

**Стратегия развития железных дорог**

Розенберг И.Н., Цветков В.Я.  
«Динамическая информационная  
ситуация в транспортной сфере»

Титов Е.К.  
«Смешанная реальность в управлении  
транспортом»

**Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте**

Козлов А.В.  
«Субсидиарные модели для  
транспортных кибер-физических  
систем»

Рогов И.В.  
«Органический и ситуационный  
анализ при управлении транспортом  
мегаполиса»

**Геоинформационные технологии и  
системы на транспорте**

Дулин С.К., Дулина Н.Г.  
«Анализ требований к открытой  
системе генерализации  
железнодорожных карт»

**Цифровые методы  
на железнодорожном транспорте**

Матчин В.Т.  
«База данных транспортной  
кибер-физической системы»

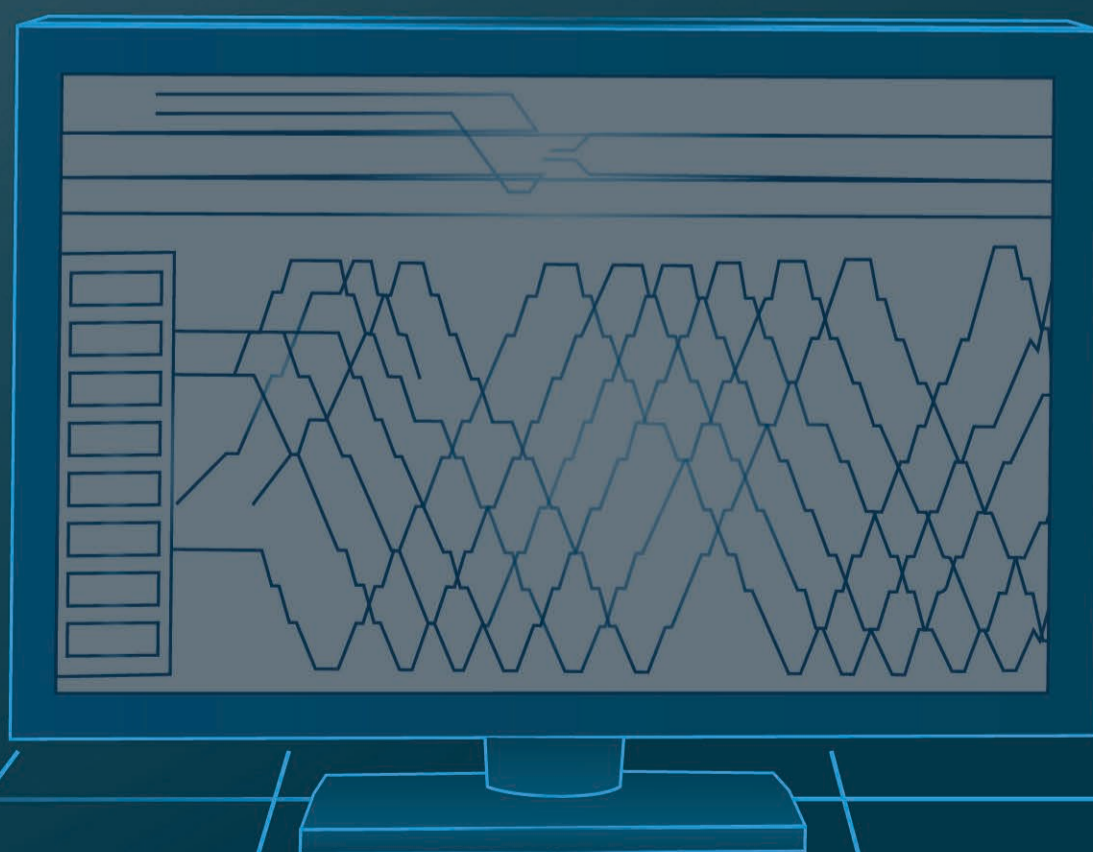
Булгаков С.В.  
«Управление движением  
при наличии помех»

**Организация работ и безопасность  
движения на транспорте**

Охотников А.Л.  
«Помехоустойчивость в каналах связи  
интегрированной системы технического  
зрения»

Коваленко Н.А., Быков В.С.  
«Об организации ремонтно-  
путевых работ на инфраструктуре  
московского железнодорожного узла  
в условиях интенсивного  
пассажирского движения»

# НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



**3** стр.

Стратегия развития железных дорог  
«Динамическая информационная  
ситуация в транспортной сфере»  
Розенберг И.Н., Цветков В.Я.

**9** стр.

Стратегия развития железных дорог  
«Смешанная реальность  
в управлении транспортом »  
Титов Е.К.,

**17** стр.

Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте  
«Субсидиарные модели  
для транспортных  
кибер-физических систем»  
Козлов А.В.

**25** стр.

Интеллектуальные системы  
и технологии на транспорте  
«Органический и ситуационный анализ  
при управлении транспортом  
мегаполиса»  
Рогов И.Е.

**34** стр.

Геоинформационные технологии  
и системы на транспорте

«Анализ требований к открытой  
системе генерализации железно-  
дорожных карт»  
Дулин С.К., Дулина Н.Г.

**42** стр.

Цифровые методы  
на железнодорожном транспорте

«База данных транспортной  
кибер-физической системы »  
Матчин В.Т.

**49** стр.

Цифровые методы на  
железнодорожном транспорте

«Управление движением  
при наличии помех »  
Булгаков С.В.

**56** стр.

Организация работ и безопасность  
движения на транспорте

«Помехоустойчивость в каналах связи  
интегрированной системы  
технического зрения»  
Охотников А.Л.

**62** стр.

Организация работ и безопасность  
движения на транспорте

«Об организации ремонтно-путевых  
работ на инфраструктуре московского  
железнодорожного узла в условиях  
интенсивного пассажирского  
движения»  
Коваленко Н.А., Быков В.С.

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

# Динамическая информационная ситуация в транспортной сфере

## DYNAMIC INFORMATION SITUATION IN THE TRANSPORT SECTOR

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

**Цветков В.Я.** д.т.н., профессор, начальник научного отдела, АО «НИИАС», E-mail: cvj2@mail.ru, Москва, Россия

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

Tsvetkov V.Ya. D.ofSci.(Tech), Professor, head of scientific department, JSC "NIIAS", E-mail: cvj2@mail.ru, Moscow, Russia



## Аннотация

Описано построение и применение модели динамической информационной ситуации на транспорте. Вводятся понятие «модели ситуационного окружения». Показаны пространственные отношения между моделями динамической ситуации и моделью ситуационного окружения. Использование модели динамической ситуации позволяет анализировать реальные условия движения объекта и осуществлять реальное управление объектом по фактическим условиям.

## Annotation

The construction and application of a model of a dynamic information situation in transport is described. The concept of "situational environment models" is introduced. The spatial relationships between the dynamic situation models and the situational environment model are shown. The use of a dynamic situation model makes it possible to analyze the real conditions of the object's movement and to carry out real control of the object according to the actual conditions.



# 4

---

## Введение.

При управлении современными системами типа: цифровая железная дорога [1-3], интеллектуальные транспортные системы [4] (ИТС), транспортные киберфизические системы [5, 6] (ТКФС), возникает задача оптимизации управления и задача разработки новых моделей управления, отвечающих современным условиям движения, в частности высокоскоростного движения. При автономном управлении транспортом пространственная управляющая информация хранится как электронная карты на транспортном средстве и в головном центре управления. На транспортном средстве она хранится в бортовой базе данных. Бортовая БД всегда связана со стационарной базой данных. Возрастание числа параметров при управлении является характерной чертой современного управления подвижными объектами. Возрастание числа параметров при управлении приводит к росту объемов исходных данных. При этом необходимость оперативной обработки данных возрастает. Это и разнообразие данных (появление новых типов) приводят к проблеме больших данных [7]. Дополнительно эта проблема требует большего сравнительного анализа. Рост числа и разнообразия данных обуславливает возрастание сложности разных моделей: движения, объектов, ситуации движения, ситуации управления, ситуации возможного взаимодействия объекта со средой.

Глобализация и интермедиализация перевозок сопровождаются ростом масштабов области управления. Тенденция возрастания ростом интенсивности транспортных потоков усиливает проблему больших данных. Теория управления говорит о том, что в меняющейся обстановке невозможно выработать универсального метода управления. Существует направление в теории школ управления, которое называют «управление при непредвиденных обстоятельствах». Одним из видов «управление при непредвиденных обстоятельствах» является ситуационное управление [8]. Обязательным его дополнением является ситуационный анализ. Достоинство ситуационного управления состоит в возможности воздействия не только на объект управления, но и на ситуацию, в которой объект управления находится или будет находиться. Таким образом, при ситуационном управлении

можно воздействовать на объект, на ситуацию, или на то и другое. Методика воздействия на ситуацию для управление объектом, который в ней находится, получила название «мягкого управления» [9].

При управлении с использованием ситуационного подхода применяют разные методы и модели. Использование конструктивного подхода и информационного конструирования приводит к построению модели информационной конструкция или метамодель. Использование геоинформационного подхода и геоинформационного моделирования приводит к построению моделей информационных ситуаций (ИС) [10, 11]. Модель ИС является деривацией классической информационной модели. Модель ИС в семантической области является аналогом модели семантического окружения. Как всякая модель ИС содержит ключевые факторы, связывающие ее с объектом окружения. Отличием модели ИС от многих информационных моделей является то, что в ней больше представлены информационные отношения, чем информационные связи.

Модель ИС является более изменчивой по отношению к объекту управления (транспорта). Это обусловлено тем, что она воспринимает на себя изменчивость и воздействия внешней среды и передает эту изменчивость на объект. Этим она с одной стороны смягчает воздействие среды на объект. С другой стороны, это создает изменчивость самой модели ИС. Последнее увеличивает объем анализа управленческой информации.

Поэтому применение модели информационной ситуации может увеличивать время анализа. Существует различие в управлении подвижными и стационарными объектами. Это различие переносится на ситуационное управление. Ситуационное управление транспортом (СИТ) является динамическим в пространственном и временном аспекте и требует применения скользящих или динамических моделей. Ситуационное управление предприятием (СИП) является динамическим только во временном аспекте. Для СИТ и СИП характерно применение методов семиотики [12] которые предлагал Д. Поспелов. Ситуационный менеджмент использует киберпространство. В большинстве случаев он использует стационарные

# 5

модели объектов и динамические модели процессов. СИП использует большие временные интервалы для принятия решений. Ситуационное управление в сфере транспорта часто бывает многоцелевым. Оно подвержено существенному влиянию внешних факторов. Ситуационный менеджмент, как правило, имеет одну стратегическую цель и значительно слабее подвержен влиянию внешних факторов.

## Обобщенная схема ситуационного управления

Современное управление транспортом является ситуационным. Поэтому базовой моделью управления является модель подвижной информационной ситуации [2]. Эта модель связана с перемещением подвижного объекта в пространстве и приведена на рис.1.

