позволяет нам судить о степени незнания эксперта, но это не означает, что вероятности возможной отправки груза будут равны между собой, то есть  $P(\text{«ЖД»}) = 0,5$  и  $P(\text{«РТ»}) = 0,5$ .

Следующее ограничение определяется тем, что во многих ситуациях эксперт должен оставаться только в рамках математической модели теории вероятностей, которая носит объективный характер. Необходимо нарушить жесткие условия равенства единице сумм вероятностей всех исходов, особенно когда их множество. Часто имеем не какой-либо конкретный исход, а сразу несколько вариантов, которые не позволяют однозначно определить вероятность каждого конкретного варианта. Например, если мы уверены на 82% в том, что автомобиль, который проехал мимо нас - это «Волга», то наша масса уверенности ( $m_1 = 0,82$ ) можно относиться ко всем моделям «Волги», тогда масса уверенности  $m_2 = 0,18$  – к другим маркам того же класса автомобилей, и детальное описание её нам неизвестно.

Третье ограничение, которое следует из множества ситуаций, только частично поддерживает гипотезу, и его не следует рассматривать как свидетельство, поддерживающее отрицание гипотезы.

### Основные определения Теории ДШ.

Основополагающим понятием Теории ДШ является *фрейм различения*  $\Theta$ , который определяется как полное множество взаимоисключающих событий. Роль фрейма различения  $\Theta$  в Теории ДШ такая же, как роль выборочного пространства  $\Omega$  в теории вероятностей. Однако отличие в том, что если в теории вероятностей число возможных гипотез равно  $|\Omega|$ , то в Теории ДШ число возможных гипотез представляет собой все возможные подмножества  $\Theta$ .

**Ситуация 1.** Допустим, что множество всех взаимоисключающих вариантов, возможных для транспортировки груза, будет включать в себя 4 события: перевозка железнодорожным («ЖД»), автомобильным («Авто»), морским («МТ») и авиационным («Авиа») транспортом. Тогда фрейм различения  $\Theta$ , как и выборочное пространство  $\Omega$ , имеют по 4 элемента. Для

теории вероятностей число возможных гипотез будет равно 4:  $H_1=(\text{«Авто»})$ ;  $H_2=(\text{«МТ»})$ ;  $H_3=(\text{«ЖД»})$ ;  $H_4=(\text{«Авиа»})$ , то в Теории ДШ число возможных гипотез будет  $2^4 = 16$ , Таблица 2.

Теория ДШ несколько иначе трактует не только понятие гипотезы, но и её отрицание.

Обычная гипотеза в математической логике строится как конъюнкция факторов ( $\emptyset$ ).

В Теории ДШ условие другое – гипотеза А означает «А и только А», одновременно  $\neg A$  означает «все что угодно, но не А».

Таблица 2.

Исходная альтернативная ситуация, содержащая неопределенность

Гипотеза	События				Описание
	ЖД	Авто	МТ	Авиа	
i					$A_i$ (гипотезы)
0	0	0	0	0	( $\emptyset$ )
1	0	0	0	1	(Авиа)
2	0	0	1	0	(МТ)
3	0	0	1	1	(МТ, Авиа)
4	0	1	1	0	(Авто)
7	0	1	1	1	(Авто, МТ, Авиа)
15	1	1	1	1	(ЖД, Авто, МТ, Авто)

То есть Теория ДШ рассматривает наблюдение свидетельств против гипотезы как свидетельства поддержки отрицания гипотезы. Это означает что гипотеза и ее отрицание имеют разные качества. В математической логике отрицание гипотезы связано с исключением одного из факторов и сужает область логических переменных. В Теории ДШ отрицание гипотезы как может сужать, так и расширять область логических переменных.

**Ситуация 2.** Используя определения гипотез из Ситуации 1, то имеем свидетельства, не равные гипотезе  $A=(\text{Авто})$  (т.е. только автомобильный транспорт) эквивалентны свидетельству, поддерживающему гипотезу  $\neg A=(\text{МТ, ЖД, Авиа})$  (любой транспорт из множества, только не автомобильный).

Пусть А - некоторое подмножество  $\Theta$ , тогда основная мера вероятности  $m(A)$  - базовая вероятность, которая относится к множеству А. Величина  $m(A)$  рассматривается как доля от общего доверия, назначаемая точно для А, где это число может рассматриваться как обычная вероятность.

Функции  $p(A)$  и  $m(A)$  отличаются тем, что в теории вероятностей А ассоциируется как отдельный элемент, в то время как в Теории ДШ А может являться множеством. Основные свойства базовой вероятности:

1) базовая вероятность нулевого события равна 0, т.е.  $m(\emptyset)=0$

2) сумма базовых вероятностей для всех подмножеств фрейма различения  $\Theta$  равна 1, т.е.

$$\sum_{A \subset \Theta} m(A) = 1.$$

**Ситуация 3.** Допустим, что в результате экспертной оценки о возможности перевозки груза 10% экспертов высказывались за использование морского транспорта, 20% экспертов - за

железнодорожный транспорт, а 30% за использование автотранспорта. Оставшиеся 40% высказались за использование либо железнодорожного, либо автомобильного транспорта (не указав предпочтение какого-либо). Тогда базовые вероятности, назначаемые как доли от общего доверия экспертов для возможных видов транспортировки груза, будут иметь следующие значения:

$$m(\{\text{Авто}\})=0,3; m(\{\text{ЖД}\})=0,2; m(\{\text{МТ}\})=0,1$$

$$m(\{\text{Авто, ЖД}\})=0,4$$

$$m(A_i)=0 \text{ во всех остальных 12-ти случаях из 16.}$$

При этом должно выполняться второе свойство базовых вероятностей, т.е.

$$\sum_{A \in \Theta} m(A) = m(\{\text{Авто}\}) + m(\{\text{ЖД}\}) + m(\{\text{МТ}\}) + m(\{\text{Авто, ЖД}\}) = 1$$

Ещё одна особенность Теории ДШ в сравнении с теорией вероятностей, это то, как  $A$  может являться не только конкретным числом, но также и множеством, которое позволяет определять оценки базовых вероятностей интервалов в случае изменения случайных величин, когда правила распределения на этих интервалах не известны.

В рамках теории вероятностей эксперт может предположить, что прибыль фирмы будет 60 тыс. руб. с вероятностью  $P(60) = 0,5$ , 70 тыс. руб. с вероятностью  $P(70) = 0,2$  и т.д. для всех вероятных исходов, то в рамках Теории ДШ эксперт может дать следующие оценки прибыли фирмы: от 60 до 80 тыс. руб. с вероятностью  $m(60 \div 80) = 0,4$ , от 70 до 90 тыс. руб. с вероятностью  $m(70 \div 90) = 0,3$ .

Если необходимо определить вероятность некоторой совокупности событий в случае использования теории вероятностей необходимо знать вероятности всех возможных исходов, то в случае использования Теории ДШ это делать не обязательно. Платой за это является возможность получения только интервальных оценок. Способ определения этих оценок мы и рассмотрим.

### Меры правдоподобия и доверия в Теории ДШ

Мера доверия  $A$ , обозначаемая  $Bel(A)$ , позволяет вычислить полное число доверий в  $A$ . Это выражение можно представить как

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B)$$

Функция  $Bel()$  (от англ. believe - доверять) называется функцией доверия. Она удовлетворяет следующим условиям:

- 1) Доверие к нулевой гипотезе равно 0, т.е.  $Bel(\emptyset)=0$
- 2) Доверие ко всему фрейму различения равно 1, т.е.  $Bel(\Theta)=1$
- 3) Сумма доверий  $A$  и  $\neg A$  должна быть  $\leq 1$ , т.е.  $Bel(A) + Bel(\neg A) \leq 1$

Получим, что функция доверия равна базовым вероятностям в случае множеств, состоящих из одного числа исхода, и будет больше или равна базовым вероятностям для множеств, содержащих более одного элементарного исхода, т.е.

$$Bel(A) = m(A), \text{ если } A \text{ - множество из одного исхода,}$$

$$Bel(A) \geq m(A), \text{ если } A \text{ - содержит более одного исхода.}$$

**Ситуация 4.** Для базовых вероятностей, определенных в Ситуации 3 функции доверия

имеют вид:

$$\text{Bel}(\{\text{Авто}\}) = m(\{\text{Авто}\}) = 0,3,$$

$$\text{но } \text{Bel}(\{\text{Авто}, \text{ЖД}\}) = m(\{\text{Авто}, \text{ЖД}\}) + m(\{\text{Авто}\}) + m(\{\text{ЖД}\}) \geq m(\{\text{Авто}, \text{ЖД}\}),$$

$$\text{т.е. } \text{Bel}(\{\text{Авто}, \text{ЖД}\}) = 0,4 + 0,3 + 0,2 = 0,9 > 0,4$$

Также функцию доверия можно определить через несколько вспомогательных характеристик. Значение  $1 - \text{Bel}(\neg A)$  называется правдоподобием множества  $A \subseteq \Theta$  и обозначается  $\text{Pl}(A)$  (от англ. plausibility - правдоподобие), тогда

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\neg A)$$

Данная величина позволяет определить максимальное значение степени доверия, которое может быть назначено числу исходов  $A$ . Функции  $\text{Bel}(A)$  и  $\text{Pl}(A)$  можно интерпретировать как нижние и верхние вероятности множества  $A \subseteq \Theta$  в том смысле, что предполагается существование некоторой истинной вероятности  $P(A)$ :

$$\text{Bel}(A) \leq P(A) \leq \text{Pl}(A), \text{ для } A \subseteq \Theta.$$

Это имеем благодаря тому факту, что свойства функции доверия

$$\text{Bel}(A) + \text{Bel}(\neg A) \leq 1, \text{ тогда}$$

$$\text{Bel}(A) \leq 1 - \text{Bel}(\neg A) \text{ и } \text{Bel}(A) \leq \text{Pl}(A).$$

**Ситуация 5.** На основе предыдущих Ситуаций, функция правдоподобия для  $A = \{\text{Авто}\} \subseteq \Theta$  имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{Pl}(\{\text{Авто}\}) &= 1 - \text{Bel}(\neg\{\text{Авто}\}) = 1 - \text{Bel}(\{\text{ЖД}, \text{Авиа}, \text{МТ}\}) = \\ &= 1 - (m(\{\text{ЖД}\}) + m(\{\text{МТ}\})) = 1 - (0,2 + 0,1) = 0,7 \end{aligned}$$

Из этого можно сделать вывод, что истинная вероятность события, определяемого вид транспортировки груза автомобильным транспортом на основе экспертного мнения будет  $0,3 \leq P(\{\text{Авто}\}) \leq 0,7$ .

