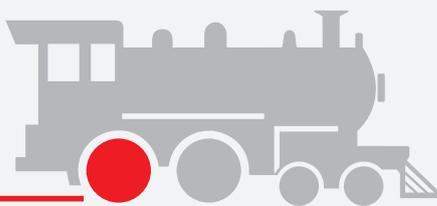


сетевое издание

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ СЕТЕВОЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ИЗДАНИЕ

## В ВЫПУСКЕ

### СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

«Пространственная логическая ситуация в управлении транспортом»

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

Щенников А.Н.

«Управление подвижными объектами в условиях помех движению»

Матчин В.Т.

«Регенерация бортовых баз данных»

Титов Е.К.

«Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией»

### ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Андреева О.А.

«Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры»

### ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Охотников А.Л., Цветков В.Я.

«Технические решения для перспективной железнодорожной магистрали «Трансевразия»»

Козлов А.В.

«Мобильные субсидиарные системы»

Боженюк А.В., Беляков С.Л., Косенко О.В.

«Оценка информационной надежности сложных систем с помощью интуиционистских нечетких графов»

### ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

Горбунов К.С., Коваленко Н.А.,

Ефимов Р.А., Бородин А.А.

«Методический подход к формализованному составлению технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения»

№4

Декабрь 2019





### Стратегия развития железных дорог

*Розенберг Игорь Наумович, Цветков Виктор Яковлевич*

Пространственная логическая ситуация в управлении транспортом

3

### Интеллектуальные системы и технологии на транспорте

*Щенников Алексей Николаевич*

Управление подвижными объектами в условиях помех движению

12

*Матчин Василий Тимофеевич*

Регенерация бортовых баз данных

20

*Титов Евгений Константинович*

Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией

30

### Геоинформационные технологии и системы на транспорте

*Андреева Ольга Александровна*

Геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры

39

### Цифровые методы на железнодорожном транспорте

*Охотников Андрей Леонидович, Цветков Виктор Яковлевич*

Технические решения для перспективной железнодорожной магистрали «Трансевразия».

50

*Козлов Александр Вячеславович*

Мобильные субсидиарные системы

57

*Боженюк Александр Витальевич, Беляков Станислав Леонидович, Косенко Олеся Валентиновна*

Оценка информационной надежности сложных систем с помощью интуиционистских нечетких графов

65

### Вопросы безопасности движения на транспорте

*Горбунов Константин Сергеевич, Коваленко Нина Александровна, Ефимов Роман Александрович, Бородин Александр Андреевич*

Методический подход к формализованному составлению технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения

75



УДК: 334.71: 656: 338.245

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ

- 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 описана пространственная информационная ситуация как инструмент управления подвижными объектами. В качестве основы рассмотрена модель логической пространственной ситуации при отсутствии неопределенности, то есть при выполнении закона исключения третьего. На основе модели пространственной информационной ситуации, предлагается система правил управления для типовой пространственной информационной ситуации на станции. Система правил дает возможность анализа допустимых и недопустимых видов движения. Выведены условия комплементарности движения.
- Ключевые слова:** транспорт, управление, логическая модель, ситуационное управление, мягкое управление, топологическая модель, логическая модель, интеллектуальное управление.

## SPATIAL LOGICAL SITUATION FOR TRANSPORT MANAGEMENT

- Rosenberg I.N.** D.ofSci.(Tech), Professor, General Director, JSC «NIAS»,  
E-mail: I.Rozenberg@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC «NIAS»,  
E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article describes the spatial informational situation as a tool for managing moving objects. As a basis, a model of the logical spatial situation in the absence of uncertainty is considered, that is, when the law of exclusion of the third is fulfilled. Based on the model of spatial informational situation, a system of control rules for a typical spatial informational situation at the station is proposed. The system of rules enables the analysis of permissible and unacceptable types of movement. The conditions for the complementarity of motion are derived.
- Keywords:** transport, management, logical model, situational management, soft management, topological model, logical model, intelligent control.

### Введение

Пространственное управление [1] опирается на топологические модели как на основу организации сетевого управления. Распределенное управление допускает возможность дискретного управления объектами и возможность управления потоками в сети. Управление потоками и дискретными объектами на транспорте происходит в реальном пространстве. Это обуславливает необходимость применения пространственной информации и методов пространственного анализа [2]. Классическое динамическое управление дискретными объектами использует дифференциальные управления динамики и дает непрерывные решения,

которые в принципе при изменении параметров, могут давать неограниченное количество решений.

Борьба с бесконечными решениями и множествами в начале XX привела к появлению конструктивизма, интуиционизма и конструктивной математики. Одним из важных принципов этого направления явился принцип использования финитных объектов и счетных множеств. Моделирование опиралось на выбор реализуемых паттернов или моделей. На основе конечного множества моделей или ситуаций строилась комбинаторное, дискретное или логическое решение задачи. Логическое решение зависит от типа логики.

При сохранении закона исключения третьего (если такое возможно) используется классическая бинарная логика. При наличии состояния неопределенности необходимо применять троичную логику [3]. Логика служит основой формирования логической ситуации [4], которая служит основой управления. Управление делят на «жесткое» (прямое) и «мягкое» (косвенное). Жесткое управление основано на принудительных управляющих решениях. Мягкое управление основано на создании условия поведения объекта управления в нужную сторону. Сигнально-блоковое управление на транспорте является одним из примеров мягкого управления.

Конструктивная математика предполагает потенциальное существование конструктивного объекта, что расходится с понятием существования, принятым в теоретико-множественной математике. Это приводит к тому, что закон исключённого третьего теряет свою универсальность. Конструктивизм относят к работам голландского аспиранта Л. Э. Я. Брауэра [5, 6], который предположил, что причина неконструктивных теорем существования заложена в классической логике. При достаточно простом анализе можно отметить, что классическая логика создана не для построений, а в большей степени для и опровержений. В конструктивной логике основной задачей является нахождение возможных построений. Ориентация на возможность **принципиального** построения позволила конструктивизму разработать ряд систем (методов, алгоритмов), которые значительно ближе к реальности, чем те, которые были ориентированы на непосредственную применимость. Примером такой конструктивной системы является информационная конструкция. В данной работе конструктивный подход реализуется в виде построения правил возможного движения применительно к заданной ситуации.

Для управления на транспорте целесообразно использовать модели информационной ситуации [7, 8]. Разновидность информационной ситуации - пространственная информационная ситуация [9] в топологическом пространстве тождественна топологической модели. Это позволяет сочетать не только ситуационный и топологический анализ, но и логический анализ ситуации. Транспорт и транспортная система являются достаточно отлаженными объектами, в которых редко появляется неопределенность. Это позволяет в качестве основы использовать классическую логику и пропозициональное исчисление. В данной работе предлагается комплексная модель, объединяющая принципы конструктивной математики [10], пространственного ситуационного анализа [2] и логического анализа [11]. Предлагаемые модели являются шагом к дальнейшему моделированию ситуаций в распределенных системах.

Рассматривая принципы управления, следует остановиться на двух подходах жесткого и мягкого управления. На практике широко используют жесткое директивное управление. Если рассматривать данную работу с позиций управления, то она относится к области мягкого управления, поскольку опирается на условия в управленческой ситуации и исходя из этих условий формирует. Здесь следует предостеречь некоторых специалистов не смешивать мягкое

управление и мягкие вычисления. Это - качественно разные понятия. Мягкие вычисления строятся на применении теории нечетких множеств, а мягкое управление строится на формировании условий управления для развития системы естественным путем.

### **Информационная ситуация и ситуационное управление**

Суть любого управления заключается в разработке или выборе управленческих решений из некоторого набора допустимых (типовых, стандартных) управляющих воздействий. Во всех случаях приходится сталкиваться с управленческой ситуацией [12], которая при использовании методов информационного моделирования трансформируется в модель информационной ситуации. В аспекте развития технологий управления [13] ситуационное управление привязывают к направлению «управления при непредвиденных обстоятельствах». В реальной практике при упоминании о ситуационном управлении, часто даже не рассматривают управление при непредвиденных обстоятельствах.

Ситуационное управление приводит к необходимости использовать модель информационной ситуации. Эта модель служит основой субсидиарного управления и комплементарного управления. Эти понятия в сфере управления транспортом также мало используют.

Ситуационное управление разделяют на аналитическое управление и стереотипное управление. При ситуационном стереотипном управлении проблему принятия решения решают на основе сравнительного анализа. Оценивают ситуацию и параметры объекта. На основе оценки сравнивают управленческую ситуацию с набором схожих ситуаций, для которых известны управленческие решения. Из числа известных выбирают наиболее схожую ситуацию и решение в этой ситуации.

В ситуациях непредвиденных обстоятельств или в ситуациях с новым сочетанием параметров такой метод не работает. В этом случае используют аналитический подход. Он состоит в анализе ситуации и выработке специального решения именно для такой управленческой ситуации. В этом случае приходится формировать ряд моделей, которые позволяют адекватно отражать состояние объекта при его взаимодействии с окружающей средой.

Модель информационной ситуации не является одной моделью, а имеет несколько разновидностей в зависимости от аспекта рассмотрения ситуации и этапа решаемой задачи. На начальной стадии поиска решения информационная ситуация предстает как ситуация условие. В отличие от обычного набора параметров, которые применяют как условие решения задачи, информационная ситуация строит отношения и связи между параметрами условий и дополняет эти параметрические условия новыми отношениями и связями между параметрами. Это снимает информационную неопределенность [14] и вносит ясность в дальнейший анализ и решение.

В процессе решения используют модель информационной ситуации как процессуальную модель [15]. Это может быть модель алгоритм или модель потоков при вычислениях. На этой стадии она выступает как процессуальная модель.

После получения управляющего решения или завершения цикла управления модель информационной ситуации предстает как результат. В отличие от обычного набора параметров как результата, информационная ситуация выявляет отношения и связи между другими результатами и позволяет накапливать и обобщать опыт управления. На этой стадии она выступает как новое знание.

В силу перечисленного можно рассматривать модель информационной ситуации на

транспорте как технологический и научный ресурс для выявления резервов развития сферы транспорта. Как накопленный опыт модель информационной ситуации способствует повышению качества транспортных услуг. Как новое знание информационная ситуация позволяет осуществлять прогнозирование развития транспорта и транспортной инфраструктуры. Пространственная информационная ситуация позволяет переносить методы информатики и геоинформатики в область управления транспортом. Но прежде всего, необходимо определить информационную ситуацию как информационную модель

*Информационная ситуация* (ИС) в управлении транспортом – это комплексная процессуально - пространственная модель, содержащая ключевых параметры для решения текущей задачи управления или этапа управления.

По отношению к объекту исследования или управления информационная ситуация делится на два вида. Она может включать объект управления и рассматриваться как сложная система. Она может рассматривать без объекта управления как подмножество внешней среды или семантическое окружение объекта управления. Информационная ситуация является целеопределенной моделью. Именно по цели она делится на ситуацию - условие, ситуацию - процесс и ситуацию- результат. Пространственная информационная ситуация охватывает всегда большую часть пространства по сравнению с объектом управления.

В аспекте динамики информационная ситуация более динамична и переменчива по сравнению с объектом управления. Она может охватывать не один, а совокупность объектов. Можно выделить информационную ситуацию взаимодействия объектов, информационную ситуацию, окружающую подвижный объект, информационную ситуацию состояний подвижного объекта.

Отмечено, что информационная ситуация может быть рассмотрена как сложная система. Это дает возможность применять методы системного анализа для исследования информационной ситуации. Используя системное описание, предложенной в работе [16], можно формализовать модель пространственной информационной ситуации (ИСит) в следующем виде. Такое сокращение введено, чтобы отличить информационную ситуацию от информационной системы (ИС):  $ИСит = F2(MO_i, Ps, TM, Co, Ce, Ros, IntS)$

В приведенном выражении  $MO_i$  - модели объектов в данной ситуации  $i=1...n$ ;  $Ps$  – параметры ситуации;  $Co$  – связи между объектами,  $Co$  – связи между объектом управления и внешней средой.  $Ros$  – отношения между объектами,  $IntS$  – информационные взаимодействия между объектами.  $TM$  – топологическая пространственная модель.

Обязательное наличие топологической модели есть качественное отличие пространственной информационной ситуации от модели параметрической информационной ситуации. Количественно в выражение входит значительно больше факторов, чем в описание модели объекта.

В современных условиях для информационной ситуации существует важная характеристика – сложность [17]. На рис.1 приведена модель сложной пространственной информационной ситуации. Она содержит несколько путей в виде участков дуг и стрелок – узлов. Эта топологическая модель характеризуется отсутствием подвижного объекта. Такая информационная ситуация также может быть названа статической информационной ситуацией. Но она задает условия движения объекта.

### **Пространственная информационная ситуация**

Информационные ситуации служат основой описания реальных ситуаций и реального

пространства. Они включают технические, временные, логические, ресурсные параметры. Информационные ситуации могут быть пространственными, параметрическими и управленческими. Информационные ситуации могут быть дескриптивными и предскриптивными [18]. Дескриптивная информационная ситуация выполняет функции репрезентации реальной ситуации. Предскриптивная информационная ситуация представляет собой систему правил, предписывающую действия в данной ситуации или ограничивающую процессы в данной ситуации.

Предскриптивная информационная ситуация - это инструмент интеллектуальных транспортных систем или транспортных киберфизических систем. Содержательно предскриптивная информационная ситуация строится на основе классической или конструктивной логики, в зависимости от влияния неопределенности. В простейшей ситуации предскриптивная информационная ситуация строится как система логических функций. Эта система опирается на пространственную ситуацию и условия движения. Пространственная информационная ситуация может быть представлена топологической моделью.

Пространственная информационная ситуация может быть условием (ПИСУ), может описывать процесс (ПИСП), может быть результатом завершения процесса (ПИСР). На рис.1 показана схема, пространственной информационной ситуации - условия. Эта ситуация задает условия принципиальных вариантов движения, то есть лежит в русле конструктивной математики.

На рис.1 показаны два главных пути (ГП1, ГП2), два объездных пути (Оп1, Оп2), резервный путь (F). Узлы на топологической модели (стрелки) обозначены символами  $s_i$  ( $i=1...10$ ). Показаны два тупика Тп1, Тп2. Главные пути состоят из участков ГП1 (А,В,С), ГП2( Н, Е, D). Символами W1, W2 обозначены перрон 1 и перрон 2.

Участки пути обозначены латинскими заглавными буквами, которые одновременно являются логическими переменными. Значение логической переменной равной 1 означает, что поезд находится на этом участке. Логические значения узлов (стрелок) означают 1 движение в прямом направлении, значение 0 для поворотного направления.

Общий сигнал управления движением  $m=1$  движение разрешено,  $m=0$  движение запрещено. Сигнал аварийной остановки:  $a=1$  – аварийная остановка,  $a=0$  – нет аварийной остановки. Для построения предскриптивной информационной ситуации используем логические функции и схему на рис.1 как условие.

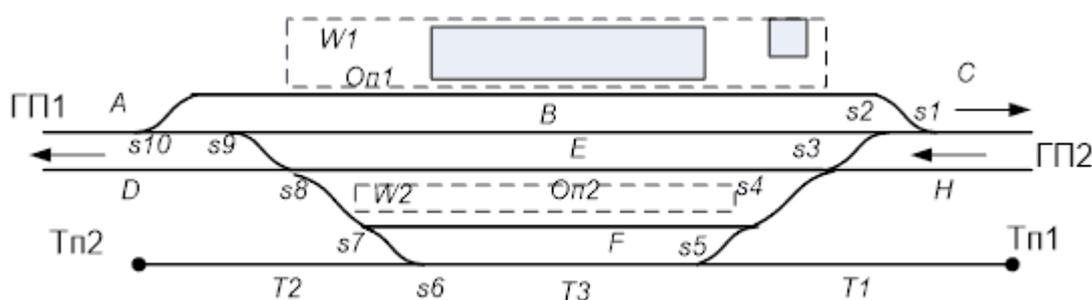


Рисунок 1. Пространственная топологическая модель.

Логическая информационная ситуация на рис.1 характеризуется следующими ключевыми параметрами и их логическими значениями.

- Логические переменные нахождения поезда на участке  $A=1, B=1, C=1, D=1, E=1, H=1, F=1, Оп1=1, Оп2=1$  поезд находится на данном участке пути. Альтернатива  $\neg A, \neg B, \neg C, \neg D, \neg E, \neg H, \neg F, \neg Оп1, \neg Оп2$  поезда на данном участке пути нет. Знак ( $\neg$ ) обозначает инверсию логической переменной

- Сигналы от датчиков автоматических стрелок  $s_i$  означает  $s_i=1$  движение прямо и  $\neg s_i$  означает  $s_i=0$  поворот.

- Сигнал управления  $k=1$  движение разрешено,  $\neg k=0$  движение запрещено.

- Сигнал аварийной остановки  $al=1$  – аварийная остановка,  $\neg al=0$  – нет остановки.

- Сигналы от датчиков платформ  $w_1=1, w_2=1$  – платформы свободны,  $\neg w_1=\neg w_2=0$  – платформы заняты.

- Сигналы от датчиков участков пути соответствуют большим латинским буквам участков пути. Они также имеют два значения:  $a=b=c=v=f=h=$  и так далее  $=1$  – участки пути свободны,  $\neg a=\neg b=\neg c=\neg d$  и так далее  $=0$  – участки пути заняты.

- Сигнал  $h$  – все двери поезда закрыты ( $h=1$ ).

- Сигналы  $hc=1, hd=1$  – все двери на платформах  $W_1$  и  $W_2$  зарыты. Эта опция включается при прохождении скоростного поезда мимо платформы без остановки.

Используя схему пространственной информационной ситуации, представленной на рис.1 построим систему логических правил для возможного движения. Движение сквозное по главному пути ГП1 (слева направо) с участка А на участок С.

$$A \rightarrow \neg B \neg C$$

$$F1=(k \wedge \neg al \wedge s10 \wedge s9) \wedge (k \neg b \wedge \neg al) \wedge (k \neg c \wedge \neg al \wedge s2 \wedge s1) \quad (1)$$

Движение сквозное по главному пути ГП2 (справа налево) с участка Н на участок D.

$$H \rightarrow \neg E \neg D$$

$$F2=(k \wedge \neg al \wedge s3) \wedge (k \wedge \neg al \neg e) \wedge (k \wedge \neg al \neg c \wedge s8) \quad (2)$$

Движение с остановкой по главному пути ГП1 (слева направо) с участка А на участок Оп1.

$$A \rightarrow \neg On1$$

$$F3=(k \wedge \neg al \wedge s10) \wedge (\neg on1) \quad (3)$$

Движение после остановки с объездного пути Оп1 на главный путь ГП1 (слева направо) с участка Оп1 на участок С.

$$On1 \rightarrow \neg C$$

$$F4=(h \wedge k \wedge \neg al \neg s10) \wedge (k \wedge \neg al \neg c) \quad (4)$$

Движение с остановкой по главному пути ГП2 (справа налево) с участка Н на участок Оп2.

$$H \rightarrow \neg On2$$

$$F5=(k \wedge \neg al \wedge \neg s3 \wedge \neg s4) \wedge (\neg on2) \quad (5)$$

Движение после остановки с объездного пути Оп2 на главный путь ГП2 (справа налево) с участка Оп2 на участок D.

$$On2 \rightarrow \neg D$$

$$F6=(h \wedge k \wedge \neg al \neg s8) \wedge (k \wedge \neg al \neg d) \quad (6)$$

Схема на рис.1 дает возможность сквозного движения, если заняты участки главного пути через объездные пути. Движение сквозное по главному пути ГП1 (слева направо) с участка А на участок С через объездной путь Оп1.

$$A \rightarrow \neg On1 \neg C$$

$$F7=(k \wedge \neg al \wedge s10 \wedge s9) \wedge (k \neg on1 \wedge \neg al \wedge hc) \wedge (k \neg c \wedge \neg al \wedge s2 \wedge s1) \quad (7)$$

Движение сквозное по главному пути ГП2 (справа налево) с участка Н на участок D через объездной путь Оп2

$$H \rightarrow \neg On2 \neg D$$

$$F8=(k \wedge \neg al \wedge \neg s3) \wedge (k \wedge \neg al \neg on2 \wedge \neg s4) \wedge (k \wedge \neg al \neg c \wedge \neg s8) \quad (8)$$

В выражениях (1-8) в круглых скобках объединены ситуационно связанные параметры как блоки конъюнкций, что допускается в математической логике. Используя отношения комплементарности [19, 20], можно составить комплементарные уравнения логических функций. Комплементарным управлением называют такие конъюнкции функций, которые тождественно истинны.

$$F1 \wedge F2 = 1, \quad (9)$$

$$(F3 \wedge F4) (F5 \wedge F6) = 1, \quad (10)$$

$$F7 \wedge F8 = 1, \quad (11)$$

Логическая комплементарность означает, что соответствующие выражения допускают совместное движение по выделенным маршрутам и не влияют друг на друга. Это означает возможность синхронного движения. Выражение (9) говорит о возможности независимого движения по маршрутам

$$A \rightarrow \neg B \neg C \text{ и } H \rightarrow \neg E \neg D$$

Выражение (10) говорит о возможности независимого движения по маршрутам с остановками

$$A \rightarrow \neg On1 \neg C \text{ и } H \rightarrow \neg On2 \neg D$$

Выражение (11) говорит о возможности независимого движения по маршрутам без остановок.

$$A \rightarrow \neg On1 \neg C \text{ и } H \rightarrow \neg On2 \neg D$$

Предложенная система правил управления движением описывает 3 вида движения в обе стороны. Можно развить модель, дополнив ее условиями сортировки с использованием резервного пути или перемещения объектов в тупики. В данной работе показана принципиальная постановка задачи и показан метод создания правил движения.

### Заключение.

Особенностью современных методов управления в том, что в них мало используют модель информационной ситуации. Это обусловлено тем, что директивное управление не нуждается в такой модели. Именно мягкое управление использует информационную ситуацию как условия управления. Однако на практике используют эту модель как распределенную модель. Это задает распределенное управление в информационной ситуации. Применение информационной ситуации существенно снижает информационную нагрузку на лицо принимающее решение,

поскольку оно выделяет из множества факторов внешней среды только те ключевые факторы, которые влияют на объект управления. Применение информационной ситуации существенно снижает время аналитической обработки, поскольку требует анализа не всех параметров внешней среды, а только ключевых. Применение информационной ситуации позволяет сформировать систему правил для интеллектуальных транспортных систем и для транспортных киберфизических систем.

Применение информационной ситуации позволяет учитывать особенность управления на транспорте. Эта особенность состоит в том, что объектами управления являются и отдельные объекты, и грузопотоки. Применение информационной ситуации позволяет формировать такие модели для грузопотоков. Применение информационной ситуации создает условия для ситуационного управления и повышает эффективность применения ситуационных команд. Ситуационное управление на транспорте позволяет применять ряд технологических решений, из которых следует выделить:

- применение методов геоинформатики для управления транспортной инфраструктурой;
- применение технологий ГНСС для управления транспортом;
- применение цифрового пространственного моделирования при управлении транспортом;
- применение динамического ситуационного моделирования;
- применение интеллектуальных систем для управления транспортом;

Повышение скоростных режимов движения требует сокращения времени принятия решений. Специальные модели ситуационного управления помогают решать эти задачи. Рост объемов информации и проблема «больших данных» требует новых подходов к анализу информации. Модель информационной ситуации снижает информационную нагрузку как на человека, так и на компьютер. Частично систематика этих моделей дана в работах [7], а данная работа является развитием этих идей. Это направление исследований требует дальнейшего развития. Предложенная логическая модель движения, построена на основе пространственной информационной ситуации. Особенность этого подхода в том, что модель строится на основе топологической модели конкретной ситуации, что относит данный метод к области конкретной математики.

### Список литературы

1. Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. - 2(8) - С.268-274.
2. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Пространственный ситуационный анализ // Российский технологический журнал. - 2013 - № 1 (1) - С.103-116.
3. Номоконова О.Ю. Неопределенность и троичная логика // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.108-113.
4. Щенников А.Н. Логические ситуации при конструировании алгоритмов // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.137-143.
5. Brouwer L.E.J. Over de grondslagen der wiskunde. Amsterdam: Thesis, 1907.
6. Brouwer L.E.J. De onbetrouwbaarheid rer logische principes // Tijdschrift voor wijsbegeerte, 2, 1908.
7. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.

8. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.
9. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. - 4(14). – С.198-203.
10. Непейвода Н. Н. Конструктивная математика: обзор достижений, недостатков и уроков. Часть I // Логические исследования. – 2011. – №. 17. – С.191 -240.
11. Сигов А. С., Цветков В.Я. Неявное знание: оппозиционный логический анализ и типологизация // Вестник Российской Академии Наук, 2015, том 85, № 9, - С.800–804.
12. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
13. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С.5-10.
14. Коваленко Н.И., Коваленко Н.А., Учёт неопределённости и риска в управлении железнодорожным транспортным комплексом // Российский технологический журнал. - 2014 - № 3 (4) - С.189-194.
15. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.28-32.
16. Цветков В.Я. Теория систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с. ISBN 978-5-317-05718-3.
17. Болбаков Р.Г. Сложность информационных конструкций // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №4 (16). – С.58-63.
18. Козлов А.В. Логические дескриптивные и прескриптивные модели // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6 (10). -С.3–8.
19. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.
20. Щенников А. Н. Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.17-25.

УДК: 001.98

## УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ДВИЖЕНИЮ

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

**Аннотация.** В статье рассматривается управление подвижными объектами при учете влияния помех движению объекта. Для такого управления предлагается теория линейных стационарных систем. Статья раскрывает содержание теории линейных стационарных систем теория (Linear time-invariant). Описаны принципы статического и астатического управления. Статья описывает сравнение характеристик статического и астатического алгоритмов управления, описаны преимущества и недостатки этих видов управления. Показаны преимущества астатического управления.

**Ключевые слова:** подвижные объекты, помехи движению, многоцелевое управление, статическое управление, астатическое управление, алгоритмы управления.