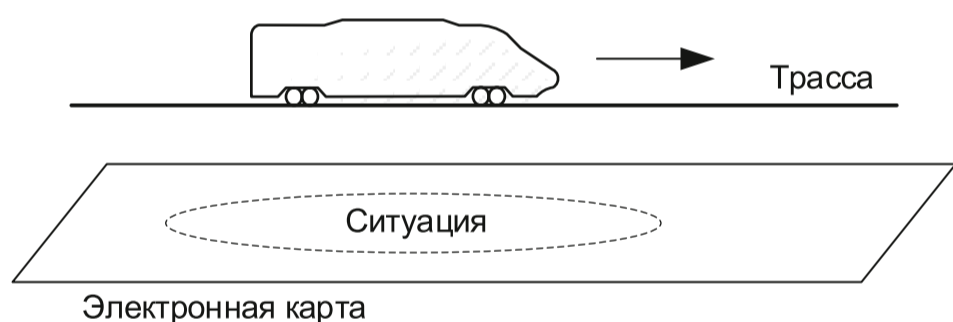


Рисунок 1. Динамическая ситуация объекта

Реальная текущая ситуация окружает объект и перемещается вместе с ним. На рис.1 показан реальный объект и окружающая его ИС. Принципиальным является то, что модель информационной ситуации, окружающая объект, скользит по электронной карте синхронно с движением транспортного средства. Реальная ситуация, окружающая объект, также двигается вместе с ним как его окружение. Поэтому можно ввести термин «скользящая информационная ситуация», который отражает движение модели информационной ситуации по электронной карте и движение реальной ситуации, окружающей объект, по трассе. Синонимом этого термина является термин «динамическая информационная ситуация».

Маршрут движения и ситуация окружения маршрута отражается на электронной карте. Можно говорить о локальной динамической информационной ситуации, соответствующей движению объекта по трассе. Также можно говорить о глобальной информационной ситуации, описывающей маршрут движения. Гло-

бальная информационная ситуация хранится в стационарной (глобальной) базе данных (ГБД). Глобальная база данных обычно находится в ситуационном центре. Реже она размещается в центре управления движением. Локальная информационная ситуация хранится в виде фрагмента электронной карты бортовой базы данных (ББД) и ее копия отражается в ГБД. Содержание этих баз данных комплементарно [13, 14]. Обновление содержания ситуации или информации об объекте синхронно передается в обе базы данных. Это свойство называют синхронным обновлением синхронизации баз данных при управлении подвижными объектами.

## Структура динамической информационной ситуации

Как всякая модель ИС имеет структуру. Модель ИС в общем случае является обобщающим и различается для стационарных и подвижных объектов. Масштаб информационной ситуации для подвижных объектов намного больше.

СИТ использует различные вспомогательные модели. Например, облачную модель [15]. Для ЦЖД СИТ применяет модели виртуальных блоков [16]. Эта модель, в сущности, есть динамическая скользящая информационная ситуация. Скользящая информационная ситуация окружает объект транспорта и перемещается с ним по трассе движения. Скользящая информационная ситуация включает динамические факторы движения объекта.

При СИТ необходимо принимать в рассмотрение как движущиеся, так и неподвижные объекты транспортной инфраструктуры. При этом подвижный объект также является практически стационарным. Меняется его положение в пространстве и состояние. Состояние может меняться критически и некритически. При некритическом изменении состояния подвижный объект можно рассматривать как стационарный. Структура динамической информационной ситуации приведена на рис.2. На нем выделены наиболее важные зоны. На рисунке приведены три мобильных объекта (МО1, МО2, МО3). Динамическая ситуация включает две качественно разные ситуации: габаритную ситуацию (ГС) и ситуацию между подвижными объектами (ДД).

# 6

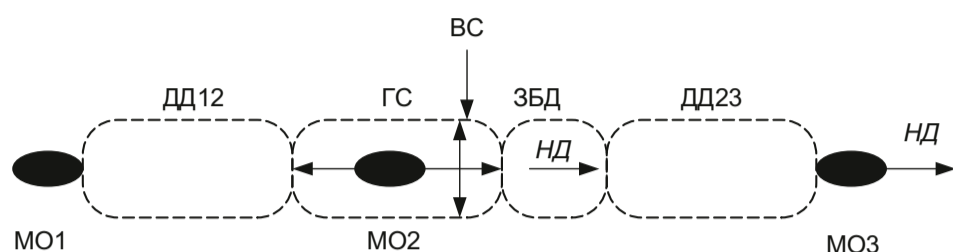


Рисунок 2. Структура динамической информационной ситуации

Кроме габаритной зоны в модель входит зона безопасности движения (ЗБД). Она определяется в первую очередь тормозным путем. Перед и после основного мобильного объекта MO2 существуют зоны, называемые «динамическими дистанциями» (ДД). Направление движения обозначено символом НД. Как уже говорилось выше, внешняя среда (ВС) оказывает воздействие на реальную ситуацию. Через нее и только через нее она действует на мобильный объект. В силу этого при бесветофорном движении существуют зоны: ГО, ЗБД, ДД. Эти зоны рассчитываются встроенными вычислителями в ИТС или ТКФС.

## Ситуационный анализ

Динамическая информационная ситуация при управлении транспортом может быть рассмотрена и определена как «скользящая информационная ситуация». Это обусловлено тем, что в математике существует аналог, который называется скользящее среднее. При наличии числового или временного ряда его модифицируют, выбирая точку ряда и вычисляя среднее по группе 4-5 точек, которые ее окружают. Вычисленным средним заменяют центральную точку для выбранной группы. В данном случае аналогия не в методе вычислений, а в выборе окружения для текущей позиции подвижного или мобильного объекта.

Можно сравнить фиксированную и скользящую ситуацию. Фиксированной информационной ситуацией FS называют ситуацию, описывающую неподвижный объект.

$$FS = \langle S, I, SP, PO \rangle$$

где: S – состояние, I – воздействие внешней среды, SP – параметры ситуации, PO – параметры объекта.

Для мобильного объекта движение можно представить, как последовательный переход из одной пространственной ситуации в другую. Это и приводит к понятию скользящая ситуация. Для скользящей ситуации существует цель движения объекта TO. Для

мобильного объекта существует понятие текущая ситуация и целевая ситуация TS. Текущая ситуация для мобильного объекта совпадает с фиксированной ситуацией, но отличается указанием времени ее фиксации – FS(t).

Обобщенно процесс ситуационного управления мобильным объектом можно описать в виде логического следования

$$FS(t) \rightarrow TO, \tag{1}$$

В выражении (1) t – момент времени фиксации подвижного объекта в текущей ситуации, TO – целевая ситуация движения или точка доставки. Для выражения (1) ситуационное управление сводится к смене текущих ситуаций, которые пределом имеют целевую ситуацию.

При скользящем управлении логический выбор управления есть логический анализ области истинности (1). Обычно при этом осуществляют поиск прецедентов и подбор паттернов. Если прецедентов не найдено, то паттернов нет. При наличии паттернов имеет место стереотипное управление, с использованием базы данных стереотипов.

Скользящей ситуацией DS(t) в широком смысле называют модель, включающую текущие модели FS(t). По логике, такая модель должна включать дополнительные параметры по отношению к FS(t). Она должна включать позицию мобильного объект PMO, параметры текущей ситуации PS(t), вектор скорости V(t) мобильного объекта, воздействие внешней среды I, TO – целевая ситуация движения или точка доставки, динамические параметры Pd, временной интервал ситуации T. В этом случае

$$DS(t) = \langle PMO, PS(t), V(t), I, TO, T \rangle.$$

Скользящая ситуация фактически применяется при разных видах управлении подвижными объектами: информационном [20], многоцелевом [17, 18], субдиарном [21, 22], управлением с поиском цели [19]. Для скользящей ситуации существуют два вида моделей: габаритные ситуационные и смещающиеся.

Габаритная модель ситуации (GS) [23] определяется как пространственная габаритная ситуация, окружающая мобильный объект в точке (x) в момент времени (t). Она является стационарной и существует только тогда, когда мобильный объект находится в точке x(t). При скольжении объекта к другой точке она частично сохраняется, но с течением времени

# 7

---

полностью исчезает из поля зрения подвижного объекта и не влияет на его состояние. В этом наблюдается полная аналогия с методом скользящего среднего. В определение скользящего среднего входят ближайшие точки, которые находятся в окрестности вычисляемой точки. Габаритная модель ситуации – это модель, которая находится в окрестности точки расположения подвижного объекта  $x(t)$ . Системный подход [24] позволяет описать габаритную модель в виде кортежа.

$$GS(x(t)) = F_1(GO, GS(x(t)), V(t), E(t)), \quad (2)$$

В выражении (2)  $GO$  – габариты объекта,  $GS(x(t))$  – габариты пространственной ситуации в точке  $x$  в момент времени  $t$ ,  $V(t)$  – скорость объекта в момент времени  $t$ ,  $E(t)$  – воздействие внешней среды в момент времени  $t$ . Подвижный объект всегда является открытой системой, он взаимодействует с внешней средой и перемещается в ней. Объект может быть частью другого объекта как подсистема более сложной системы. Например, вагон или локомотив являются частью поезда. Выше рассмотрена скользящая динамическая ситуация  $DS$ , включающая параметры среды и модели объекта. С позиций управления интерес представляет часть ситуации без мобильного объекта. Такая модель применима к разным мобильным объектам и позволяет накапливать опыт по управлению ими. Можно описать скользящую ситуацию с помощью следующих отношений.

$$DS = MO(x(t)) \cup GS(x(t)), \quad (3)$$

$$GS \subset EE, \quad (4)$$

$$DS(t) \subset EE, \quad (5)$$

Выражение (3) включает скользящую ситуацию  $DS$ , модель подвижного объекта –  $MO$  в момент времени  $t$ , габаритную ситуацию в точке  $x(t)$  в момент времени  $t$ . Скользящая информационная ситуация включает модель объект и габаритную модель ситуации. Выражение (4), говорит о том, что габаритная модель ситуации есть часть внешней среды ( $EE$ ), которая зафиксирована во внешней среде. Выражение (5) показывает, что скользящая ситуация есть динамическое подмножество внешней среды.

Использование  $GS$  позволяет анализировать потенциальные условия движения и моделировать эти условия как метод мягкого управления. Использование  $GS$  позволяет анализировать возможное состояние подвижного объекта и оптимизировать его управление, безотносительно к его местонахождению. Использование  $DS$  позволяет анализировать реальные условия движения объекта и осуществлять реальное управление объектом по фактическим условиям. Использование всех трех моделей составляет сущность ситуационного управления и сущность динамического управления подвижными объектами.

## Заключение.

За рамками данной статьи остался пространственный анализ ситуации движения. Управление транспортом является пространственным и требует применения методов геоинформатики [25]. Скользящая информационная ситуация имеет прямой математический аналог, но для управления подвижными объектами применяется впервые. Современные условия движения требуют сокращения времени на принятие решений. Один из методов такого сокращения – уменьшение числа рассматриваемых параметров. Это достигается путем сокращения рассмотрения области, в которой находится и перемещается объект. Управление движением в вариabельной и динамической среде требует большего анализа факторов при меньшем времени на анализ. Модель скользящей информационной ситуации отвечает этим требованиям. Особенностью скользящей модели является допущение воздействия факторов внешней среды. Учет этих факторов возможен с применением вероятностного подхода [26]. Модель скользящей ситуации относится к классу информационных моделей [27] а также к классу управленческих моделей. Она позволяет совмещать управление и пространственный анализ. Модель скользящей информационной ситуации соответствует принципам ЦЖД.