Важно, что в Теории ДШ рассматриваются не все подмножества фрейма различения, а только те, которые имеют базовые вероятности не равные нулю. Каждое такое подмножество исходов называется фокальным элементом функции доверия  $\text{Bel}$ .

Т.е., если  $m(A) > 0$ , то  $A \subseteq \Theta$  – фокальный элемент распределенного доверия на множестве  $\Theta$ . Тогда ядром будет называться объединение всех фокальных элементов для функции доверия  $\text{Bel}$ . Для рассматриваемой нами Ситуации 5 фокальными элементами функции доверия будут являться множества:

$$\{\text{Авто}\}, \{\text{ЖД}\}, \{\text{МТ}\}, \{\text{Авто}, \text{ЖД}\},$$

а их ядро функции доверия

$$\{\text{Авто}, \text{ЖД}, \text{МТ}\} = \{\text{Авто}\} \cup \{\text{ЖД}\} \cup \{\text{МТ}\} \cup \{\text{Авто}, \text{ЖД}\}.$$

### Основные отличия Теории ДШ от теории вероятностей

Теория вероятностей рассматривает равномерное априорное распределение как полное незнание. Однако это не означает отличие между полным незнанием и знанием, где случайная величина или событие равномерно распределены. С другой стороны, Теория ДШ выражает незнания явно. Например, если  $A$  и  $B$  – только гипотезы, то в теории вероятностей незнание об

$A$  и  $B$  выражается, как  $P(A)=P(B) = 1/2$ . В Теории ДШ,  $m(\{A\}) = m(\{B\}) = 1/2$  показывает, что доверие к  $A$  и  $B$  одинаково, но в этом случае нет незнания.

Функция доверия, в таком случае, называется байесовской функцией доверия. То есть, если все фокальные элементы – отдельные элементы (элементарные исходы), то относительно их возникновения не существует незнания. Если некоторый фокальный элемент содержит более чем одно значение, то существует некоторое незнание.

Вероятность отрицания гипотезы, в теории вероятностей, фиксируется, если известна вероятность исхода  $A$ , т.к.  $A \cup \neg A = \Omega$  и  $p(A) + p(\neg A) = 1$ . Аналогичный результат в Теории ДШ дает  $Bel(A) + Bel(\neg A) \leq 1$ .

Теория ДШ ведет к комбинаторному взрыву, т.к. пространство гипотез существенно увеличивается. Для заполнения этого пространства, эксперту необходимо определить все доверия на всех подмножествах возможных гипотез перед тем, как создавать экспертную систему ЭС. Эксперт должен определить базовые вероятности интересующих его подмножеств, т.к. все остальные подмножества будут иметь базовые вероятности равные нулю. Так как нет эффективной процедуры логического вывода, то в настоящее время на использовании Теории ДШ строится не так много экспертных систем. Обобщенную схему архитектуры экспертной системы можно представить в следующем виде (Рис.1):

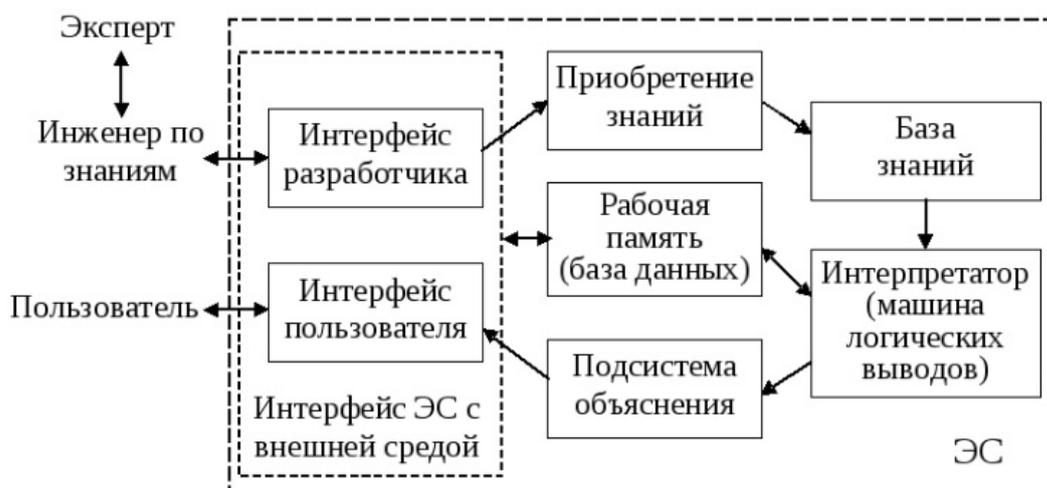


Рисунок 1. Пример архитектуры экспертной системы.

Интерфейс ЭС с внешней средой поддерживает взаимодействие ЭС с внешним миром на всех стадиях жизненного цикла системы и включает две компоненты: интерфейс разработчика и интерфейс пользователя. Интерфейс разработчика используется на этапе разработки ЭС, его основной функцией является поддержка процесса наполнения базы знаний (БЗ). Обычно эта функция выполняется экспертом в предметной области во взаимодействии с инженером по знаниям. Интерфейс пользователя поддерживает общение пользователя с системой в режиме консультации или взаимодействие ЭС с техническими средствами (в случае ее встроенного применения) на этапе ее использования

#### Связь Теории ДШ и теории вероятностей

Главной особенностью в Теории ДШ меры доверия и правдоподобия являются частным случаем интервальных вероятностей. Мера доверия – нижняя вероятность, а мера правдоподобия – верхняя вероятность, определённая на вложенных интервалах. Это позволяет построить функцию распределения доверий и её интерпретации.

Рассмотрим ситуацию, где можно провести связь Теории ДШ с теорией вероятностей. Оценим инвестирование финансовых средств в ценные бумаги либо в производство. Для принятия решения привлекли группу экспертов, мнения которых разделились:

- половина экспертов предложили инвестировать в производство;
- вторая половина высказалась за то, чтобы инвестировать и в ценные бумаги и в производство.

Чтобы найти вероятность  $P_1$  предложения этих двух групп экспертов по вложению инвестиций в производство и вероятность  $P_2$  об инвестициях в ценные бумаги, обозначим  $p(A_1)$  и  $p(A_2)$  как доли экспертов, предложивших первое и второе решение. Это можно формализовать как  $p(A_1) = 0,5$  и  $p(A_2) = 0,5$ . Пусть  $p(B_j | A_i)$  – условная вероятность того, что на  $j$ -й вариант инвестирования выбирает  $i$ -я группа экспертов ( $j=1,2$  и  $i=1,2$ ). Тогда, следуя теории вероятностей можно записать:

$$P_1 = P(A_1) \cdot P(B_1 | A_1) + P(A_2) \cdot P(B_1 | A_2)$$

$$P_2 = P(A_1) \cdot P(B_2 | A_1) + P(A_2) \cdot P(B_2 | A_2)$$

Определение первой группы экспертов в пользу первого варианта описывается следующим образом:

$$P(B_1 | A_1) = 1 \text{ и } P(B_2 | A_1) = 0,$$

Использование байесовского подхода и теории вероятностей для принятия решения приводит к тому, что это распределение является равномерным, в случае, если у нас нет сведений о точном распределении вероятности возможных исходов (вероятность выбора вариантов инвестирования второй группой экспертов):

$$P(B_1 | A_2) = P(B_2 | A_2) = 0,5$$

Это предположение может быть ошибочным, если мы заведомо вносим погрешность, которая не учитывается при вычислении  $P_1$  и  $P_2$ :

$$P_1 = 0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

$$P_2 = 0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,25$$

Рассмотрим другой способ расчёта  $P_1$  и  $P_2$ . Возьмём крайние варианты, когда условные вероятности выбора инвестирования второй группой экспертов следующие:

	$P(B_1   A_2)$	$P(B_2   A_2)$
исход 1	0	1
исход 2	1	0

После расчёта по формуле полной вероятности для каждого из этих вариантов исходов даст

	$P_1 = P(B_1)$	$P_2 = P(B_2)$
исход 1	$0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0 = 0,5$	$0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 1 = 0,5$
исход 2	$0,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1 = 1$	$0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 = 0$

В данном случае, получены нижние и верхние границы вероятности, определяющие как  $P_1=[0,5; 1]$  и  $P_2=[0; 0,5]$ . Вероятности  $P_1$  и  $P_2$ , соответствуют всем возможным распределениям условных вероятностей  $p(B_j|A_i)$ , и находятся в указанных границах.