## MOBILE OBJECT MANAGEMENT UNDER MOVEMENT INTERFERENCE

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

**Annotation.** The article considers the management of moving objects while taking into account the influence of interference with the movement of the object. For such control, the theory of linear stationary systems is proposed. The article reveals the content of the theory of linear stationary systems theory (Linear time-invariant). The principles of static and astatic control are described. The article describes a comparison of the characteristics of static and astatic control algorithms, describes the advantages and disadvantages of these types of control. The benefits of astatic control are shown.

**Keywords:** moving objects, interference with movement, multi-purpose control, static control, astatic control, control algorithms.

### Введение.

Управлением подвижного объекта называют совокупность технологий или процессов, направленных на поддержание функционирования управляемого объекта в заданном состоянии в соответствии с заданной целью управления. Управление подвижными объектами в условиях помех движению основано на моделировании помех и учете их влияния в процессе управления. В настоящее время широко практикуется автоматизированное управление, интеллектуальное управление [1-3], кибер-физическое управление [4,5]. Автоматизированное управление

реализуют в автоматизированных системах с помощью технологий и алгоритмов [6]. Автоматические системы и технологии управления принято подразделять на статические и астатические [6, 7], в зависимости от того имеют ли они или не имеют отклонение в установившемся режиме или состоянии при внешних воздействиях.

Влияние помех качественно различается для водного и железнодорожного транспорта. Для водного транспорта существенно влияние поперечных помех векторного характера, которые сбивают судно с курса [6, 7]. Для железнодорожного транспорта характерно влияние продольных помех, которые тормозят движение и являются аналогом диссипации. Для воздушного транспорта характерны и продольные и поперечные помехи [8].

Для подвижных объектов существуют две категории управляющих систем. Система управления называется статической (реже реактивной) по отношению к возмущающему воздействию, если при воздействии, стремящемся с течением времени к некоторому установившемуся постоянному значению. Для такой системы отклонение управляемой величины тоже стремится к предельному значению, зависящему от величины воздействия. В силу этого такие технологии называют асимптотическими, поскольку пределом состояния подвижного объекта или режима его работы является асимптота. Поскольку управление является циклическим, то в этом случае можно говорить об остаточной величине, которая характеризует сходимости алгоритма управления.

Система управления называется астатической по отношению к возмущающему воздействию, если в этой системе отклонение управляемой величины стремится к нулю вне зависимости от величины воздействия. При этом возмущающее воздействие может стремиться с течением времени к некоторому установившемуся постоянному значению. В силу этого такие технологии называют стремящимися к нулю, поскольку пределом отклонения состояния или режима является ноль. В этом случае имеет место полная сходимость алгоритма управления. Соответственно, для таких систем можно говорить о статических (СтА) и астатических алгоритмах (АсА) управления.

**Линейная, не зависящая от времени теория (ЛТИ), как инструмент управления подвижными объектами.**

В настоящее время широко применяют многоцелевое управление [9-12], которое в связи с вариабельностью ситуаций управления и динамикой внешней среды, особенно большое значение это имеет для управления подвижными объектами [13, 14]. Для управления подвижными объектами в качестве теоретической основы применяют так называемую теорию ЛТИ [15]. Линейная не зависящая от времени теория, широко известная как теория Linear time-invariant - LTI, возникла и развивается как раздел прикладной математики.

Буквально она означает - теория линейных временных инвариантов. В российской литературе ее называют теория линейных стационарных систем. Она имеет непосредственное применение в спектроскопии ЯМР, сейсмологии, схемах обработке сигналов, теории управления и других областях. Сущность теории в исследование реакции линейной, не зависящей от времени системы, на произвольный входной сигнал.

Траектории этих систем обычно измеряются и отслеживаются по мере того, как они движутся во времени (например, акустическая форма волны), но в таких приложениях, как обработка изображений и теория поля, Системы ЛТИ также имеют приложения в пространственных измерениях. Таким образом, эти системы также называются линейными трансляционно-инвариантными, чтобы дать теории наиболее общий охват. В случае общих

систем с дискретным временем линейный инвариант сдвига является соответствующим термином.

Наглядным примером систем ЛТИ являются электрические цепи, которые могут состоять из резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности [15]. Определяющими свойствами любой системы ЛТИ являются линейность и временная инвариантность. Линейность в управленческих системах и технологиях обусловлена стремлением человека к упрощению и нежеланию использовать нелинейные системы в силу сложности протекания управляющих воздействий.

Линейность означает, что взаимосвязь между входом и выходом системы, или связь между входным сигналом и выходным сигналом, является линейной и изображается линейной переходной характеристикой.

Инвариантность по времени означает, что независимо от того, поступает ли входной сигнал без задержки или с задержкой  $T$  секунд, выход будет идентичным, за исключением временной задержки в  $T$  секунд.

Другими словами, если существует входной сигнал  $x(t)$ , который создает выходной сигнал  $y(t)$ , то входной сигнал  $x(t+T)$  создает выходной сигнал  $y(t+T)$ . В этом случае механизм управления и система управления не зависят от времени, потому что выходные данные не зависят от конкретного времени, когда эти входные данные применяются.

Основополагающим принципом теории ЛТИ является то, что любая система ЛТИ может быть полностью охарактеризована единственной функцией, называемой импульсной характеристикой системы. Выход системы - это просто свертка входа в систему с импульсным откликом системы. Этот метод анализа часто называют анализом во временной области. Тот же результат верен для систем с инвариантным линейным сдвигом в дискретном времени, в которых сигналы являются выборками в дискретном времени, а свертка определяется для последовательностей

### **Управление в вариабельной ситуации**

Вариабельная ситуация в управлении является разновидностью модели информационной ситуации. Вариабельность обусловлена изменениями условий движения, включая появление помех движению. Автоматизированное управление является одним из средств управления в вариабельной ситуации. Оно характеризует наиболее простые ситуации управления. По мере роста сложности автоматизированное управление заменяют на интеллектуальное и на киберфизическое.

Автоматизированное управление широко применяется в технических и живых системах. Цель управления, если она одна, связывают с изменением во времени регулируемой и управляемой характеристики. такой характеристикой может быть состояние, режим или параметр, а также противодействие внешним воздействиям. Для осуществления цели управления организуют целенаправленное воздействие на управляющие органы объекта, это воздействие называют управляющее воздействие.

В условиях непредсказуемых воздействий и учета множества факторов управление становится многоцелевым. При этом важность выбора целей определяется текущей ситуацией. Многоцелевое управление характерно для управления подвижными объектами особенно в условиях мегаполиса.

Многоцелевое управление также основано на использовании управляющих воздействий. Необходимость много целевого управления обусловлена необходимостью оперативной адаптации к изменениям внешней среды. Для учета изменения внешних факторов применяют

адаптивные системы как системы, реагирующие на множество факторов.

Если возникает необходимость не только адаптации, но и восстановления, то применяют другой тип систем. Для восстановления систем в целевое состояние были разработаны самонастраивающиеся (самоорганизующиеся) системы. В самоорганизующихся системах (особенно в живых) для достижения цели может меняться и её структура.

Если в процессе самоорганизации происходит изменение структуры, то такие системы называют системы с переменной структурой [16, 17]. Наиболее широкие возможности самоорганизующихся систем проявляются в том, что они могут улучшать структуры, алгоритмы поведения, алгоритмы реакции на внешние воздействия. Большое значение такое управление имеет для железной дороги, которую можно рассматривать как геотехническую систему. В настоящее время появляется новая модель управления железной дорогой, которая называется цифровая железная дорога [17-20]. В этом типе управления используется субсидиарное [21-23], автономное и адаптивное управление [24, 25]. Для этих моделей управления большое значение имеет линейное управление.

### Принципы управления.

На рис.1 показано входное воздействие  $u(t)$  и поведение выходного сигнала или результирующего состояния (режим)  $Y_{\text{вых}}$ . Входное воздействие начинает действовать с момента времени  $t_0$ . На рис. 2 показаны переходные процессы для выходного сигнала в статических (1) системах управления и астатических (2) системах управления.

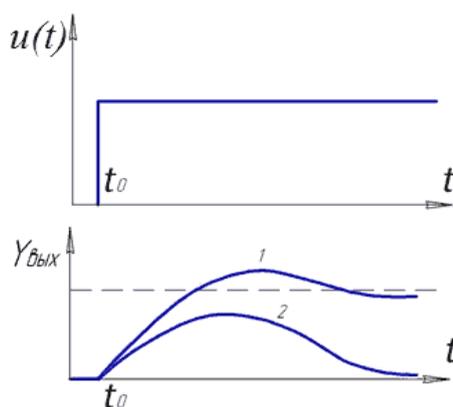


Рисунок 1. Входное воздействие  $u(t)$ , выходной сигнал (состояние)  $Y_{\text{вых}}$

На рис.2. показаны характеристики статического и астатического алгоритмов. Для статических систем регулирования статическая характеристика изображается наклонной прямой (рис.2а). Для астатических систем регулирования статическая характеристика всегда изображается прямой, параллельной оси абсцисс (Рис. 2,б).

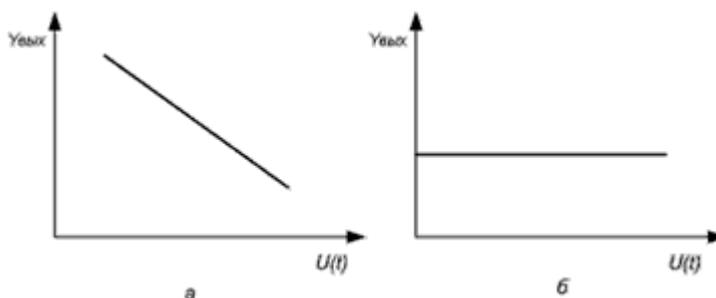


Рисунок 2. Характеристики а) статического и б) астатического алгоритмов управления

Внешние воздействия существуют в виде двух видов: управляющие и возмущающие. Одна и та же система управления (регулирования) может быть астатической по отношению, например, какому-либо возмущающему воздействию и статической по отношению к управляющему воздействию и наоборот. Влияние возмущающих воздействий на объект управления или модель обработки можно компенсировать компенсацией по возмущению  $\Delta\varphi$  или компенсацией по отклонению регулируемой величины  $\Delta x$  от ее заданного значения  $x_0$ . Соответственно, разделяют два типа алгоритмов: алгоритм по возмущению (реактивный алгоритм) и алгоритм по восстановлению.

В первом случае работа алгоритма основана на контроле возмущающих воздействий. Такой подход применяют в системах безопасности. В таких системах и алгоритмах воздействие на объект управления или обработки осуществляется почти без запаздывания по отношению к моменту возникновения возмущения, т.е. еще до того, как успеет существенно измениться значение регулируемой величины. В этом достоинство систем. Недостатком такой системы является высокая чувствительность как к существенным, так и несущественным воздействиям. Поэтому небольшая флуктуация, а также неизбежные неточности в работе системы регулирования будут вызывать отклонения регулируемой величины, накапливающиеся со временем и зачастую выходящие за допустимые пределы.

При работе алгоритма или системы по отклонению регулируемого параметра исключается возможность неоправданного срабатывания алгоритма. Недостаток этих систем и алгоритмов в том, что регулирующее воздействие на объект управления всегда идет с задержкой и, следовательно, будет запаздывать по отношению к изменению состояния. Сочетание достоинств с устранением недостатков этих систем возможно в комбинированной системе, в которой управляющее воздействие производится по возмущению (или по нескольким возмущениям) и по отклонению регулируемой величины от заданного значения.

Разгонной характеристикой (рис.3) называют зависимость изменения выходной регулируемой величины  $Y_{\text{вых}}(t)$  от времени.

Разгонная характеристика является важным управляющим фактором, поэтому ее предварительно устанавливают для объекта управления. Для получения разгонной характеристики применяют эталонное ступенчатое воздействие к объекту регулирования или к алгоритму. В виду того, что сложные регулируемые объекты имеют различные динамические свойства при различных видах воздействий, разгонные характеристики снимают при управляющем  $u(t)$  и возмущающем  $\varphi(t)$  воздействии, либо воздействии, приложенном к исполнительному механизму (состоянию)  $x(t)$ . Это означают, что задают искусственные помехи и изучают поведение объекта в этих условиях.

Способность объекта управления приходить после воздействия на него в новое установившееся состояние называется свойством самовыравнивания. У объектов или алгоритмов с самовыравниванием каждому значению возмущающего воздействия соответствует свое установившееся значение регулируемого состояния, согласно величине воздействия.

На рис.3  $T_a$  - время разгона для объекта управления (ОУ), в течении которого регулируемый параметр изменится от своего начального значения в момент времени  $t_0$  до заданного значения, отвечающему величине воздействия, с постоянной максимальной скоростью, соответствующей наибольшему дисбалансу. Для определения  $T_a$  проводят касательную к кривой разгона из точки

$t=0$ . Касательная отсекает отрезок на оси времени, при пересечении касательной и заданного значения регулируемой величины, определяемого величиной воздействия.

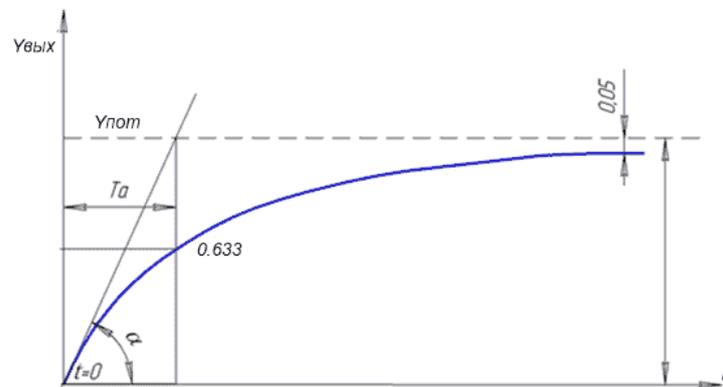


Рисунок 3. Разгонная характеристика

Практика получения разгонных характеристик показывает, что для многих ОУ с самовыравниванием время разгона  $Ta$  соответствует времени, прошедшему от момента возникновения возмущения до момента достижения регулируемой величины значения, равного 0,633 потенциального значения  $Y_{пот}$ . Величина обратная времени разгона называется скоростью разгона  $Vp=1/Ta$

Коэффициентом самовыравнивания называют показатель  $\rho$ , связывающий скорость динамику воздействия на систему (объект) со скоростью изменения регулируемого параметра/

$$\rho = -\frac{d\phi/dt}{dy/dt} = -\frac{d\phi}{dy}, \quad (1)$$

Знак минус в выражении (1) указывает, что самовыравнивание имеет место тогда, когда отклонение параметра вызывает уменьшение причины отклонения. Величина, обратная коэффициенту самовыравнивания, называется коэффициентом передачи усиления  $K=1/\rho$ . Отношение времени разгона  $Ta$  к коэффициенту самовыравнивания дает динамическую постоянную времени «Тд».

$$T_d = Ta/\rho = K Ta$$

$T_d$ - учитывает динамические и статические свойства в отличие от  $Ta$ . Время достижения конечного значения регулируемой величины называется временем переходного процесса  $T_{пп}$

#### Заключение.

Управление подвижными объектами в условиях помех движению требует применения статического или астатического управления. Статическое или реактивное управление объектами транспорта означает, что объект управления преодолевает помеху, но в дальнейшем двигается с опозданием от графика. Этот вид управления использует достаточно простой алгоритм и поэтому прост в реализации. Статическое или восстанавливающееся управление объектами транспорта означает, что объект управления преодолевает помеху и восстанавливает временной график движения. Этот вид управления использует более сложный алгоритм и требует специальных условий в реализации. Эти алгоритмы применимы для одно целевого и много целевого управления. Системы и алгоритмы многоцелевого управления используют

методы построения многоцелевого управления и закономерности многоцелевых воздействий и много целевых реакций. Для этого исследуют на динамических моделях особенности алгоритмов и реакций управляемых объектов.

Использование астатического управления подвижными объектами дает увеличение эффективности движения с возможностью интервального регулирования движения [26]. Астатическое управление особенно эффективно при ситуационном управлении [27, 28] в условиях возможной динамики условий и существенного влияния случайных факторов внешней среды. Однако применение этого подхода требует привлечения дополнительных математических методов управления, которые в обычном управлении транспортом не используют. Сущность астатического управления исключить по возможности принятие решений человеком. Эффект астатического управления в повышении оперативности принятия решений. Можно рассматривать астатические системы управления как реактивные, то есть оперативно реагирующие на изменение ситуации. При этом преимущество таких 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.

Можно отметить область приложения данного подхода. Развитие автоматизированного управления связано также с финитным и сверхфинитным управлением объектов [29, 30]. Особенностью финитного управления является достижение системой своего положения равновесия за конечное время. При сверхфинитном управлении время достижения системой положения равновесия не зависит от начальных условий системы и ограничено некоторой константой. Очевидно, что рассмотренные статические и астатические алгоритмы полностью ложатся в финитное и сверхфинитное управление подвижными объектами.

### Список литературы

1. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.45-53.
2. 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.
3. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.34- 42
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
5. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60
6. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. - Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
7. Смирнов М.Н., Федорова М.А. Компьютерное моделирование системы астатической стабилизации курса морского судна // Процессы управления и устойчивость: Труды 41-й международной научной конференции аспирантов и студентов. СПб.: Издат. Дом С.-Петербур. ун-та, 2010. С. 495-500
8. Фам Суан Куен Методика планирования полета легкого беспилотного летательного аппарата: дис., к.т.н. Спец. 05.13.01 – М.: НИУ (МАИ). – 155с.

9. Козлов А.В. Многоцелевое субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.17-28.
10. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, № 2 (2).- P.140-143
11. Веремей Е. И., Сотникова М. В. Многоцелевая структура законов управления морскими подвижными объектами //XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – 2014. – С. 3289-3300.
12. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
13. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies, 2012, №1 (1). P.40-44.
14. Смирнова М. А. Динамическая коррекция многоцелевых законов управления подвижными объектами: дис., к.т.н. Спец. 05.13.01 – Санкт-Петербург.: СПбГУ, 2015, -108с.
15. Francis B. A., Georgiou T. T. Stability theory for linear time-invariant plants with periodic digital controllers //IEEE transactions on Automatic Control. – 1988. – Т. 33. – №. 9. – С.820-832.
16. Емельянов С. В. Системы автоматического управления с переменной структурой //Нелинейная динамика и управление. – 1967. – №. 5. – С.5-26.
17. Дыда А.А., Маркин В.Е. Системы управления с переменной структурой с парными и нелинейно деформируемыми поверхностями переключения//Проблемы управления–2005–№. 1.
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. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С.50-61
21. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. - №6. - С.40-43.
22. Козлов А.В. Субсидиарные системы и технологии. - Saarbruken. : Palmarium Academic Publishing, 2019. –125 с. ISBN 978-3-659-89076-5
23. Логинова А. С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.165-169
24. Карпов Л. Е., Юдин В. Н. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов //Труды Института системного программирования РАН. – 2007. – Т. 13. – №.2.
25. Панфилова Т. А. Стохастические адаптивные алгоритмы повышения надежности программного обеспечения: дис., к.т.н. Спец. 05.13.01 –Красноярск. СГУНиТ, 2017 - 142с.
26. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
27. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. - №2. – С.42-46.
28. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Объектные и ситуационные модели при управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 2(2). – С.2-10.
29. Зименко К. А. Методы финитного управления на основе теории однородных систем: дис., к.т.н. Спец. 05.13.01 – Санкт-Петербург. СПбНИУИТМО – 2018, - 120с.
30. Hao Zhang Nondeterministic linear static finite element analysis: an interval approach. – Georgia, Ph.D. dissertation at School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of

Technology, Georgia, USA. 2005.

УДК: 334.71: 656: 338.245

## РЕГЕНЕРАЦИЯ БОРТОВЫХ БАЗ ДАННЫХ

**Матчин В.Т.** Ст. преподаватель, Институт информационных технологий, МГУ (МИРЭА), E-mail: matchin.v@gmail.com, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье исследуются бортовые базы данных подвижных объектов. Показано сходство и различие бортовых баз данных с обычными базами данных. Статья рассматривает задачу регенерации бортовых баз данных, которые используют при управлении подвижным объектом. Показано различие между обновлением и регенерацией. Описана методика регенерации информации в банках данных пространственной информации. Описана регенерация при использовании тайловой структуры. Применение тайлов характерно для хранения изображений. Такой подход позволяет на 3-4 порядка сокращать объем хранимой информации. Описан механизм регенерации тайловой информации в банке пространственных данных. Описан перспективный проект модернизации бортовой базы данных на основе спутниковых технологий.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, базы данных, бортовые базы данных, мобильные объекты, интеллектуальное управление.

## ONBOARD DATABASE REGENERATION

**Matchin V.T.** Senior Lecturer, Institute of information technologies, MTU (MIREA), E-mail: matchin.v@gmail.com Moscow, Russia

**Annotation.** The article explores on-board databases of moving objects. The similarities and differences between airborne databases and conventional databases are shown. The article considers the task of regeneration of airborne databases, which are used to control a moving object. The difference between renewal and regeneration is shown. The technique of information regeneration in the data banks of spatial information is described. Regeneration using a tile structure is described. The use of tiles is typical for storing images. This approach allows reducing the volume of stored information by 3-4 orders of magnitude. The mechanism of tile information regeneration in the spatial data bank is described. A promising project to upgrade the on-board database based on satellite technology is described.

**Keywords:** transport, management, databases, airborne databases, mobile objects, intelligent control.

### Введение

При движении наземных и воздушных транспортных средств возникает задача оперативного обновления информации о состоянии и положении подвижного объекта в пространстве [1]. Эти задачи решают стационарные и бортовые базы данных. Чтобы эффективно использовать бортовую информацию необходимо, чтобы бортовая система оперативно извлекала нужную информацию и оперативно обновлялась актуальной информацией. Для управления движением

база данных должна содержать такие наборы данных, температура, влажность, данные географических атрибутов, ситуационная обстановка и другие. Базы данных, которые используют пространственную интегрированную информацию называют базами геоданных (БГД) [2, 3]. Бортовые базы данных являются базами данных с пространственной информацией. Данные, которые хранят базы геоданных, называют геоданными [4-6]. Такие базы широко применяют в геоинформатике и пространственном анализе. Системы управления в интеллектуальной транспортной системе используют такие БГД как основу анализа и управления. Информация, поддерживаемая базой данных геоданных, является инструментом описания реального мира. Особенность ГБД – двойственное представление информации в визуальном и цифровом виде. При работе с бортовой базой данных важны методы формирования геоданных и структура бортовой базы данных. особенностью бортовых баз данных является быстрая смена окружающей ситуации или модели информационной ситуации. Частая смена информации ставит задачи обновления баз данных [7] Для бортовых баз данных это трансформируется в технологию регенерации, которая отличается от технологии обновления.

### **Особенности бортовой базы данных**

Бортовые базы данных (ББД) имеют ряд особенностей, отличающих их от других баз данных. Одна из особенностей бортовой базы данных в приме внешней информации по каналам связи, минуя ручной ввод информации. Другая особенность бортовой базы данных в наличие специального программного обеспечения, которое решает специальные задачи, например, определение местоположения. В силу этого такая база данных имеет дополнительное оборудование приемный блок, портативный компьютер и мобильный, приемную антенну, даже, устройства мобильной связи, бортовой распределитель данных. Бортовая БД тесно связана с системой управления подвижным объектом. Это может быть автоматизированная система управления транспортом [8-10], интеллектуальная система [11, 12] или киберфизическая транспортная система [13, 14]. Еще одной важной особенностью ББД является то, что информация в ней не обновляется, а регенерируется. Технология обновления означает простую замену одной информации на другую. Такая технология подходит для баз данных, в которых информация хранится в виде независимых фреймов и моделей. Бортовые базы данных это пространственные базы данных, в которых существует сильная связанность между хранимыми моделями. Простое обновление может нарушать связанность в ББД. Подвижный объект хранит в базе данных глобальную и локальную информацию.

Глобальная информация - это информация о всем возможном маршруте движения. Локальная информация описывает информационную ситуацию вокруг объекта. Можно говорить о внутренних глобальной и локальной базе данных. По мере движения информация в локальной базе данных меняется соразмерно изменению ситуации вокруг объекта. Регенерация состоит в замене информации локальной базы данных на информацию из глобальной базы данных. Эта модель напоминает модель скользящего окна при обработке изображений и модель скользящего среднего при обработке числовых рядов. Регенерация может быть прямой и обратной, что соответствует движению объекта в прямом и обратном направлениях.

Принципиальной особенностью регенерации ББД является то, что она сохраняет связанность информации между локальной и глобальной базами данных. В ББД регенерация обусловлена движением объекта и сменой обстановки при движении объекта. В терминах информационного поля локальная база данных содержит параметры информационной ситуации

[15], которая окружает объект и изменяется в процессе движения объекта. Такая информационная ситуация может быть рассмотрена как процессуальная [16].

### **База изображений**

База геоданных и ББД, как правило, включает две базы: базе данных изображений (БДИ) и базу данных цифровых моделей (ЦБД). Это обусловлено разными способами хранения визуальной информации и цифровой информации. В последние годы существенно расширилось применение средств когнитивной графики, в том числе и для визуализации пространственной информации. Пространственные изображения обладают высокой степенью наглядности и информативности. Повышение требований к качеству изображений предусматривает повышенные требования к производительности систем формирования трехмерных изображений. Чем точнее и качественнее представляется объект, тем больший объем данных потребуется для его описания и хранения.

Представление информации в БГД и ББД осуществляется в виде картографических изображений, 3D-моделей. Одно из назначений базы изображений ББД - формирование визуальной модели. На практике этот процесс основан на организации данных в виде тайловой структуры. Следует отметить, что при выводе на дисплей векторная модель преобразуется в растровое изображение. Тайл представляет собой стандартизованную порцию информации, которая фрагментирует изображение, и которая хранится в базе данных.