# 8

## Список литературы

1. Уманский В. И., Павловский А. А., Дзюба Ю. В. Цифровая Железная Дорога. Технологический уровень // Перспективы науки и образования. – 2018. – №1 (31). – С.208-213.
2. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С.50-61.
3. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.
4. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы – Saarbrücken, 2012. – 297с.
5. Павлов А.И. Киберпространство как инструмент управления // Славянский форум. 2021, 2(32). С.183-195.
6. Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.55-60.
7. Чехарин Е.Е. Большие данные: большие проблемы // Перспективы науки и образования. – 2016. – №3. – С.7-11.
8. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – №2. – С.42-46.
9. Ознамец В. В. Мягкое ситуационное управление // Славянский форум. -2018. – 2(20). – С.57-62.
10. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. – 2016. – №5 (23). – С.64-68.
11. Ожерельева Т.А. Информационная ситуация как инструмент управления // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.176-181.
12. 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.
13. Щенников А.Н. Модели и комплементарность // Славянский форум. -2019. – 1(23). – С.14-19.
14. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24. № 4. – С.103-116.
15. Павлов А.И. Большие данные в фотограмметрии и геодезии // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – №4 (12). – С.96-100.
16. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.17 -26.
17. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies. 2012. № 2 (2). p.140-143.
18. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
19. Казанцев С. В. Выбор цели //ЭКО. Экономика и организация промышленного производства. – 2004. – №. 12. – С.31-40.
20. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.11-24.
21. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. – №6. – С.40-43.
22. Козлов А.В. Многоцелевое субсидиарное управление // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 2(10). – С.17-28.
23. Popovic D. S., Varga E., Perlic Z. Extension of the common information model with a catalog of topologies //IEEE Transactions on Power Systems. – 2007. – Т. 22. – №. 2. – С.770-777.
24. Кудж С. А. Системный подход // Славянский форум. – 2014. – 1(5). – С.252 -257.
25. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. – №4. – С.52-57.
26. Господинов С.Г. Вероятностно логический анализ // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 1(11). – С.3-8.
27. Лёвин Б.А. Информационное моделирование при управлении транспортом // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.50-54.



## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

# Смешанная реальность в управлении транспортом

## MIXED REALITY IN SPATIAL MODELING

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

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



## Аннотация

В статье описаны результаты исследования по применению смешанной реальности при управлении транспортом. Показана связь смешанной реальности с физической реальностью, цифровой реальностью, дополненной реальностью и виртуальной реальностью. Качественным отличием смешанной реальности является динамическая составляющая. Содержание смешанной реальности описано как сочетание пространственной и геоинформационной технологии. Описана шкала реальности, которая включает физическую реальность, цифровую реальность и смешанную реальность. Описаны два основных типа устройств, реализующих смешанную реальность: голографические устройства, иммерсивные устройства. Голографические устройства характеризуются способностью размещать цифровой контент в реальном мире. Иммерсивные устройства характеризуются способностью создавать ощущение «присутствия» – скрывать физический мир и заменять его виртуальной моделью.

## Annotation

The article describes the results of a study on the use of mixed reality in transport management. The connection of mixed reality with physical reality, digital reality, augmented reality and virtual reality is shown. The qualitative difference between mixed reality is the dynamic component. Mixed reality content is described as a combination of spatial and geoinformation technology. The scale of reality is described, which includes physical reality, digital reality and mixed reality. Two main types of devices are described, realizing mixed reality: holographic devices, immersive devices. Holographic devices are characterized by the ability to place digital content in the real world. Immersive devices are characterized by the ability to create a sense of «presence» – to hide the physical world and replace it with a virtual model.

# 10

---

## Введение

Ежегодно нарастает интенсивность транспортных потоков. Это мотивирует совершенствование и развитие методов управления транспортом. Развитие методов управления транспортом основано на применении автоматизированных [1], интеллектуальных [2] и кибер-физических [3, 4] транспортных систем. Использование перечисленных систем приводит к необходимости получения и использования пространственной информации для управления [5]. В свою очередь, эффективное применение пространственной информации возможно только за счет применения методов геоинформатики [6], преимущественно геоинформатики транспорта [7]. Применение геоинформатики требует применения координатной поддержки [8, 9] и геодезического обеспечения транспортных систем [10].

Выделяют два направления применения пространственной информации на транспорте: статическое и динамическое. Статическое направление использования связано с построением и применением пространственных моделей: цифровые карты и цифровые модели, трехмерные модели объектов, модели ситуаций и т.д. Это направление связано с построением стационарных пространственных моделей и цифровых карт [11]. Достаточно давно для контроля и управления статистическими ситуациями на транспорте практикуют применение аэрофотосъемки, а сравнительно недавно стали применять мобильное лазерное сканирование [12].

Динамическое направление применения пространственной информации связано с управлением подвижными объектами, построением скользящих информационных ситуаций, управлением цифровой железной дорогой [13, 14] и другим. Для контроля и управления динамическими ситуациями на транспорте применяли фотосъемку, телевизионную съемку, тепловую съемку и ультразвуковую локацию.

Динамическое направление применения пространственной информации связано с построением и применением динамических пространственных моделей, которые описывают перемещение подвижного объекта в пространстве: автомобиля, самолета, судна, поезда. Принципиально оно распространяется на движение космического аппарата в пространстве. И

наоборот, оно включает наблюдение и управление, с использованием космических объектов, наземными транспортными объектами. Соответственно, в сфере геоинформатики такой подход привел к появлению космической геоинформатики [15]. Подводя итог, следует отметить большое число разнообразных технологий, использующих пространственную информацию. Это требует комплексного подхода и создания технологий, которые используют по возможности большее количество перечисленных данных и видов информации. Одной из новых технологий, решающих такие задачи, является технология смешанной реальности [2, 3].

## Смешанная реальность как геоинформационное моделирование

Динамическое направление применения пространственной информации привело к появлению технологии, которую называют технологией «смешанной реальности». Особенностью этой технологии в том, что она использует методы геоинформатики и пространственное моделирование комплексно. Ключевым в обработке пространственной информации является геоинформационное моделирование [18, 19]. Основой геоинформационного моделирования являются специальные модели [20]. Они являются интегрированной моделью и организованы как система данных. Важной особенностью и преимуществом геоинформационного моделирования является визуальное моделирование. Оно дает возможность подключать качественный и когнитивный анализ к обработке пространственной информации. Геоинформационного моделирования получает новые знания и дает возможность построения новых моделей типа «смешанной реальности». Геоинформационное моделирование работает с пространственными моделями объектов и ситуационными моделями. Это моделирование развивается по разным направлениям: построение пространственных ситуаций [21], оверлей анализ и ситуационное моделирование [22]; агрегирование пространственных моделей [23]; цифровое пространственное моделирование [24]. Смешанная реальность и дополненная реальность являются новыми моделями в управлении транспортом. Это определяет актуальность их исследования.

# 11

## Содержание смешанной реальности

Смешанная реальность (Mixed reality – MR) [16, 17] как пространственная модель является сложной составной моделью. Она включает физическую реальность, цифровую реальность, дополненную реальность [25] и виртуальную реальность [26, 27]. Смешанная реальность с позиций представления включает континуум виртуальности и континуум реальности. На рис.1 приведена шкала реальности.

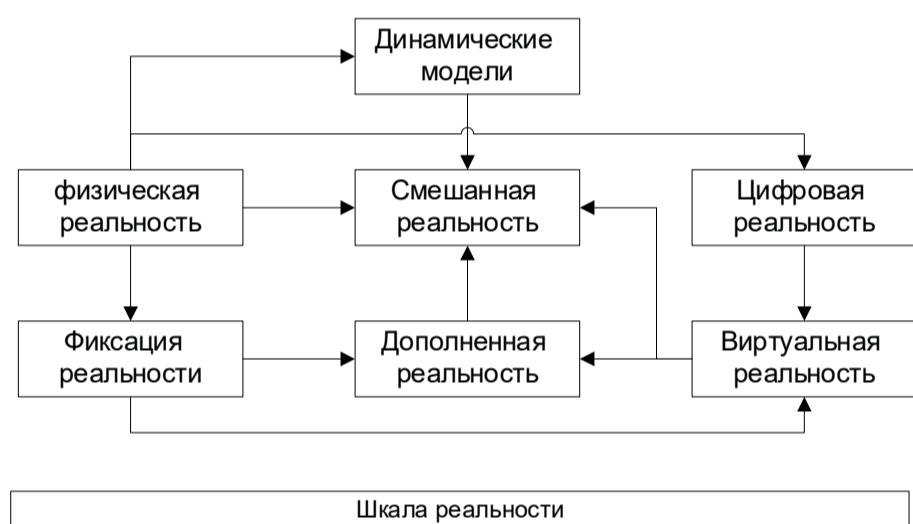


Рисунок 1. Шкала реальностей

Смешанная реальность сочетает в себе физический и цифровой миры, поэтому ее модель задает полярные концы шкалы (рис.1), известной как континуум виртуальности. Можно назвать совокупность реальностей спектром смешанной реальности. С левой стороны у нас есть физическая реальность, в которой существует реальный мир. С правой стороны – ее отражение в виде цифровой реальности.

Необходимо показать различия между понятиями: виртуальная реальность, смешанная реальность, цифровая реальность, дополненная реальность. Цифровая реальность является результатом отражения реального мира в виде комплекса комплементарных моделей. Цифровая реальность является наиболее точной и служит основой управления и моделирования. Виртуальная реальность решает задачи пространственного визуального анализа и высокой точностью не обладает. Дополненная реальность строится как синтез цифровой и визуальной фотографической реальности, смешанная реальность объединяет все виды реальности с опорой на визуальное представление. Измерительные функции выполняет цифровая реальность.

На рис.2 приведена визуальная фотографическая модель реальности.



Рисунок 2. Модель реальности железнодорожной станции

На рис.2 приведен ортофотоплан железнодорожной станции. Он является отправной точкой пространственного моделирования. На рис.3 приведен цифровой образ реальной модели на рис.2 в картографической форме.

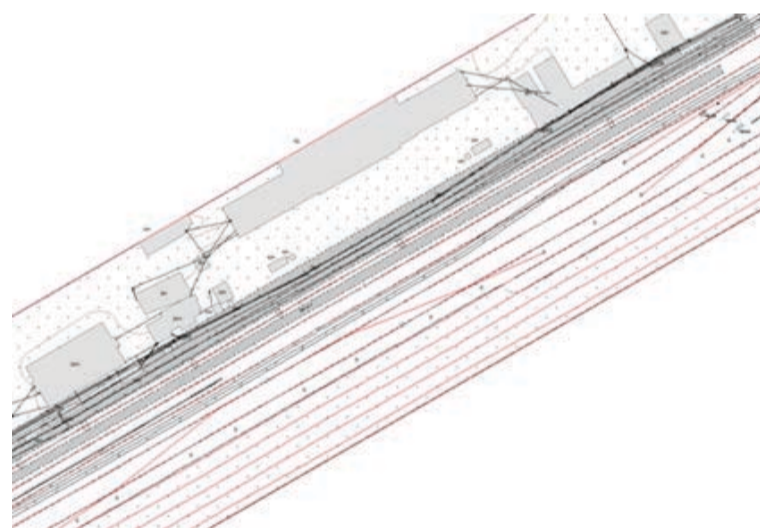


Рисунок 3. Цифровая плановая модель реальности на рис. 2

Виртуальная реальность (Virtual reality -VR) описывает реальный мир, который человек видит. Виртуальная реальность имеет преимущество перед реальностью в возможности масштабирования по размерам и времени. Виртуальная реальность позволяет вводить «отрицательное время», то есть моделировать процесс в обратном направлении. Виртуальная реальность выражается средствами компьютерной и когнитивной графики. На рис.4 приведено изображение виртуальной модели, построенной по пространственной модели с рис.2.