Использование Теории ДШ для этой же Ситуации 5 позволяет на основе решений каждой из групп экспертов назначить базовые вероятности  $m(\{B_1\}) = 0,5$  и  $m(\{B_1, B_2\}) = 0,5$ . На их основе можно определить функции правдоподобия и доверия для каждого из вариантов:

Инвестирование в производство	Инвестирование в ценные бумаги
$Bel(\{B_1\}) = m(\{B_1\}) = 0,5$	$Bel(\{B_2\}) = m(\{B_2\}) = 0$
$Pl(\{B_1\})=1-Bel(\neg\{B_1\})=1-Bel(\{B_2\})=1$	$Pl(\{B_2\})=1-Bel(\neg\{B_2\})=1-Bel(\{B_1\})=0,5$

Результаты расчетов позволяют определить функции правдоподобия и доверия как нижние и верхние вероятности, которые в общем случае могут быть получены на основе методов принятых в теории вероятностей.

Следует отметить, что стремление получить с использованием классической теории вероятностей «точную» оценку вероятности является естественным в инженерной практике, но далеко не всегда оправданным. Такая оценка может только ввести в заблуждение относительно принятия решения, а не указывать на реальное состояние дел. Если вернуться к рассматриваемой ситуации, то можно увидеть, что «точная» оценка может быть далека от истинной. Так «точной» оценкой  $P_1$  вместо 0,75 может быть на самом деле любая точка в интервале  $[0,5; 1]$ .

На ширину интервала существенное влияние оказывает доля экспертов, в высказываниях которых содержится некоторая степень неопределённости или незнания. Если в рассматриваемой ситуации  $3/4$  экспертов можно отнести к первой группе, а  $1/4$  – ко второй, то «точные» оценки по формуле полной вероятности будут иметь вид:

$$P_1 = 0,75 \cdot 1 + 0,25 \cdot 0,5 = 0,875$$

$$P_2 = 0,75 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0,5 = 0,125,$$

а их верхние и нижние оценки, полученные как с использованием классической теории вероятностей, так ТДШ позволяют определить их интервальные значения  $P_1 = [0,75; 1]$  и  $P_2 = [0; 0,25]$

### Реализация экспертной оценки как комбинации функций доверия

Если текущие свидетельства ведут к множественным довериям относительно одних и тех же гипотез, то доверия необходимо комбинировать для получения общего доверия к гипотезам. Для рассмотрения доверий, ТДШ обычно комбинирует различные функции доверия, вычисляя их ортогональные суммы по правилу Демпстера. Пусть имеем два свидетельства. Одно из них задаётся множеством, определённых на фрейме различения, базовых вероятностей  $m_1$ , то есть

$$\{m_1(M_i) \forall M_i \in \Theta\} \rightarrow B_1$$

и позволяет определить доверия к тем или иным гипотезам. В общем случае ко всем возможным на  $\Theta$  гипотезам. При поступлении нового свидетельства также задаётся множеством базовых вероятностей

$$\{m_2(M_j) \forall M_j \in \Theta\} \rightarrow B_2,$$

определяющих новое доверие к гипотезам. Если же мы хотим распространить доверие, то есть учесть в логическом выводе оба поступивших свидетельства

$$B \in \Theta \mid B \notin B$$

то для этого необходимо вычислить ортогональные суммы базовых вероятностей, определённых для каждого из свидетельств, то есть

$$\{m_1 \oplus m_2(M_k) \mid \forall M_k \in \Theta\} \rightarrow B$$

Исходя из правила Демпстера, ортогональные суммы определяются следующим выражением:

$$m_1 \oplus m_2(A) = K \sum_{X \cap Y = A} m_1(X) \times m_2(Y),$$

где K – нормировочная постоянная, определяемая следующим образом:

$$K^{-1} = \sum_{X \cap Y \neq \emptyset} m_1(X) \times m_2(Y) = 1 - \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X) \times m_2(Y).$$

Если  $A = \emptyset$ , то  $m_1 \oplus m_2(\emptyset) = 0$ . Если  $K^{-1} = 0$ , то ортогональная сумма не существует и базовые вероятности  $m_1$  и  $m_2$  противоречивы.

Значение  $\log K$  называется весом конфликтности между  $Bel_1$  и  $Bel_2$ . Таким образом, если  $Bel_1$  и  $Bel_2$  не конфликтны, то  $K = 1$ . Если  $Bel_1$  и  $Bel_2$  полностью противоречивы, то  $K^{-1} = 0$ . Ортогональные суммы являются коммутативными и ассоциативными (рис. 2).

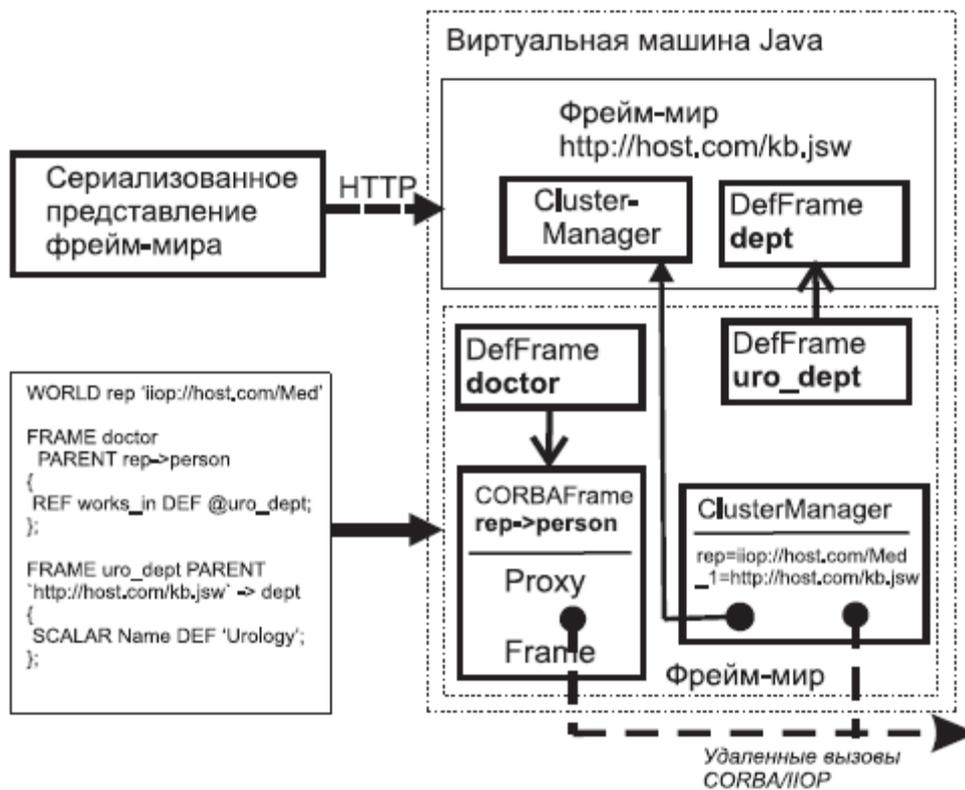


Рисунок 2. Ситуация реализации ТДШ на апплетах.

Рассмотрим ситуацию. Пусть две функции доверия, соответствующие двум свидетельствам, с заданными базовыми вероятностями  $m_1$  и  $m_2$ , определёнными на одном и том же фрейме различения  $\Theta$  имеют вид:

- свидетельство 1:  $\{m_1(\{1\}) = 0,8; m_1(\{\emptyset\}) = 0,2\} \rightarrow Bel_1$
- свидетельство 2:  $\{m_2(\{1, 2\}) = 0,2; m_2(\{2\}) = 0,5; m_2(\{\emptyset\}) = 0,3\} \rightarrow Bel_2$

На основе первого свидетельства может быть определён диапазон, в котором находится вероятность, каждой из гипотез. В частности:

$$0,8 = \text{Bel}_1(\{1\}) \leq P(\{1\}) \leq \text{Pl}_1(\{1\}) = 1.$$

При поступлении и учёте свидетельства 2 можно распространить доверия на основе вычисления ортогональных сумм. Промежуточные вычисления представим в виде таблицы

$A=X \cap Y$ $m_1(X) \times m_2(Y)$	$m_2(\{2\})=0,5$	$m_2(\{1,2\})=0,2$	$m_2(\{\Theta\})=0,3$
$m_1(\{1\})=0,8$	$A=\emptyset$ (0,4)	$A=\{1\}$ (0,16)	$A=\{1\}$ (0,24)
$m_1(\{\Theta\})=0,2$	$A=\{2\}$ (0,1)	$A=\{1,2\}$ (0,04)	$A=\{\Theta\}$ (0,06)

Тогда, вычислив  $K = \frac{1}{1-0.4} = \frac{1}{0.6}$ , можно будет определить значения, ортогональные сумме базовых вероятностей

$$m_1 \oplus m_2(\{1\}) = \frac{0.16 + 0.24}{0.6} = 0,6667$$

$$m_1 \oplus m_2(\{2\}) = \frac{0.1}{0.6} = 0,1666$$

$$m_1 \oplus m_2(\{1, 2\}) = \frac{0.04}{0.6} = 0,0667$$

$$m_1 \oplus m_2(\{\Theta\}) = \frac{0.06}{0.6} = 0,1$$

Все другие подмножества  $\Theta$  имеют комбинированные доверия равные 0 и сумма всех комбинированных базовых вероятностей для  $m_1 \oplus m_2$  равна 1. На основе этих базовых вероятностей могут быть вычислены доверия и правдоподобия для всех необходимых гипотез. С учётом распространения доверия на основе двух, полученных от экспертов свидетельств получим  $P(\{1\}) \geq \text{Bel}(\{1\})=0,6667$ .