Тайл (англ. *tile* - плитка) [17] в компьютерных картографических сервисах - один из квадратных фрагментов, на которые разбивается растровое изображение. Каждый тайл представляет собой изображение формата jpeg (спутниковые снимки) или png (карты, слои) и хранится в файле с уникальным именем, которое определяется координатами этого тайла по осям X и Y. Тайл может трактоваться по-разному. Синонимом термина «тайл» в информационном аспекте является «фрейм». Синонимом термина «тайл» в аспекте моделирования баз данных является «фрагментарная модель». Синонимом термина «тайл» в аспекте визуализации является «текстура» или «паттерн». Наложение текстуры является одной из основных задач визуального моделирования. Вспомогательной задачей при использовании текстур является задача их хранения и управления большими текстурами на графических процессорах.

Тайловая технология использует идеологию САПР. Она позволяет хранить небольшой набор тайлов вместо большого растрового изображения. То есть эта технология на порядки (1000) уменьшает объем хранимых растровых изображений [18]. Однако она требует построения информационных конструкций, которые формируют общее изображение из ограниченной совокупности тайлов. Большинство программ визуализации применяют тайлы размерами 256x256 пикселей. В частности, в ГИС «Панорама-АГРО» [19] принят именно такой размер тайлов.

Поскольку БДД содержит глобальную информацию, она должна быть предварительно наполнена и тем более центральная БД, которая может передавать эту информацию в ББД.

Рассмотрим условно изображение, полученное при сканировании листа формата А4 с разрешением 300 лин/инч. Результатом будет неструктурированный файл объемом примерно 25,6 Мбайт. Для описания полного покрытия этой же модели требуется около 400 участков, соответствующих тайлу. Как правило, фон повторяется, поэтому реальное число тайлов для покрытия такого изображения не превысит 100. Кроме того, если учитывать характеристику разнообразия, то объем уменьшится еще сильнее. Объем информации изображения,

соответствующий одному тайлу составляет 65536 пикселей (или байт) в предположении что все пиксели имеют разное значение. На практике изображение всегда имеет однородные зоны. Тайл формируют как однородный образ. Он может отражать фон – 1 байт или переход от одного фона к другому 256 байт. Таким образом информационная емкость для хранения снижается в 64000 или в 256 раз.

Поэтому объем хранимой информации при использовании тайлового метода существенно сокращается. Это достигается за счет перехода от неструктурированной информационной визуальной модели к структурированной модели и введения информационной конструкции для структурированной визуальной модели.

Процесс формирования тайловой структуры пространственных данных долгий и трудоемкий. Формирование (результатирующая модель) растровой карты России, базового масштаба 1 : 1 000 000, занимающей в векторном виде 95.7 МБ в формате SXF потребовало [20] исходную картографическую информацию в масштабе от 1 : 5 000 000 до 1 : 200 000. Эта информация содержала 686 тысяч объектов на 40 листах, с размерами растров в несжатом виде не более чем 2.7 Гб. К основной карте было добавлено 46 матриц высот общим объёмом 9.35 Гб.

Для формирования карты России масштаба 50 000 и общим количеством файлов около 17 миллионов, общим объемом 100 Гб требуется уже около двух недель работы. Поэтому остро встает вопрос о необходимости разделения данных по зонам и применения новой технологии обновления.

Одной из основных базовых программ работы с изображениями в БПД является программа Imagery Creator. Программа Imagery Creator позволяет создавать, обновлять и дописывать тайлы по различным масштабам одной или нескольких карт, растров, матриц. При этом старые тайлы, формируемых масштабов, обновляются.

Для повышения производительности можно распараллелить исходную вводимую информацию и запустить данную программу на нескольких компьютерах (рис.1). Для этой цели программу встроена функция частичной нарезки тайлов по строкам и столбцам. Данная опция позволяет проводить параллельные процедуры формирования тайлов на нескольких компьютерах.

Например, для файла цифровой карты, содержащей 4000 строк тайлов масштаба 10 000, процесс создания визуальной модели карты потребует несколько суток. При распараллеливании данного процесса на нескольких компьютерах, увеличится скорость создания визуальной модели в несколько раз и процесс создания визуальной модели сократится до полутора суток. В дальнейшем необходимо будет лишь перенести распараллеленные тайлы в банк пространственных данных. Процесс распределения данных на нескольких системах приведен на рис.1. Таким образом, процесс регенерации отражает скольжение информационной ситуации как окна по глобальной базе данных.

Другим важным процессом для БПД является процесс обновления уже введенных данных. Дополнительная проблема возникает при необходимости оперативно обновлять данные. Формально для этой цели можно выделить какое-то количество операторов, которые следили бы за изменением тех или иных участков векторных карт полей, матричных или растровых данных. Однако, если объем этих объектов исчисляется тысячами, или в карте меняется или утоняется всего лишь часть – уследить за изменением всех параметров простому оператору невозможно, да и процесс новой перестройки тайлов длительный.

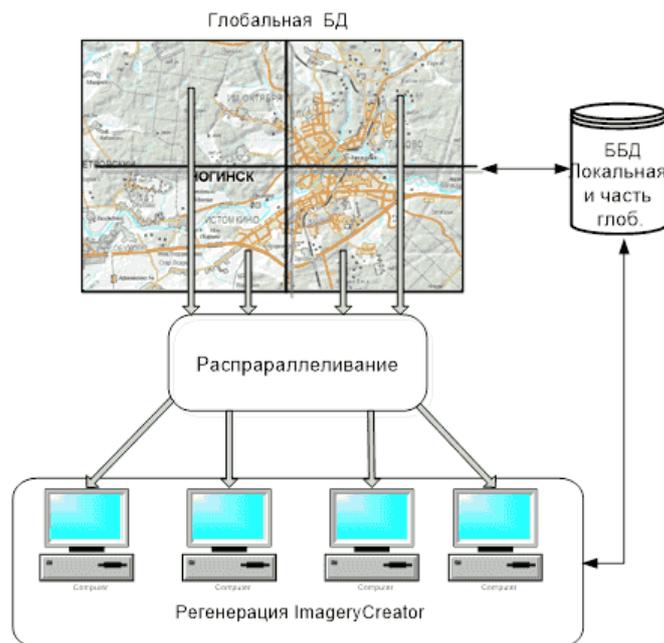


Рисунок 1. Регенерация данных на нескольких системах

По существу, возникает семантический разрыв [21] между реальной ситуацией и информационной ситуацией, описываемой данными БПД. Поэтому остро встает вопрос об автоматизации данного процесса.

#### **Автоматизированное обновление данных.**

В настоящее время за рубежом [22] и в России наблюдается тенденция применения методов искусственного интеллекта для обработки геоданных. Поэтому решения задачи обновления данных в БПД предложен, алгоритм автоматизированного обновления, который на основе правил осуществляет анализ и перестраивать области данных, в которых произошли изменения.

Операции с одним тайлом выполняются атомарно, как с одной информационной единицей [23]. При вычислениях для каждого массива необходимо оценить количество информационных единиц, к которым осуществляется доступ при выполнении операций вычислений. Эта оценка влияет на вычислительный алгоритм. Если часто используемые элементы структурированных массивов не помещаются в разделяемой памяти, необходимо уменьшить размер тайла [14].

На рис.2 представлена структурная модель алгоритма регенерации информации и СУБД, реализующая этот алгоритм.

На первом этапе, СУ изменяет, добавляет, удаляет пространственные данные, беря или добавляя их в БД. Для анализа изменения данных в глобальной БД (этап 1) используется ГИС, ведущая журнал транзакций. СУБД анализирует изменения в БД. В качестве основных параметров сравнения выступают текущее время и положение объекта движения.

На следующем этапе, данные попадают в ядро системы регенерации, в котором происходит анализ и сравнение предыдущего состояния системы и новых измененных данных. Для векторной информации этот анализ заключается в изменении и обработке внешнего вида объекта. На основе журнала транзакций СУБД устанавливает, какие объекты в информационной ситуации изменены. Далее математическое ядро системы виртуально воссоздает пространственное положение в тайловой модели нового и старого состояния объекта

и определяет область обновления данных.



Рисунок 2. Алгоритм автоматизированной регенерации БД

Для растровой информации, например форматов *gsw*, *mtg* и других, которые имеют блочную структуру, анализируется контрольная сумма каждого блока и, в случае её несоответствия, определяется пространственное положение в тайловой модели нового и старого состояния растровой информации. На третьем этапе, информация, полученная из ядра системы, анализируется, и на основе неё строится виртуальная матрица новых состояний тайлового пространства, состоящая из 0 и 1. Ноль обозначает сохранение тайла, единица говорит о необходимости его изменения. Данная матрица может изменяться и дополняться, поскольку СУБД может уже выполнять обновления БД.

СУБД может работать в фоновом режиме и следить сразу за несколькими проектами БД для разных подвижных объектов. Поэтому после завершения времени, выделенного на обновление, необходимо сохранять состояние тайлового пространства в виде матрицы состояния системы. В случае, если имеется уже новая матрица состояния и старая еще не завершена, необходимо объединить обе матрицы состояний и сохранить их. На шестом этапе матрица состояния системы накладывается на тайловое пространство, и на основании функций ядра происходит построение тайловых данных и запись их в БД. Аналитическая работа системы связана с построением и анализом матричных моделей.

Создание БД включает организацию данных, накопление данных, организацию структуры БД, организацию моделей запросов и механизм обновления или механизм регенерации.

Наряду с существующими технологиями предлагается перспективная технология применения бортовой базы данных [25] с использованием спутниковой информации. Эта технология приемлема для воздушного морского и железнодорожного транспорта. Система

включает бортовой распределитель данных, который по команде СУ извлекает изображения и информацию о положении объекта в пространстве или в локальной системе координат. СУБД БД должна обеспечить систему управления мобильным объектом пространственной, атрибутивной и временной информацией.

Для мобильных объектов характерно использование спутниковых технологий для управления [26]. Спутниковые приемники собирают информацию. В проекте the on-board autonomous geo-database management system (OAGMS) [26] процессор на борту обрабатывает данные и изображения и генерирует их в визуальные и цифровые модели. Генерация моделей и изображений создает условия для регенерации. Изображения для хранения сжимают и архивируют. Изображения архивируют только в соответствии с правилами СУБД. Бортовая БД хранит два типа данных глобальные геоданные и локальные геоданные. БД хранит существующие глобальные геоданные, включая данные атрибутов и локальные пространственные данные. Локальные пространственные данные называют также ситуационными, поскольку они описывают информационную и пространственную ситуацию, которые окружают подвижный объект.

Бортовая БД связана с системой управления подвижным объектом, которая управляет БД ее регенерацией (рис.2). Для регенерации локальной ситуации система управления загружает запрос на изображение по линии связи к геостационарным спутникам. Система управления данными на геостационарных спутниках выполняет поиск запрашиваемых данных изображения с изображения БД и через геодезические координаты, отправленные наземным объектом. Бортовая система управления данными одновременно выполняет поиск соответствующих геоданных в своих фондах и в фондах центральной базы данных.

По запросу данные спутникового изображения принимаются в качестве основы, а геоданные объекта накладываются на эту основу. После этого наборы данных интегрируются и сжимаются. Встроенный процессор данных, непосредственно загружает необходимую информацию. Скачанное изображение со спутника имеет вид картографического изображения или геокарты [25]. Регенерация данных спутникового растрового изображения с существующими геоданными является одной из важных задач.

Регенерация спутниковых изображений в проекте OAGMS для БД выполняется разными методами. Простейшее разделение хранимых изображений осуществляется по параллелям и меридианам. Это первый уровень регенерации. Он и служит для замены и регенерации изображений и данных с использованием географической сетки. Другой метод, или второй уровень регенерации, называемый «Бесшовная регенерация» означает, что изображения хранятся в одном и том же банке данных (чаще это центральный банк), а система управления мобильным объектом одновременно получают доступ к бортовой и центральной базе данных. Регенерация осуществляется методами информационного поиска и интеллектуального обновления банка данных.

Глобальная регенерация, или третий уровень, означает, что данные дистанционного зондирования и геоданные комплементарны и поддерживают друг друга. Эта технология самая сложная, так как требует преобразование данных между разными системами координат. Это также относится к регенерации.

Большинство зарубежных коммерческих пакетов ГИС и программ обработки изображений в настоящее время поддерживают только первые два уровня. Только несколько систем имеют третий тип функциональности интеграции [27]. Однако все схемы регенерации могут работать с

одним изображением и управлять двумя наборами данных.

Бортовая автономная система управления географическими базами данных (OAGMS) не только управляет огромными наборами данных изображений, связанными с геоданными и ЦМР, но также связывает их вместе. Например, либо векторные геоданные, либо растровые спутниковые изображения могут использоваться для запроса о реальной ситуации.

По сравнению с существующими системами БГД OAGMS управляет тремя внутренними базами: база цифровых моделей местности (DEM), база изображений (растровый компонент), база геоданных (векторный компонент). Внутренние базы связаны через уникальный идентификатор или классификатор. Все источники данных связаны между собой вместе. ББД создает новые возможности анализа по сравнению с БД. На борту мобильного объекта быстрый запрос необходим из-за высокоскоростного движения и перемены позиций спутников. ББД использует беспроводную коммуникацию. Этот предлагаемый проект основан на идее трех баз данных, включающих спутниковые изображения, поддерживаемые ассоциированной с базой геоданных данных. При регенерации и обновлении ортофотоизображения используются как географические эталонные слои. При регенерации проекции и системы координат, должны быть унифицированы.

#### **Заключение.**

Бортовая база данных является разновидностью пространственных баз данных. Бортовая база данных имеет ряд особенностей, отличающих ее от обычных баз данных. ББД связана непрерывно с глобальной базой данных. ББД содержит описание информационной ситуации, которая окружает подвижный объект. В связи с движением объекта для бортовой базы данных возникает проблема связанности данных при движении. Она решается путем согласования и комплементарности между локальной базой данных и глобальной базой. Поэтому внутри ББД должна быть модель глобальной и локальной базы данных. Большую роль в управлении подвижными объектами играет визуальная информация. В силу этого все пространственные БД, включая ББД, содержат две части визуальную и цифровую. Эти идеи отражены в предлагаемом проекте OAGMS, который основан на бортовой интеграции спутниковых данных и последующей регенерации геоданных. Этот подход основан на идее использования спутниковых изображений в качестве опорного слоя. Проект обеспечивает бесшовную связность спутниковых данных и геоданных [27].

#### **Список литературы**

1. Джанджгава Г. И., Сазонова Т. В., Шелагурова М. С. Методы формирования и структура бортовой базы данных о рельефе земной поверхности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – № 1 (162). – С.151-161.
2. Цветков В.Я., Матчин В.Т. Обновление баз геоданных. // Перспективы науки и образования. - 2015. - №5. - С.15-20.
3. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. - 2005. - Т. 11. № 3. - С.16-29.
4. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. -2009. - №4. - С.50-51.
5. Омельченко А. С. Геоданные как инновационный ресурс // Качество, инновации, образование. - 2006. - №1. - С.12- 14.

6. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук, 2014, том 84, № 9, С.826–829.
7. Цветков В.Я., Лобанов А.А., Матчин В.Т., Железняков В.А. Обновление банков данных пространственной информации // Информатизация образования и науки. - 2015. - № 1 (25). - С.128-136.
8. Афров А. М. и др. Единое автоматизированное управление распределенными объектами трубопроводных транспортных систем // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2008. – №. 1. – С. 46-57.
9. Соколов С. С., Беляева Н. А. Функциональная структура автоматизированной системы управления транспортно-складской инфраструктурой // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2012. – №. 3 (15). – С.124-129.
10. Панамарева О. Н. Технологии искусственного интеллекта в географических информационных системах для автоматизированных систем управления территориально-экономическими процессами // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2013. – №. 3 (19). – С163-170.
11. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.45-53.
12. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.34 - 42.
13. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.55-60.
14. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С.138-145.
15. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), P.2166- 2170.
16. Раев В.К. Процессуальные и дескриптивные информационные модели // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.28-32.
17. Wei L. Y. Tile-based texture mapping on graphics hardware // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware. – ACM, 2004. – С. 55-63.
18. Markelov V. Spatial Information Storage. // European Researcher. 2013, № 10-1.(60). – P.2374-2378.
19. Демиденко А.Г., Дышенко С.Г., Железняков В.А., Цветков В.Я., Новые возможности ГИС «Панорама» // Кадастр недвижимости. - 2010 - №3. – С. 101-103.
20. Железняков В.А. Интеллектуальное обновление информации в банке геоданных // Инженерные изыскания. -2012. - № 5. - С.58-61.
21. Чехарин Е.Е. Когнитивное моделирование как метод устранения семантического разрыва // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - 1 (13). – С.103-109.
22. Hill L. L. Georeferencing: the geographic association of Information. Massachusetts Institut of Technology, 2009.-272p.
23. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), P.57-64.
24. Полещук М.А. Оценка объема памяти, требуемой для выполнения макрооперации вычислительного алгоритма / Сборник работ 70-ой научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, 15–18 мая 2013 г., Минск: В 3 ч. Ч. 1

/ Белорус.гос. ун-т. - С. 226-230.

25. Zhou G., Kaufmann P. On-board geo-database management in future earth observing satellites//International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences. – 2002. – Т. 34. – №. 1. – С. 354-359.

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

27. Abdelrahim M., Coleman D., Faig W. Intelligent Imagery System: A Proposed Approach //International archives of photogrammetry and remote sensing. – 2000. – Т. 33. – №. B4/1; PART 4. – P.11-21.

28. Alkalai, L, 2001. An Overview of Flight Computer Technologies for Future NASA Space Exploration Missions, 3rd IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, April 2 - 6, Berlin, Germany.

УДК: 001.98

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИТУАЦИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ С МАГНИТНОЙ ЛЕВИТАЦИЕЙ

**Титов Е.К.** Заместитель директора, ООО «Функция ИТ»,  
E-mail: work\_evgeniy@mail.ru, Белгород, Россия.

**Аннотация.** Цель работы – исследование модели информационной ситуации при высокоскоростном движении. Рассмотрен транспорт, использующий магнитную левитацию - маглев. Описаны особенности и принципы функционирования маглев. Информационная ситуация рассмотрена как окружение подвижного объекта, который является ядром ситуации. Модель информационной ситуации упрощает анализ и управление движением. Статья анализирует свойства информационной ситуации, которые применимы при управлении высокоскоростным транспортом. Дано системное описание информационной ситуации, которое позволяет проводить системный анализ подвижных объектов. Статья показывает, что информационная ситуация является необходимым инструментом управления высокоскоростным движением.

**Ключевые слова:** транспорт, маглев, высокоскоростной транспорт, информационная ситуация, системная модель, обработка информации, стереотипы, ситуационная обработка

## INFORMATION SITUATION DURING CONTROL OF TRANSPORT WITH MAGNETIC LEVITATION

**Titov E.K.** Deputy Director, «IT Function» LLC; E-mail: work\_evgeniy@mail.ru,  
Belgorod, Russia.

**Annotation.** The aim of the work is to study the model of the information situation in high-speed traffic. The transport using magnetic levitation - muggle is considered. The features and principles of the functioning of muggles are described. The information situation is considered as the environment of a moving object, which is the core of the situation. The information situation model simplifies analysis and motion control. The article analyzes the properties of the information situation that are applicable in the management of high-speed transport. A systematic description of the information situation is given, which allows a systematic analysis of moving objects. The article shows that the information situation is a necessary tool for controlling high-speed traffic.

**Keywords:** transport, maglev, high-speed transport, information situation, system model, information processing, stereotypes, situational processing.

### Введение.

Управление подвижными объектами можно представить в виде схемы: «постановка задачи управления - алгоритм управления - решение задачи управления – управляющее воздействие» [1]. Это, так называемая, прямая управляющая цепочка, которая в полной технологии управления дополняется цепочкой обратной связи. Такую схему называют классической. При этом подразумевается, что исходные условия постановки задачи управления и условия решения

задачи управления не меняются. Это означает что динамика ситуации объекта управления в процессе решения на управление не влияет. На практике возникают иные ситуации, когда условия решения задачи управления меняются и становятся не комплементарными исходным условиям постановки задачи управления. В реальной практике условия получения решения управленческой задачи и условия управления могут меняться с течением времени [2]. Это характерно для двух видов управления: долговременного и коротко временной.

При длительном цикле управления, как правило, возникают непредвиденные воздействия на объект управления. При коротко временном цикле управления (высокоскоростной транспорт) малозначащие факторы при длительном и среднесрочном управлении начинают переходить в разряд весьма существенных факторов. В первом случае, который характерен для строительства или для правки пути в процесс управления вносят корректировки. Во втором случае для учета большего числа факторов, которые могут влиять на управление и состояние объекта управления необходимо расширить круг факторов, влияющих на состояние объекта управления и связывающих объект управления с окружающей средой. Это естественным путем приводит к модели информационной ситуации, которая включает объект управления и его микроокружение. Такие условия определяют необходимость ситуационной обработки информации и ситуационных методов принятия решений. Поезда на магнитной подушке, маглевы – самый быстрый вид наземного общественного транспорта [3, 4]. И хотя в эксплуатацию пока введено всего три небольших трека, исследования и испытания прототипов магнитных поездов проходят в разных странах. В силу этого важным является исследование ситуации движения.

#### **Магнитная левитация.**

Магнитная левитация – это технология, позволяющая поднимать объекты в воздух с помощью магнитного поля. Слово «левитация» происходит от английского «levitate», которое переводится как «парить» или «подниматься в воздух». Данное явление позволяет преодолевать гравитацию без применения методов аэродинамики [5, 6].

В технике магнитной левитацией называют методы подъема объекта и возможного его перемещения с помощью магнитного поля. Магнитное поле компенсирует ускорение свободного падения. Теорема Ирншоу доказывает, что, используя только ферромагнетики, невозможно устойчиво удерживать объект в гравитационном поле. Несмотря на теорему Ирншоу, левитация реализуема на практике с помощью сервомеханизмов, диамагнетиков, сверхпроводников и систем с вихревыми токами. В некоторых случаях дополнительно к магнитной левитации применяют механическую поддержку. Такие случаи называют псевдолевитацией.

При движении объекта необходимо обеспечивать статическую и динамическую устойчивость. Статическая устойчивость может быть интерпретирована как условие, при котором любое смещение из состояния равновесия заставляет равнодействующую силу выталкивать объект обратно в состояние равновесия. Динамическая устойчивость состоит в том, что левитирующая система может подавить любое возможное виброобразное движение.

Существует термин «маглев», которым обозначают способ, приводящий в движение транспорт, использующий магнитную левитацию. Данный способ быстрее и тише, по сравнению с колесным транспортом. Максимальная скорость маглева была зафиксирована в Японии в 2003[3] и составила 581 км/ч, что на 6 км/ч быстрее, чем рекорд TGV. На начало 2017 года единственным в мире поездом на магнитной подушке, находящимся в коммерческой

эксплуатации, является шанхайский маглев [7, 8].

Существует несколько технологий, которые позволяют добиться магнитной левитации: электромагнитная, диамагнитная, сверхпроводниковая. Достаточно долго идеи создания маглев опирались на патенты в разных странах. Следует выделить период с 1937 года по 1941 гг. когда в Германии были получены патенты к поездам, оснащенным линейными электродвигателями. Для справки, Московская монорельсовая транспортная система (2004) использует асинхронные линейные двигатели. Это первый в мире монорельс с линейным двигателем (рис.1)

Для маглев существуют две технологии электромагнитного подвеса EMS и EDS [9]. Технологии электромагнитного подвеса (EMS) для левитации используют электромагнитное поле, сила которого изменяется по времени.

Реализация данной системы очень похожа на работу обычного железнодорожного транспорта.



Рисунок 1. Московский монорельс – первая в мире монорельсовая система с линейным двигателем.

В технологии EMS применяют Т-образное рельсовое полотно, выполненное в основном металла. Поезд вместо колесных пар использует систему электромагнитов – опорных и направляющих. Опорные и направляющие магниты при этом расположены параллельно к ферромагнитным статорам, размещенным на краях Т-образного пути (рис.2).

Недостатком технологии EMS является то, что расстояние между опорным магнитом и статором (15 мм) должно контролироваться и корректироваться специальными автоматизированными системами и учитывать множество факторов. Система левитации в этом варианте функционирует с помощью электрических батарей, которые установлены на борту и подзаряжаются линейными генераторами, встроенными в опорные магниты.

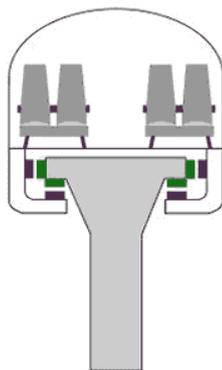


Рисунок 2. Технология магнитного подвеса EMS

В этом варианте при стоянке поезд сможет достаточно долго левитировать на батареях. На базе технологии EMS построены поезда Transrapid [10] а также шанхайский маглев. Поезда, использующие EMS, приводятся в движение и осуществляют торможение с помощью синхронного линейного двигателя низкого ускорения, представленного опорными магнитами и полотном. Это направление поддерживают немецкие инженеры. Технология магнитного подвеса EDS показана на рис.3.

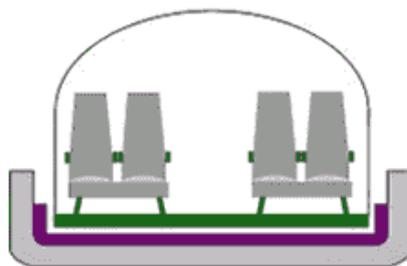


Рисунок 3. Технология магнитного подвеса EDS

В технологии EDS левитация происходит за счет взаимодействия магнитного поля в полотне и бортового поля, создаваемого сверхпроводящими магнитами на борту состава. В технологии EMS применены обычные электромагниты. В технологии EDS сверхпроводящие электромагниты проводят электричество даже после отключения источника питания. Охлаждая катушки в системе EDS можно экономить энергию, но криогенная система охлаждения, используемая для поддержания более низких температур в катушках, в свою очередь является дорогостоящей.

Преимуществом системы EDS является стабильность положения в системе «полотно – поезд». Эта стабильность обусловлена тем, что при незначительном сокращении расстоянии между полотном и магнитами возникает сила отталкивания, которая возвращает магниты в начальное положение. Дополнительно, увеличение расстояния снижает силу отталкивания и повышает силу притяжения, что дает противоположный эффект и стабилизирует систему.