# 12

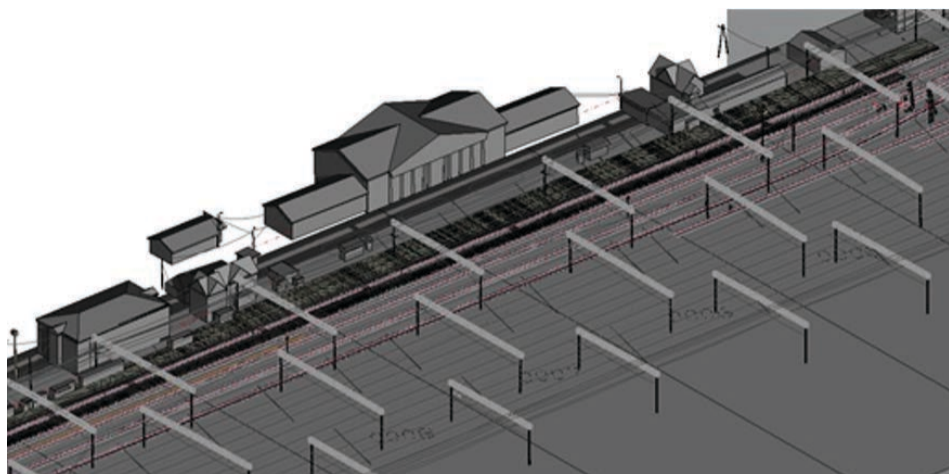


Рисунок 4. Виртуальная модель

Виртуальная модель на рис.4 построена по визуальной модели реальности рис.2 и метрической цифровой модели рис.3. Виртуальные модели бывают двух типов: координированные и условные. Координированная VR передает пространственные отношения, пропорции, и может служить средством измерения. Она выполнена в определенной координатной системе. Ее основная функция представление и условное измерение.

Условная виртуальная модель выполняет функции только визуального представления и может допускать неточности в пропорциях и отношениях. Ее основная функция показ и обозримость.

Дополненная реальность (Augmented reality – AR) частично заменяет реальный мир. На рис.5 приведена реальность, а на рис.6 дополненная реальность этой же ситуации. Она накладывает виртуальное изображение на существующий мир. Человек частично видит объект и частично его спроектированное окружение. На рис.6 показаны проектные линии, наложенные на реальность.



Рисунок 5. Фактофиксирующая модель реальности



Рисунок 6. Дополненная реальность в виде проектных линий

Отсюда дополненную реальность можно рассматривать как схему, нарисованную поверх реального мира. Она дает основание визуальной оценки соответствия реальности и проекта. Виртуальная реальность не дает ощущение реального расположения и взаимодействия объектов с окружающим миром. И именно в этом ключевое отличие дополненной реальности от смешанной реальности. Дополненная реальность есть фактофиксирующая модель, выраженная смешанными средствами мультимедиа и реальности. Смешанная реальность (MR) позволяет видеть взаимодействие реальных и виртуальных объектов. Модели AR и VR позволяют видеть. Модель и технология MR позволяет действовать. Человек в MR может оценить передний и задний план, как объекты расположены относительно друг друга. В MR появляется точка соприкосновения реальных и виртуальных объектов. Смешанная реальность есть динамическая модель, выраженная смешанными средствами информационного и интеллектуального моделирования. В образовании MR позволяет применять симуляционное обучение (Simulation Based Learning – SBL) [28]. SBL является разновидностью электронного обучения. Оно построено на активной передаче образовательных знаний. Симуляционный тренинг представляет собой интерактивное экспериментальное обучение, применяемой при обучении пилотов, водителей.

## Методическая основа построения MR

Ключевыми понятиями построения MR являются дополненная реальность, геоинформационное моделирование и информационное взаимодействие. На рис.7 показана связь понятий этих сущностей.

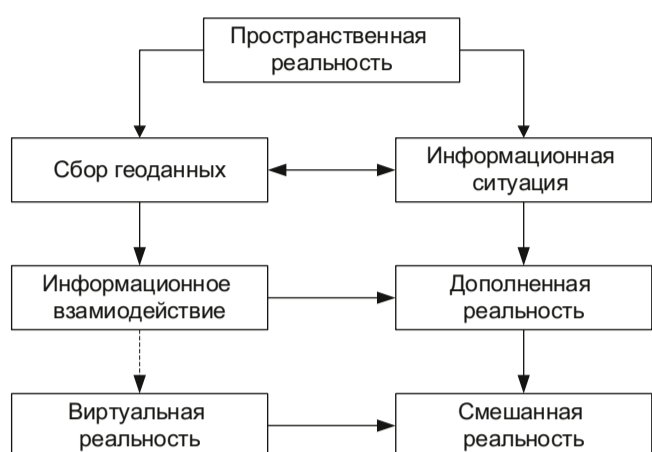


Рисунок 7. Связь базовых понятий.

При использовании MR пространственная реальность сжимается до информационной ситуации [29], которая описывает объект исследования и его окружение. AR формируется как синтез информационной ситуации и информационной модели, формируемой при помощи информационного взаимодействия. В отличие от этого виртуальная реальность формируется как информационная модель без жесткой привязки к реальности. AR и VR могут быть рассмотрены как информационные конструкции [21]. Поэтому в этой технологии значительная роль отведена понятию информационного взаимодействия как инструмента обеспечения технологического взаимодействия программ и программных систем с опорой на методы и технологии когнитивной семантики.

Представляет интерес информационное моделирование в смешанной реальности. На рис.8 приведены информационные модели при конструировании смешанной реальности. Основой всех моделей являются концептуальные модели. Теоретическая концептуальная модель в информационном поле преобразуется в модель информационной конструкции. Модель информационной конструкции [29] может быть рассмотрена как информационная концептуальная модель. Пространственная реальность наблюдается не вся, а только ее часть, наиболее важная для моделирования. Эта наиболее важная для моделирования часть называется модель информационной ситуации [21]. При построении смешанной реальности модель информационной ситуации представляет собой окружение объектов моделирования.

Модель информационной ситуации [21] строится на выявлении отношений и связи между локальными частями информационного поля и информационного пространства. Модель информационной конструк-

ции служит концептуальной основой для построения других моделей. Важнейшим процессом для построения и применения смешанной реальности является информационное взаимодействие в информационной ситуации. При построении смешанной реальности информационное взаимодействие задает связи между объектом и параметрами информационной ситуации. При применении смешанной реальности информационное взаимодействие позволяет менять состояние объекта в заданной информационной ситуации. Важный вывод: смешанная реальность функционирует только в рамках ограниченной информационной ситуации.



Рисунок 8. Информационные модели при конструировании смешанной реальности.

Информационные модели процессов и объектов, а также визуальные пространственные модели служат построения виртуальной реальности. Смешанная реальность строится как синтез виртуальной реальности, информационной ситуации и пространственной реальности. Совокупность разных моделей требует создания и применения некоего механизма, который служит связующим между разными моделями, включая процессуальные модели и описательные модели. Таким механизмом является система информационных единиц. В картографии примером такой системы является система картографических условных знаков. Если система информационных единиц включает синтаксис, морфологию и семантику, то такую совокупность информационных единиц можно назвать информационным языком [30]. Семантический аспект построения содержания MR приводит к развитию по-

# 14

---

нения информационная конструкция [29] в понятие семантическая информационная конструкция.

Аппаратной основой реализации смешанной реальности является либо информационная система (для перемещения технических средств типа самолета, танка), либо мультимедийная система (для перемещения человека в виртуальном пространстве). Проектирование таких систем предопределяет архитектура, реализующая функции взаимосвязи всех компонентов MR в информационной ситуации. При этом существует внутренне взаимодействие в MR и внешнее со средой. Говоря о среде, надо иметь в виду пространственную информационную ситуацию. В обобщенном понимании взаимодействие с окружающей средой и внутренне взаимодействие представляется в терминах системы информационных единиц. Это еще раз подчеркивает значение информационных единиц как интерфейса коммуникации.

При создании смешанной реальности важным является подключение максимально возможного количества каналов передачи информации, которые система должна обрабатывать одновременно. Технологической основой получения смешанной реальности являются информационные и когнитивные технологии. Когнитивные технологии являются важным компонентом смешанной реальности, отличающей ее от дополненной реальности. Дополненная реальность показывает, а смешанная реальность позволяет действовать. Действия осуществляет человек в своем когнитивном пространстве. В силу этого когнитивные аспекты смешанной реальности должны быть учтены в ее технологиях.

В процессуальном аспекте смешанная реальность характеризуется динамическими, когнитивными и интеллектуальными моделями. К важной характеристике смешанной реальности относится время реакции системы в заданных временных параметрах.

## Реализация смешанной реальности.

В смешанной реальности взаимодействуют три взаимосвязанные составляющие:

- реальная составляющая (основная);
- виртуальное дополнение (надстроечная);
- динамическая составляющая (связующая).

Исследования показали, что смешанная реальность

рассматривается как продукт интеграции реальности, сотрудничающего с ней виртуального дополнения, фактофиксирующих моделей, динамическими моделями взаимодействий. Смешанная реальность благодаря динамическим связям обладает возможностью самоорганизации. Это приводит к тому, что в отличие от дополненной реальности и виртуальной реальности, MR с течением времени изменяется, и не равна самой себе в разные временные интервалы. При этом регулирующие действия частей MR независимы друг от друга. Соединение и взаимодействие реальной составляющей и виртуальной осуществляется на основе применения принципов комплементарности [31], субсидиарности [32] и информационного соответствия [33].

Практическая реализация смешанной реальности основана на сочетании трех факторов – когнитивного ввода информации, компьютерной обработки ввода и компьютерной реакции окружающей среды (в рамках информационной ситуации). Интеграция этих факторов создает основу для функционирования модели и технологии смешанной реальности. В этом случае динамика и статика физического мира переводиться в динамику и статику виртуального и цифрового мира. В практике реализации смешанной реальности применяют два основных типа устройств, которые обеспечивают работу с MR: голографические и иммерсивные устройства [34]. Голографические устройства характеризуются способностью устройства размещать цифровой контент в реальном мире, как если бы он был там. Чаще всего это голографический шлем. Иммерсивные устройства характеризуются способностью устройства создавать ощущение «присутствия» – скрывать физический мир и заменять его цифровым опытом. Чаще всего это шлем виртуальной реальности. Эти устройства предназначены для перемещения человека. Для перемещения объектов применяют тренажер, который также может содержать голографические и иммерсивные устройства. Существует два способа применения Mixed Reality в тренажерном процессе. Первый более традиционный, он включает в себя настольный компьютер, на котором учащиеся исследуют виртуальную среду с помощью компьютера, клавиатуры, мыши или другого устройства ввода, например беспроводного контроллера: это правильно определяется как виртуальная

# 15

---

реальность. Вторым способом используются голографические и иммерсивные устройства. Этот подход требует от учащихся носить шлем и контроллер движения, с помощью которого они могут взаимодействовать с окружающей средой, создаваемой сочетанием реального и виртуальных миров, в которых сосуществуют физические и цифровые объекты. Благодаря этой смешанной реальности учащиеся могут прикасаться

к объектам и манипулировать ими, создавая более глубокое понимание их. Для многих студентов учиться на практике легче, чем учиться на слух. Этот тип смешанной реальности обеспечивает более информативный, многоканальный и эффективный процесс обучения, чем первый и, чем все другие традиционные методы обучения

## Заключение

Смешанная реальность является современной технологией управления, которая связана с геоинформатикой и теорией управления. В отличие от цифровых моделей или виртуальных моделей, смешанная реальность связывает виртуальные, цифровые пространственные модели в единый комплекс. Смешанная реальность является основой многих пространственных тренажеров или проектов. В ней можно выделить три части.

**Первая часть** – пространственная модель информационной ситуации, часть реального пространства. Ее построение осуществляется методами геоинформатики, которая создает пространственную цифровую модель окружающей среды.

**Вторая часть** – объектная. Она моделирует объект (или транспортное средство), его поведение, состояние, положение, ориентацию объекта в координатной среде.

**Третья часть** – динамическая модель, которая связывает объект с реальным пространством и описывает перемещение объекта в пространстве.