#### Заключение.

Теория Демпстера-Шефера относится к области вероятностной логики [19], троичной логики [20] и частично к дескриптивной логике [21].

Теория Демпстера-Шефера применима для прямых и обратных выводов. Прямая цепочка работает как гипотеза [22] или абдукция [23], обратная цепочка работает как следствие в математической логике [24]. Цепочка назад немного менее прямолинейна. При обратной цепочке система смотрит на возможные выводы и работает в обратном направлении, чтобы увидеть, могут ли они быть правдой.

Таким образом, если бы система пыталась определить, допустим ли данный маршрут перевозки, она нашла бы его топологическую модель и запросила бы базу знаний, чтобы узнать, истинен ли данный маршрут. Другими словами, она нашла бы область истинности логического выражения, соответствующего данной топологической модели. Для этого применяют методы вероятностной логики. Одним из таких методов является Теория ДШ. Простота использования

в формальном и алгоритмическом виде является наиболее очевидным преимуществом Теории ДШ. В тоже время надо отметить, что это всего лишь советующий метод и окончательное решение принимает либо человек, либо интеллектуальная система.

Для практического решения многокритериальных задач и для принятия решения на основе экспертных оценок в транспортной отрасли широкое применение находит метод Демпстера-Шафера (Метод ДШ) на базе теории доверия Демпстера-Шафера (Теория ДШ), что позволяет принимать решение в условиях неточности, неполноты и неопределенности экспертной информации.

При решении сложных задач лицо, принимающее решение, не всегда имеет возможность выполнить все возможные сравнения между всеми альтернативными исходами, что является необходимым условием для анализа всех иерархий решений. При решении многокритериальных задач информация об альтернативах решений может быть неполной вследствие возможных ограничений, например, временных, неточности экспертных знаний, нематериального характера некоторых критериев и др. Большинство задач с неполной информацией решают в два этапа. На первом этапе формируется многокритериальная задача с формированием матрицы с полной информацией путем дополнения отсутствующих значений возможных решений, используя механизм обучения и эвристические правила. На втором этапе применяются стандартные методы решения многокритериальных задач с полной информацией. В отличие от этой двух этапной процедуры метод ДШ позволяет решать задачу по принятию решения непосредственно, основываясь на экспертных оценках альтернатив по критериям.

Результат метода ДШ – это доверительные интервалы для групп возможных исходов. А так как во многих практических задачах поддержки принятия решений требуется упорядочить (ранжировать) альтернативы, то необходимы специальные методы ранжирования интервалов.

### Список литературы

1. Цветков В.Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации // Информационные технологии. - 2015. - №1. -С. 3-7.
2. Демидова Л. А., Кираковский В. В., Пылькин А. Н. Принятие решений в условиях неопределенности - М.: Горячая линия-Телеком. – 2015. -283с. ISBN 978-5-9912-0513-9.
3. Цветков В.Я. Серый реляционный анализ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-1. – С. 166-166.
4. Shafer G. Dempster-shafer theory //Encyclopedia of artificial intelligence. – 1992. – С. 330-331
5. Yager R. R., Liu L. (ed.). Classic works of the Dempster-Shafer theory of belief functions. – Springer, 2008. – Т. 219.
6. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: краткое введение.// Новости искусственного интеллекта. - Вып.2/2004. -М: КОМКНИГА, 2006 , С. 52 – 63.
7. Gordon J., Shortliffe E. H. The Dempster-Shafer theory of evidence //Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. – 1984. – V. 3. – p. 832-838.
8. Тымченко Е.В.. Обработка информации при свободном тестировании // Дистанционное и виртуальное обучение. 2017. - № 6(120). – С.153-159.
9. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 2(2). – С. 2-10.

10. Denoeux T. A neural network classifier based on Dempster-Shafer theory //IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans. – 2000. – V. 30. – №. 2. – С. 131-150.
11. Beynon M., Curry B., Morgan P. The Dempster–Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modelling //Omega. – 2000. – V. 28. – №. 1. – С. 37-50.
12. Stella N., Chuks A. O. School of Science Education //Expert system: a catalyst in educational development in Nigeria:" Knowledge-based systems collect the small fragments of human know-how into a knowledge-base which is used to reason through a problem, using the knowledge that is appropriated.
13. Hayes-Roth F., Waterman D. A., Lenat D. B. Building expert system. – Addison-Wesley,1983.- 444 p. ISBN 0-201-10686-8.
14. 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, p. 429–433.
15. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. - М.: МАКС Пресс, 2001. -312 с.
16. Tsvetkov V. Ya. Information Asymmetry as a Risk Factor // European researcher. Series A. 2014, Vol.(86), № 11-1, p. 1937-1943.
17. Климонтович Ю. Л. Энтропия и информация открытых систем //Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169. – №. 4. – С. 443-452.
18. Голованов Р. В., Калиткин Н. Н. Статистическая недостоверность распространённых критериев оценки качества искажённого изображения //Цифровая обработка сигналов. – 2013. – №. 3. – С. 74-79.
19. Кулик Б. А. Вероятностная логика на основе алгебры кортежей // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2007. – №. 1. – С. 118-127.
20. Номоконова О.Ю. Неопределенность и троичная логика // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.108-113.
21. Болбаков Р.Г. Дескриптивная логика в информационном поле // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.62-67.
22. Hermes H. Introduction to mathematical logic. – Springer Science & Business Media, 2013.
23. Болбаков Р.Г., Цветков В.Я. Абдуктивный вывод //Славянский форум.-2018.– 3(21).-С.68-72.
24. Верещагин Н.К., Шень А. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Часть 2. Языки и исчисления. - 4-е изд., испр. - М.: МЦНМО, 2012. - 240 с. ISBN 978-5-4439-0013-1.
25. Хабаров С.П. Экспертные системы (конспект лекций) – Кафедра Информатики и Информационных Систем, ФЭУ, СПб, ЛТА - 2013.

УДК: 681.3.06

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

- Беляков С.Л.** д.т.н., профессор кафедры информационно-аналитических систем безопасности Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета,  
E-mail: sbelyakov@sfedu.ru, Таганрог, Россия
- Орехова Д.А.** к.т.н., ведущий специалист ЗАО «Интех»  
E-mail: avb002@yandex.ru, Таганрог, Россия
- Залилов Э.Ф.** Аспирант Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета,  
E-mail: ezalilov@sfedu.ru, Таганрог, Россия
- Аннотация.** В работе рассматривается проблема обнаружения аварийных ситуаций в механической транспортной системе и принятия мер по их предотвращению. Механическая транспортная система описана моделью многопродуктовой сети, потоки которой имеют переменную интенсивность. Причиной аварийной ситуации является взаимовлияние потоков на конвейере. Условие возникновения локальной аварийной ситуации задается логическим выражением, связывающим интенсивности отдельных продуктовых потоков. Условие формулируется экспертным путем. На основе условия возникновения подбираются стратегии предотвращения аварийной ситуации. Стратегия заключается в выборе резервного пути передачи потока либо снижения его интенсивности на входе. Вводится протокол согласования узлами сети выбранного решения. Для преодоления многозначности и неопределенности входных параметров и формируемых решений введен специальный способ представления знаний – образ угрозы аварии. Образ включает в себя ранее зафиксированный прецедент аварии и набор его допустимых преобразований. Обсуждаются границы применения предложенного метода.
- Ключевые слова:** механическая транспортная система, предотвращение аварий, интеллектуальная система, прецедентный анализ

## PREVENTION OF LOCAL EMERGENCIES IN THE MECHANICAL TRANSPORT SYSTEMS

- Belyakov S.L.** DofSci.(Tech.), Professor of the Department of Information and Analytical Security Systems of the Institute of computer technology and information security of the Southern Federal University, E-mail: sbelyakov@sfedu.ru, Taganrog, Russia
- Orekhova D.A.** PhD., leading specialist of CJSC «Intech», E-mail: avb002@yandex.ru, Taganrog, Russia
- Zalilov E.F.** Post-graduate Student of the Institute of Computer Technology and Information Security of the Southern Federal University,  
E-mail: ezalilov@sfedu.ru, Taganrog, Russia
- Annotation.** The paper deals with the problem of detecting emergency situations in a mechanical transport system and taking measures to prevent them. The

mechanical transport system is described by a multi-product network model whose flows have variable intensity. The cause of the emergency is the interaction of the flows on the conveyor. The condition for the occurrence of a local accident situation is given by a logical expression linking the intensities of individual product streams. The condition is formulated by experts. Emergency prevention strategies are selected based on the condition of occurrence. The strategy is to choose a backup path for transmitting a stream or reduce its intensity at the input. The ambiguity and uncertainty of the input parameters and the solutions being formed is overcome by the introduction of a special way of representing knowledge - an image of the threat of an accident. The image includes the previously recorded accident precedent and a set of its permissible transformations. The limits of application of the proposed method is discussed.