Недостатком является то, что достаточная для левитации состава сила возникает только на больших скоростях. В силу этого поезд с системой EDS должен быть снабжен колесами, которые поддерживают движение при низких скоростях (до 100 км/ч).

Первое место в списке самых быстрых поездов на магнитной подушке занимает японский

JR-Maglev MLX01, который 2 декабря 2003 года на [3] испытательной трассе в Яманаси развил скорость – 581 км/ч. (рис.4).



Рисунок 4. Маглев JR-Maglev MLX01

Сильные магнитные поля требуют установки магнитной защиты в отделении для пассажиров. Для пассажиров с электронным стимулятором сердца или магнитными носителями информации путешествие в таком вагоне без специального экранирования противопоказано.

Маглев состоит из трех компонентов: большой источник электропитания, металлические катушки, облицовывающие направляющую или колею, большие направляющие магниты, прикрепленные к нижней части поезда

#### **Информационная ситуация как окружение подвижного объекта.**

Все подвижные объекты движутся в ситуации, которая тем масштабней, чем выше скорость объекта (рис.5).

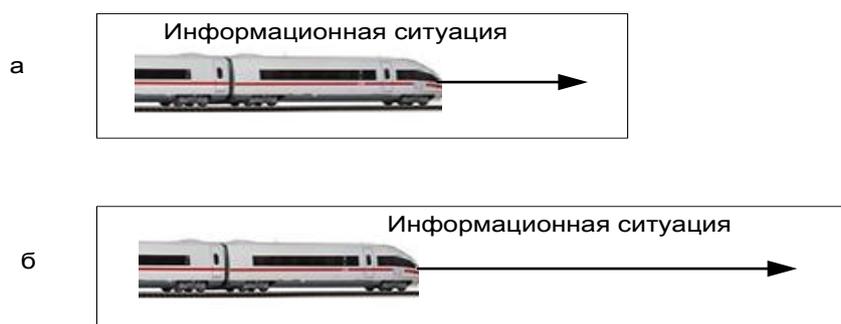


Рисунок 5. Зависимость масштаба информационной ситуации от скорости подвижного объекта

На рис.5 информационная ситуация выделена прямоугольником. На рис.5а скорость транспортного средства невысокая. Соответственно информационная ситуация меньше чем на рис.5б. Информационная ситуация является развитием понятия информационная модель.

Модель информационной ситуации применяется в управлении [11, 12]. Это дает основание

применять ее при управлении транспортом. Модель информационной ситуации применяют в геоинформатике [13, 14] и пространственном анализе [15]. Это дает основание применять ее при анализе высокоскоростного движения. Модель информационной ситуации применяют в систематике [16, 17], системном анализе [18]. Это дает основание применять ее при системном анализе и системном описании высокоскоростного движения как сложной системы.

Модель информационной ситуации применяют при решении прикладных задач [18, 19] и при обработке информации [20]. Это дает основание применять ее как основу для построения управленческих алгоритмов при управлении высокоскоростным движением.

Модель информационной ситуации может рассматриваться в теории нечетких множеств [21-23]. Это дает основание применять ее как основу для решения задач размещения объектов транспортной инфраструктуры. Пространственные отношения между объектами транспортной инфраструктуры трансформируются в информационные отношения [24] и также входят в информационную ситуацию.

С понятием информационной ситуации связано понятие ядра или главного объекта в данной ситуации. Для транспорта таким ядром является движущийся объект. С понятием ядра информационной ситуации связывают понятия микроокружения [25, 26] объекта. Микроокружением являются параметры условия решения задачи и часть их может быть избыточной. В работе [20, 27] введены два новых понятия: «Информационная ситуация – условие» и «Информационная ситуация - решение». Эти понятия могут быть применены как основа организации управления скоростным транспортом.

Информационная ситуация может быть рассмотрена как сложная система. В отличие от однородной сложной системы, информационная ситуация имеет неоднородные части ядро и семантическое окружение. Информационная ситуация имеет сетевую структуру. Это сближает ее к моделям сетевых и распределенных систем.

Аналогом подвижной информационной ситуации может быть выбран фрагмент сети. Фрагмент сети исключает рассмотрение всей сети и акцентирует внимание на ограниченном круге узлов и связей между ними. Топологически любая физическая сеть представляет собой совокупность вершин и связей между ними.

В частных случаях ребра между узлами описывают отношения между узлами. Сеть, с информационными отношениями между сущностями, применяют для представления знаний. Семантическая информационная система моделируется как неориентированный граф. Его вершины представляют понятия, а ребра представляют информационные отношения между понятиями [28]. Такая семантическая сеть может быть рассмотрена как семантическая информационная ситуация

Системный подход [29] дает возможность описать информационную ситуацию *InfSit* как модель сложной системы.

$$InfSit = \langle Os, Cint, Str, Cout, R \rangle, \quad (1)$$

В выражении (1) *Os* – ядро ситуации; *Cint* – внутренние связи в информационной ситуации. *Cout* – внешние связи информационной ситуации с внешней средой. *Str* – структура информационной ситуации, определяемая ее ключевыми параметрами. *R* – это отношения между параметрами информационной ситуации. Различие между сложной системой и информационной ситуацией состоит в том, что сложная система более однородна и активна. Информационная ситуация как процессуальная система может быть рассмотрена как алгоритм.

### Информационная ситуация как опыт.

Накопление опыта в исследовании информационных ситуаций позволяет их описывать как накопленный опыт или стереотипы. Стереотипная модель информационной ситуации, применяемой для управления, является прескриптивной моделью [30, 31]. Прескриптивная модель описывается функциональной последовательностью.

$$X \rightarrow A1 \rightarrow A2 \rightarrow Ai \rightarrow AN \rightarrow Y, \quad (2)$$

Для функциональной последовательности в выражении (2)  $X, Y$  входная/выходная информация. Обозначения  $Ai$  – этапы обработки информации,  $N$  – число этапов в цепочке обработки информации. В этом случае  $X, Y$  качественно разные массивы или объекты.

Для логической последовательности в выражении (2)  $X, Y$  входные /выходные логические выражения, отражающие содержательно информационную ситуацию. Обозначения  $Ai$  – есть логические выражения, осуществляющие преобразование исходного логического выражения. независимые процессы обработки информации,  $N$  – число этапов в цепочке логических преобразования. В этом случае  $X, Y$  качественно одинаковые объекты. поскольку логическое преобразование строится на тавтологиях.

На рис.6 информационная ситуация представлена как топологическая модель, которая может моделировать управленческий, вычислительный процесс или реальный маршрут.

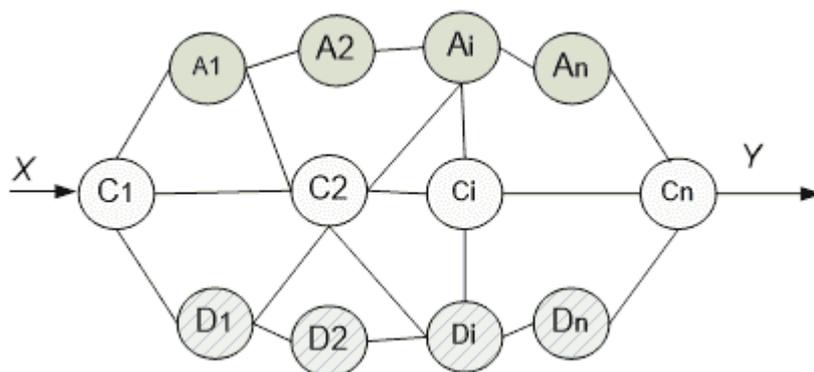


Рисунок 6. Информационная ситуация с возможностью выбора маршрута.

Вершины на рис.6 означают условия и переход к следующему этапу решений. При стационарных условиях для многовариантного решения находится оптимальный маршрут. Этим находится оптимальный маршрута при стационарных условиях. Модель на рис.6 становится нестационарной, если в процессе обработки меняются условия на вершинах и следствием этих изменений является необходимость изменение маршрута. Эта модель может называться многомаршрутным ситуационным алгоритмом.

### Заключение.

В настоящее время трудно предсказать, как маглев будет развиваться в будущем транспорта. Достижения в области беспилотного вождения автомобилей и авиаперелетов могут усложнить развертывание линий маглев. Одним из конкурентов становятся летающие автомобили. Относительно дорогие в настоящем, в будущем они могут превзойти железнодорожные системы, потому что им не нужны масштабные е проекты, чтобы оторваться от земли. Однако

для модели управления подвижным объектом во всех случаях необходимо принять информационную ситуацию. Модель информационной ситуации является широким понятием, которое сопровождает подвижный объект и может описывать разные ситуации. При этом существует система связанных моделей. Например, логическая ситуация служит средством проверки многих ситуаций.

Более сложной является функциональная информационная ситуация. Она характеризуется функциональными отношениями и правилами функциональных преобразований. Информационная ситуация может обозначать условие решения задачи. Информационная ситуация как процессуальная система может обозначать алгоритм обработки в условном параметрическом пространстве. Информационная ситуация как описание может обозначать маршрут в векторном пространстве. Ситуационная обработка информации является направлением развития методов управления транспортными средствами.

### Список литературы

1. Щенников А.Н. Информационные конструкции алгоритмов // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.54-60.
2. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С.5-10.
3. Lee H. W., Kim K. C., Lee J. Review of maglev train technologies //IEEE transactions on magnetics. – 2006. – Т. 42. – №. 7. – С. 1917-1925.
4. Holmer P. Faster than a speeding bullet train //IEEE Spectrum. – 2003. – Т. 40. – №. 8. – С. 30-34.
5. Mann B. P., Sims N. D. Energy harvesting from the nonlinear oscillations of magnetic levitation //Journal of Sound and Vibration. – 2009. – Т. 319. – №. 1-2. – С. 515-530.
6. El Hajjaji A., Ouladsine M. Modeling and nonlinear control of magnetic levitation systems //IEEE Transactions on industrial Electronics. – 2001. – Т. 48. – №. 4. – С. 831-838.
7. [https://www.tripadvisor.ru/Attraction\\_Review-g308272-d9594458-Reviews-Maglev\\_Transportation-Shanghai.html](https://www.tripadvisor.ru/Attraction_Review-g308272-d9594458-Reviews-Maglev_Transportation-Shanghai.html) Дата просмотра 7.11. 2019.
8. <https://www.chinadiscovery.com/shanghai/shanghai-maglev.html>. Дата просмотра 7.11. 2019
9. Long Z., He G., Xue S. Study of EDS & EMS hybrid suspension system with permanent-magnet Halbach array //IEEE transactions on magnetics. – 2011. – Т. 47. – №. 12. – С. 4717-4724.
10. Ono M., Koga S., Ohtsuki H. Japan's superconducting maglev train //IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. – 2002. – Т. 5. – №. 1. – С. 9-15.
11. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
12. Ознамец В. В. Мягкое ситуационное управление // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.57-62.
13. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. - №6. – С.64-69.
14. Шайтура С.В. Информационная ситуация в геоинформатике// Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – С.103-108.
15. Павлов А.И. Пространственная информационная ситуация // Славянский форум, 2016. -

4(14). – С.198-203.

16. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. - 2016. - №5 (23). - С.64-68.

17. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. - 2017. - №3(27). - С.13-19.

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

18. Tsvetkov V. Ya. Dichotomic Assessment of Information Situations and Information Superiority // European researcher. 2014. № 11-1 (86). P.1901-1909.

19. Сельманова Н.Н. Ситуационное оценивание в кадастре // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2018.- № 6. –С.55-61.

20. Титов Е.К. Ситуационная обработка информации // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.120-125.

21. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Задача размещения пространственного объекта на основе использования нечеткой информационной ситуации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018.- №2(64). – С.109-115.

22. Розенберг И.Н., Старостина Т.А. Решение задач размещения с нечеткими данными с использованием геоинформационных систем. - М. Научный мир, 2006. - 208с.

23. Боженюк А.В., Розенберг И.Н. Метод размещения центров обслуживания на интервальных графах. // Известия ТРТУ. - 2006, - №9 (64). – С.141-145.

24. V. Ya. Tsvetkov. Information Relations // Modeling of Artificial Intelligence. 2015. № 4(8). – P.252-260.

25. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10 – С. 21-24.

26. V. Ya. Tsvetkov. Semantic environment of information units // European researcher. 2014, № 6-1 (76). P. 1059-1065.

27. Титов Е.К. Многоаспектность информационной ситуации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С. 101-106.

28. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Цветков В. Я. Терминологические отношения // Фундаментальные исследования. -2009. - № 5. - С.146- 148.

29. Цветков В.Я. Теория систем: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2018. – 88 с. ISBN 978-5-317-05718-3.

30. Цветков В.Я. Дескриптивные и прескриптивные информационные модели // Дистанционное и виртуальное обучение– 2015. - №7. - С.48- 54.

31. Козлов А.В. Логические дескриптивные и прескриптивные модели // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении - 2018.- № 6. - С.3–8.

УДК: 528.9; 004.94

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

- Андреева О.А.** Заместитель генерального директора, АО «Транспутьстрой»,  
E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** Состояние существующих объектов, вынос в натуру проектов новых объектов транспортной инфраструктуры требует моделирования пространственной информации с помощью методов геоинформатики и геоинформационного моделирования. В статье рассматривается геоинформационное моделирование, основанное на применении мобильного лазерного сканирования, которое интегрирует различные технологии: фотограмметрическую съемку, лазерное сканирование, технологии глобальных навигационных спутниковых систем, обработку фотограмметрической информации, построение пространственных цифровых моделей. Принципы интеграции, заложенные в мобильном лазерном сканировании, упрощают геоинформационное моделирование объектов транспортной инфраструктуры.
- Ключевые слова:** транспорт, геоинформатика, геоинформационное моделирование, мобильное лазерное сканирование, пространственная информация, цифровое моделирование, трехмерное моделирование.

## THE GEOINFORMATION MODELING OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

- Andreeva O.A.** Deputy Head, JSC «Transputstroy», E-mail: andreeva\_olga@inbox.ru,  
Moscow, Russia
- Annotation.** The state of existing objects, the removal of new transport infrastructure objects into the nature of projects, requires spatial information modeling using geoinformatics and geoinformation modeling methods. The article discusses geoinformation modeling based on the use of mobile laser scanning, which integrates various technologies: photogrammetric survey, laser scanning, technology of global navigation satellite systems, processing of photogrammetric information, construction of spatial digital models. The integration principles inherent in mobile laser scanning simplify geoinformation modeling of transport infrastructure facilities.
- Keywords:** transport, geoinformatics, geoinformation modeling, mobile laser scanning, spatial information, digital modeling, three-dimensional modeling.

### Введение.

Современное пространственное моделирование существенно отличается от моделирования 10 и 20 – летней давности. Появляются новые методы, которые дополняют и обогащают современное моделирование. К числу новых методов следует отнести пространственную

логику [1, 2], когнитивную логику [3, 4], когнитивное пространственное моделирование [5], визуальное моделирование [6] и виртуальное моделирование [7]. При моделировании движения транспорта применяют мультиагентные методы и технологии [8]. При управлении транспортом мегаполиса применяют вероятностную логику [9] и комплементарные методы оптимизации [10, 11], при моделировании трасс применяют мобильное лазерное сканирование [12].

При моделировании пространственной ситуации применяют теорию нечетких множеств. Ранее пространственное моделирование включало в основном эвристическое и геометрическое и др. В настоящее время основой пространственного моделирования и пространственного анализа является геоинформационное моделирование [13, 14]. Это более широкий вид моделирования, чем моделирование с использованием ГИС или ГИС-моделирование. ГИС – моделирование привязано только к одной информационной системе – геоинформационной системе. Геоинформационное моделирование включает построение и преобразование пространственных моделей при использовании любых информационных и технических систем. Например, геоинформационное моделирование можно осуществлять с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

Геоинформационное моделирование можно осуществлять с использованием пакета цифрового моделирования CREDO. Геоинформационное моделирование можно осуществлять с использованием пакета программ автоматизированного проектирования Автокад. Геоинформационное моделирование можно осуществлять с использованием нейронных сетей. Геоинформационное моделирование можно осуществлять с использованием распределенной системы датчиков о состоянии земной поверхности и моделировать фигуру оползня [15].

При анализе состоянии объектов транспортной инфраструктуры возникает необходимость их моделирования. Преимуществом геоинформационного моделирования является то, что оно учитывает ряд важных пространственных факторов: пространственные отношения [16-18] и геореференцию [19, 20]. Геоинформационное моделирование позволяет получать цифровые модели. Геоинформационное моделирование позволяет получать пространственное знание [21, 22] и геознание [23, 24]. Геоинформационное моделирование поддерживает язык пространственной агрегации и качественные пространственные рассуждения.

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) является интегрированной технологией. Оно включает: геодезические работы, технологические работы по установке аппаратуры, фотограмметрическую съемку, лазерное сканирование, обработку информации, построение пространственных цифровых моделей, сравнение моделей с реальностью.

#### **Объект приложения геоинформационного моделирования.**

Результатом исследований и примером геоинформационного моделирования послужили работы по геоинформационному моделированию 3D-модели железнодорожного пути и созданию цифровых ортофотопланов для определения фактических значений геометрических параметров железнодорожной инфраструктуры на участке Санкт-Петербург – Кошта Октябрьской железной дороги

Работы выполнялись на основе данных, полученных ранее при выполнении мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки, совмещенной с воздушным лазерным сканированием. Фрагмент данных мобильного лазерного сканирования, полученный в псевдоцветах, приведен на рисунке 1

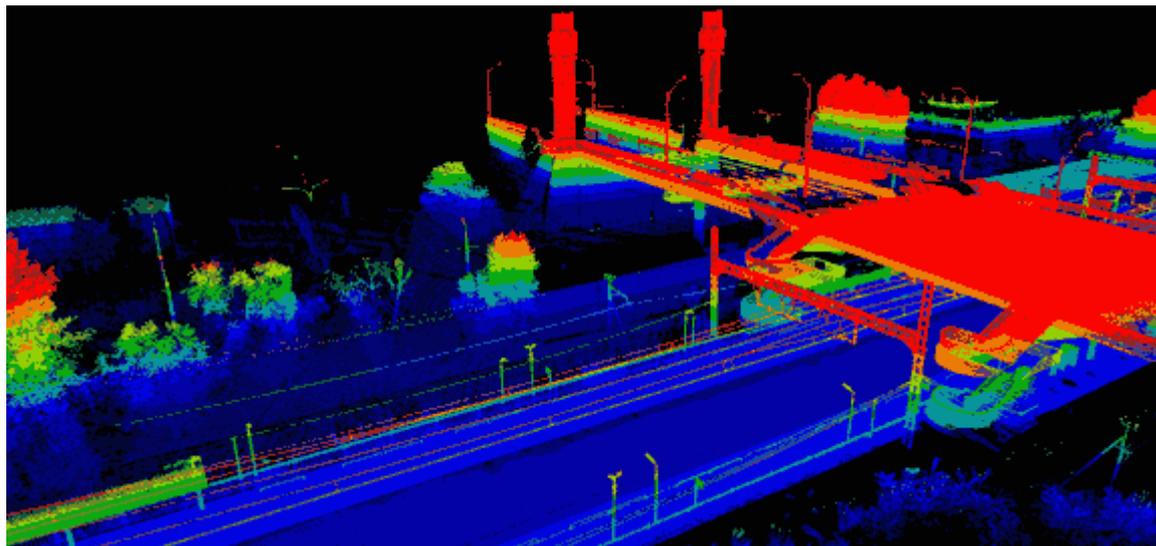


Рисунок 1. Пространственная ситуация мобильного лазерного сканирования. (ст. Санкт-Петербург-Сортировочная).

### Общая характеристика объекта

Участок Санкт-Петербург – Кошта Октябрьской железной дороги расположен на территории Ленинградской и Вологодской областей. Протяженность участка – 453 км. Схема участка представлена на рисунке 2.

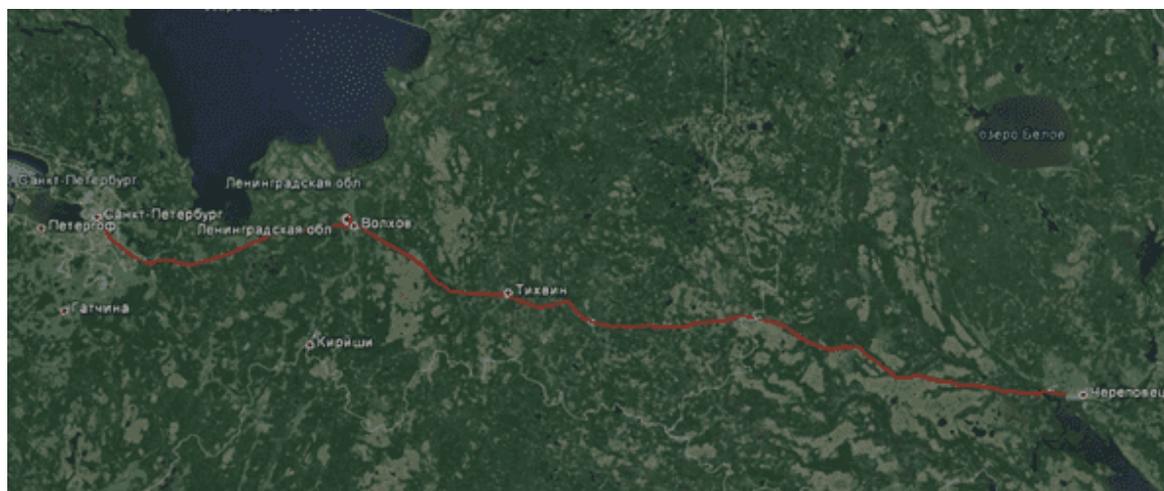


Рисунок 2. Схема участка работ

Современная Октябрьская дорога простирается с севера на юг от Мурманска до Москвы (свыше 2 тыс. км), при этом свыше 900 км расположено за Полярным кругом. В транспортной системе Северо-Западного региона России на долю железной дороги приходится 75 % грузоперевозок и 40 % пассажирских перевозок. Октябрьская железная дорога проходит по территории одиннадцати субъектов РФ — Ленинградской, Псковской, Новгородской, Вологодской, Мурманской, Тверской, Московской, Ярославской областей, городов Москва и Санкт-Петербург, Республики Карелия, а также частично по территории Эстонии, Латвии,

Белоруссии. Общая длина путей 10378,4 км., Управление находится в Санкт-Петербурге.

Ленинградская область - субъект Российской Федерации, расположенный на северо-западе европейской части страны. Входит в состав Северо-Западного федерального округа и Северо-западного экономического района. Территория — 83 908 км<sup>2</sup>, что составляет 0.49 % площади России. По этому показателю область занимает 39-е место в стране. С запада на восток область протянулась на 500 км, а наибольшая протяжённость с севера на юг составляет 320 км.

Область целиком расположена на территории Восточно-Европейской (Русской) равнины. Этим объясняется равнинный характер рельефа с незначительными абсолютными высотами (в основном, 50—150 метров над уровнем моря). Территория Карельского перешейка (а особенно его северо-западной части) отличается пересечённым рельефом, многочисленными скальными выходами и большим количеством озёр. Карельский перешеек является частью Балтийского кристаллического щита. Высочайшая точка Карельского перешейка — гора Кивисюръя высотой 203 м над уровнем моря (по данным финских довоенных топографов — 205 м), расположена неподалеку от посёлка Новожилово, в урочище Каменная гора.

Низменности в основном расположены по берегам Финского залива и Ладожского озера, а также в долинах крупных рек. Основными из них являются Выборгская, Приозерская, Приладожская, Предглинтовая (Приморская), Плюсская, Лужская, Волховская, Свирская и Тихвинская. Крупнейшими возвышенностями являются Лемболовская, Ижорская, Лодейнопольская, Вепсовская возвышенности и Тихвинская гряда.

Климат области атлантико-континентальный. Морские воздушные массы обуславливают сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно-тёплое, иногда прохладное лето. Средняя температура января  $-8... -11$  °С, июля  $+16...+18$  °С. Абсолютный максимум температуры  $+37,8$  °С (г. Тихвин), абсолютный минимум  $-52$ °С. Наиболее холодными являются восточные районы, наиболее тёплыми — юго-западные.

Территория области, за исключением небольшой крайне юго-восточной части, относится к бассейну Балтийского моря и имеет густую, хорошо развитую речную сеть. Общая протяжённость всех рек в Ленинградской области около 50 тыс. км. Крупнейшими реками, расположенными вдоль района работ являются Нева, Волхов, Тихвин. Также в области расположено 1800 озёр, в том числе Ладожское — крупнейшее в Европе. Значительная часть области заболочена.

Территория области расположена в зоне тайги в её средней (на севере области) и южной подзонах (большая часть области), незначительная часть — в зоне смешанных лесов (юг области — преимущественно в пределах Лужского района, а также островами на Ижорской возвышенности, Путиловском плато и в некоторых прилегающих к ним районах, например, в Кингисеппском. Леса занимают 55,5 % территории области. Лесные ресурсы сильно истощены.

Вологодская область — субъект Российской Федерации, входит в состав Северо-Западного федерального округа. Территория — 144 527 км<sup>2</sup>, что составляет 0.84 % площади России. По этому показателю область занимает 26-е место в стране. С запада на восток область протянулась на 670 км, а наибольшая протяжённость с севера на юг составляет 330 км. Вологодская область расположена на северо-востоке Восточно-Европейской равнины, рельеф здесь холмистый — чередуются низменности (Прионежская, Молого-Шекснинская), гряды (Андогская, Белозерская, Кирилловская) и возвышенности (Андогская, Вепсовская, Вологодская, Галичская, Верхневажская). Высота области над уровнем моря 150—200 метров. Поверхность — низменная равнина с множеством озёр, болот, рек и многочисленными

невысокими грядами и возвышенностями. На территории области водораздел Евразии между бассейнами Северного Ледовитого, Атлантического океанов и бассейном внутреннего стока (Каспийское море). На юго-востоке области — Северные Увалы. Климат умеренно континентальный с продолжительной умеренно холодной зимой и относительно коротким тёплым летом. Суровость климата возрастает с запада на восток. Средняя температура января от  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  на западе области до  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  на востоке, средняя температура июля соответственно от  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Осадков довольно много 500 – 650 мм в год (максимум в летние месяцы), испаряемость гораздо меньше, поэтому область богата реками, озёрами и болотами.