Дополненная реальность применяется при пространственном проектировании и контроле состоянии объектов, таких как железные дороги. Динамическая составляющая является важным отличием смешанной реальности от дополненной реальности. Отличие смешанной реальности от виртуальной и дополненной реальности в том, что в ней модель и технология связаны и их сложно разделять. Важным конструктивным фактором смешанной реальности, который связывает все три части, являются информационные единицы – логические, семантические, графические, процессуальные и другие. В противовес жесткому цифровому моделированию смешанная реальность вариативна. Она легко адаптируется к нововведениям и может быть приспособлена к показу ретроспективных фактов и моделей. Смешанная реальность есть инструмент, который соединяет прошлое настоящее и будущее в пространственном управлении. Поэтому она пока в большей степени применяется на тренажерах обучения управлению транспортными средствами, чем в реальном управлении.

# 16

## Список литературы

- Günther H. O., Kim K. H. (ed.). Container terminals and automated transport systems. – Berlin : Springer, 2005. – С.184-206.
- Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. – 2011. -№ 6. – С.6-8.
- Цветков В.Я. Управление с применением кибер-физических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.55-60.
- Дзюба Ю.В., Цветков В.Я., Козлов А.В. Киберфизические системы в управлении транспортом // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 1. С.10-12.
- Розенберг И.Н. Пространственное управление в сфере транспорта // Славянский форум, 2015. – 2(8) – С.268-274.
- Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. – №4. – С.52-57.
- Андреева О.А. Геоинформатика транспорта. – Saarbruken, 2020. –180с.
- Куприянов А.О. Преобразования координат при проектировании протяженных объектов // Перспективы науки и образования. – 2016. – №1. – С.53-57.
- Шайтура С. В. Проблемы координатного обеспечения цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.62-68.
- Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 3(11). – С.50-59.11. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147-155.
- Андреева О. А. Применение мобильного лазерного сканирования для мониторинга объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 3(11). – С.61-74.
- Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С.50-61.
- Дзюба Ю. В Координатная среда цифровой железной дороги // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 2(6). – С.43-53.
- V. G. Bondur, V. Ya. Tsvetkov. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design, 2015, 4 (10), PP.118-126.
- Antoniou P. E. et al. Biosensor Real-Time Affective Analytics in Virtual and Mixed Reality Medical Education Serious Games: Cohort Study //JMIR Serious Games. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. e17823/
- Huber T. et al. Head-mounted mixed-reality technology during robotic-assisted transanal total mesorectal excision // Diseases of the Colon & Rectum. – 2019. – Т. 62. – №. 2. – С. 258-261.
- Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
- Бучкин В.А. Геоинформационное ситуационное моделирование железнодорожного пути // Науки о Земле. – 2018. – №4. – С.43-52
- Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №4. – С.150-154.
- Шайтура С.В. Информационная ситуация в геоинформатике// Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №5 (17). – С.103-108.
- Бучкин В.А., Потапов А.С. Геоинформационное ситуационное моделирование // Славянский форум. -2020. – 2(28). – С.210-228.
- Цветков В.Я. Агрегирование геоинформационных моделей // Науки о Земле». – 2015. – № 2. – С.68-75.
- Господинов С.Г. Цифровое пространственное моделирование // Науки о Земле. – 2019. – №3. – С.4-15.
- Elmqaddem N. Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality? //International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET). – 2019. – Т. 14. – №. 03. – С. 234-242.
- Beck D. Augmented and Virtual Reality in Education: Immersive Learning Research //Journal of Educational Computing Research. – 2019. – Т. 57. – №. 7. – С. 1619-1625.
- V. Ya. Tsvetkov. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, 1(11), PP.35-44.
- Cant R. P., Cooper S. J. Use of simulation-based learning in undergraduate nurse education: An umbrella systematic review //Nurse Education Today. – 2017. – Т. 49. – С.63-71.
- Лотоцкий В.Л. Информационная ситуация и информационная конструкция // Славянский форум. – 2017. -2(16). – С.39-44.
- Иванников А.Д. Проблема информационных языков и современное состояние информатики // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2014. – № 4(5). – С.39-62.
- Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплексных ресурсов в инвестиционной деятельности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24. № 4. – С.103-116.
- Козлов А. В. Интернет вещей как субсидиарная система // Государственный советник. – 2019. – №1(25). – С.10-16.
- Номоконова О. Ю. Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). – С.44-49.
- <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality> дата просмотра 20.08.2021.



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

# Субсидиарные модели для транспортных кибер-физических систем

## SUBSIDIARY MODELS FOR TRANSPORT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

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

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



## Аннотация

Исследуется применение субсидиарных вычислительных моделей для транспортных кибер-физических систем. Переход у таким моделям управления обусловлен ростом сложности и требованиями высокоскоростного движения. Исследуются самоорганизующиеся системы и модели: Self-Aware Computing Systems, autonomic computing, Organic computing. Анализ этих моделей выявляет в них общее свойство субсидиарность вычислений. Исследованы условия субсидиарных вычислений. Статья раскрывает содержание моделей субсидиарных вычислений. Анализируются автономные вычисления. Описаны органические вычисления. Вводится понятие органические субсидиарные вычисления. Статья вводит понятие вычислительная ситуация, которую при стационарных и детерминированных вычислениях не используют. Описана структура субсидиарной вычислительной модели.

## Annotation

The article explores the application of subsidiary computational models for transport cyber-physical systems. The transition in such control models is due to the increase in complexity and the requirements of high-speed traffic. Self-organizing systems and models are studied: Self-Aware Computing Systems, autonomic computing, Organic computing. The analysis of these models reveals in them a common property of subsidiarity of calculations. Conditions for subsidiary computations are investigated. The article reveals the content of models of subsidiary calculations. Autonomous calculations are analyzed. Organic computing is described. The concept of organic subsidiary computing is introduced. The article introduces the concept of a computational situation, which is not used in stationary and deterministic calculations. The structure of the subsidiary computational model is described.

# 18

## Введение

Транспортные кибер-физические системы являются синтезом технологий интернета вещей [1] и интеллектуальных транспортных систем [2]. Транспортные кибер-физические системы имеют встроенные вычислители и возможность коммуникационного доступа к другим транспортным средствам и центрам управления. Транспортные кибер-физические системы (ТКФС) имеют спутниковую и мобильную связь. Потенциально они могут управляться автономно [3], но при их движении нужна координация, которую осуществляет центры управления. Таким образом, ТКФС обладают возможностью автономного и централизованного управления. Такое свойство называют субсидиарностью [4], а такие системы называют субсидиарными [5]. Поэтому основная задача управления субсидиарными системами состоит в нахождении границы между автономным и централизованным управлением. Эта задача решается с помощью субсидиарных моделей и субсидиарных алгоритмов [6].

## Развитие субсидиарных алгоритмов.

Последние десятилетия характеризуются развитием вычислительных систем и вычислительных моделей. Основное направление развития связано с созданием высокопроизводительных систем [6-8]. Рост масштабов вычислений влечет возрастание возможного воздействия внешней среды или ситуации на вычислительный процесс. Это приводит, с одной стороны, к разработке новых методов и алгоритмов, учитывающих изменение условия вычислительного процесса. С другой возникает необходимость обобщения этих методов на научной основе для дальнейшего развития. На рис.1 дана схема развития субсидиарных алгоритмов и систем на их основе.

На первой стадии развития субсидиарных систем и алгоритмов стоят самооценочные системы. Главная задача этих систем оценить необходимость автономного или централизованного управления.

Самооценочные вычислительные системы встраиваются в физическую среду с набором датчиков и исполнительных механизмов для взаимодействия как с внешней средой, так и со своей реальностью [9]. Благодаря этому взаимодействию они узнают о своей си-

туации, собственном состоянии и своей деятельности. Хотя они относятся к конкретным приложениям, как и традиционные встроенные системы, но они значительно более гибкие, надежные и автономные. Они могут адаптировать оценку состояния подвижного объекта (ПО) к широкому диапазону изменений окружающей среды. Основная их функция – дать оценку ситуации и оценку состояния ПО. Вспомогательная их функция оценить целесообразность автономного управления или централизованного.



Рисунок 1. Схема развития субсидиарных алгоритмов

Основными системами на следующем этапе являются самоорганизующиеся системы и алгоритмы. К этим направлениям относят самооптимизирующиеся и самопрограммируемые вычислительные системы (Self-Aware Computing Systems) [9, 10], автономные вычисления (autonomic computing) [11-14], органические вычисления (Organic computing) [15]. Все эти вычислительные направления объединяет свойство субсидиарность [4, 16], которое включает искусственный интеллект [17] и вычисления. Субсидиарность может быть рассмотрена как особое состояние в информационной ситуации [18-21], и как принцип [22, 23]. Субсидиарность существует при выполнении вычислений в кибер-физических системах [24-27]. В технологии вычислений она принимает разные формы: организационные вычисления, не детерминированные вычисления, ситуационные вычисления [28] и пр. Субсидиарные вычисления обусловлены необходимостью оперативных вычислений. При сложных процессах вычислений возникает дополнительно в вычислительной модели использовать модель управления вычислительным процессом. Модель управления вычислительным процессом требует дополнительного времени и является аналогом управления

# 19

---

вычислениями из некоего центра. Поэтому субсидиарные вычислительные модели применимы не всегда, а только при определенных условиях. В субсидиарных ситуациях решают задачи второго рода, которые нельзя решить прямым алгоритмом.

В субсидиарных вычислениях необходимо применять большее число ресурсов [29], чем при вычислениях по прямым алгоритмам. Необходимо учитывать понятия вычислительная информационная ситуация [18], вычислительная модель, траектория вычислений, разрывность вычислений, воздействие внешней среды, управление вычислительным процессом, оперативность вычислений, реинтеграция вычислений, неоднородность вычислений, распределенность вычислений и другие. Технологические решения субсидиарных вычислений используют методы поддержки принятия решений, системный подход, а также теорию информационных единиц, как базис субсидиарного вычисления. Таким образом, эффективное решение субсидиарных вычислительных проблем должно обеспечивать равновесие между рациональностью и централизованной управляемостью вычислительного процесса.

Самый сложный уровень управления соответствует самоорганизующимся кибер-физическим системам [9] (СКФС). Эти системы с самооценкой представляют собой эволюцию традиционных встроенных и кибер-физических систем в направлении большей автономности, надежности и гибкости. СКФС имеют гибкую структуру и способности: 1) сенсорного наблюдения и обобщения; 2) самооценки; 3) анализ целей и выбор управления.

Достаточно глубокое исследование по внедрению перечисленных методов и алгоритмов в транспортных кибер-физических системах проведено в работе [30]. Работа рассматривает не одно подвижное средство, а рассматривает группу связанных трассой автономных подвижных средств (Connected Autonomous Vehicles – CAVs), для которых решается задача оперативного управления при проезде перекрестков. Задача актуальна при движении в мегаполисе и при автоматической работе на сортировочных станциях. Условно технология называется управление пересечениями (Intersection management) имея в виду пересечения дискретных транспортных единиц или потоков.

По мнению автора, управление пересечениями подключенных автономных транспортных средств (CAV) может повысить безопасность и мобильность. CAV, приближающиеся к перекрестку, могут обмениваться информацией с инфраструктурой или друг с другом, чтобы планировать время пересечения. Избегая ненужных остановок, планирование CAV может увеличить пропускную способность, снизить потребление энергии и, что наиболее важно, свести к минимуму количество аварий, которые происходят в зонах перекрестков из-за человеческих ошибок. Авторы описывают алгоритм со следующих аспектов: интерфейс управления перекрестками, политика планирования пересечений, анализ применимости существующих беспроводных технологий, анализ применимости алгоритмов к типам транспортных средств, обнаружение конфликтов, поддержка транспортных средств, управляемых человеком, методы восстановления для аварийных сценариев, методы оценки субсидиарности.