**Keywords:** intelligent system, accident prevention, intelligent system, case based analysis

### **Введение**

Отличительной особенностью конструкции механических транспортных систем (МТС) является наличие в их составе сети конвейеров, предназначенных для переноса транспортируемых объектов. Узлы сети конвейеров представляют собой механические переключатели направления транспортировки отдельного объекта. Вся информация об объекте и параметрах транспортировки содержится в прикрепленной к нему бирке (RFID label). МТС имеет произвольное число входных и выходных конвейеров, что дает возможность перемещать партии груза между различными точками пространства. Типичным примером МТС являются системы обработки багажа в аэропортах. В более общем смысле МТС следует отнести к системам IoT (Internet of Things) по причине того, что процесс транспортировки тесно связан с сетевым обменом информацией. Узлы МТС оборудованы контроллерами, выполняющими управление потоком груза в реальном времени. Данная задача может иметь различную сложность реализации. В простейшем случае объекты перенаправляются фиксированным образом соответственно адресу узла назначения. В более сложном случае направление передачи в узле выбирается, исходя из состояния МТС, состояния потоков разных направлений, ограничения на стоимость и сроки доставки, опасности возникновения аварий и сложности ликвидации их последствий. Маршрутизация транспортируемых объектов является главным средством адаптации МТС к воздействиям внешней среды.

Возникновение аварийных ситуаций при транспортировке является важной проблемой анализа и синтеза МТС. Одним из аспектов проблемы является выявление опасных ситуаций, которые потенциально способны привести к аварии. Если удастся своевременно идентифицировать опасность и найти способ устранения возникшей угрозы, возможные потери можно свести к минимуму. Такая стратегия функционирования МТС перспективна, но исследована недостаточно.

В данной работе анализируется модель защиты от аварийных ситуаций, основанная на экспертных данных об опасности взаимовлияния разнородных потоков. Например, рост интенсивности двух потоков, объекты которых легкие, но отличаются крупными габаритами, может привести к пробке на конвейере или потере единиц груза. В другом случае достаточно тяжелые и компактные по размерам элементы нескольких потоков высокой интенсивности

могут вызвать замедление скорости отдельного конвейера либо его временную остановку. В любом случае легко предположить, что у экспертов, эксплуатирующих МТС, имеется опыт наблюдения описанного рода ситуаций. Они способны сформулировать условия, при которых возникает соответствующая угроза. Далее рассматривается метод, использующий эти знания для устранения опасности.

### **Известные методы предотвращения аварийных ситуаций**

В общем виде МТС решает следующую задачу:

$$\begin{cases} E_{fare}(t) + E_{loss}(f) \rightarrow \min, \\ t \in [T_1, T_2], \\ f \subseteq F, \end{cases} \quad (1)$$

где  $E_{fare}(t)$  есть стоимость транспортировки на интервале времени  $[T_1, T_2]$  многопродуктового потока,  $E_{loss}(f)$  – потери, вызванные аварийными ситуациями из множества потенциально возможных аварийных ситуаций  $F$ .

В данной работе предполагается, что в  $F$  входят ситуации, которые возникают из-за взаимовлияния объектов многопродуктового потока. Каждый конвейер МТС переносит набор разнородных объектов и при определенных уровнях интенсивностей их поступления на конвейер могут возникать аварийные ситуации. Например, крупногабаритные предметы могут сталкивать друг друга с конвейера, небольшие тяжелые объекты могут создавать заторы перед переключателями направления, пульсации скорости одного из потоков способны повредить упаковку элементов другого потока, и т.д. Инциденты, таким образом, относятся как к транспортируемым объектам, так и к самой транспортной системе. Появление аварий увеличивает значение  $E_{loss}(f)$  в (1), уменьшить которое можно за счет увеличения затрат на организацию транспортировки. Суть такого подхода заключается во введении контроля многопродуктового потока на локальных участках возможного возникновения аварий. Если такая угроза реальна, контроллеры МТС должны согласованно перенаправить один или нескольких потоков для предотвращения угрозы. Этот механизм является предметом исследования в настоящей работе.

Методы анализа сетевых потоков теоретически исследованы глубоко [1,2]. Известны методы решения задач минимизации стоимости многопродуктового потока при различного рода ограничениях. В работе [3] доказана теорема о пропускной способности сети с многопродуктовыми потоками. Однако, этот результат определяет признак аварийной ситуации для любой подсети МТС, не учитывая взаимовлияние потоков.

Известны работы, в которых исследовано изменение пропускной способности сети при различных ограничениях. Например, известны модели усиления (ослабления) потоков [4]. Применение результатов данных работ к рассматриваемой задаче затрудняется тем, что функция усиления не является непрерывной и монотонной.

Воздействие потоков друг на друга на конвейере можно формализовать предикатом, зависящим от принадлежности значений интенсивностей потоков заданным интервалам. В этом случае для обнаружения аварийной ситуации необходимо решать задачу о непрерывном рюкзаке, роль которого играют возможные пути в сети [5]. Найденное распределение потоков по сути является решением на случай возникновения аварии. Непосредственное применение данных результатов затрудняется тем, что в предикат могут входить сложные условия.

Например, такие, как «резкое возрастание потока А», «плавные колебания потока А», «синхронные изменения потоков А и В». Наличие динамики резко усложняет поиск решений.

Общей проблемой применения методов сетевого анализа является неточность, многозначность и неопределенность описания взаимовлияния потоков. Как показал анализ, эксперты способны описать логику воздействия потоков друг на друга скорее качественным, чем количественным способом. Как следствие, построенные решения не могут быть точными. Применение формализмов нечеткой логики и лингвистических переменных [6,7] не дает ожидаемого результата. Причина в том, что функции принадлежности параметров ситуаций существенно различаются. Поэтому для каждой локальной угрозы приходится определять собственные лингвистические переменные, которые невозможно использовать повторно в дальнейшем. Как следствие, опыт оказывается уникальным и не может быть распространен на новые прецеденты.

Учитывая неопределенность и неполноту исходных данных, для решения задачи (1) можно применять другие методы интеллектуального управления. В частности, метод прецедентного анализа (Case Based Reasoning, CBR) [8]. Наличие экспертных знаний и опыта реализации решений является серьезным аргументом в пользу применения CBR. Он был использован в работах [9,10], которые исследовали концептуальную модель образов прецедентов. В данной модели требуется дальнейший анализ механизма переноса опыта на новые прецеденты локальных угроз.

В последнее время замечен интерес к механизмам обеспечения отказоустойчивости в сетях зоны катастрофы (Disaster Area Network, DAN) [11]. Предметом исследований в этих работах становятся сетевые протоколы, обеспечивающие информационный обмен для реализации решений по ликвидации катастроф. Сеть, таким образом, противостоит угрозам, выбирая маршруты и протоколы для информационных потоков. Принципы протокольного обмена могут использоваться для решения задачи (1) в МТС. Для этого требуется анализ необходимых информационных связей.

Анализ известных работ, таким образом, указывает на необходимость дальнейшего исследования пути решения задачи (1), основанного на использовании опыта предотвращения локальных угроз аварийных ситуаций.

### **Метод обнаружения и предотвращения локальных угроз**

Предлагаемый метод включает в себя следующие этапы.

Первым этапом является описание образа локальной угрозы, которая наблюдалась экспертами на практике и была проанализирована с целью выявления глубинных смысловых связей между элементами прецедента. Если это достигнуто, то считается выявленным смысл ситуации и принятого решения. Смысл в работе [9] было предложено отражать набором допустимых преобразований ситуации и решений. Допустимые преобразования являются способом представления знаний, который гораздо ближе к образному мышлению и интуиции, чем используемые традиционно [12].

Образ ситуации, которую наблюдал и анализировал эксперт, описывается выражением

$$I = \langle c, H(c) \rangle, c \subseteq H(c), H(c) \subseteq J, \quad (2)$$

где  $c$  – центр образа, соответствующий прецеденту с реально зафиксированными значениями наблюдаемых и измеряемых параметров ситуации.  $H(c)$  – допустимые преобразования центра,

при которых сохраняется смысл ситуации в целом. Образное пространство  $J = J_1 \times J_2 \times \dots \times J_n$ , в котором определены центры и преобразования образов, описывается соответственно решаемой задаче. В рассматриваемом случае осями измерения пространства ( $J_i, i = \overline{1, n}$ ) являются:

- схема сети. На схеме может отображаться, например, локальный конвейер, подверженный угрозе, а также пути, позволяющие обеспечить перенаправление потоков для противодействия угрозе;
- ось времени. На ней отображаются события и временные интервалы, описывающие ситуации;
- оси значений интенсивностей многопродуктового потока, с помощью которых отображают взаимовлияние потоков;
- набор осей, отображающих массу, габариты элементов потока, их устойчивость к механическим воздействиям, эластичность формы, и т.д.

Оси, как видно из данного примера, являются либо непрерывными, либо дискретными. Любой объект в пространстве образов связывается гиперссылкой с точкой на любой из перечисленных осей. Заметим, что такой же принцип реализуют геоинформационные системы: непрерывная плоскость географической карты связывается ссылками на дискретные элементы – записи в базах данных, файлы, сайты Internet.

В качестве примера на рис. 1 толстой сплошной линией показан фрагмент сети с конвейером. Пунктирными линиями показаны пути, приводящие потоки к рассматриваемому фрагменту. Пунктирными линиями изображены также допустимые преобразования фрагмента – те конвейеры, добавление которых к исходному фрагменту сети не меняет смысла возникшей ситуации и применяемого решения.