#### **Технология геоинформационного моделирования.**

На рис.3. приведена технология геоинформационного моделирования и показаны основные этапы работ.



Рисунок 3. Технология геоинформационного моделирования с использованием МЛС.

В соответствии с требованиями технического задания была выполнена классификация точек лазерных отражений. Классификация производилась в системе Местная Железнодорожная Система Координат (МЖСК). В ходе выполнения классификации, точки лазерного отражения (ТЛО), принадлежащие разным объектам местности сортировались на отдельные классы в соответствии с электронным классификатором (рис. 4). ТЛО классифицировалось на следующие классы:

- Земля (Ground)
- Растительность (Vegetation)
- Строения, здания, сооружения (Structure)
- Рельсовые нити (Rail)
- Остальное (Unselected)

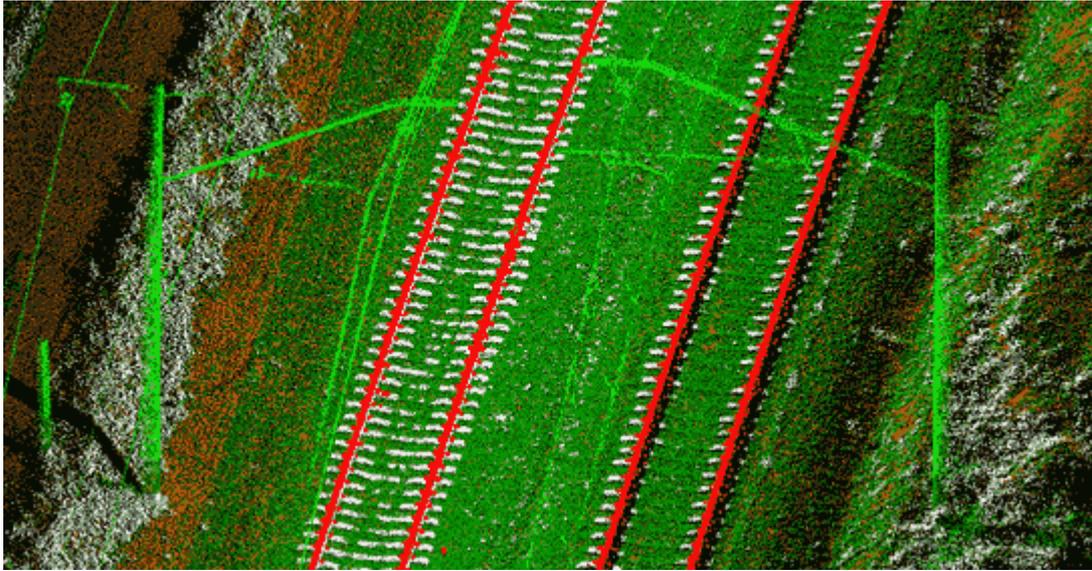


Рисунок 4. Классификация облаков точек мобильного лазерного сканирования

Цифровые модели рельефа (ЦМР) и растительности создавались с использованием классифицированных точек лазерных отражений. ЦМР создавалась в системе координат МЖСК. Для создания ЦМР использовались классифицированные ТЛО класса «Ground» (земля).

На следующем этапе создавалась 3D-модель железнодорожной инфраструктуры – пространственное отображение реально существующих объектов ж/д инфраструктуры с учетом их пространственного положения. Моделирование объектов ж/д инфраструктуры основывалось на следующих прескриптивных материалах:

- каталог объектов;
- правила формирования трехмерной модели инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- инструкция по атрибутированию объектов железнодорожной инфраструктуры.

В данных документах содержится вся необходимая информация об объектовом составе, степени детализации и атрибутивному наполнению элементов создаваемой 3D-модели.

Основной принцип моделирования состоял в построении сложной информационной единицы [25, 26] из простых информационных единиц. Объекты моделировались с использованием электронной 3D-библиотекой.

Электронная 3D-библиотека – это библиотека информационных пространственных единиц, графических информационных единиц [27] и 3D-информационных единиц. Информационные единицы компоновались в модель на основе точечной цифровой модели, которая позволяла обеспечивать информационное соответствие [28-30] между реальным и модельным плановым и высотным положением. Точечная цифровая модель помогает выбирать соответствующую конфигурацию и направление информационных единиц в трехмерной модели. Отдельные трехмерные информационные единицы представлены на рисунке 5.

3D-моделирование инфраструктуры ж/д пути выполнялось в четыре этапа:

1. векторизация данных ТЛО в соответствии с классификатором и техническими требованиями к 3D-модели ж/д инфраструктуры;

2. сведение и проверка 3D-модели;
3. атрибутирование объектов ж/д инфраструктуры в соответствии с каталогом, данными фотофиксации и данными, предоставленные заказчиком;
4. совмещение 3D-модели и поверхности Земли.

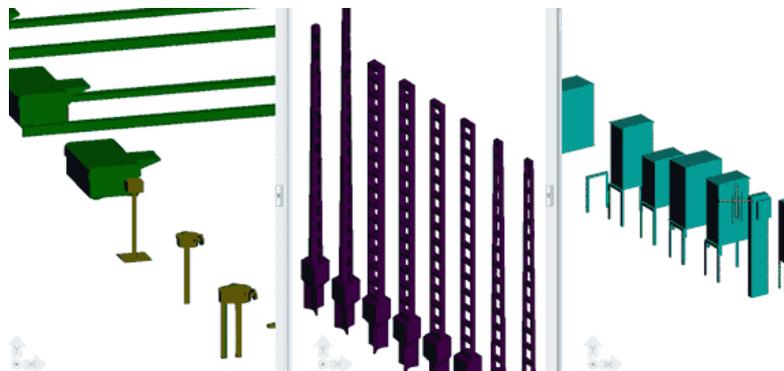


Рисунок 5. Трехмерные информационные пространственные единицы.

Моделирование осуществлялось по следующим категориям объектов:

- рельсовая нить основных путей;
- ось пути;
- шпалы основных путей;
- провода контактной сети (провод, трос) основных путей;
- провода электрической сети (подвешенные на опоры контактной сети);
- пересечения;
- опоры и фундамент контактной сети без консолей;
- тело платформы;
- ИССО;
- километровые/пикетажные столбы.

Фрагменты 3D-модели приведены на рисунках 6 – 8. Геоинформационное моделирование включает разные методы, на рис. 6 приведена чистая цифровая модель как трехмерный объект и трехмерный проект.

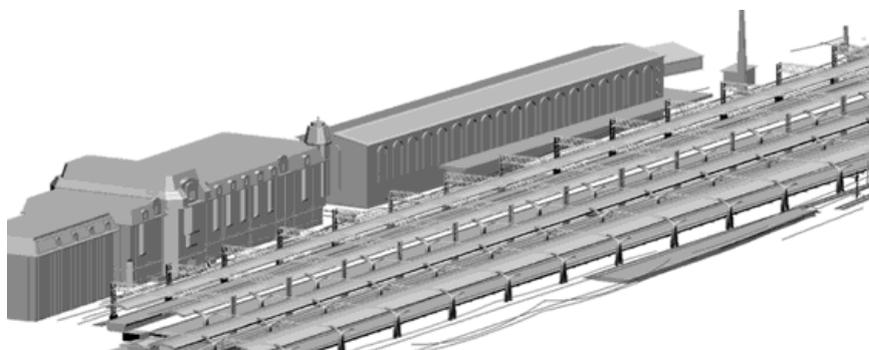


Рисунок 6. Трехмерная цифровая модель, сформированная на основе результатов МЛС (ст. Санкт-Петербург-Главный-Московский)

На рисунке 7 приведена цифровая модель, совмещенная с облаком точек лазерных отражений.

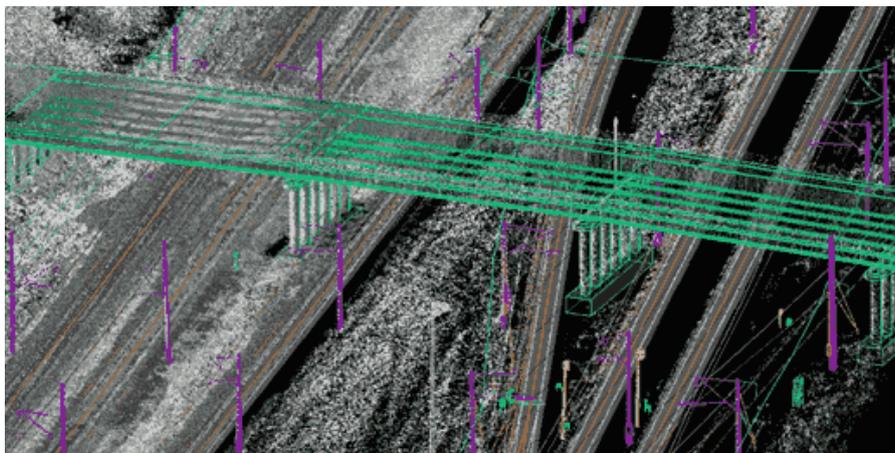


Рисунок 7. Цифровая модель, совмещенная с ТЛО (ст. Кошта)

Возможен вариант построения цифровой модели, совмещенной с результатом МЛС, полученным в псевдоцветах. Эта модель показана на рис.8.

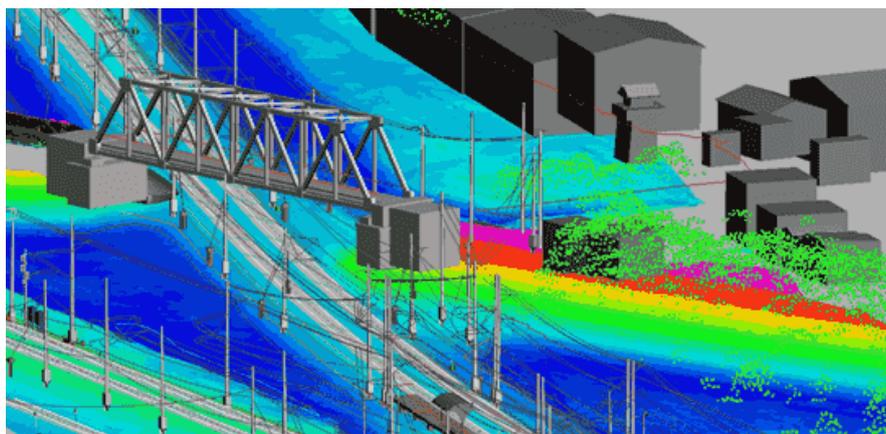


Рисунок 8. Модель в псевдоцветах, совмещенная с ЦМР и ТЛО (станция 5 км)

Согласно библиотеке, каждая информационная единица имеет свой слой с заданными характеристиками (цвет, толщина линии, стиль линии). Использование электронной 3D-библиотеки [31] позволяет свести к минимуму ошибки оформления объектов 3D-модели.

Геоинформационное моделирование и проверка 3D-модели включает соединение всех оцифрованных ж/д объектов в единый файл протяженностью в 5 км и их комплементарное взаиморасположение друг относительно друга. Геоинформационное моделирование включает графическое моделирование и атрибутивное (семантическое) моделирование.

После завершения графической части геоинформационного моделирования, производилась геоинформационное атрибутивное моделирование объектов. Оно состоит в присвоение объектам семантических характеристик и уникального кода согласно «Инструкции по атрибутированию объектов железнодорожной инфраструктуры». Первоочередными объектами

для атрибутирования являлись:

- километровые и пикетажные столбы (по данным фотофиксации);
- опоры контактной сети, светофоры (по данным фотофиксации);
- провода, рельсовая нить, шпалы (присваивался Class ID согласно каталогу);
- ИССО (по электронным таблицами, предоставленными заказчиком);
- остальным элементам присваивался Class ID согласно каталогу;
- фрагмент атрибутированных данных (пикетаж) представлен на рисунке 9.

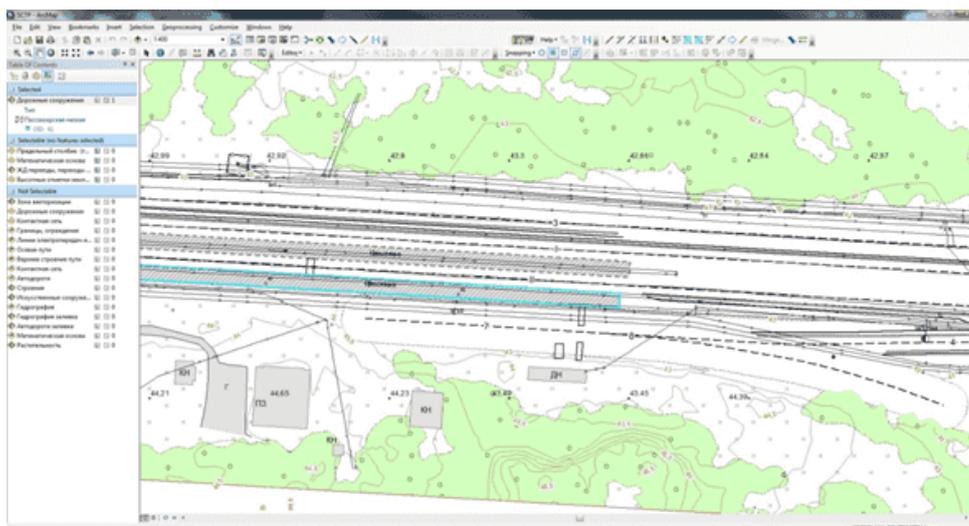


Рисунок 9. Результат геоинформационного атрибутивного моделирования (ст. Цвылево, 183-184км)

Контроль точности и качества готовой продукции проводился в соответствии с «ЧТЗ Утилита форматно-логического контроля» (приложение 6) и «Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» [32] для следующих видов данных:

- классификация точек лазерных отражений;
- цифровые 3D-модели инфраструктуры ЖД пути;
- цифровые ортофотопланы.

Все виды контроля производились в системе координат МЖСК. Для каждого набора данных выполнялись следующие виды контроля:

- для точек лазерных отражений - правильность дешифрирования и классификации ТЛО
- для цифровых 3D-моделей инфраструктуры ж/д пути:
  - точность моделирования объектов 3D-модели по ТЛО;
  - полнота объектового состава 3D-модели (пропуск объектов);
  - правильность топологии объектов 3D-модели;
  - соответствие 3D-модели каталогу объектов, правилам цифрового описания и электронному шаблону;
  - качество сводки отдельных частей 3D-модели;
  - полнота атрибутивной информации 3D-модели.
- для ортофотопланов:

- точность привязки ортофотопланов;
- качество «порезов»;
- качество тонового выравнивания изображения.

#### **Заключение.**

В результате геоинформационного моделирования с применением данных мобильного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки, совмещенной с воздушным лазерным сканированием, участка Санкт-Петербург – Кошта Октябрьской железной дороги протяженностью 453 км, были получены:

- классифицированные облака точек лазерного отражения;
- 3D-модели местности с атрибутивными характеристиками объектов инфраструктуры железных дорог;
- цифровые модели земной поверхности;
- цифровые ортофотопланы.

Следует констатировать что геоинформационное моделирование позволяет решать задачи построения объектов транспортной инфраструктуры в полном объеме и с высоким качеством.

#### **Список литературы**

1. Цветков В.Я. Пространственная логика в образовании и науке // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 2 (27). – С. 92-102. doi: 10.21777/2500-2112-2019-2-92-102
2. Цветков В.Я. Пространственные знания и пространственная логика // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С. 17-26
3. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Когнитивная и пространственная логика в ситуационных центрах // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.3 -16
4. Цветков В.Я. Когнитивная логика // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С. 106-110
5. Болбаков Р.Г. Когнитивное пространственное моделирование // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2019.- № 3 (13). – С.3-9.
6. Scicluna J., Abela C., Montebello M. Visual modeling of owl-s services //Proceedings of CSAW'04. – 2004. – С. 86.
7. Майоров А.А. Виртуальные модели при изучении логистики // Славянский форум. -2015. - 1(7) - С.169-176.
8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. - №6. – С.107-109.
9. Козлов А.В. Многоцелевое управление транспортом мегаполиса// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 4(8). – С.40-47
10. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.
11. Щенников А.Н. Неопределенность и комплементарность // Славянский форум. -2018. – 4 (22). - С.85-90/
12. Андреева О.А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.

13. Цветков В.Я. Геоинформационное моделирование // Информационные технологии. - 1999. - №3. - С.23- 27.
14. Савиных В.П. Геоинформационное моделирование в космических исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.109-117.
15. Скарнина Н.А. Решение задач расстановки сети датчиков при организации геоинформационной системы мониторинга оползнеопасных склонов Ганновер: Kybernetika-verlag // Кибернетика.-2011. - № 6.– С. 25-29.
16. Бахарева Н.А. Пространственные отношения как фактор оценки земель // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении.- 2018.- № 6. –С.61-69.
17. Цветков В.Я. О пространственных и экономических отношениях // Международный журнал экспериментального образования. - 2013. - №3. - С.115-117
18. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 5 - С.138-140.
19. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2012.- №3. - С.87 -89
20. Кулагин В.П. Геореференция в пространственных отношениях // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. - №5 (17). – С.80-86.
21. Цветков В.Я. Пространственные знания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2013. - №7. - С.43-47
22. Кужелев П. Д. Пространственные знания для управления транспортом // Государственный советник. – 2016. - №2. – С.17-22.
23. Кулагин В. П., Цветков В. Я. Геознание: представление и лингвистические аспекты // Информационные технологии. - 2013. - №12. - С.2-9
24. Ожерельева Т.А. Геознания. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №5. (часть 4) – С.669-669.
25. Tsvetkov V. Ya. Information Units as the Elements of Complex Models // Nanotechnology Research and Practice. - 2014, № 1(1), P.57-64.
26. Markelov V.M. The Application of Information Units in Logistics// European Journal of Technology and Design, 2014, № 4(6), P. 176-183.
27. Докукин П. А. Графические информационные единицы // Перспективы науки и образования. - 2015. - №3. - С.32-39.
28. Цветков В.Я. Информационное соответствие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №1 – 3. – С.454-455
29. Булгаков С.В. Информационное соответствие в геоинформационном моделировании // Славянский форум. - 2017. -4(18). – С.7-13.
30. Ожерельева Т.А. Информационное соответствие и информационный морфизм в информационном поле // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2017 -№4. – С.86-92.
31. Андреева О. А., Дышленко С. Г. Геоинформационное проектирование трехмерных объектов // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С. 39-46
32. «Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» ГНИНП (ГНТА)-17-004-99.

УДК: 001.895; 656.02; 656.2; 656.3

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ «ТРАНСЕВРАЗИЯ».

- Охотников А.Л.** Заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития АО «НИИАС», E-mail: a.ohotnikov@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 рассмотрена задача по обеспечению сухопутного транспортного коридора между Европой и Азией с участием России. Проведен анализ технических разработок в области железнодорожного транспорта для обеспечения безопасной и комфортной среды по перевозке грузов и пассажиров в кратчайшие сроки. Описаны основные направления развития технологий, которые составят основную базу для интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте для государств-партнеров. Затронута сфера применяемых технологий для поездов будущего. Дано описание технических требований для внедрения беспилотного управления.
- Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, беспилотное управление, автоматизация, роботизация, цифровая железная дорога, техническое зрение, кибер-физические системы.

## TECHNICAL SOLUTION FOR THE PERSPEKTIVE RAILWAY «TRANSEURASIA».

- Okhotnikov A.L.** Deputy Head, Center for strategic analysis and development of JSC «NIIAS», E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia
- Tsvetkov V.Ya.** D.ofSci.(Tech), Professor, deputy head of Center, JSC «NIIAS», E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** The article deals with the problem of providing a land transport corridor between Europe and Asia with the participation of Russia. The analysis of technical developments in the field of railway transport to ensure a safe and comfortable environment for the transport of goods and passengers in the shortest possible time. The main directions of development of technologies, which will make the basic base for intelligent control systems on railway transport for the partner States, are described. The sphere of applied technologies for trains of the future is touched upon. The description of problems of introduction of unmanned control is given.
- Keywords:** railway transport, driverless, automation, robotics, digital railway, technical vision, cyber-physical systems.

### Введение

Предложенная китайскими партнерами в 2013 году идея создания трансевразийского транспортного коридора должна соединить два огромных материка Европу и Азию, а также даст толчок для развития огромных территорий, экономик большого количества стран (150

стран – участников приняло участие во втором форуме в Пекине от 25 апреля 2019 года). Помимо этого, она даст возможность осуществить культурные, инвестиционные и научно-технические проекты.

Реализация данного мегапроекта должна стать образцом интеграции всех технических и технологических мировых разработок, повсеместной цифровизации и роботизации, применения квантовых технологий и киберфизических транспортных систем [1], а также позволит применить новые прорывные решения в области обеспечения безопасных и высокоскоростных перевозок, внедрению технологий предиктивной диагностики состояния инфраструктуры и подвижного состава, управления транспортными средствами (ТС) на основе беспилотных технологий, интернета вещей, big data [2], нейронных сетей, современных средств связи и технологий интеллектуального управления движением поездов и др.

Сейчас на долю стран участников Шанхайской организации сотрудничества (ШОС) приходится порядка 244 тыс. км железных дорог и 70% мирового грузооборота мира, на российские железные дороги приходится 28%. Поэтому важно использовать этот потенциал во благо создания оптимального железнодорожного коридора для перевозки пассажиров и различных грузов, объем которых постоянно растет. Российская железнодорожная сеть может играть существенную роль в реализации данного мегапроекта. Уже сейчас решается проблема разницы в ширине колеи с Китаем. Совместно разрабатываются технологии взаимодействия пограничных переходов между двумя странами и увеличивается количество пар поездов с 14 до 20 пар [3].

Так, «РЖД Логистика» и китайская транспортная компания Sinotrans договорились о сотрудничестве в области грузовых железнодорожных перевозок в международном сообщении. В Европу будут отправляться контейнерные поезда из провинций Китая, где присутствуют представительства компании, в том числе из Шеньяна, Циндао, Шилуна, Чанши, и других. Стороны предполагают осуществлять инвестиции в развитие терминальных комплексов, которые позволят увеличить грузопоток на маршруте Китай – Европа – Китай [4].

Одной из проблем, которая затрудняет активное участие российских железных дорог в проекте – устаревшая инфраструктура, включая Транссиб и БАМ. Реализуемый ОАО «РЖД» проект по модернизации этих дорог по оценкам в 520,5 млрд руб., безусловно позволит не только развивать экономику близлежащих регионов, но и повысит пропускную и провозную способность в полтора раза (к 2024 году до 180 млн. т грузов).

Также в рамках Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года запланировано 493 млрд руб. на развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона. Согласно утвержденного проекта планируется построить дополнительных главных путей 1310,3 км, разъезда 32 и реконструировать 29 железнодорожных станций [5].

ОАО «РЖД» активно рассматривается перспективный проект развития высокоскоростного грузопассажирского коридора «Евразия». Данное направление включено в проект Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД». Проектом предусматривается организация движения высокоскоростных грузовых и пассажирских поездов по ВСМ «Евразия» по маршруту Пекин – Урумчи – Астана – Челябинск – Екатеринбург – Казань – Москва – Красное и далее на Берлин в долгосрочной перспективе.

Если рассматривать строительство трассы «Москва-Пекин», которая изначально проектировалась как часть глобальной магистрали «Лондон-Пекин», то несомненно, необходимо говорить о том, что такая протяженная трасса должна быть высокоскоростной и

обеспечивать максимально быструю доставку как пассажиров, так и грузов до конечного пункта.

Проблемой для России в этом случае может быть отсутствие опыта строительства и эксплуатации таких высокоскоростных магистралей, что станет серьезным вызовом для созданного консорциума в который входят «Мосгипротранс», «Нижегородметропроект» и China Railway Eryuan Engineering Group (CREEC - Китайская инженерная железнодорожная корпорация «Эр Юань»). Работы по проектированию идут с 2015 года, а начало строительства было запланировано на октябрь 2018 года, но по решению Правительства России было отложено, о чем сообщил профильный вице-премьер Максим Акимов.

Сам проект ВСМ «Москва-Казань», который должен был стать ключевым звеном в трансграничной магистрали «ТрансЕвразия», постоянно критикуют, а стоимость проекта растет из года в год и в очередной раз переносится. В настоящий момент более актуальным в правительстве России видят проект строительства ВСМ «Москва-Санкт-Петербург» через Нижний Новгород, с потенциалом развития новой железнодорожной магистрали до Хельсинки (распоряжение Президента Российской Федерации В.В. Путина от 10.04.2019 №Пр-623). Также, новую магистраль из Москвы планируют соединить с Варшавой через Минск, в чем заинтересованы власти Республики Беларусь [6].

Решение задач по развитию инфраструктуры в рамках проекта «Один пояс - один путь» предполагает применение современных технических решений. Строительство высокоскоростного поезда, который будет собираться в России, будет базироваться на решениях двух ведущих мировых компаний Siemens и Alstom. Несмотря на то, что этими компаниями разработаны практически все технологические решения, которые были применены в высокоскоростном железнодорожном транспорте в мире, разработки наших китайских партнеров несколько не отстают от европейских коллег. Особенно это касается создание прототипа маглев 3.0, который будет развивать скорость до 600 км/ч, что на 200 км/ч быстрее, чем версия 2.0, причем этот поезд будет полностью автономным. На данный момент это самые быстрые пассажирские поезда на магнитной подушке, разработанные в Китае, хотя рекорд скорости принадлежит Японии – маглев в этой стране в 2015 году развил скорость до 603 км/ч. [7].

Современные технологии изготовления поездов подразумевают, что он должен оказывать влияние на окружающую среду как можно меньше. Многие компании ведут активную работу над созданием «зеленых» поездов. Текущие инновационные проекты направлены на сокращение потребления энергии, ликвидацию вредных выбросов и, в конечном счете, создание поезда с нулевым выбросом. Как вариант, для хранения энергии на борту поезда, возможно применять решения, основанные на использовании аккумуляторов и водорода, а сочетание тяги как дизельной, так и контактной сети с энергией от бортовых литий-ионных батарей, позволит существенно снизить нагрузку на окружающую среду. Соперничая с дизельными поездами, гибридные, которые совмещают водород с электричеством или батареями, предполагают, что будущее за ними.