Другой анализ приведен в работе [31], где рассматривается не ситуации как в [30], а сами системы. Авторы описывают новый вид «самосознающих кибер-физических систем». основой этого вида является объединение кибер-физических систем и субсидиарных вычислений. Это создает системы с сильно увеличенной, но управляемой автономией. Самоосознающие кибер-физические системы расположены в физической среде и ограничены в своих ресурсах, они «осознают» свое собственное состояние и среду и, основываясь на этом понимании, могут принимать решения автономно во время движения, не требуя указаний из центра управления. Простейшей моделью такой системы является водитель, управляющий транспортным средством, который выполняет стратегическую цель доставки груза. Ориентируясь по ситуации, он может отклоняться от первоначального маршрута, если в этом есть целесообразность.

Авторы дают следующую систематизацию проблем для само осознающих кибер-физических систем:

- Метод построения ресурсно-зависимых самоосознающих систем.
- Методы оценки ситуативности и субъективности управления.
- Методы выбора алгоритмов для реализации процессов самосознания.

# 20

---

- Методы верификации самооценки кибер-физических систем.
- Проблемы разработки новых алгоритмов для создания самооценочных кибер-физических систем исходя из существующего опыта решения задач.

Авторы считают, что решение проблем требует проведения комплексной оценки ситуации и анализа опыта, чтобы разумно сбалансировать различные требования, ограничения, краткосрочные и долгосрочные цели. Роль самосознания в любых системах определяется алгоритмами и моделями субсидиарных вычислений.

## Модели субсидиарных вычислений

**Автономные вычисления.** Парадигма автономных вычислений основана на интеллектуальных вычислительных системах, которые могут автономно выполнять действия в заданных условиях. Эти технологии успешно применяются во многих проблемных областях, требующих автономной работы. Одной из таких областей, представляющих национальный интерес, являются системы SCADA [14], которые контролируют критически важные инфраструктуры, такие как транспортные сети, крупные производственные предприятия, предприятия и медицинские учреждения, электроэнергетические и распределительные сети. Системы SCADA можно рассматривать как сложную организационно-техническую систему [32] с большим количеством подключений, требующую высокой доступности.

При условиях существенной информационной неопределенности субсидиарные системы можно рассматривать как когнитивные системы или вычислительные системы, использующие когнитивные вычисления. Когнитивные вычисления основаны на принципах искусственного интеллекта [33, 34], машинного обучения [35] и других инновационных технологий [36]. Эти технологии могут использоваться для разработки систем, имитирующих человеческий мозг, чтобы узнавать об окружающей их среде и автономно предсказывать надвигающуюся аномальную ситуацию.

Сложность информационного взаимодействия в таких системах выходит за рамки возможностей системных

разработчиков [11] и интеграторов в результате возникновения сложных связей [37]. Это нарушает принцип целостности сложной вычислительной системы, что затрудняет исходную алгоритмизацию и принятие решений в случае изменения условий вычислений. Это привело к осознанию того, что обычные и негибкие методы не помогают в динамической информационной ситуации

Это обуславливает новый подход к проблеме вычислений, который был бы надежным и самореализующимся с минимальными требованиями к мониторингу вычислительных систем для принятия решений. Субсидиарный (в виде автономного) подход к решению проблемы, при котором система сама по себе когнитивна, помогает поддерживать и расширять ее поведение с использованием автономных вычислений [11].

Автономные субсидиарные вычисления эффективны при управлении новой моделью, которую называют industry 4.0 [12]. Индустрия 4.0 определяется как субсидиарная парадигма, которая интегрирует технологические новации в области искусственного интеллекта, коммуникаций и информационных технологий и в других областях. Эта интеграция предназначена для повышения уровня автоматизации, эффективности и производительности производства в производственных и промышленных процессах. В частности, субъекты производственных процессов (вещи, данные, люди и услуги) должны автономно действовать и принимать решения, реализовывать такие свойства (self), как самоконфигурация, самоуправление и самовосстановление. Свойство self реализуется только при субсидиарном управлении и субсидиарном вычислении. Субсидиарность выражается в этой технологии путем введения так называемых «автономных циклов». Эти автономные циклы могут создавать скоординированный план самоконфигурации, самооптимизации и самовосстановления во время производственного процесса. Эти автономные циклы можно переносить в область вычислительных процессов и вычислительных моделей. Таким образом, программные компоненты могут быть надлежащим образом скоординированы и комплементарно организованы [38, 39]. Субсидиарная организация вычислений улучшает обнаружение сбоев и восстановление после ошибок или сбоев. Автономные субсидиарные циклы позволяют создавать скоординированный план само-

# 21

---

конфигурации, самооптимизации и самовосстановления во время вычислительного процесса. В широком смысле автономия как услуга считается частью четвертой промышленной революции, текущей и развивающейся среды, в которой меняются вычислительные и промышленные технологии и тенденции, такие как Интернет вещей, робототехника, виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR), расширенная реальность (XR) и искусственный интеллект.

**Органические вычисления.** Органические вычисления являются еще одной разновидностью субсидиарных вычислений. Органические вычисления становятся новым видением проектирования сложных систем, удовлетворяющих человеческие потребности в надежных системах, которые ведут себя как живые, автономно приспосабливаясь к динамическим изменениям окружающей среды, и обладают свойствами «self-x», как постулируется для автономных Органические субсидиарные вычисления (ОСВ) и другие исследовательские инициативы, такие как Autonomic Computing или Proactive Computing, дали основания к созданию систем, обладающих естественными свойствами живых систем: они самоорганизуются, адаптируются к динамически изменяющейся среде и устанавливают свойства self-x, такие как самовосстановление, самонастройка, самооптимизация и т. д.

В ОСВ используют концепции для систем, которые позволяют справляться со все более сложными сетевыми прикладными задачами путем введения свойств self-x и в то же время гарантировать надежную и адаптивную реакцию на поставленные извне системные цели и управляющие действия. Поэтому в ОСВ говорят об управляемой самоорганизации [15]. Известные термины самоорганизация и адаптивность применяют в течение многих лет. В контексте ОСВ это значение становится более узким и имеет технически мотивированное значение.

Можно отметить существование отношения между интеллектом роя и органическими вычислениями [40]. Целью органических вычислений является проектирование и изучение вычислительных систем, которые состоят из множества автономных компонентов и демонстрируют формы коллективного поведения. Такие органические субсидиарные вычислительные системы (системы ОСВС) обладают свойствами самовос-

становления имеют децентрализованный контроль и меняются к требованиям пользователя. Системы ОСВС имеют общие свойства с колониями насекомых, в частности, алгоритм пчелиного может использоваться для решения задач в органических вычислениях.

Другой подход в органических вычислениях связан с искусственными органическими синапсами. Искусственные органические синапсы имитируют пластичность мозга с гораздо более простыми структурами и более низкой стоимостью изготовления, чем нейроны на основе кремниевых цепей, и с меньшим потреблением энергии, чем традиционные методы вычисления фон Неймана. Алгоритмы органических синапсов имитируют функцию обучения и памяти органических синапсов [41].

Еще одно направление использования искусственных органических синапсов связано с разработками в области органической электроники [42]. Сегодня вычислительные системы, известные как искусственные нейронные сети, лежат в основе многочисленных приложений искусственного интеллекта и вычислений. Однако имитационные алгоритмы этих систем требуют значительного количества компьютерных ресурсов и энергии. В отличие от прямых вычислений, мозг работает параллельно, соединяя нейроны через синапсы, делая его компактным и высокоэффективным в распознавании образов, речи и изображений. Нейроморфная инженерия и органическая электроника использует преимущества эффективности мозга, имитируя и внедряя в аппаратные средства важные концепции, такие как нейроны и синапсы. Это направление можно рассматривать как субсидиарное развитие электроники.

Еще одним направлением развития субсидиарных вычислительных моделей является применение и развитие самооптимизирующихся и самопрограммируемых вычислительных систем (Self-Aware Computing Systems – SACS). Эти системы встраиваются в физическую среду с большим набором датчиков и исполнительных механизмов. Это дает возможность взаимодействия как со своей средой, так и со своим собственным воплощением. Благодаря этому взаимодействию SACS узнают о своей ситуации, собственном состоянии и своей деятельности. Хотя SACS относятся к конкретным приложениям, как и тради-

ционные встроенные системы (ES), они значительно более гибкие, надежные и автономные. SACS могут адаптироваться к широкому диапазону изменений окружающей среды и могут справляться с ухудшением и недостатками собственной производительности.

Таким образом, SACS представляют собой эволюцию традиционных встроенных и кибер-физических систем в направлении большей автономности, надежности и гибкости. Когда традиционные ES работают в меняющемся мире, требуя неизменных и полностью охарактеризованных вычислительных ресурсов, воплощенные самооценочные вычислительные системы адаптируются к изменяющемуся миру и меняющимся вычислительным ресурсам. SACS облают способностями: сенсорного наблюдения и абстракции; самооценки ситуации; к выбору цели и управлению.

Наряду с положительными аспектами для SACS и СВС существуют проблемы. Например, проверка состояния самооценочных вычислительных систем является сложной задачей. Отслеживание поведения гарантирует, что работающая система ведет себя так, как определено во время разработки, что важно как для разработчиков, так и для системных администраторов. Для обозначения этой проблемы используют термин «улучшенная прослеживаемость» [43] для SACS, основанных на объяснимом искусственном интеллекте, визуализации данных и исследованиях взаимодействия человека с компьютером.

### Структура субсидиарной вычислительной модели

На рис.2 приведен вычислительный алгоритм первого рода, и этот алгоритм не является субсидиарным. Вычисление проводится в стационарных условиях.

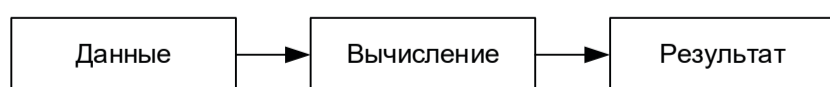


Рисунок 2. Вычислительный алгоритм первого рода

При нестационарных условиях данный алгоритм не применим. На рис.3 приведен вычислительный алгоритм первого рода в ситуации возможного изменения условий.