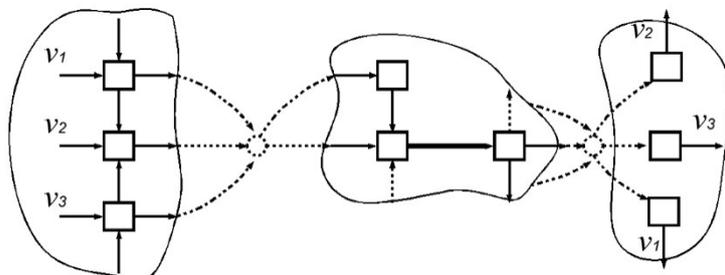


Рисунок 1. Локальный участок МТС, включенный в образ аварийной ситуации

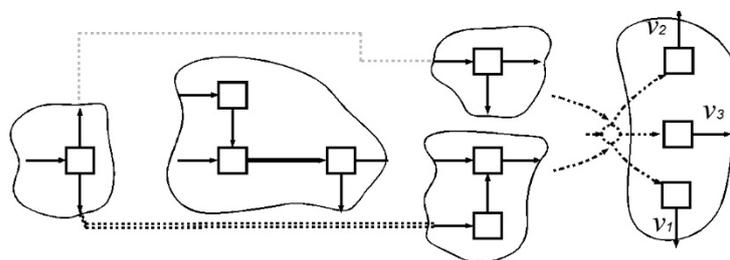


Рисунок 2. Допустимые преобразования решения

На Рис. 2 двойной пунктирной линией показан вариант возможного решения. Решение заключается в перенаправлении части потока в обход аварийно опасного фрагмента МТС. Серой пунктирной линией показано допустимое преобразование решения, не изменяющие смысл ситуации в целом. Это решение использует другой путь для перенаправления потока.

Описанный образ полезен уже тем, что отражает не один прецедент, а семейство общих по смыслу вариантов развития событий. Заметим, что неточность или нечеткость допустимых преобразований естественным образом дополняют описание образа, не исключая и не компенсируя друг друга.

Второй этап заключается в определении областей применения синтезированного образа. По сути это попытка применения опыта к другим ситуациям. Если рассуждать неформально, то опыт противодействия угрозе в заданной области сети требует, во-первых, убедиться в наличии необходимых условий возникновения аварийной ситуации, во-вторых – в том, что по сути гипотетическая ситуация эквивалентна изученной ранее. Если это так, то принятие решения о противодействии базируется на дедуктивном заключении о том, что новая ситуация является частным случаем изученной ранее. Формально механизм переноса опыта в таком случае можно описать следующим образом:

$$\langle \bar{c}, H(\bar{c}) \rangle = F_{TR}(\langle c, H(c) \rangle). \quad (3)$$

Здесь  $\bar{c}$  – трансформированный центр образа,  $H(\bar{c})$  – его допустимые преобразования,  $F_{TR}$  – функция трансформирования. Инвариантом трансформирования должен быть смысл ситуаций и решений. Как указано выше, смысл представлен допустимыми преобразованиями. Следовательно, трансформирование допустимого преобразования возможно, если оно не нарушает топологию целевой области. Функция  $F_{TR}$  использует топологию пространства  $J$ , т.е. все соотношения, характерные в данном случае для МТС и ее элементов, многопродуктовых потоков, расписания потоков, и т.д. Результатом применения функции трансформирования является новый образ, соответственно которому планируется противодействие угрозе аварии. Трансформированные образы заданной ситуации образуют область применения опыта ее предотвращения:

$$J_c = F_{TR}(\langle c, H(c) \rangle), J_c \subseteq J.$$

Третий этап состоит в разработке протокола реализации защиты от угроз в МТС. Техническая реализация защиты от угрозы основана на программной настройке сетевых контроллеров с целью фиксации измеряемых параметров потоков и состояния МТС, а также согласованного выполнения действий по предотвращению аварии. Согласованность достигается реализацией протокола, фиксирующего наступление предаварийного состояния, инициирующего выполнение защитных действий и их завершение при исчезновении аварийной ситуации. Загрузка новых значений параметров в контроллеры осуществляется при изменении характеристик многопродуктового потока на входах МТС. Выбор параметров протокола в данной работе не рассматривается.

#### **Функция трансформирования для локальных угроз**

Рассмотрим особенности реализации функции трансформирования. Реализация заключается в разработке алгоритма, который конструирует трансформированный объект в заданной точке пространства образов. Формально функция трансформирования является частичной, т.е. определена не для всех возможных значений аргумента. Соответственно, алгоритм может нормально завершаться, не построив трансформированный объект.

Как следует из выражения (3),  $F_{TR}$  отображает множество  $H(c)$  в множество  $H(\bar{c})$ . Учитывая разнородность данных, описывающих образ, функцию  $F_{TR}$  необходимо

рассматривать как набор функций трансформирования по каждой из координатных осей пространства образов:

$$F_{TR} = \{f_{J_i} | i = \overline{1, n}\},$$

где  $n$  – размерность пространства образов. Условием существования трансформированного образа является

$$f_{J_i}(\langle c, H(c) \rangle) \neq \emptyset, i = \overline{1, n}.$$

Поскольку  $H(\bar{c}) \neq \emptyset$ , любое из имеющихся преобразований может быть выбрано как центр трансформированного образа. Это соответствует определению образа (2).

Алгоритм должен строиться соответственно специфике конкретного измерения пространства образов. Основное требование к алгоритму реализации функции – соблюдение топологических ограничений пространства образов.

Для трансформирования локальных угроз в МТС должны синтезироваться следующие алгоритмы трансформирования:

- 1) для участков сети транспортировки;
- 2) для отношений между моментами наступления событий, их длительностей;
- 3) для условий взаимовлияния многопродуктовых потоков друг на друга;
- 4) для распределений потоков в МТС.

Рассмотрим далее примеры алгоритмов реализации функций трансформирования для анализа факторов их сложности.

### Примеры функций трансформирования

Рассмотрим алгоритм трансформирования подсети МТС. Входными данными для алгоритма является множество подсетей образа, одна из которых входит в центр образа. На Рис. 3 приведен пример центра и его допустимых преобразований. На Рис. 3 а показан центр в виде графа, пунктиром изображены дуги допустимых преобразований. На Рис. 3 б,с,д изображены те варианты структуры подсети, которые не меняют смысла образа.

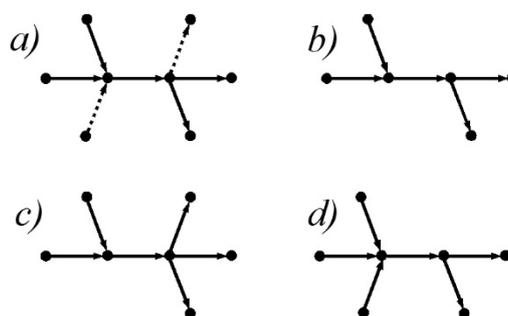


Рисунок 3. Набор подсетей центра и его допустимых преобразований

Инвариантом трансформирования является топология сети транспортировки. Алгоритм трансформирования описывается следующим образом:

1. Извлечь из базы данных образа описание множества допустимых преобразований центра и создать коллекцию *ДопустимыеПреобразования*.
2. Выбрать на графе сети *АнализируемыйУчасток*.

3. *СчетчикЧислаТрансформирований* = 0, создать пустую коллекцию *ТрансформированныеПреобразования*.
4. Для каждого *Элемента* коллекции *ДопустимыеПреобразования* выполнить:
  - а. если *Элемент* и *АнализируемыйУчасток* являются изоморфными, то увеличить *СчетчикЧислаТрансформирований* на 1 и добавить *Элемент* в коллекцию *ТрансформированныеПреобразования*.
  - б. иначе продолжить цикл.
5. Конец алгоритма.

Отличное от нуля значение *СчетчикЧислаТрансформирований* свидетельствует о существовании значения функции трансформирования. Ключевым действием алгоритма является проверка изоморфизма графов. Эта задача решается процедурами из современных библиотек программирования [13]. Временная сложность процедуры проверки изоморфизма определяет сложность алгоритма в целом.

Другим примером может быть функция трансформирования условий взаимовлияния многопродуктовых потоков. Инвариантом трансформирования является топология сети и интенсивности потоков продуктов на входах сети. Алгоритм трансформирования может строиться следующим образом:

1. Выполнить синтаксический разбор логического условия угрозы и сформировать коллекцию *ДопустимыеПреобразования* возможных значений интенсивности потоков, способных привести к аварии.
2. Задать входы сети и интенсивности входных потоков каждого продукта как объект *АнализируемаяСитуация*.
3. *СчетчикЧислаТрансформирований* = 0, создать пустую коллекцию *ТрансформированныеПреобразования*.
4. Для каждого *Элемента* коллекции *ДопустимыеПреобразования* выполнить:
  - а. если *Элемент* и *АнализируемаяСитуация* порождают допустимое решение задачи распределения входных потоков в сети, то увеличить *СчетчикЧислаТрансформирований* на 1 и добавить *Элемент* в коллекцию *ТрансформированныеПреобразования*.
  - б. иначе продолжить цикл.
5. Конец алгоритма.

Как и в предыдущем алгоритме, значение *СчетчикЧислаТрансформирований* свидетельствует о существовании значения функции трансформирования. Нахождение допустимого решения задачи распределения потоков также решается стандартным образом [13].