Для России проекты по созданию современных поездов скорее не станут прорывными, так как основной упор будет сделан на импорт иностранных решений и комплектующих, а в вопросах систем управления и обеспечения безопасности движения поездов наши специалисты должны обеспечить максимально высокие технологические решения. Исключение составляет газотурбовоз ГТ1h — российский опытный тепловоз с газотурбинным двигателем, на котором

используется двигатель, работающий на сжиженном природном газе, соединённый с генератором переменного тока, хотя и прошел успешные испытания, но говорить о повсеместном применении на всей сети не позволяет отсутствие необходимой инфраструктуры.

Одним из решений, который активно разрабатывается на российских железных дорогах, являются технологии беспилотного управления поездом – как составляющей проекта «Цифровая железная дорога», принятая ОАО «РЖД» в 2017 году [8]. Это в первую очередь решения, направленные на безопасность, оптимизацию скорости движения, увеличение объема перевозок, повышения производительности и обеспечение выполнения графика движения. Поезда без машиниста также более экологичны, так как обеспечивают значительную экономию энергии при движении по энергооптимальному графику, который выстраивает автоматически система, находящиеся на борту поезда.

Система управления маневровым тепловозом по радиоканалу с удаленного рабочего места оператора-машиниста на станции Лужская позволила подготовить базу для применения системы беспилотного управления пассажирским поездом на Московском центральном кольце (МЦК). Тестирование поездов с системами технического («машинного») зрения пройдут в этом году, а в 2021 г. все поезда МЦК будут работать в автоматическом режиме. [9]

Для обнаружения препятствий при движении локомотива вдоль пути применяются технические средства «машинного зрения»: лидары, радары, инфракрасные и SWIR камеры, стереокамеры, ультразвуковые датчики.

Для безопасного движения поезда без машиниста необходимы следующие условия и технологии:

- бортовая система технического зрения;
- самообучаемые нейронные сети для классификации объектов и других задач;
- высокоточное позиционирование поезда;
- бортовая электронная карта формата 3D;
- безопасные и высокоскоростные каналы связи (сети LTE или 5G);
- дистанционный контроль оператором, в случае непредвиденных ситуаций (для GoA 3).
- автоматическая интеллектуальная система управления движением поездов;
- обеспечение кибербезопасности.

Для систем управления движением поездов важно понимать, что учитывать возможные угрозы и опасные события достаточно сложно, особенно в современных робототехнических и киберфизических системах. Обеспечение безопасности всей системы возможно за счет недопущения ошибок при разработке спецификации, верификации программного и аппаратного обеспечения.

Аспекты технической и кибер-безопасности для безопасного управления, основанный на оценке рисков, достигается за счет интегрального подхода [10].

Основной особенностью европейской системы ETCS Уровня 2 и китайской системы CTCS Уровня 3 является использование цифрового радиоканала GSM –R, который используется для передачи управляющих команд на локомотивы специализированным безопасным компьютером, так называемым центром радиоблокировки (RBC) [12].

В России используется многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов, которая комбинирует идеологию ETCS Уровень 2 с национальной системой автоматической локомотивной сигнализации. В российском варианте вместо

инфраструктурных датчиков-бализ (точечный путевой датчик) предлагается применять виртуальные реперные точки, которые заносятся в цифровом виде в электронную бортовую карту. При движении поезда данная технология позволяет коррелировать данные с цифровой карты на борту локомотива и данные позиционирования, получаемые от систем глобальной спутниковой навигации [13].

Важнейшими задачами построения «цифровой железной дороги» являются:

- Оптимизация графика движения и адаптивное планирование
- Сокращение затрат на напольную инфраструктуру
- Повышение пропускной и провозной способности;

Реализация этих задач возможна за счет применения современных решений в области интервального регулирования движения поездов (ИРДП). Например, переход от традиционных технологий на базе применения светофорной сигнализации с фиксированными блок-участками (по рельсовым цепям) к безсветофорной сигнализации с виртуальными блок-участками и технологии «виртуальная сцепка», когда движение поездов осуществляется в связке по радиоканалу на безопасном расстоянии под кривой торможения и применением средств радиосвязи поезд-поезд.

**Структура системы управления поездами должна включать в себя три уровня.**

Верхний уровень, который состоит из:

- Контроля за реализацией графика движения
- Распознавания и решения конфликтных ситуаций
- Команды на автоматическую установку маршрутов
- Команды управления поездом

Линейный (станционный) уровень:

- Автоматическая установка маршрутов
- Интервальное регулирование по радиоканалу
- Интервальное регулирование по рельсопроводному каналу

Низовой уровень - напольное оборудование и подвижной состав:

- Отказ от светофоров на главных путях станций и перегонов
- Цифровая электронная карта на борту
- Автоведение

По такому же принципу строится интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ) реализуется на основе цифровой модели реального перевозочного процесса, что определяет систему как основу его цифровой трансформации. Комплексная технология, реализуемая в ИСУЖТ включает в себя все уровни управления. На верхнем уровне осуществляется планирование и управление для всей сети дорог (или конкретного участка магистрали). На нижнем уровне реализуется планирование и управление для станций, перегонов и ТПС. Таким образом применение ИСУЖТ способно оптимизировать пропускную способность как для всей магистрали в целом, так и для ее частей в частности.

Автоматизированная система в реальном режиме времени с учетом сложившейся обстановки производит автоматическое построение и корректировку планов по разным уровням и аспектам управления перевозочным процессом. Система обеспечивает автоматический контроль выполнения планов и адаптивное их перестроение под динамически изменяющуюся ситуацию, с решением возникающих конфликтных и непредвиденных ситуаций. Помимо применения

современных технологий для управления движением поездов, необходимо создавать условия и для комфортного путешествия пассажиров. Высокоскоростная беспроводная связь и цифровые услуги на борту в новом «цифровом поезде» могут кардинально повысить привлекательность железных дорог для путешественников, совершающих дальние переезды.

Исходя из сказанного, технико-технологические параметры высокоскоростной магистрали, соединяющей Европу и Азию, должны включать следующие элементы [14]:

1. Инфраструктура и технологии эксплуатации должны обеспечивать движение поездов с маршрутной скоростью 200–250 км/ч и максимальной скоростью до 300–400 км/ч с учетом погодных условий и защиты путей от несанкционированного доступа;

2. Обеспечение комфортных условий для пассажира с использованием «цифровой среды» на борту поезда;

3. Использование внутреннего пространства высокоскоростных вагонов для перевозки грузов в специальных контейнерах;

4. Применение безлюдных технологий для технического обслуживания по состоянию инфраструктуры и подвижного состава, основанных на новейших цифровых решениях, материалах и применения систем предиктивной диагностики и контроля;

5. Использование технологий «Цифровой железной дороги» включая использование интернета вещей, big data, нейронных сетей, облачных технологий и беспилотных систем управления;

6. Должна быть разработана единая система управления движением поездов, обеспечивающая совместимость (интероперабельность) между европейским стандартом ERTMS/ETCS уровня 2, китайской системой CTCSS уровня 3 и российской многоуровневой системой управления [15];

7. Использование комплексированной системы передачи данных и радиосвязи с коммутацией пакетов (EDGE, LTE, 5G, спутниковая связь, Wi-Fi, Wi-MAX и др.);

8. Для значительного повышения скоростей перевозок важна ускоренная погрузка (выгрузка) грузов на важнейших распределительных станциях (терминально-логистических центрах) с применением «перронной технологии» без использования сортировочных станций. (создание нового поколения роботизированных перронных погрузочно-выгрузочных терминалов);

9. Отдельные участки инфраструктуры и поезда оборудуются устройствами, позволяющими осуществлять дистанционное зондирование для повышения ситуационной осведомленности в пути, диагностику линий электропередач и подстанций, а также выгрузку грузов на станциях с помощью беспилотных авиационных систем (БАС) - дронов или квадрокоптеров [16];

10. Обеспечение информационной и кибербезопасности для создания надежной системы управления поездами на всей протяженности магистрали, которая позволит избежать возникновения чрезвычайной ситуации во время движения поезда.

#### **Выводы.**

Железнодорожная магистраль «ТрансЕвразия» - это чрезвычайно важный проект, который может стать частью глобального торгово-экономического маршрута «Один пояс-Один путь», поэтому для России принципиально инвестировать средства в этот стратегический транспортный проект. Благодаря инновационным и исследовательским проектам, поезд будущего для трансевразийского транспортного коридора – это беспилотный, умный и экологичный транспорт, который позволит создать комфортную среду для пассажиров и

обеспечит перевозку грузов с максимальной скоростью и точно в срок.

### Список литературы

1. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
2. Розенберг Е.Н., Озеров А.В., Лысиков М.Г., Ольшанский А.М. «О переходе к предиктивному управлению транспортными системами с использованием Big Data» // Техника железных дорог. 2018. №1(41), С.32- 37.
3. Информационно-аналитическое агентство SeaNews // URL: <http://seanews.ru/2019/06/11/ru-o-soprjazhenii-zheleznodorozhnyh-setej-stran-shos/> (Дата обращения 25.07.2019).
4. Информационно-аналитическое агентство SeaNews: URL: <http://seanews.ru/2019/06/05/ru-rzhd-logistika-podpisalas-s-sinotrans/>, (Дата обращения 26.07.2019).
5. Сайт Правительства России: URL: <http://government.ru/news/37354/> (Дата обращения 26.07.2019).
6. Сайт РЖД: URL: [http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE\\_ID=2&layer\\_id=5050&refererLayerId=5049&id=308718](http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&refererLayerId=5049&id=308718) (Дата обращения 26.07.2019).
7. Информационное агентство «РЖД-Партнер»: URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/v-kr-sozdan-prototip-razvivayushchego-skorost-do-600-km-ch-poezda-na-magnitnoy-podushke/> 26.07.2019.
8. Розенберг Е.Н., Дзюба Ю.В., Батраев В.В. «О направлениях развития цифровой железной дороги» // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 1. С. 9–13.
9. Попов П.А., Охотников А.Л. «Поезд без машиниста - российские перспективы» // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 4-6.
10. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. - 2013. - № 5 (49). - С.6-9.
11. Попов П.А., Озеров А.В. «Интервальное регулирование на основе цифрового радиоканала» //Автоматика, связь, информатика. 2016. №10, С. 19-22.
12. Efim Rozenberg, Alexey Ozerov. Digitisation of train command and control // 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM 2019). Published by Elsevier ltd.
13. Розенберг И.Н., Тони О.В., Цветков В.Я. Интегрированная система управления железной дорогой с применением спутниковых технологий // Транспорт Российской Федерации. - 2010. - № 6. - С.54-57.
14. Выписка из протокола заседания объединенного ученого совета ОАО «РЖД» от 24 ноября 2016 г. № 76 Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД. — 2016. — №5. — С. 45-50.
15. Розенберг Е.Н., Озеров А.В. «Построение систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на ВСМ // Железнодорожный транспорт. 2018 №3, С.34-41.
16. Ознамец В. В. Геомониторинг на транспорте с использованием БПЛА// Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.43-53.

УДК: 334.71: 656: 338.245

## МОБИЛЬНЫЕ СУБСИДИАРНЫЕ СИСТЕМЫ

- Козлов А. В.** Зам. директора Физико-технологического института, Московский технологический университет (МИРЭА), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье исследуются мобильные субсидиарные системы как разновидность сложных систем и мобильных систем. Современное развитие транспорта привело к появлению мобильных субсидиарных систем. В природе мобильными субсидиарными системами являются мультиагентные системы пчел и муравьев. Статья описывает три основные пути формирования мобильных субсидиарных систем. Они делятся на естественные искусственные и комплексные. Описаны условия формирования субсидиарных систем. Описаны условия эффективности применения субсидиарных систем. Отмечено, что одним из признаков субсидиарной системы является эмерджентность. Показано применение лингвистического и семиотического подхода при формировании субсидиарных систем.
- Ключевые слова:** транспорт, транспортные системы, сложные системы, субсидиарные системы, управление, субсидиарное управление, многоцелевое управление, мобильные системы, мобильные субсидиарные системы.

## MOBILE SUBSIDIARY SYSTEMS

- Kozlov A. V.** Deputy Director of the Physics - Technological Institute, Moscow Technological University (MIREA), E-mail: av-kozlov@mail.ru, Moscow, Russia
- Annotation.** In article is explored mobile subsidiary systems as a form of complex systems and mobile systems. The modern development of transport has led to the emergence of mobile subsidiary systems. In nature, multi-agent systems of bees and ants are mobile subsidiary systems. The article describes three main directions in the formation of mobile subsidiary systems. Mobile subsidiary systems are divided into natural artificial and complex. The conditions for the formation of subsidiary systems are described. The article describes the conditions for the effectiveness of the use of subsidiary systems. It is noted that emergence is one of the signs of a subsidiary system. The application of the linguistic and semiotic approach to the formation of subsidiary systems is described in the article.
- Keywords:** transport, transport systems, complex systems, subsidiary systems, management, subsidiary management, multi-purpose management, mobile systems, mobile subsidiary systems.

### Введение

Транспортная составляющая развития государства дает основание судить об адекватности решения экономических проблем. В мировом сообществе [1] и в отдельных государствах [2] интенсивно формируется интегрированный транспортный комплекс, используя современные научные разработки и теории включая теорию систем. Развитие многих видов транспорта

связано с технологиями управления. В свою очередь управление развивается применительно к задачам транспорта. Формирование и эффективное функционирование транспортных систем связано с адаптацией к внешним условиям и к появляющимся задачам управления. Перевозочные проблемы стоят на пути интеграции отдельных видов транспорта. Современная тенденция решения перевозочных проблем связана с применением мобильных систем.

Термин мобильный (mobile) означает подвижный. Мобильные объекты означают подвижные объекты [3]. Мобильная связь означает связь с использованием подвижных объектов. Мобильное лазерное сканирование означает сканирование с использованием подвижных объектов [4]. Мобильные субсидиарные системы означают подвижные частично или полностью управляемые системы, в частности, транспортные системы. К таким системам относятся транспортные кибер физические системы [5] или кибер физические системы, применяемые для управления транспортом [6]. В природе к мобильным субсидиарным системам относят роевые системы [7, 8] и муравьиные колонии [9-11]. Это подчеркивает важность изучения субсидиарных систем и перенос опыта природных

#### **Формирование субсидиарных систем.**

Появление субсидиарных систем связано с развитием методов управления, в частности, с развитием управления в непредвиденных обстоятельствах [12]. Формирование субсидиарных систем осуществляется тремя основными подходами [13]: делегирование, деление, кластеризация. Делегирование означает делегирование полномочий из головной или центральной системы на периферическую систему и повышение ответственности периферической системы за принимаемые действия. Делимость означает эволюцию сложной системы путем деления ее на простые системы. Это является полным аналогом размножения простейших организмов. Кластеризация означает организацию ранее независимых мелких систем в систему на основе появления новых связей. Которые ранее не существовали.

Примером первого направления является организация цифровой железной дороги [14, 15]. В этой технологической системе функции управления движением перенесены в мобильный объект при сохранении общего стратегического плана движения в центральном управлении.

Примером деления являются живые системы [16]. В системе транспорта примером являются логистические перевозки, когда груз с одного транспортного средства (судно, поезд) перегружают на другие более мелкие транспортные средства, которые следуют по разным маршрутам [17]. Такие перевозки могут относиться к мультимодальным перевозкам, конечной целью которых является не один, а несколько адресатов.

Примером кластеризации субсидиарных систем [18] является организация автопоезда из разных фур, которые будучи автономными, на время перевозки имеют общую цель и выполняют общую задачу. Примером кластеризации субсидиарных систем является объединение судов в караван судов и сопровождение каравана одним ледоколом. Другим примером кластеризации приводящей к созданию субсидиарной системы являются стаи роботов [19-21]. Кластеризация является комплексным путем формирования субсидиарных систем.

Принцип делегирования является искусственным. Он применяется при участии человека. Делимость большей частью является естественным процессом, поскольку осуществляется за счет внешних воздействий. Кластеризация может быть естественным и искусственным процессом в зависимости от того какой характер имеют новые связи.

### **Принципы формирования субсидиарных систем**

Субсидиарная система является эффективной не всегда, а при определенных условиях [22-24]. Для обеспечения ее эффективности должны выполняться условия информационного и структурного соответствия. Субсидиарная система является эффективной, когда ее модель соответствует целям поставленной задачи. Соответствие целям приводит к структурному и информационному соответствию [25-27] между целью системы и ее структурой.

Субсидиарная система является эффективной, когда согласованы ее действия и минимизированы противоречия между ее частями и существует комплементарность между ее подсистемами и элементами. Это определяет учет комплементарных отношений [28-30] при организации субсидиарных систем как обязательное условие.

Субсидиарная система является эффективной, когда она обладает высокой надежностью. Для обеспечения надежности схема субсидиарной системы должна быть логически корректной [31, 32]. Это определяет необходимость проведения логического анализа при организации субсидиарных систем.

Субсидиарная система является эффективной, когда она обладает эмерджентностью. Одним из критериев наличия субсидиарной системы является появление во вновь созданной системе эмерджентности [33] как несводимости свойства целого к свойствам частей. Субсидиарная система относится к классу сложных систем. Поэтому она должна иметь системную модель [34].

При анализе и построении субсидиарных систем применяют лингвистический и семиотический подход. Лингвистический подход включает структурно-функциональный анализ исследования субсидиарной системы. В этом подходе исследуют разные уровни системы, закономерности, присущие системе, системность и целостность субсидиарной системы. Лингвистический подход включает исследование знаково-символических систем на основе информационного языка.

Семиотический метод [35] отличается обобщенной направленностью на изучение знаковых свойств субсидиарных систем. Он ставит в соответствие состоянию субсидиарной системы некоторое значение. На этом принципе строится семиотическое управление транспортных систем [36]. В этом случае семиотический подход можно охарактеризовать как направление исследования связи состояния системы и значения состояния. Семиотический подход позволяет ввести для субсидиарной системы некий информационный язык, включающий различные системы знаков, или информационных единиц.

### **Простые схемы мобильных субсидиарных систем.**

Для сравнения рассмотрим альтернативные схемы управления. На рис.1 приведена типовая иерархическая система управления. Покажем на ее примере эволюцию и развитие отношений между головной (управляющей) организацией и операционной (исполняющей) организацией. Интерес представляют субсидиарные системы с организацией на основе делегирования и деления. Классическая схема управления представляет собой дерево.

На рис.1 множество А обозначает головное предприятие, В, С, D – его филиалы или подразделения. На рис.1 символ А обозначает генеральную дирекцию в случае одного предприятия; В, С1 – органы управления подразделениями; D – операционные подразделения.

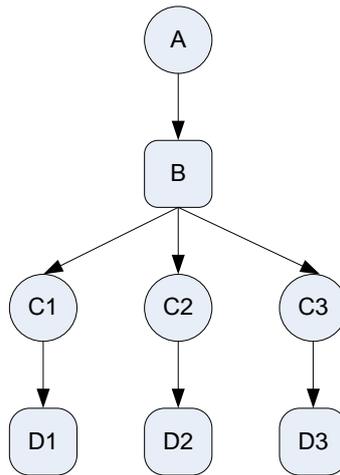


Рисунок 1. Схема иерархического управления

Можно воспользоваться теоретико-множественным описанием. Информационная ситуация [37], которая описывает множества операционного и головного предприятия приведена на рис.2.

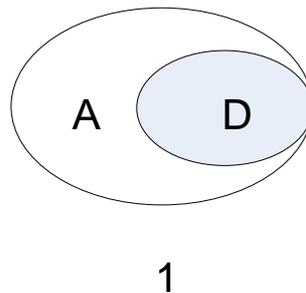


Рисунок 2. Отношение операционных предприятий и головного предприятия при иерархическом управлении.

На рис.2 цифра 1 означает первую – начальную эволюционную ситуацию между головным и дочерним предприятием. Условия подчинения D к A для информационной ситуации на рис.2 следующие

$$D \subset A \quad (1)$$

$$D \setminus A = \emptyset \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) означают, что деятельность дочернего предприятия полностью входит в сферу деятельности головного предприятия (1). Самостоятельная деятельность дочернего предприятия отсутствует (2). Если внешние условия и отношения между D и A - стационарные, то ситуация на рис.2 сохраняется пока условия не меняются. Каждые 2-3 года объемы информации, используемой в управлении, удваиваются. Это меняет характер отношений между операционными предприятиями и головным предприятием. Влияние внешней среды и конкурентов выдвигает новые повышенные требования к скорости передачи и обработки информации. Растет интенсивность информационного взаимодействия между D и A. В процессе развития отношений D к A и нестабильности внешней среды происходит эволюция отношений D к A. Это показано на рис.3. На рис.3 не показано воздействие внешней среды или других факторов, но оно подразумевается и именно оно служит фактором изменений в системе.

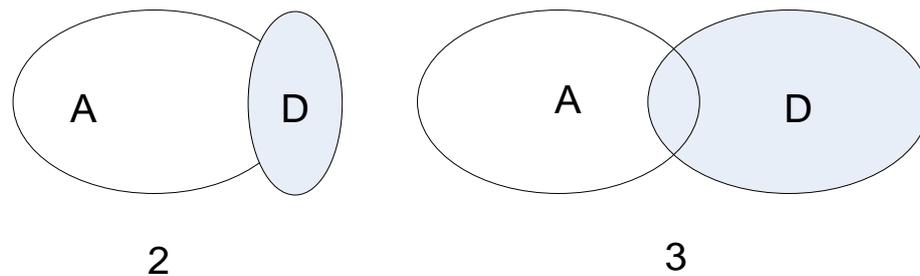


Рисунок 3. Эволюция отношений операционных и головного предприятий

Ситуации 2 и 3 на рис.3 отражают следующие тенденции. Внешняя среда оказывает воздействие на дочернее предприятие. Растут масштабы сферы действия дочерних предприятий в ширину (ситуация 2) и в глубину (ситуация 3). Отношения D к A для информационной ситуации 2 на рис.3 следующие

$$D \setminus A \neq \emptyset \quad (3)$$

$$(A \cap D) > D \setminus A \quad (4)$$

$$D < A \quad (5)$$

Выражение (3) означает, что появилась самостоятельная деятельность дочернего предприятия, которая не входит в сферу деятельности головного предприятия. Выражение (4) означает, что самостоятельная деятельность дочернего предприятия весьма незначительная в сравнении с совместной деятельностью D и A. Выражение (5) означает, что масштабы самостоятельной деятельности дочернего предприятия незначительны в сравнении с масштабами деятельности головного предприятия. Отношения D к A для информационной ситуации 3 на рис.3 следующие

$$D \setminus A \neq \emptyset \quad (6)$$

$$(A \cap D) < D \setminus A \quad (7)$$

$$D \approx A. \quad (8)$$

Выражение (6), как и выражение (3) отражает факт того, что существует самостоятельная деятельность дочернего предприятия, которая не входит в сферу деятельности головного предприятия. Выражение (7) означает, что самостоятельная деятельность дочернего предприятия значительна в сравнении с совместной деятельностью D и A. Выражение (8) означает, что масштабы самостоятельной деятельности дочернего предприятия соразмерны в сравнении с масштабами деятельности головного предприятия. Если влияние внешней среды усиливается, то эволюция продолжается и возникает информационная ситуация номер 4, приведенная на рис.4.

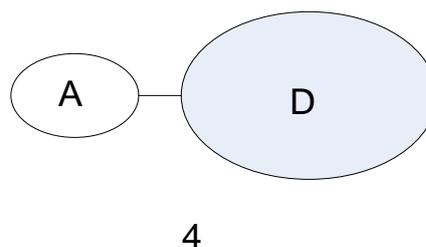


Рисунок 4. Развитие отношений операционных и головного предприятий

Отношения D к A для информационной ситуации 4 на рис.4 следующие

$$D \cup A \approx \emptyset \quad (9)$$

$$(A \cap D) \approx \emptyset \quad (10)$$

$$(D > A) \vee (D \gg A) \quad (11)$$

Выражение (9) констатирует, что области совместной деятельности D и A незначительны. Выражение (10) констатирует факт, что сама совместная деятельность D и A практически отсутствует. Выражение (11) означает, что самостоятельная деятельность дочернего предприятия превосходит или значительно превосходит масштабы деятельности головного предприятия. Такое управление называют субсидиарным. При субсидиарном управлении центр тяжести управления смещается на периферию. Ситуации 1, 2, 3, 4 отражают трансформацию иерархического управления в субсидиарное управление.

В целом ситуации 1, 2, 3, 4 характеризуют свойство информационного поля, которое можно назвать делимостью объектов информационного поля. Определение: делимостью объектов информационного поля называется их способность в процессе эволюции менять масштабы отношений совместной деятельности и менять масштабы собственной деятельности. Делимость объектов информационного поля является основой саморазвития объектов информационного поля и среды их обитания. Субсидиарная система формируется под воздействием внешней среды и, следовательно, является адаптивной к этому воздействию. Адаптация к внешней среде важна для объектов транспорта. Особенно при высокоскоростном движении.

#### **Заключение.**

Субсидиарные механизмы в реализации программно-целевых методов управления и бюджетирования все шире применяют на практике [38]. Мобильные субсидиарные системы связаны с развитием транспорта и отвечают требованиям его развития. Создание мобильных субсидиарных систем продиктовано требованием жизни и в первую очередь развитием транспорта. Для мобильных субсидиарных систем характерно не только самоуправление, но пространственное управление. Для мобильных субсидиарных систем характерно использование пространственной информации и геоинформатики. Мобильные субсидиарные системы применяют на транспорте и в сфере искусственного интеллекта. Мобильные субсидиарные системы становятся необходимыми при высокоскоростном движении, поскольку человеческая реакция не способна обеспечить безопасность движения на больших скоростях. Важным фактором управления субсидиарными системами является модель информационной ситуации. Именно она влияет на систему преобразуя ее в субсидиарную. Современные субсидиарные системы используют информационное управление [39]. Современные субсидиарные системы используют информационные единицы и конструкции [40].