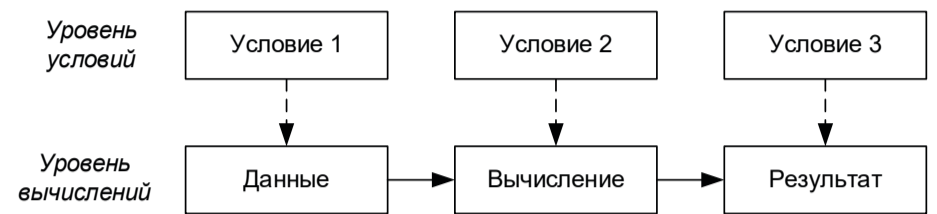


Рисунок 3. Вычислительный алгоритм с учетом возможного изменения условий

На рис.3 показан уровень вычислений и уровень условий. Условия могут меняться независимо. Они могут влиять существенно и не существенно. Изменение условий ( $dC_1, dC_2, dC_3$ ) влечет изменение ситуации вычислений.

$$(dC_1 \rightarrow D_0 \neq D), \tag{1}$$

Выражение (1) показывает, что изменение условий стационарности данных  $dC_1$  влечет изменение данных. Новые данные  $D$  при изменении условий не равны данным  $D_0$  без изменения условий. Изменение условий стационарности вычислений  $dC_2$  влечет изменение ситуации вычислений.

$$(dC_2 \rightarrow P_0 \neq P), \tag{2}$$

Выражение (2) показывает, что изменение условий стационарности вычислений  $dC_2$  влечет изменение процесса вычислений. Новые вычисления при изменении условий не равны старому процессу вычислений  $P_0$  без изменения условий. Изменение условий требования к результату  $dC_3$  влечет изменение ситуации с корректностью результата вычислений.

$$(dC_3 \rightarrow R_0 \neq R), \tag{3}$$

Выражение (3) показывает, что изменение условий требования к результату вычислений  $dC_3$  влечет изменение корректности результата вычислений. Полученный результат  $R$  может не отвечать новым требованиям корректности. Для устранения возможных несоответствий применяют модель субсидиарных вычислений, структура которой приведена на рис.4

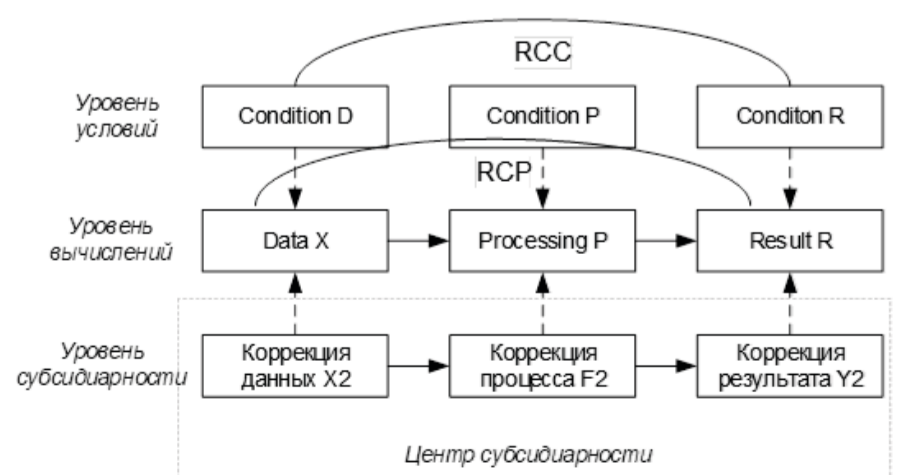


Рисунок 4. Вычислительная субсидиарная модель

# 23

На рис.4 показаны комплементарные отношения на уровне условий RCC и на уровне вычислений RCP. Для полной компенсации возможных рассогласований требуется использовать центр субсидиарности.

## Заключение.

Современное управление транспортом в сложных условиях (мегаполис) и при высокоскоростном движении требует новых подходов к управлению. Одним из решений данной проблемы является переход на субсидиарные модели и субсидиарное управление. Субсидиарные вычисления и субсидиарные вычислительные модели обладают общим свойством, которое в саморазвивающихся системах обозначают обобщенно как «self-x», что обозначает автономность самостоятельность и самовосстанавливаемость. Развитие субсидиарных вычислительных моделей осуществляется двумя путями алгоритмическим и аппаратным.

Алгоритмический путь связан с совершенствованием алгоритмов [44]. Аппаратная субсидиарность связана в основном с переносом идей живых систем в область электронной техники. Для субсидиарных вычислительных моделей необходимо вводить новые параметры и понятия: изменение условий, разрывность вычислений, изменение комплементарности, управление вычислительным процессом. Многие субсидиарные вычисления и субсидиарные вычислительные модели близки распределенным вычислениям и могут применять аппарат распределенных вычислений. Для них появляется характеристика, свойственная сетевым технологиям, динамической балансировки нагрузки. Для субсидиарной вычислительной модели необходимо представить модель динамической балансировки нагрузки, чтобы эффективно управлять нагрузкой на СВС систему.

Применение субсидиарной вычислительной модели эффективно в системах, которые подвергаются интенсивным частым внешним воздействиям. Субсидиарное вычисление требует перераспределения вычислительных ресурсов в пользу уровня субсидиарности. Это влечет больший расход вычислительных ресурсов по сравнению с централизованным вычислением. Субсидиарные вычисления являются обобщающим понятием для самопрограммируемых вычислительных систем, для автономных вычислений, органических вычислений. Анализ субсидиарности возможен только при использовании комплекса математических, логических и структурных моделей.

## Список литературы

1. Козлов А.В. Транспортные кибер-физические системы как результат развития технологии интернета вещей // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.11-21.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. – 2011. -№ 6. – С.6-8.
3. Козлов А.В. Мобильные субсидиарные системы // // Наука и технологии железных дорог. 2019. Т.3. – 4(12). – С.50-56.
4. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – №6. – С.40-43.
5. Козлов А.В. Субсидиарность транспортных кибер-физических систем // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.
6. Mohammed A. et al. An approach for realistically simulating the performance of scientific applications on high performance computing systems //Future Generation Computer Systems. – 2020. – Т. 111. – С.617-633.
7. Turek W. Erlang-based desynchronized urban traffic simulation for high-performance computing systems // Future Generation Computer Systems. – 2018. – Т.79. – С.645-652.
8. Furber S. Large-scale neuromorphic computing systems //Journal of neural engineering. – 2016. – Т. 13. – №. 5. – С.051001.
9. Lewis P. R. et al. Self-Aware Computing Systems //Natural Computing Series). Heidelberg, Germany: Springer. – 2016.
10. Giese H. et al. State of the art in architectures for self-aware computing systems //Self-Aware Computing Systems. – Springer, Cham, 2017. – С.237-275.

11. Kephart J. O., Chess D. M. The vision of autonomic computing // *Computer*. – 2003. – Т. 36. – № 1. – С.41-50.
12. Sanchez M., Exposito E., Aguilar J. Autonomic computing in manufacturing process coordination in industry 4.0 context // *Journal of Industrial Information Integration*. – 2020. – Т. 19. – С.100159.
13. Tahir M., Ashraf Q. M., Dabbagh M. Towards Enabling Autonomic Computing in IoT Ecosystem // 2019 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/Cyber-SciTech). – IEEE, 2019. – С.646-651.
14. Nazir S., Patel S., Patel D. Autonomic Computing Architecture for SCADA Cyber Security // *Cyber Warfare and Terrorism: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. – IGI Global, 2020. – С.543-557.
15. Müller-Schloer C., Schmeck H., Ungerer T. (ed.). *Organic computing—a paradigm shift for complex systems*. – Springer Science & Business Media, 2011.
16. Козлов А.В. Модели субсидиарности // *Славянский форум*. – 2018. – 4 (22). – С.19-24.
17. Tsvetkov V. Ya. Conclusions of Intellectual Systems // *Modeling of Artificial Intelligence*. – 2014. – № 3 (3). – P.138-148.
18. Титов Е.К. Модели информационных ситуаций // *Славянский форум*. – 2019. – 1(23). – С.46-52.
19. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // *Перспективы науки и образования*. – 2017. – №3(27). – С.13-19.
20. Tsvetkov V. Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012, 12-1 (36), P.2166- 2170.
21. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // *Перспективы науки и образования*. – 2016. – №5 (23). – С.64-68.
22. Козлов А.В. Принципы субсидиарности // *Славянский форум*. – 2018. – 2(20). – С.28-35.
23. Цветков В. Я., Козлов А. В. Принципы субсидиарного управления // *Государственный советник*. – 2018. – №4(24). – С.20-28.
24. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // *Мир транспорта*. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С.138-145.
25. Wolf W. Cyber-physical systems // *Computer*. – 2009. – № 3. – С.88-89.
26. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // *Перспективы науки и образования*. – 2017. – №3(27). – С.55-60.
27. Baheti R., Gill H. Cyber-physical systems // *The impact of control technology*. – 2011. – Т. 12. – № 1. – С.161-166.
28. Kelly R. F., Pearce A. R. Property persistence in the situation calculus // *Artificial Intelligence*. – 2010. – Т. 174. – № 12-13. – С.865-888.
29. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2005. – №3. – С.85-91.
30. Khayatian M. et al. A survey on intersection management of connected autonomous vehicles // *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. – 2020. – Т. 4. – № 4. – С. 1-27.
31. Bellman K. et al. Self-aware cyber-physical systems // *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. – 2020. – Т. 4. – № 4. – С.1-26
32. Тихонов А. Н., Иванников А. Д., Соловьёв И. В., Цветков В.Я. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 228с.
33. Tsvetkov V. Ya. Intelligent control technology. // *Russian Journal of Sociology*. 2015. №2(2). P.97-104.
34. Bench-Capon T. J. M., Dunne P. E. Argumentation in artificial intelligence // *Artificial intelligence*. – 2007. – Т. 171. – № 10-15. – С.619-641.
35. Možina M., Žabkar J., Bratko I. Argument based machine learning // *Artificial Intelligence*. – 2007. – Т. 171. – № 10-15. – С.922-937.
36. V. Ya. Tsvetkov. Conceptual Model of the Innovative Projects Efficiency Estimation // *European Journal of Economic Studies*, 2012, №1 (1). – p.45-50.
37. Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // *Славянский форум*, 2016. – 2(12). – С.272-276.
38. Богоутдинов Б.Б., Цветков В.Я. Применение модели комплементарных ресурсов в инвестиционной деятельности // *Вестник Мордовского университета*. – 2014. – Т. 24. № 4. – С.103-116.
39. Потапов А. С. Субсидиарность и комплементарность интеллектуальных систем // *Славянский форум*. – 2020. – 1(27). – С.77-86.
40. Merkle D., Middendorf M., Scheidler A. *Organic computing and swarm intelligence* // *Swarm Intelligence*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. – С.253-281.
41. Changwei Li, Tianyi Xiong, Ping Yu, Junjie Fei, Lanqun Mao. Synaptic Iontronic Devices for Brain-Mimicking Functions: Fundamentals and Applications. *ACS Applied Bio Materials* 2020, Article ASAP.
42. Keene S. T., Gkoupidenis P., Van de Burgt Y. Neuromorphic computing systems based on flexible organic electronics // *Organic Flexible Electronics*. – Woodhead Publishing, 2020. – С. 531-574.
43. Pfannemüller M., Breitbach M., Becker C. EnTrace: Achieving enhanced traceability in self-aware computing systems // 2020 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems Companion (ACSOS-C). – IEEE, 2020. – С.160-165.
44. Bauer A. et al. Time Series Forecasting for Self-Aware Systems // *Proceedings of the IEEE*. – 2020.



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

# Органический и ситуационный анализ при управлении транспортом мегаполиса

## ORGANIC AND SITUATIONAL ANALYSIS IN METROPOLITAN TRANSPORT MANAGEMENT

**Рогов И.Е.** Советник ректората, РТУ (МИРЭА), E-mail: iero82@bk.ru, Москва, Россия

Rogov I.E. Rector's Advisor, Russian Technological University (RTU MIREA), E-mail: iero82@bk.ru, Moscow, Russia



## Аннотация

В статье излагаются особенности состояния и развития органического анализа при управлении транспортом мегаполиса. Органические вычислительные системы являются решением для борьбы с постоянно растущей сложностью современных технических систем. Основной концепцией органических систем является субсидиарная система, которая динамически адаптируется к окружающей среде, используя саморазвитие и самоадаптацию. Сравниваются органическая система управления трафиком (Organic traffic control) и органические вычисления. Сравнение систем проводится по трем характеристикам: архитектура, качество и эмерджентность. Показано, что управление транспортом мегаполиса приводит к новому типу ситуационного управления. Статья вводит понятие «массовое ситуационное управление». Сочетание органических вычислений и ситуационного управления дало основание ввести новое понятие и новую модель «ситуационное органическое управление», эта модель относится к массовому ситуационному управлению.