В качестве числового примера рассмотрим ситуацию, когда три входных потока имели интенсивности  $v_1=10$ ,  $v_2=15$ ,  $v_3=12$  и на некотором конвейере была зафиксирована авария. Экспертный анализ показал, что логическим условием аварии является:

$$A = ((v_1 = 3) \text{ or } (v_1 = 5)) \text{ and } (v_2 \approx 7) \text{ and } (v_3 > 2) \text{ and } (v_3 < 6).$$

Возможными преобразованиями для интенсивностей потоков являются значения:

$$(v_1=6 \text{ or } v_1=4), v_2=8, (v_3=2 \text{ or } v_3=6).$$

Тогда множество допустимых преобразований представляется множеством кортежей:

$$v'_1 \times v'_2 \times v'_3 = \{3,4,5,6\} \times \{7,8\} \times \{2,3,4,5,6\}.$$

Через  $v_1, v_2, v_3$  обозначены полученные в результате анализа логического выражения множества значений интенсивности каждого из потоков.

Проверка допустимости решения задачи распределения реализуется, исходя из топологии сети. Например, может оказаться, что номинальная пропускная способность рассматриваемого конвейера составляет 8 единиц. В этом случае ни один из кортежей не даст допустимого решения. Следовательно, условие появления угрозы не трансформируется на заданный конвейер.

### **Обсуждение результатов**

Достоинством предложенного метода является использование глубинных знаний эксперта. Эти знания чрезвычайно трудно извлечь. Концепция представления ситуаций и решений образами дает возможность проявиться глубинным знаниям в виде описания разнообразных возможных преобразований. От эксперта получают не объяснение того, как было построено преобразование, а достоверно построенный экземпляр преобразования. Экземпляр вызывает большее доверие, чем объяснение того, как он был сконструирован. Причина в том, что эксперт может не осознавать всех причин ситуации и действовать интуитивно. Интуиция базируется на глубинных знаниях, и именно это повышает значимость использования возможных преобразований [14]. Представление образами предназначено для накопления опыта анализа ситуаций, но не опыта их пассивного наблюдения. Принципиальное отличие состоит в выявлении не только существенных признаков ситуаций, но и существенно важных элементов их поведения. Поведение – это реакция на изменение внешних условий. Точное повторение прецедентов опыта в реальном мире невозможно, поэтому отсутствие знания о поведении порождает недостоверные гипотезы. Предложенный метод явно использует топологию пространства решаемой задачи. В классическом СВР топология неявно отражена метрикой близости ситуаций. Любая метрика задается выражением высокого уровня абстракции [8]. Однако, широкие обобщения опасны своей недостоверностью. Как показывают приведенные выше примеры алгоритмов трансформирования, платой за учет топологии и повышение достоверности является резкое возрастание алгоритмической сложности. Это происходит из-за использования комбинаторного поиска.

Для оценки эффективности предложенного метода сравним его с адаптивной маршрутизацией, основанной на нахождении кратчайшего пути [2]. Будем считать, что веса сегментов сети соответствуют стоимости транспортировки. Тогда можно предположить, что при обнаружении угрозы для локального участка МТС можно увеличить его вес и снизить поток. В этом заключается реакция на возникновение угрозы. Анализ показывает следующие недостатки такого пути:

- изменением весов сегментов можно добиться лишь перераспределения потоков внутри сети. Суммарный поток через сеть остается неизменным. Соответственно, угроза принципиально не устраняется. Можно лишь констатировать глобальное увеличение стоимости транспортировки. Чтобы выработать решение о противодействии, необходим централизованный анализ ситуации. Это противоречит механизму локальной адаптации сети;

- поскольку конкретное решение о снижении интенсивности потока отдельного продукта на момент угрозы аварии отсутствует, можно предполагать, что оно может быть построено адаптивно путем постепенного увеличения веса рассматриваемого сегмента сети. Если использовать такой подход, для принципиально устранения угрозы необходимо обеспечить внутренний резерв пропускной способности сети, который может использоваться для перераспределения потоков. Техническая реализация подобного «буфера» дороже, чем воздействие на интенсивности входных потоков.

### Заключение

Привлекательность использования интеллектуальных механизмов противодействия угрозам в МТС заключается в возможности накопления и применения опыта. Изменение условий эксплуатации с течением времени повышает значимость «разумных» решений, которые принимаются в аварийных ситуациях. Этот опыт оценивается высоко, несмотря на наличие трудно объяснимых причинно-следственных связей в принятых решениях. Описанный в данной работе механизм предотвращения локальных угроз базируется на особом представлении опыта, которое повышает возможность его использования в других ситуациях.

Дальнейшее исследование проблемы предполагается вести в направлении совершенствования алгоритмов переноса опыта как в различные сети, так и на различные по смыслу угрозы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-07-00074, 17-01-00119.

### Список литературы

1. Medhi D., Ramasamy K. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures.//The Morgan Kaufmann Series in Networking. New York (2018).
2. Ford L.R., Fulkerson D.R. Constructing maximal dynamic flows from static flows. //Operations Research, vol. 6, p. 419–433. (1958).
3. Frank H., Frisch I.T.: Communication, transmission, and transportation networks. //Addison-Wesley. New York (1971).
4. McBride R.D., Carrizosa E., Conde E., Munoz-Marquez M.//Advances in solving the multi-commodity flow problem. Interfaces 28(2), 32–41 (1998).
5. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C.//Introduction to Algorithms, 3rd edn. 1312 p. MIT Press, Cambridge (2009).
6. Bozhenyuk A., Gerasimenko E., Kacprzyk J., Rozenberg I.: Flows in Networks Under Fuzzy Conditions. // Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol. 346. Springer, Heidelberg (2017).
7. Chanas, S.: Fuzzy optimization in networks. In: Kacprzyk, J., Orlovski, S.A. (eds.) //Optimization Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory, pp. 303–327. D. ReideI Publishing Company, Dordrecht (1987).
8. Lenz M., Bartsch-Spörl B, Burkhard H-D.//Case-Based Reasoning Technology: From Foundations to Applications. Springer. (2003).
9. Belyakov S., Belyakova M., Savelyeva M., Rozenberg I. The Synthesis of Reliable Solutions of the Logistics Problems Using Geographic Information Systems. //10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), p. 371-375. IEEE Press, New York (2016).
10. Belyakov S., Savelyeva M. Protective Correction of the Flow in Mechanical Transport System. //Computer Science On-line Conference. Springer, (2017).
11. K Miranda, A Molinaro, T. Razafindralambo. A survey on rapidly deploy- able solutions for post-disaster networks, //p. 117–123. IEEE Commun. Mag. 54 (4) (2016).
12. Shapiro S.C.//Artificial Intelligence. Encyclopedia of Artificial Intelligence (2nd ed.). New York: John Wiley (1992).
13. Karlsson, B. Beyond the C++ Standard Library: An Introduction to Boost. //Addison-Wesley, (2005).
14. Kuznetsov O.P. Kognitivnaya semantika i iskusstvennyy intellekt.// Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy, 2012. №4, p.32-42.

УДК: 625.17.1

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА В ОАО «РЖД»**

- Коваленко Н. И.** д.т.н., профессор, Российский университет транспорта (МИИТ),  
E-mail: kni50@mail.ru, Москва, Россия
- Аноховская И.В.** студент, Российский университет транспорта (МИИТ),  
E-mail: inna45738@gmail.com, Москва, Россия
- Аннотация.** В ОАО «РЖД» поставлена задача создания инфраструктурных подразделений для сокращения расходов по основным видам деятельности за счет изменения технологии содержания и эксплуатации, в первую очередь, малоинтенсивных (малодеятельных) линий (МЖЛ).  
Статья посвящена уточнению структуры текущего технического обслуживания МЖЛ. Приведена ориентировочная организационная структура линейных предприятий по текущему техническому обслуживанию железнодорожного пути и численность обслуживающего персонала по текущему техническому обслуживанию МЖЛ.
- Ключевые слова:** Малодеятельные (малоинтенсивные) железнодорожные линии (МЖЛ), текущее техническое обслуживание, персонал по обслуживанию пути, технология выполнения путевых работ.

## **PECULIARITIES OF ORGANIZATION OF INFRASTRUCTURE TRACK DIVISIONS IN JSC "RUSSIAN RAILWAYS"**

- Kovalenko N.I.** DofSci.(Tech.), Professor, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: kni50@mail.ru, Moscow, Russia
- Anohovskaja I.V.** student, Russian University of Transport (MIIT),  
E-mail: inna45738@gmail.com, Moscow, Russia
- Annotation.** JSC "RZD" tasked with creating infrastructural divisions to reduce expenditure by main types of activities due to changes in technology content and operation of, primarily, low-intensity (modeately) lines (MWL).  
The article is devoted to clarifying the structure of the current maintenance MWL. The approximate organizational structure of enterprises on the current maintenance of the railway track and the number of staff on the current maintenance MWL.
- Keywords:** Modeately (low-intensity) railway line (MWL), routine maintenance, personnel maintenance of way, technology of execution of track work.

В современных условиях реформирования ОАО «РЖД» на линейном уровне управления в путевом комплексе поставлена задача создания инфраструктурных линейных предприятий путевого хозяйства.