Теория субсидиарных систем является особым разделом теории сложных систем. Субсидиарные системы существуют в пространстве и сделаны из материи и энергии, и используют организованную информацию. Субсидиарные системы могут быть живыми и неживыми. Субсидиарные системы не являются антагонистическими иерархическими системами. Структурно они ближе к сетевым системам и интеллектуальным сетям. Наиболее ярко в технических системах они представлены в технологиях Интернета вещей и в кибер физических системах. В живых системах они связаны с системами, включающими два вида

поведения групповое и индивидуальное. Конфликт между этими поведением решают технологии субсидиарности. Субсидиарные системы представлены также мультиагентными системами и компьютерными вирусам. В силу этого их применяют в информационной безопасности. Теория систем и теория транспорта до настоящего времени обходила субсидиарные системы стороной. С технической точки зрения субсидиарные системы обладают рядом специфических свойств. Это делает их объектом специального изучения.

### Список литературы

1. Ларин О. Н. Перспективы интеграции транспортных систем Евразийского экономического союза // Проблемы национальной стратегии. – 2017. – №. 4. – С. 43.
2. Троицкая Н. А., Чубуков А. Б. Единая транспортная система - М.: Издательский центр «Академия». – 2003.
3. Буравцев А.В. Системно-категориальный анализ транспортных систем // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.61-71.
4. Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.
5. Лёвин Б.А., Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Транспортные кибер-физические системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 3(4). – С.3-15.
6. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
7. Xi J., Shi Z., Zhong Y. Consensus analysis and design for high-order linear swarm systems with time-varying delays // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2011. – Т. 390. – №. 23-24. – С. 4114-4123.
8. Матренин П. В., Секаев В. Г. Системное описание алгоритмов роевого интеллекта // Программная инженерия. – 2013. – №. 12. – С. 39-45.
9. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – Т. 4. – С. 70-75.
10. Mullen R. J. et al. A review of ant algorithms // Expert systems with Applications. – 2009. – Т. 36. – №. 6. – С. 9608-9617.
11. Iredi S., Merkle D., Middendorf M. Bi-criterion optimization with multi colony ant algorithms // International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. – С. 359-372.
12. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. - №4(12). – С5-10.
13. Козлов А. В. Субсидиарные системы и технологии.-Saarbruken.: Palmarium Academic Publising, 2019. – 125с.
14. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
15. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.69-79.
16. Козлов А.В. Делимость в информационном поле // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.8-13.
17. Минаков В. Ф. Логистика мобильной торговли //Международный научно-исследовательский журнал. Research Journal of International Studies. – 2014. – №. 9. – С. 28.
18. Козлов А.В. Кластеризация и субсидиарность // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.87-

92.

19. Brooks R. A robust layered control system for a mobile robot //IEEE journal on robotics and automation. – 1986. – Т. 2. – №. 1. – С. 14-23.

20. Варламов О. О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства //Искусственный интеллект. – 2004. – №. 4. – С. 695-700.

21. Черноусько Ф. Л., Болотник Н. Н. Мобильные роботы, управляемые движением внутренних тел //Труды института математики и механики УрО РАН. – 2010. – Т. 16. – №. 5. – С. 213-222.

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

23. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Критерии выбора субсидиарного управления // Государственный советник. – 2017. - №1. – С.10-15.

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

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

26. Цветков В.Я. Отношения комплементарности и соответствия в информационных системах // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. - №4 (25). – С.66-74.

27. Розенберг И.Н. Топосемантическое информационное соответствие в пространственном моделировании // Науки о Земле. – 2017. - № 3. - С.64-73.

28. Цветков В.Я. Комплементарные отношения // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. -2019. – 2(75). - С.101-114.

29. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - №2. – С.182-185.

30. Щенников А.Н. Комплементарность при обработке информации // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. - 2019. - № 1(11). – С. 24-30.

31. Цветков В.Я. Логическое следование // Славянский форум. -2018. – 3(21). - С.126-130.

32. Господинов С.Г. Логическое обоснование в научных исследованиях // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении - 2018.- № 6. –С. 41-48.

33. Болбаков Р.Г. Эмерджентность сложных систем // Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.100-105.

34. Козлов А.В. Системный анализ субсидиарных систем // Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.116-122.

35. Цветков В.Я. Семиотический подход к построению моделей данных в автоматизированных информационных системах // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2000. - №5. - С. 142-145.

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

37. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European researcher. 2012, 12-1 (36), P.2166- 2170.

38. Бексултанов К. Б. Субсидиарные механизмы в реализации программно-целевых методов управления и бюджетирования //Экономические науки. – 2010. – Т. 71. – №. 10. – С. 141-144.

39. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.11-24.

40. Козлов А.В. Информационные единицы в субсидиарных технологиях // Славянский форум. -2019. – 1(23). - С.14-19.

УДК: 519.171.4

## ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ИНТУИЦИОНИСТСКИХ НЕЧЕТКИХ ГРАФОВ

**Боженюк А.В.** д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, E-mail: avb002@yandex.ru, Таганрог, Россия

**Беляков С.Л.** д.т.н., профессор, Южный федеральный университет, E-mail: beliacov@yandex.ru, Таганрог, Россия

**Косенко О.В.** к.т.н., Южный федеральный университет, E-mail: o\_kosenko@mail.ru, Таганрог, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения интуиционистских нечетких графов для формирования эффективных решений функционирования сложных систем. Сложные системы характеризуются множеством взаимозависимых параметров, многокритериальностью и многомерностью. На основе задания исходных параметров и условий в виде нечеткого интуиционистского множества представлено вычисление нечеткого расстояния, которое позволит отбросить заведомо неэффективные решения

**Ключевые слова:** Сложная система, взаимосвязь, иерархические уровни, информационные потоки, граф, неопределенность, интуиционистские нечеткие множества.

## ASSESSMENT OF INFORMATION RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS USING INTUITIONIST FUZZY GRAPHS

**Bozhenyuk A.V.** Ph.D, Professor, Southern Federal University, E-mail: avb002@yandex.ru, Taganrog, Russia

**Belyakov S.L.** Ph.D, Professor, Southern Federal University, E-mail: beliacov@yandex.ru, Taganrog, Russia

**Kosenko O.V.** Ph.D, Assistant Professor, Southern Federal University, E-mail: o\_kosenko@mail.ru, Taganrog, Russia

**Annotation.** The article considers the possibility of using intuitionistic fuzzy graphs to form effective solutions for the operation of complex systems. Complex systems are characterized by many interdependent parameters, multi-criteria and multi-dimensionality. Based on the assignment of initial parameters and connections of graph in the form of a fuzzy intuitionistic set, a fuzzy distance calculation is presented, which will make it possible to discard obviously ineffective solutions.

**Keywords:** Complex system, interconnection, hierarchical levels, information flows, graph, uncertainty, intuitionistic fuzzy sets.

### Введение

При разработке общих принципов и задач построения научно-технических моделей сложных систем необходимо учитывать внешние и внутренние процессы для возможности предотвращения неблагоприятных, чрезвычайных ситуаций и предупреждения о возможных

отрицательных факторах. Анализ установившихся административных и производственных связей, характеризующих РЖД, как сложную систему в частности показывает, что усложнение n-мерного производственного пространства развивается с первых иерархических уровней, причем каждый из подчиненных ему функциональных объектов не является локально замкнутой иерархической подсистемой, а взаимодействует непосредственно и через иерархические и функциональные барьеры в соответствии с содержанием производственных заданий с другими составляющими сложной системы и с внешними многофункциональными и иерархическими системами. Практически система РЖД представляет собой сложнейшую глобальную многомерную систему [1].

Так, при создании концепции стратегии и тактики развития ОАО «РЖД» были определены следующие негативные факторы [1]:

- снижение управляемости самой системы и ее составляющих подсистем;
- возникновение стратегических и тактических ошибок, являющихся следствием недостаточно обоснованных и аргументированных политико-технических решений;
- падение научно - технического потенциала, снижении качества исследований на стратегически важных производственных направлениях;
- катастрофическое старение основных фондов, практически полной заторможенности их обновления и модернизации;
- чрезвычайно быстрые изменения рыночных интересов и ценовых уровней, прогноз и последующая оценка, которые в значительной степени определяются достоверностью и оперативностью информационных технологий.

Для предотвращения вышеперечисленных факторов необходимо проводить политику стратегического планирования. При этом практика проведения прогнозных расчетов при проектировании сложных систем свидетельствует о необходимости учета различных видов неточно определенных параметров. Влияние факторов неопределенности также приводит к возникновению непредвиденных ситуаций, чреватых убытками и потерями, а в худшем случае и срывом функционирования подсистем или системы в целом. Эффективность принятого решения, обеспечивающего надежное функционирование системы, во многом зависит от выбора математического аппарата. Неверно выбранный математический аппарат, как и полное игнорирование ситуации неопределенности, приводит к получению неверных результатов, на базе которых принимаются неверные решения, в некоторых случаях также губительные для системы [2].

Характерной особенностью развития сложных систем оказалась обеспечение надежности функционирования этих систем и их жизнеспособности. Задачи данного класса важны, а их решение достаточно трудоемкое. Проектируемые сложные системы можно рассматривать в виде взаимосвязанных и взаимозависимых подсистем [3, 4]. В соответствии с этим структурная модель проектируемой системы будет состоять из совокупности подсистем различного уровня.

#### **Построение модели сложной системы**

Проектирование сложных систем необходимо оценивать с трех взаимосвязанных сторон: структурной, информационной и функциональной [5].

Структурная модель проектируемой системы отражает структуру процесса проектирования, его стадийность, состав подсистем и общую последовательность их работы. Функциональная модель определяет направление этапов проектирования в зависимости от информации, циркулирующей в системе. Информация подразделяется на входную, выходную и справочно-

нормативную, то есть эталонную. Выходная информация характеризует связь системы с внешней средой и является исходной для проектирования. Выходная информация одной подсистемы служит входной для других подсистем [6].

Информационная модель будет описывать преобразование информации об объектах проектирования в каждой подсистеме и информационные потоки между подсистемами.

Представим информационную модель в виде графа  $G=(X, U)$ , вершинам которого сопоставим подсистемы, а дугам – информационные потоки между ними. Данный граф является мультиграфом, так как в нем любые вершины могут быть связаны более чем одной дугой. Между подсистемами одного или разных уровней осуществляются прямые и обратные связи, в результате обработки которых могут корректироваться решения, влекущие за собой по цепочке изменения последующих решений. В сложных системах с многочисленными информационными потоками для безопасного функционирования необходимо достоверно оценивать входящую информацию на каждом подуровне. Сложные системы определяются следующими основными характеристиками [7-9]:

- многомерностью;
- неоднородностью, входящих в систему подсистем;
- иерархичностью, то есть система будет делиться на подсистемы, до тех пор, пока не будут выделены базовые подсистемы, состоящие из набора функциональных задач тесно связанных между собой;
- многосвязностью, которая выражается во взаимосвязи как на одном уровне, так и между разными иерархическими уровнями системы;
- многокритериальностью, так как для многих сложных систем характерно принятие решений на основе нескольких критериев оптимальности.

Важнейшим условием построения оптимальной, надежной системы является оценка достоверности и полноты информации, которая определяет различные условия безопасной эксплуатации проектируемой системы и принятие на основе данной информации корректного решения [10].

Определим зависимость соответствующих результирующих решений от имеющихся условий. Обозначим классы условий, то есть общие части названия однородных графов информационной таблицы буквами  $X_{ij}$ ,  $Y_{gk}$ , а их конкретные значения соответственно –  $A_{ij}$ ,  $B_{gk}$ . Совокупность решений  $Z$ , зависящих от имеющихся условий, представим в таблице 1.

Таблица 1

Совокупность решений  $Z$ , зависящих от имеющихся условий

Условия, определяющие выбор решения				X <sub>11</sub>					
				A <sub>11</sub>			A <sub>12</sub>		
				X <sub>21</sub>			X <sub>22</sub>		
				A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>25</sub>	A <sub>26</sub>
Y <sub>11</sub>	B <sub>11</sub>	Y <sub>21</sub>	B <sub>2</sub>	Z <sub>11</sub>	Z <sub>12</sub>	Z <sub>13</sub>	Z <sub>14</sub>	Z <sub>15</sub>	Z <sub>16</sub>
			B <sub>22</sub>	Z <sub>21</sub>	Z <sub>22</sub>	Z <sub>23</sub>	Z <sub>24</sub>	Z <sub>25</sub>	Z <sub>26</sub>

			$B_{23}$	$Z_{31}$	$Z_{32}$	$Z_{33}$	$Z_{34}$	$Z_{35}$	$Z_{36}$
	$B_{12}$	$Y_{22}$	$B_{24}$	$Z_{41}$	$Z_{42}$	$Z_{43}$	$Z_{44}$	$Z_{45}$	$Z_{46}$

Разделение обозначений условий на наименование, общее для нескольких графов, и их соответствующие конкретные значения, позволяют представить таблицу по каждому входу в виде дерева. Каждой вершине дерева будет сопоставлено название класса условий  $X, Y$ , а ребру конкретное значение условий  $A_{ij}$  или  $B_{gk}$  (рисунок 1).

Первые индексы  $(i, g)$  обозначают номер уровня на дереве условий, а вторые  $(j, k)$  – порядковый номер условия на данном уровне. В качестве конкретных значений  $A$  или  $B$  записываются числовые значения, так и различные понятия. В качестве решений  $Z$  могут быть те же понятия, что и для  $A$  или  $B$ , а также отсылка к другим таблицам, с помощью которых могут быть определены значения  $Z$ . Последовательность переходов от одного уровня к другому, которая обеспечивает получение требуемых решений в результате функционирования системы, определим как план задачи или маршрут.

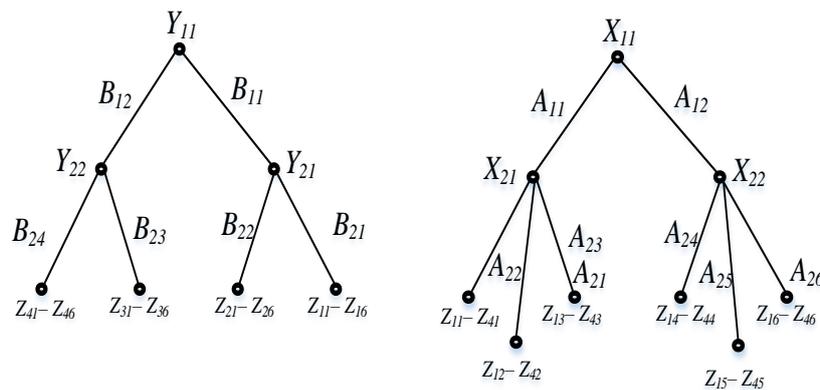


Рисунок 1. Представление матричных значений в виде графов

Структура многоуровневых условий выбора решений, описанных в таблице 1, формируется на основе конкретных значений  $A$  или  $B$ . В то время как при проектировании больших систем сложно формирующим параметрам задать конкретные значения. Возможно лишь с некоторой долей вероятности предположить, что при заданных условиях параметры  $A$  или  $B$  примут те или иные условия. Следовательно, необходимо ввести некоторый коэффициент  $\mu$ , позволяющий предположить возможность переход с верхнего уровня условий на другие подуровни, с целью получения наиболее правдоподобного решения. Тогда структура условий по входу  $X$  (план задачи), рассмотренная таблице 1, запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 & X_{11}, \mu A_{11} X_{21}, \mu A_{12} X_{22}. \\
 & X_{21}, \mu A_{21}(Z_{11}-Z_{41}), \mu A_{22}(Z_{12}-Z_{42}), \mu A_{23}(Z_{13}-Z_{43}); \\
 & X_{22}, \mu A_{24}(Z_{14}-Z_{44}), \mu A_{25}(Z_{15}-Z_{45}), \mu A_{26}(Z_{16}-Z_{46}).
 \end{aligned}$$

На процесс проектирования сложных систем оказывают влияние большое число параметров. Также системам данного класса присуща многовариантность задач. Многозначное отображение задачи можно представить следующим образом (рисунок 2).

В некоторые вершины графа могут входить несколько дуг. Это означает, что разными маршрутами, возможно, достичь одинаковое промежуточное состояние. Каждое из состояний  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  уровня  $k-1$  отображается на множестве состояний  $k-2$  уровня и т.д. Любой маршрут на графе от начального уровня до представленных решений  $Z$  будет одним из планов поставленной задачи.

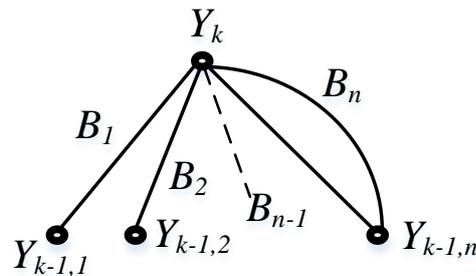


Рисунок 2. Многозначное отображение задачи

Если, например, рассматривать задачу построения транспортно-распределительной системы, описанную в [11], то наиболее рациональным будет маршрут, имеющий наименьшую себестоимость. Данный маршрут можно определить, используя известные алгоритмы нахождения кратчайших путей на графе. Необходимо учитывать, что на итоговое решение влияет взаимосвязь множества параметров задачи. При этом при планировании деятельности системы значения условий (параметр соответствующий дуге) не корректно задавать как точными значениями, так и в виде принадлежности. Скорее всего, экспертами при оценке множества исходных параметров и условий, значение принадлежности  $\mu$  и непринадлежности в сумме не дадут искомую единицу.

#### **Математическое обоснование корректности применения интуиционистских нечетких множеств при оценке параметров сложных систем**

В 1986 году К. Атанасов предложил расширить теорию нечетких множеств в виде интуиционистской теории нечетких множеств. Интуиционистская теория нечетких множеств предполагает не только оценку степени принадлежности к значению определенному условием, но и степени непринадлежности.

**Определение 1.** Пусть  $X$  - непустое множество. Нечеткое множество [12, 13], на множестве  $X$ , определяется как  $A = \{(\mu_A(x), x) | x \in X\}$ , где  $\mu: X \rightarrow [0, 1]$  - есть функция принадлежности нечеткого множества  $A$ .

**Определение 2.** Интуиционистское нечеткое множество на универсуме  $X$  является объектом вида [15]  $A = \{(\mu_A(x), \nu_A(x)) | x \in X\}$ , где  $\mu_A(x) \in [0, 1]$  - называется степенью принадлежности  $x$  в  $A$  и  $\nu_A(x) \in [0, 1]$  - степень непринадлежности  $x$  в  $A$ , при этом функции  $\mu_A$  и  $\nu_A$  удовлетворяет следующему условию:

$$(\forall x \in X)[\mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1].$$

Таким образом, значение искомого фактора будем представлять следующим интуиционистским нечетким множеством:

$$\Phi = \{ \langle x, \mu_{\Phi}(x), \nu_{\Phi}(x) \rangle \mid x \in X \},$$

Для каждого интуиционистского множества кроме функций принадлежности и функции непринадлежности необходимо определить интуиционистский индекс нечеткости, в соответствии со следующей формулой:

$$\pi_{\Phi}(x) = 1 - \mu_{\Phi}(x) - \nu_{\Phi}(x).$$

Нечеткие множества дают степень принадлежности элемента в заданном множестве (где степень не принадлежности равно единице минус степень принадлежности), в то время как интуиционистские нечеткие множества дают как степень принадлежности, так и степень не принадлежности, которые более или менее независимы друг от друга. Единственное ограничение состоит в том, что сумма этих двух степеней не превышала 1. Интуиционистские нечеткие множества представляют собой нечеткие множества более высокого порядка. Их применение делает процедуру решения более сложной, но если сложностью вычислений по времени, объему вычислений или объему памяти можно пренебречь, то тогда может быть получен лучший результат.

Теория нечетких графов находит все большее число приложений для моделирования систем реального времени, где уровень информации, присущий системе, зависит от разных уровней точности. Нечеткие модели становятся полезными из-за их стремления к уменьшению различий между традиционными численными моделями, используемыми в технике и науках, и символическими моделями, используемыми в экспертных системах. Исходное определение нечеткого графа [16] было основано на нечетких отношениях Л.Заде [13]. В работе [17] был представлен нечеткий аналог нескольких базовых теоретико-графических понятий. В работах [18, 19] было определено понятие дополнения нечеткого графа и изучены некоторые операции на нечетких графах. В [20, 21] были введены понятия интуиционистских нечетких отношений и интуиционистских нечетких графов и исследованы некоторые их свойства.

**Определение 3.** Нечетким графом [3]  $\tilde{G} = (V, \sigma, \mu)$  называется непустое множеством  $V$  вместе с парой функций  $\sigma: V \rightarrow [0, 1]$  и  $\mu: V \times V \rightarrow [0, 1]$ , таких, что  $(\forall x, y \in V)[\mu(x, y) \leq \min(\sigma(x), \sigma(y))]$ , где  $\sigma(x)$  и  $\mu(x, y)$  представляют значения функций принадлежности вершины  $x$  и ребра  $(x, y)$  в графе соответственно.

Данное определение рассматривает нечеткий граф как совокупность нечетких вершин и нечетких ребер. В работах [7, 18] была предложена другая версия нечеткого графа как совокупность четких вершин и нечетких ребер:

**Определение 4.** Нечеткий граф есть пара  $\tilde{G} = (V, R)$ , где  $V$  есть множество вершин и  $R$  есть нечеткое отношение на множестве  $V$ , в котором элементы (ребра), соединяющие вершины  $V$ , имеют функцию принадлежности  $\mu_R: V \times V \rightarrow [0, 1]$ .

Такой нечеткий граф в работе [22] был назван нечетким графом первого рода.

**Определение 5** [20, 22]. Интуиционистский нечеткий граф представляет собой пару  $\tilde{G} = (A, B)$ , где  $A = \langle V, \mu_A, \nu_A \rangle$  - интуиционистское нечеткое множество на множестве вершин  $V$ , а  $B = \langle V \times V, \mu_B, \nu_B \rangle$  - интуиционистское нечеткое отношение такое, что

$$\mu_B(xy) \leq \min(\mu_A(x), \mu_A(y)) \text{ и } \nu_B(xy) \leq \max(\nu_A(x), \nu_A(y)), \quad (1)$$

и при этом выполняется условие  $(\forall x, y \in V)[0 \leq \mu_B(xy) + \nu_B(xy) \leq 1]$ .

Необходимо отметить, что определение 5 является расширением нечеткого графа в смысле определения 3, в котором вершины и ребра графа рассматриваются не как нечеткие, а как интуиционистские множества. В случае же использования нечеткого графа в смысле определения 4, такое определение интуиционистского нечеткого графа не имеет смысла, так как в последнем случае величины  $\mu_A(x) = \mu_A(y) = 1$ ,  $\nu_A(x) = \nu_A(y) = 0$  и, следовательно, величина  $\nu_B(xy) = 0$ .

При этом для вычисления маршрута (плана задачи) с использованием нечетких интуиционистских множеств определен вспомогательный инструмент – так называемое расстояние нечеткого множества.

Для вычисления расстояния между интуиционистскими нечеткими множествами воспользуемся формулой Хаусдорфа, которое определится следующим образом:

$$L(\Phi_0, \Phi_1) = \max(|\mu_{\Phi_0}(x) - \mu_{\Phi_1}(x)|, |\nu_{\Phi_0}(x) - \nu_{\Phi_1}(x)|, |\pi_{\Phi_0}(x) - \pi_{\Phi_1}(x)|), \quad (2)$$

либо формулой Хемминга:

$$L(\Phi_0, \Phi_1) = \frac{1}{2n} \sum (|\mu_{\Phi_0}(x) - \mu_{\Phi_1}(x)| + |\nu_{\Phi_0}(x) - \nu_{\Phi_1}(x)| + |\pi_{\Phi_0}(x) - \pi_{\Phi_1}(x)|), \quad (3)$$

где  $n$  – мощность интуиционистского нечеткого множества  $\Phi_0, \Phi_1$ .

При этом, как показывают практические расчеты, значения расстояний вычисленных без учета интуиционистского индекса нечеткости по формуле Хемминга и Хаусдорфа не совпадают, в отличие от значений, учитывающих данный индекс. Следовательно, можно сделать вывод, что при вычислении расстояний, использование только двух параметров нечеткого множества приводит к несогласованным результатам. В то время как учет функции принадлежности, функции непринадлежности и интуиционистского индекса нечеткости при вычислении расстояний Хаусдорфа и Хемминга дают полностью одинаковые результаты [22].

Рассмотрим пример оценки информационных потоков транспортно-логистической системы. Как известно, оценка полноты и достоверности информационных потоков влияет на надежность функционирования системы. Пусть исследуемая система представлена следующим графом (рисунок 3).

Каждой вершине графа будет сопоставлено название класса условий  $Y_{ij}$ , а ребру значение условий  $B_{ij}$ .

При этом значение условий определится интуиционистским нечетким множеством:

$$Q = \{ \langle B_{ij}, \mu_Q(B_{ij}), \vartheta_Q(B_{ij}) \rangle \}$$

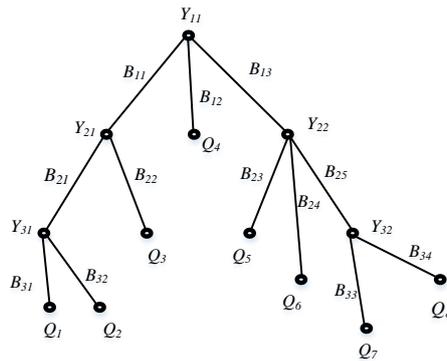


Рисунок 3. Граф системы

Тогда для первого уровня данное условие запишется следующим образом

$$Q = \left\{ \begin{array}{l} \langle B_{11}, \mu_Q(B_{11}), \vartheta_Q(B_{11}) \rangle, \\ \langle B_{12}, \mu_Q(B_{12}), \vartheta_Q(B_{12}) \rangle, \\ \langle B_{13}, \mu_Q(B_{13}), \vartheta_Q(B_{13}) \rangle \end{array} \right\}$$

Допустим, что в качестве  $Y_{11}$  задано условие – повысить рентабельность распределительного центра,  $Y_{21}$  – увеличение пропускной мощности,  $Q_4$  – оставить все как есть, ждать лучшее время,  $Y_{22}$  – повышение стоимости.