Цель: сокращение расходов по основным видам деятельности за счет изменения технологии содержания и эксплуатации, в первую очередь, малоинтенсивных (малодеятельных) линий, повышение экономической эффективности железнодорожных линий [1]. Современный период

реформирования производственных и управляющих структур ОАО «РЖД» [2], направлен на создание сбалансированных методов управления и выполнения производственной деятельности на всех трех уровнях: центральном, региональном и линейном.

В новых Правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [3] малоинтенсивные линии (участки) это железнодорожные пути общего пользования с невысокой грузонапряженностью и низкой эффективностью работы [4]. Критерии их классификации утверждаются Правительством Российской Федерации [1]. В Уставе железнодорожного транспорта Российской Федерации установлены аналогичные определения для таких участков [5].

В качестве дальнейшего совершенствования организационной структуры линейных предприятий по текущему техническому обслуживанию железнодорожного пути и всей взаимосвязанной инфраструктуры, в ОАО «РЖД» рассматривается создание инфраструктурных линейных предприятий (далее, ИЧл), объединяющих деятельность работников по обслуживанию пути (далее, ПЧ), персонал по содержанию устройств сигнализации, централизации блокировки (далее, СЦБ и связи) и специалистов энергетиков (ЭЧ).

Первая опытная ИЧл была сформирована в 2014 году на базе Сочинской дистанции пути Северокавказской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД». Данная ИЧл объединила работников ПЧ, персонал СЦБ и связи и специалистов энергетиков (ЭЧ), которые регионально располагались в одном месте.

Ориентируясь на полученный положительный опыт работы Сочинской ИЧл, руководством ОАО «РЖД» поставлена задача по организации аналогичных структурных подразделений на территориях всех 16-ти региональных Дирекций инфраструктуры – филиалов ОАО «РЖД».

В частности, на территории Северной ДИ в 2016 году организована Микуньская дистанция инфраструктуры-структурного подразделения Северной дирекции инфраструктуры-структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры-филиала ОАО «РЖД».

Отличительной особенностью Микуньской ИЧл является включение в состав ИЧл работников ПЧ и персонал СЦБ и связи, за исключением специалистов энергетиков (ЭЧ). В первую очередь такое объединение вызвано спецификой Микуньской ИЧл, которая предназначена для обслуживания малоинтенсивных линий (участков) железнодорожного пути общего пользования с невысокой грузонапряженностью и низкой эффективностью работы.

Другой особенностью обслуживания данного полигона Микуньской ИЧл является применение тепловозной тяги. Дополнительно это также отразилось на решении не включения в состав данной ИЧл специалистов-энергетиков (ЭЧ).

Общая численность штата Микуньской ИЧл составляет 281 человек. В том числе:

- руководители (всего) – 25 человек;
- специалисты – 80 человек;
- рабочие – 176 человек.

В числе общего штата административно-управленческие работники (АУР) – 20 человек:

- из них, руководители – 8 человек;
- специалисты – 12 человек.

Из общей численности штатных работников Микуньской ИЧл работники ПЧ составляют 75,5%, персонал СЦБ и связи – 24,5%.

Такое распределение штатных работников обслуживающего персонала по персонификации обусловлено спецификой малоинтенсивных линий (участков) железнодорожных путей общего пользования с невысокой грузонапряженностью и низкой эффективностью работы [4].

Одной из основных проблем на сети железных дорог ОАО «РЖД» при применении участкового метода текущего содержания пути является своевременная доставка рабочей силы, механизмов и оборудования к месту производства работ и возвращения на базы дислокации [6, 7, 8].

Для решения данной проблемы при выполнении текущего технического обслуживания инфраструктуры Микуньской ИЧЛ, полигон ИЧЛ разделен на 5 участков (см. рис.).

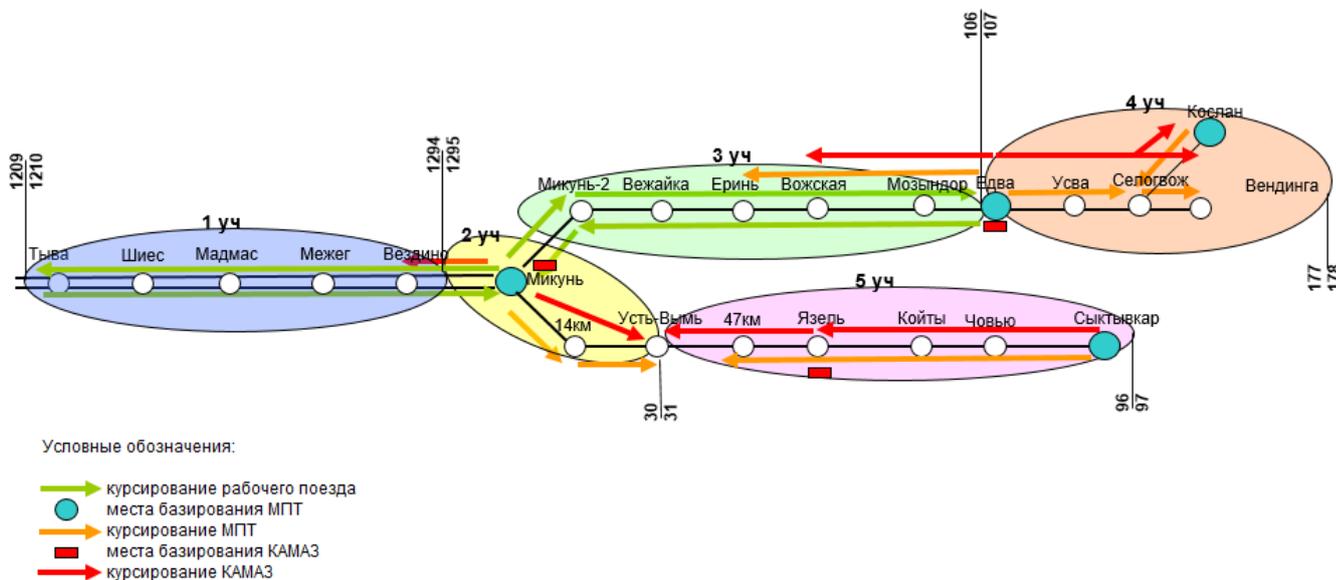


Схема доставки рабочей силы, механизмов и инструментов по Микуньскому инфраструктурному линейному предприятию

На первом, втором и третьем эксплуатационных участках пути (см. рис.) курсирует рабочий поезд, доставляющий 62, 13 и 20 работников соответственно.

Для оптимизации времени транспортировки и сокращения затрат по доставке на удаленных участках полигона расположены места базирования грузовых автомобилей типа КАМАЗ.

Данным видом транспорта по эксплуатационным участкам выполняется перемещение следующего количества работников: от станции Микунь – 24 человека; от станции Едва – 27 человек, и от станции Язель – 10 человек. Для удобства транспортировки механизмов, оборудования, материалов верхнего строения пути и пр. используются транспортные путевые тележки МПТ-4.

**Выводы.** Рассмотренные, на предварительной стадии, организационные особенности инфраструктурных линейных предприятий путевого хозяйства на примере Микуньской дистанции инфраструктуры - структурного подразделения Северной дирекции инфраструктуры - структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД», позволяют сделать вывод о целесообразности аналогичных структурных подразделений для оптимизации управления в деятельности линейных предприятий ОАО «РЖД». В дальнейшем необходимо выполнить технико-экономическую оценку их деятельности для уточнения оптимальных границ полигона обслуживания аналогичными подразделениями, а также определить численность штатов производственного персонала и его персонификацию по текущему техническому обслуживанию инфраструктуры путевого комплекса железнодорожного пути.

**Список литературы**

1. Юшков М.Е. Организация использования инфраструктуры малодетальных железнодорожных линий на основе интегральной оценки их деятельности: диссертация кандидата технических наук по специальности: 05.02.22 / Юшков М.Е. – Екатеринбург, Уральский государственный университет путей сообщения, 2014. – 163 с.
2. Постановление Правительства РФ от 15 мая 1998 г. N 448 «О Концепции структурной реформы федерального железнодорожного транспорта». Текст постановления опубликован в "Российской газете" от 21 мая 1998 г., в Собрании законодательства Российской Федерации от 18 мая 1998 г., N 20, ст. 2159.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные Приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. – М.: ООО «ТРАНСИНФО ЛТД», 2011. – 255 с.
4. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации: [федеральный закон № 18-ФЗ от 10 января 2003 года в редакции от 04 июня 2014 года № 145-ФЗ]. – М., 2003. – 9 с.
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2015 года № 3188р «Об утверждении результатов классификации железнодорожных линий».
6. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утверждённая Распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2791р (с учетом изменений, в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 10 июня 2014 г. № 1491р и распоряжения ОАО «РЖД» от 19.12.2014 г. № 3036р).
7. Кириленко О.Н. Экономическая эффективность методов эксплуатации малодетальных линий/О.Н. Кириленко//Экономика железных дорог. - 2014. - № 8. - С. 79-85.
8. Глущенко В.А. Комплексные бригады на малодетальных участках [Южно-Уральской дороге] / В А. Глущенко//Путь и путевое хозяйство. - М, 2010. - № 1. - С. 24-25.
9. Коваленко Н.И., Коваленко А.Н. Предложения текущего технического обслуживания малоинтенсивных железных дорог в современных условиях. В кн. Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог. Секция 2. Железнодорожный путь для тяжеловесного движения. М: МИИТ. 2017.
10. Коваленко Н.И., Коваленко А.Н. Особенности текущего технического обслуживания малодетальных железных дорог в современных условиях // Мир транспорта. 2018.