После оценки экспертами-специалистами будут заданы значения  $\langle B_{11}, \mu_Q(B_{11}), \vartheta_Q(B_{11}) \rangle$ ,  $\langle B_{12}, \mu_Q(B_{12}), \vartheta_Q(B_{12}) \rangle$ ,  $\langle B_{13}, \mu_Q(B_{13}), \vartheta_Q(B_{13}) \rangle$ . Далее необходимо по формулам (1) или (2) рассчитать соответствующие расстояния. В соответствии с поставленными целями при проектировании системы  $Q$  примет одно из трех состояний – либо  $Y_{21}$ , либо  $Q_4$ , либо  $Y_{22}$ . На основании данных вычислений можно принимать решение о целесообразности перехода на следующий уровень.

Процесс проектирования системы на каждом уровне описывается своими структурными формулами, отличающимися степенью проработанности и информативности проектных решений. На каждом уровне решаются свои задачи. Ввиду различной степени детализации проектируемой системы достоверность и точность оценок при выборе проектных решений разная.

В связи с детализацией проектирования системы каждый оставшийся уровень разделяется на подуровни, часть из которых по результатам вычислений расстояний интуиционистских нечетких множеств отбрасывается. Такой многоступенчатый отбор позволяет сократить число анализируемых вариантов и повысить эффективность решения задачи, и как следствие повысить надежность функционирования проектируемой системы.

**Заключение**

Так как сложные системы характеризуются многомерностью и многосвязностью, то принятие решений на основе рассчитанных значений нечетких расстояний, позволит сократить заведомо неэффективные решения, что значительно ускорит процесс формирования наилучшего плана задачи. При этом нечеткие интуиционистские множество позволяют достоверно оценить исходные данные в виду определения не только значений принадлежности и непринадлежности параметра какому-либо условию, но и определению индекса нечеткости.

Данный математический аппарат найдет применение в принятии инвестиционных решений, при проектировании производственных систем и проектировании технологических процессов, то есть в иерархичных системах, где решение, принятое на каждом из уровней влияет на конечный результат.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ проекты №18-01-00023а, №19-07-00074а.*

### Список литературы

1. Фролов К.В., Махутов Н.А., Маслов Л.И., Тараненко Г.И. ОАО «Российские железные дороги» - сложная техногенная система. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eav.ru/pub11.php?publid=2005-04a16>.
2. Pyster A., Hutchison N., Henry D. (2018). The Paradoxical Mindset of Systems Engineers: Uncommon Minds, Skills, and Careers. Wiley. 257 p.
3. Cloutier R., Baldwin C., Bone M. (2015) Systems Engineering Simplified. CRC Press, Taylor & Francis Group., XV, 70 p.
4. Martin L. (2002) Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design. New York: Martin L. Shooman. 528 p.
5. Haddar M., Romdhane L., Louati J., Amara A.B. (Eds.) (2013) Design and Modeling of Mechanical Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, XIV, 665 p.
6. Cencini M., Cecconi F., Vulpiani A. (2009). Chaos: From Simple Models to Complex Systems. Singapore: World Scientific, 482 p.
7. Боженюк А.В., Косенко О.В., Косенко Е.Ю. Решение задачи формирования распределительной системы в условиях неопределенности. / Инженерный вестник Дона, 2018. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5138>.
8. Bozhenyuk A., Kosenko O. Method of Solving Multi-Index Distribution Tasks with Fuzzy Parameters. / Proceedings of the IV International research conference "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine" (ITSMSSM 2017) <https://www.atlantispress.com/proceedings/itsmssm-17/25887846>.
9. Haimes Y. (2019) Modeling and Managing Interdependent Complex Systems of Systems. Wiley-IEEE Press, 801 p.
10. Ioannou Petros A., Pitsillides A. (ed.) (2008) Modeling and Control of Complex Systems. CRC Press, Taylor & Francis Group. 552 p.
11. Боженюк А.В., Косенко О.В., Шестова Е.А., Синявская Е.Д., Косенко Е.Ю., Номерчук А.Я. Разработка информационного обеспечения рационального размещения промежуточных центров распределения топливно-энергетических ресурсов в условиях частичной неопределённости / Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2017. Т. 1. С. 384-387.
12. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. / М.: Мир, 1976.- 167 с.
13. Zadeh L.A. Similarity relations and fuzzy orderings. // Information Sciences. 1971. № 3(2). P. 177–200. [14].

14. Атанасов К. Т. Интуиционистские нечеткие множества, Нечеткие множества и системы, 20 (1986), С.87--96.
15. Christofides N. Graph theory. An algorithmic approach. Academic press. London. UK. 1976. 400 p.
16. Rosenfeld A. Fuzzy graphs. / In: L.A.Zadeh, K.S.Fu, M.Shimura (Eds.), Fuzzy Sets and Their Applications. Academic Press. New York. USA. 1975. P. 77–95.
17. Mordeson J.N., Nair P.S. Fuzzy Graphs and Fuzzy Hypergraphs. Springer. Heidelberg. Germany. 2000. 248p.
18. Sunitha M.S., Kumar A.V. Complement of a fuzzy graph. // Indian Journal of Pure and Applied Mathematics. 2002. № 33(9). P. 1451–1464.
19. Shannon A., Atanassov K.T. A first step to a theory of the intuitionistic fuzzy graphs. / In: D. Lakov (Ed.), Proceeding of the FUBEST. Sofia. Bulgaria. 1994. P. 59–61.
20. Shannon A., Atanassov K.T. Intuitionistic fuzzy graphs from  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $(\alpha, b)$ -levels. // Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets. 1995. № 1(1). P. 32–35.
21. Bershtein L., Bozhenyuk A. Fuzzy Graphs and Fuzzy Hypergraphs. / In: J.Dopico, J. de la Calle, A.Sierra (Eds.). Encyclopedia of Artificial Intelligence. Information SCI. Hershey. New York. 2008. P. 704-709.
22. Косенко О.В., Боженюк В.А., Алехина О.М. Оценка параметров распределительной задачи на основе интуиционистских нечетких множеств / Научный альманах, N9-2(47), 2018. С.32-35.

УДК: 625.1; 656.2:658.012.011.56; 656.2:004

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМАЛИЗОВАННОМУ СОСТАВЛЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

- Горбунов К. С.** Начальник, Ситуационный центр мониторинга и управления ЧС, ОАО «РЖД», E-mail: gorbunovks@center.rzd.ru, Москва, Россия
- Коваленко Н. А.** к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Москва, Россия
- Ефимов Р. А.** к.т.н., доцент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: era.90green@mail.ru, Москва, Россия
- Бородин А. А.** студент, Российский университет транспорта (МИИТ), E-mail: borodinups@gmail.com, Москва, Россия
- Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы автоматизации написания технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте с применением формализованного описания. Предложен схематичный алгоритм формализованного написания технического заключения.
- Ключевые слова:** безопасность движения поездов, техническое заключение, формализация, автоматизация.

## METHODICAL APPROACH TO THE FORMALIZED FORMING TECHNICAL REPORTS IN THE INVESTIGATION OF TRAIN TRAFFIC SAFETY VIOLATIONS

- Gorbunov K. S.** Head of the Situation Center for Monitoring and Emergency Management, JSC "RZD", E-mail: gorbunovks@center.rzd.ru, Moscow, Russia
- Kovalenko N.A.** Ph.D.(Tech.), Associate professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia
- Efimov R. A.** Ph.D.(Tech.), Associate professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: era.90green@mail.ru, Moscow, Russia
- Borodin A. A.** student, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: borodinups@gmail.com, Moscow, Russia
- Annotation.** The article discusses the issues of automating the writing of Technical reports in the investigation of traffic safety violations in railway transport using a formalized description. A schematic algorithm for the formalized writing of a Technical report is proposed.
- Keywords:** train traffic safety, technical report, formalization, automation.

### Введение.

На железнодорожном транспорте, как и в любой другой транспортной системе, в процессе осуществления перевозочного процесса, вследствие возникновения различных нештатных ситуаций может создаваться угроза для безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта.

Порядок расследования нарушений безопасности движения изложен в базовом нормативном правовом акте – Положении Минтранса РФ [1]. На его основании разработан и введен в действие нормативный документ ОАО «РЖД» – Положение ОАО «РЖД» [2]. По результатам

расследования, проводимого в соответствии с нормативными документами [1,2,3], разрабатываются следующие документы:

- техническое заключение ОАО «РЖД»;
- материалы расследования нарушения безопасности движения;
- протокол совещания с установленными причинами допущенного нарушения безопасности движения, действиями или бездействиями его непосредственных участников и их работодателей, мерами по предупреждению установленных причин в будущем и ответственными за их возникновение региональных дирекций (центров, служб) и их структурных подразделений (подразделений) ОАО «РЖД», дочерних обществ или сторонних организаций, размер ущерба от допущенного нарушения безопасности движения.

Кроме того, в соответствии с Методикой [3], формирование технического заключения комиссией ОАО «РЖД» является завершающим этапом выявления причинно-следственных связей при расследовании события.

Технические заключения по результатам расследования случаев нарушений безопасности движения составляются в соответствии с Методическими рекомендациями [4], которые в настоящий момент проходят актуализацию. На практике нередко требования рекомендаций трактуются неоднозначно. Это приводит к нарушению логических связей при составлении технических заключений, дублированию информации и др. Кроме того, технические заключения, как правило, имеют достаточно большой объем. Написание такого документа вручную с использованием стандартных средств MS Office занимает достаточно много времени. Поэтому следующим этапом после актуализации указанных Методических рекомендаций [4] должна следовать автоматизация процесса составления технических заключений с использованием формализованного описания.

#### **Автоматизация составления технических заключений**

Целью автоматизации составления технических заключений с применением формализованного описания является повышение уровня безопасности движения в результате автоматизированного контроля за корректностью написания технического заключения, сокращения времени на работу с техническим заключением.

Внедрение подсистемы работы с техническими заключениями в рамках АС РБ (НБД) позволит обеспечить:

- централизованное хранение всех технических заключений в единой централизованной базе данных;
- высокую скорость работы;
- логическую проверку содержания разделов технического заключения;
- возможность интеграции с другими системами и базами данных;
- возможность получения оперативной статистической выборки по указанному параметру.

Часть информации в разделах технического заключения может быть заполнена с применением формализованного описания со стандартными шаблонами и классификаторами. Однако полностью формализовать все разделы технического заключения не представляется возможным, так как часть информации является индивидуальной и зависит от конкретного случая нарушения безопасности движения. При написании каждого раздела технического заключения обязательно должна быть предусмотрена возможность корректировки и ввода информации вручную. При этом заполнение каждого последующего раздела технического заключения производится в зависимости от выбранной в предыдущих разделах информации.

В соответствии с актуализированным проектом Методических рекомендаций по написанию технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения техническое заключение о результатах расследования комиссией ОАО «РЖД» должно включать в себя следующие разделы:

1. Обстоятельства транспортного происшествия.
2. Характеристика места транспортного происшествия или иного события.
3. Контрольные и дополнительные сведения.
4. Последствия нарушения безопасности движения.
5. Меры незамедлительного характера, принятые в ходе расследования, и действия комиссии ОАО «РЖД» на месте транспортного происшествия или иного события.
6. Результаты проведенных экспериментов и исследований.
7. Нарушения нормативных документов, допущенные причастными лицами.
8. Действия или бездействие причастных руководителей, способствовавшие возникновению системных нарушений в вопросах предупреждения аварийности.
9. Причинно-следственные связи.
10. Выводы и рекомендации.

Для обеспечения возможности создания выборок технических заключений по различным параметрам необходимо изначально указывать классификацию события в соответствии с Положением о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта [1], а также принадлежность события к группе причин, выделяемых по признакам зависимости от источников их возникновения. В соответствии с Методикой определения причинно-следственных связей [3] выделяются следующие основные группы причин:

- отказы технических средств;
- ошибки персонала;
- нерасчетные воздействия внешней среды;
- другие проявления и воздействия.

В первую группу входят отказы элементов железнодорожной инфраструктуры, железнодорожного подвижного состава, а также применяемого при их техническом обслуживании оборудования и используемых инструментов.

В группу причин, возникающих из-за ошибок персонала, входят ошибки, соответствующие нарушениям правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на инфраструктуре ОАО «РЖД» при выполнении технологических процессов работы структурных подразделений филиалов ОАО «РЖД».

Группу причин, возникающих из-за нерасчетных воздействий внешней среды, составляют некоторые техногенные аварии и катастрофы (например, падение воздушного судна на железнодорожный путь, столкновение речных судов с железнодорожным мостом), неблагоприятные природные явления (например, оползни, обвалы, сход снежных лавин), а также проявления иных воздействий, на которые не рассчитаны объекты железнодорожного транспорта (например, появление в поезде повышенных продольных сил при некоторых допустимых режимах ведения поезда).

В группу причин, возникающих из-за других проявлений и воздействий, могут входить такие причины, как «хищение ответственных элементов инфраструктуры и подвижного состава»,

«несанкционированное вмешательство посторонних лиц в деятельность железнодорожного транспорта», «умышленные неправомерные действия (бездействия) персонала», «обстоятельства непреодолимой силы» и т. п.

После выбора классификации события и отнесения события к одной из основных групп причин следует заполнение разделов технического заключения.

Далее приводится наполнение разделов технического заключения, к которым возможно применить формализованное описание.

1. Обстоятельства транспортного происшествия.

1.1 Дата и время события: местное и московское.

1.2 Расположение места события: железная дорога, регион, участок, место события (перегон, станция, ПНП и т. п.), геоданные (взаимодействие с ГИС «РЖД»).

1.3 Погодные условия: условия видимости, температура воздуха, осадки (наличие и уровень), сила и направление ветра, наличие штормового предупреждения, наличие опасных явлений погоды.

Остальная информация по данному разделу, в том числе описание события вводится вручную.

2. Характеристика места транспортного происшествия или иного события.

2.1 При нарушении безопасности движения на перегоне (предлагается предусмотреть ввод данных из ГИС «РЖД»): число путей на перегоне, расположение в плане и профиле, поперечный профиль земляного полотна, средства сигнализации и связи, наличие контактной сети, вид пути по типу стыковых скреплений, тип рельс, материал шпал, тип промежуточных скреплений, вид балласта.

2.2 При нарушении безопасности движения на станционном пути, пути общего или необщего пользования (предлагается предусмотреть ввод данных из АС ТРА): номер пути, специализация пути, полезная длина, отметки плана и профиля, наличие на пути электрической изоляции, наличие на пути контактной сети, наличие на пути устройств АЛСН/САУТ, тип рельс, материал шпал, тип промежуточных скреплений, вид балласта.

2.3 При нарушении безопасности движения на стрелочном переводе железнодорожной станции: тип стрелочного перевода, марка, место расположения, материал шпал и переводных брусьев, вид балласта.

2.4 При возникновении нарушения безопасности движения, связанного со светофором на железнодорожной станции: назначение светофора, вид, место установки.

2.5 При нарушении безопасности движения на железнодорожном переезде: категория переезда, оборудование, исправность АПС, оборудование УЗП.

3. Контрольные и дополнительные сведения.

3.1 О подвижном составе (предлагается предусмотреть ввод данных из АСОУП-2): данные о поезде, наличие в составе поезда вагонов с опасными грузами, серия и номер локомотива, депо приписки локомотива и ФИО машиниста.

3.2 О перевозимом грузе (при сходе подвижного состава): наименование груза, вес, аварийная карточка.

3.3 О причастных (предлагается предусмотреть ввод данных из ЕК АСУТР).

Указываются:

- наименования причастных структурных подразделений;
- Ф.И.О. и должности причастных работников;

- образование и стаж работы;
- режим и время работы/отдыха причастных;
- прохождение периодических и предрейсовых медицинских осмотров;
- наличие опасных и вредных производственных факторов;
- обеспеченность средствами индивидуальной защиты.

4. Последствия нарушения безопасности движения.

Пострадавшие, погибшие, последствия схода подвижного состава, степень повреждения подвижного состава, повреждения объектов инфраструктуры.

5. Меры незамедлительного характера, принятые в ходе расследования, и действия комиссии ОАО «РЖД» на месте транспортного происшествия или иного события.

Осуществляется выбор из перечня основных мероприятий с вводом конкретных данных.

6. Результаты проведенных экспериментов и исследований.

Раздел заполняется вручную.

7. Нарушения нормативных документов, допущенные причастными лицами.

Раздел заполняется вручную с указанием нормативных документов, требования которых были нарушены.

8. Действия или бездействие причастных руководителей, способствовавшие возникновению системных нарушений в вопросах предупреждения аварийности.

Раздел заполняется вручную.

9. Причинно-следственные связи.

Указываются:

- непосредственная причина;
- основная причина;
- способствующие причины;
- системные причины.

10. Выводы и рекомендации.

Указывается отнесение виновности и рекомендации по исключению возникновения подобных случаев в будущем.

Схема алгоритма формализованного составления технического заключения представлена на рисунке 1.

**Выводы.** Разработан и предложен методический подход к формализованному составлению технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения. Автоматизация написания технических заключений с применением формализованного описания и внедрение в рамках системы АС РБ (НБД) подсистемы работы с техническими заключениями позволит значительно сократить время на работу с одним техническим заключением, оперативно создавать статистические выборки технических заключений и событий по различным параметрам, в том числе при внесении изменений в классификаторы нарушений безопасности движения или отнесения по хозяйствам, осуществлять контроль соблюдения структуры технического заключения и правильности заполнения, оптимизировать выбор варианта отображения причинно-следственных связей. В дальнейшем предлагается автоматизировать процесс написания технических заключений с применением предложенного методического подхода.

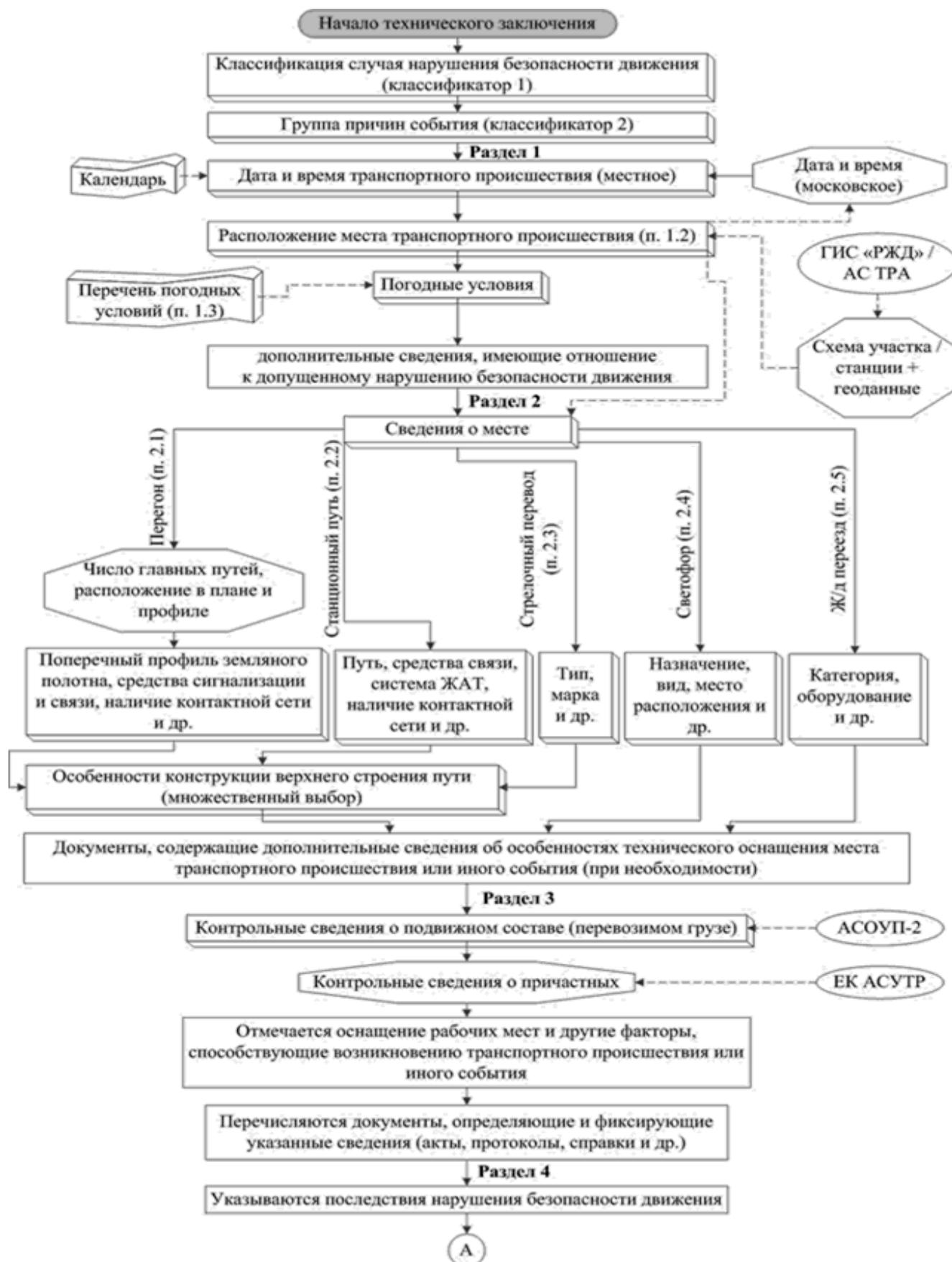


Рисунок 1. Лист 1. Схема алгоритма формализованного составления технического заключения.

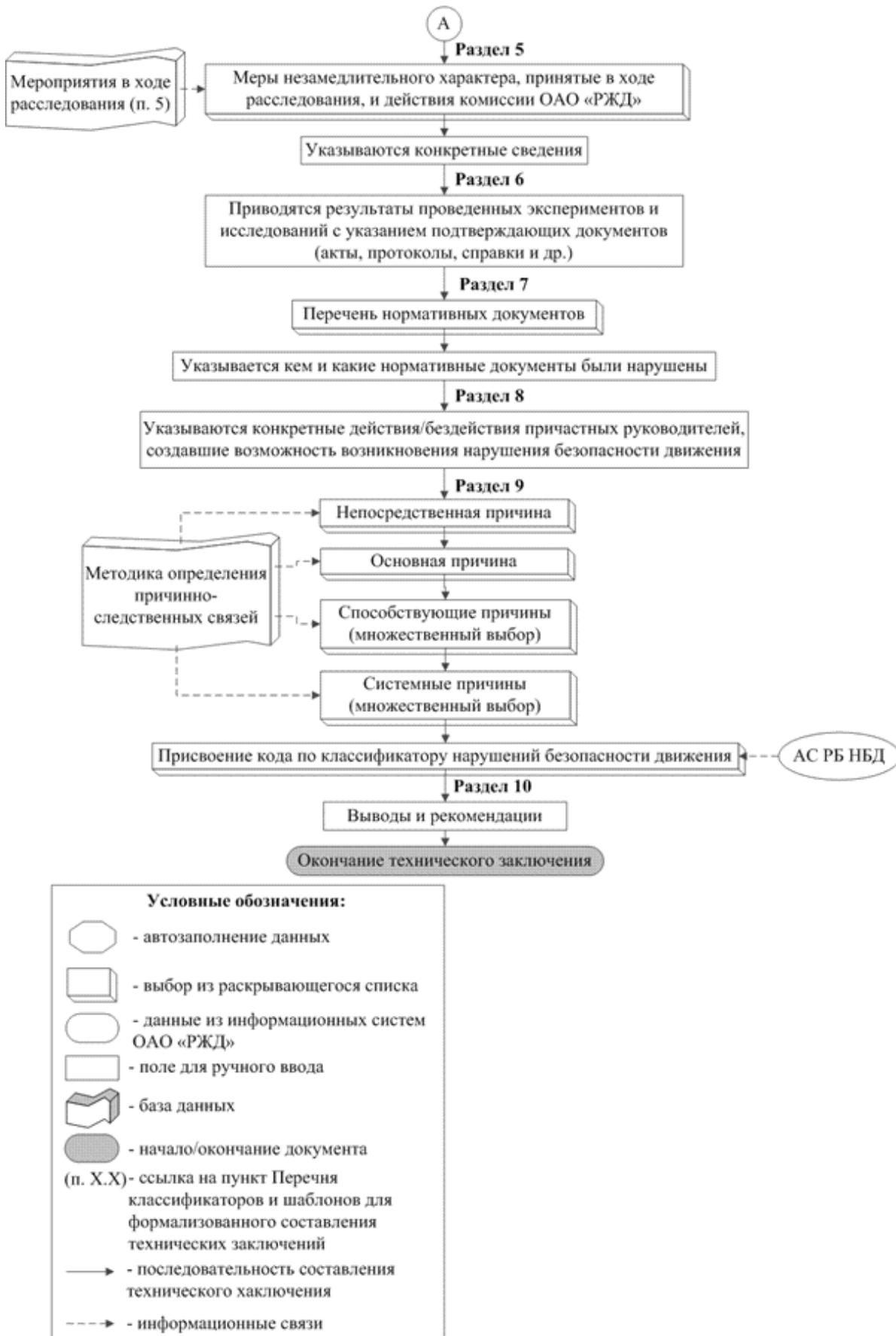


Рисунок 1. Лист 2. Схема алгоритма формализованного составления технического заключения.

### Список литературы

1. Положение о классификации, порядке расследования и учёта транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, утверждённое приказом Минтранса России от 18 декабря 2014 г. № 344 (с изменениями и дополнениями от: 29 июля 2016 г., 1 июня 2018 г., 15 октября 2019 г.).
2. Положение об организации расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на инфраструктуре ОАО «РЖД», утверждённое распоряжением ОАО «РЖД» от 21 августа 2017 г. № 1697р (ред. от 30 января 2019 г.).
3. Методика определения причинно-следственных связей нарушений безопасности движения, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2017 г. № 2832р.
4. Методические рекомендации по написанию технических заключений при расследовании нарушений безопасности движения, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 16 июля 2012 г. № 1396р.