## Annotation

The article describes the features of the state and development of organic analysis in the management of transport in a metropolis. Organic computing systems are the solution to deal with the ever-increasing complexity of today's technical systems. The main concept of organic systems is a subsidiary system that dynamically adapts to the environment using self-development and self-adaptation. The organic traffic control system and organic computing are compared. Comparison of systems is carried out according to three characteristics: architecture, quality and emergence. It is shown that the management of transport in a metropolis leads to a new type of situational management. The article introduces the concept of «mass situational control». The combination of organic computing and situational management gave rise to the introduction of a new concept and a new model of «situational organic management», this model refers to mass situational management.

# 26

---

## Введение

Органические вычисления становятся новым видением проектирования сложных систем, удовлетворяющих человеческие потребности в надежных системах, которые ведут себя как живые, автономно приспосабливаясь к динамическим изменениям окружающей среды, и обладают свойствами саморазвития (self-x). Органические вычислительные системы или органические вычисления (ОС) являются одним из подходов для решения проблемы с постоянно растущей сложностью современных технических систем. Основной концепцией ОС является субсидиарная система [1, 2], которая динамически адаптируется к окружающей среде, используя субсидиарные принципы и саморазвитие. Сформировалось понятие «органическое управление движением» как метод управления транспортом на основе органического анализа и органических вычислений. Органическое управление движением [3] направлено на применение концепций управления к городским транспортным сетям в целях сокращения выбросов и оптимизации времени в пути в зависимости от транспортного потока. В данной работе органическая система управления трафиком (Organic traffic control – ОТС) оценивается с точки зрения принципов органических вычислений. Для этой цели были оценены несколько исследований по ОС и ОТС. Во-первых, были извлечены важнейшие характеристики ОС. Затем была рассмотрена структура и функциональность ОТС. Наконец, были классифицированы особенности органической системы управления дорожным движением по сравнению со свойствами органических вычислений и системы. Показано, что ОТС проявляет свойства, наиболее часто связанные с ОС. ОТС состоит из распределенных архитектур, которые адаптируются к своей среде через механизмы коммуникации и обучения, что приводит их к отображению свойств саморазвития [4] (self-x), таких как самоорганизация и самоадаптация, а также ситуационное поведение.

Таким образом, его можно классифицировать как органическую вычислительную систему. ОТС являются дополняющей технологической системой. Они входят либо в АСУТ, либо в ИТС [5], либо в системы ситуационного управления [6, 7]. ОС являются дополняющей вычислительно системой. Они также входят либо

в АСУТ, либо в ИТС, либо в системы ситуационного управления. В кибер-физические системы они входят как встроенные вычислители.

## Органические методы в управлении транспортом

Организация комплементарной сигнализации на перекрестках в городских дорожных сетях может быть использована для сокращения времени в пути и, соответственно, выбросов вредных веществ. Моделирование и программирование комплементарной сигнализации становится более трудным в силу роста сложности транспортных сетей не только по структуре, но и по гетерогенности транспортных потоков и росту их интенсивности. Необходимо изучить различные варианты проектирования комплементарной сигнализации. Одним из таких подходов являются органические вычисления и органические системы, построенные на таких вычислениях. Органические системы управления транспортом (ОТС) являются развитием автоматизированных систем управления транспортом (АСУТ), но на более высокой алгоритмической и методической основе. ОТС занимают промежуточное состояние между АСУТ и ИТС.

ОТС стремится редуцировать проблему сложности, сделав управление более реалистичным. Это делается путем создания надежных, адаптивных и гибких систем, наделенных свойствами саморазвития. Городские транспортные сети являются неотъемлемой темой применения для систем ОС из-за их структуры и динамически меняющегося транспортного потока. Возможные варианты внедрения такой системы уже предлагались в многочисленных документах. Иногда при создании систем автоматизированного управления транспортом возникает задача определить, относится ли данная система к АСУТ или к ОТС [8].

Для решения этой задачи целесообразно провести литературное обозрение. Для этого были оценены несколько работ для ОС [8-12] и для ОТС [13-15]. Статьи по ОС были проанализированы для создания критериев классификации. С этой целью в этих статьях были сопоставлены характерные свойства ОС и отобраны наиболее согласованные. Работы по ОТС были оценены с точки зрения общей структуры системы и ее функциональности. Аспекты базовой архитектуры

были извлечены вместе с методами, направляющими поведение системы. Впоследствии результаты были использованы для сравнения ОТС с критериями ОС, чтобы установить сходство между ними и классифицировать систему.

## Органические вычисления

Классический подход к проектированию компьютерных систем заключается в создании модели со всеми возможными состояниями системы, встроенными в нее. Это явное программирование возможных ситуаций и соответствующих реакций становится менее осуществимым во время проектирования из-за растущей сложности современных технических систем. Цель органических вычислений состоит в том, чтобы решить эту проблему, передав эти решения от системного инженера к системе во время выполнения, сделав ее более реалистичной. В следующих случаях будут представлены многие аспекты и характеристики систем ОС.

### Качество

Есть много качеств, которые должна выполнять система ОС. Во-первых, система ОС должна быть адаптивной, как указано в [8]. Адаптивная система обладает способностью реагировать на множество воздействий таким образом, что приводит ее к устойчивому состоянию [16].

Во-вторых, они должны быть гибкими. [14, 9, 11]. В работе [17] ОС определяют гибкой, если «в случае изменения критериев оценки и принятия пространства состояний системы они будут изменены для сохранения устойчивости». Это означает, что система должна быть в состоянии реагировать и адаптироваться к изменениям, внесенным в ее цели.

Наконец, система ОС также должна демонстрировать определенную степень надежности. Если система может продолжать демонстрировать приемлемое поведение в отношении определенного набора помех, таких как локальные сбои или атаки, то она считается надежной. Степень надежности затем определяется размером набора возмущений, с которыми она может иметь дело [16].

### Архитектура

Системы ОС оснащены датчиками для измерения и наблюдения за окружающей средой и исполнитель-

ными механизмами для взаимодействия с ней [8]. Это необходимо для того, чтобы они могли реагировать на меняющиеся ситуации. Однако, чтобы выполнить свою роль адаптивной и гибкой системы, они в дальнейшем должны располагать достаточными степенями свободы. Это приводит к тому, что типичная система ОС является распределенной системой, состоящей из большого количества взаимосвязанных частей [8].

Архитектура системы ОС часто описывается как состоящая из двух компонентов [8, 9, 11, 12]. Согласно [11] эти части можно охарактеризовать следующим образом:

- технологическая часть, которая отвечает за функциональность системы.
- органическая часть, которая управляет адаптацией и конфигурацией системы.

Технологическая часть действует как стандартная система, в случае управления движением, например, это будет контроллер перекрестка, переключающий световое состояние. Органическая часть контролирует производительность и может перенастроить систему и ее параметры при необходимости, в примере управления движением она может изменить время цикла светофоров. Чтобы позволить этим двум компонентам работать вместе, производительная часть обернута в инфраструктуру self-x [12], обеспечивая интерфейс для органической части.

В статье [12] описана среда выполнения такой системы с помощью инвариантов. Инварианты используются для определения продуктивных фаз, когда система выполняет свою функциональность в соответствии со своими целями. Если инвариант больше не работает, система переходит в фазу self-x, где функциональность восстанавливается.

Архитектура для реализации органической части системы упоминается в [8, 9, 10, 11, 12] в качестве наблюдателя/контроллера. Он строится поверх производственной части и разделяет задачи органической части между наблюдателем и контроллером. Согласно [11] наблюдатель отвечает за измерение состояния системы. Затем контроллер оценивает результаты в соответствии с заданными целями и может действовать, например, путем изменения локальных правил принятия решений.

# 28

## Эмерджентность

Важным свойством систем ОС, упомянутым в [9, 10, 11], является эмерджентность. Эмерджентные явления часто появляются в системах, состоящих из большого числа взаимодействующих элементов. Для них характерно различие между локальным поведением индивидуальных частей и глобальным поведением самой системы [11]. Определение эмерджентности дано [11] следующим образом: «В общем, всякий раз, когда глобальное поведение может быть замечено как нелинейная комбинация локального поведения, мы называем это эффектом «эмерджентности». В [9] описывает эмерджентность как явление снизу вверх, которое противоречит стандартному процессу проектирования системы сверху вниз и, таким образом, предлагает золотую середину в контролируемом возникновении: определение целей и ограничений для системы, чтобы направлять ее поведение во время выполнения. Эту точку зрения разделяет [8], поскольку они поощряют системы принимать локальные решения, но не считают желательной ни полную, ни нулевую автономию.

## Органические системы управления трафиком

Городские транспортные сети представляют собой сложную сеть дорог, соединенных перекрестками. Ручное проектирование контроллера дорожного движения, который может обрабатывать постоянно меняющийся поток трафика через эти сети, является сложной задачей. Но и автоматизированная, но неоптимизированная система регулирования может привести к заторам с негативными последствиями для окружающей среды и экономики.

Органическое управление дорожным движением, как описано в [14], направлено на улучшение управления светофорами с использованием самоорганизованной и самоадаптивной системы для оптимизации сигнализации. В [14] предложена система, построенная по децентрализованному принципу. В рамках этой системы каждый перекресток оснащен собственным контроллером, что позволяет ему адаптироваться к изменениям в транспортном потоке и оптимизировать с использованием механизмов обучения, ориентированных на безопасность.

Органическая система связана с системой наблюдения и управления трафиком (SuOC). SuOC может быть стандартным контроллером светофора, только его параметры должны быть настраиваемыми. Контроллеры органической системы состоят из 3-слойной архитектуры наблюдателя/контроллера

- Уровень 0 отвечает за сбор данных о транспортном потоке и передачу их на уровень 1. Применяются наборы параметров, выбранные в верхних слоях, к SuOC.
- Уровень 1 обрабатывает data из слоя 0 и передает его в систему классификаторов, которая выбирает наборы параметров для наблюдаемого потока трафика.
- Уровень 2 является автономным обучающим компонентом, оснащенным эволюционными алгоритмами для изучения наборов параметров для шаблонов трафика, неизвестных классификаторов уровня 1.

Кроме того, он оснащен инструментом моделирования для тестирования и анализа новых классификаторов, чтобы избежать неисправностей и нежелательных эффектов. Классификаторы, используемые уровнем 1, имеют значения пригодности, которые обновляются по отношению к производительности системы с момента последнего включения классификатора. Это позволяет системе всегда выбирать лучший классификатор.

Контроллеры сами встроены в коммуникационную инфраструктуру, которая позволяет пользователям контролировать и управлять целями, а также механизмы взаимодействия между контроллерами.

До сих пор контроллеры лишь косвенно находились под влиянием друг друга через изменения в транспортном потоке, вызванные отслоениями от других перекрестков. Для повышения производительности можно использовать коллаборативные схемы, такие как прогрессивные сигнальные системы (PSS). С помощью PSS пересечения группируются и выравнивают время цикла для создания так называемых «зеленых волн» [14]. Чтобы обеспечить создание PSS, отдельные контроллеры пересечений должны иметь возможность общаться со своими соседями. Затем формирование PSS происходит в трехэтапный процесс.

# 29

---

Сначала каждый контроллер анализирует транспортный поток и выбирает партнеров из соседних перекрестков в соответствии с поворотами с самыми сильными потоками. После этого сотрудничающие контроллеры устанавливают общее время цикла. Это делается на основе предпочтительного времени цикла от каждого контроллера, из которого максимальное время цикла участников PSS выбирается в качестве общего времени цикла. Конечно, смещения могут быть рассчитаны, чтобы учесть время в пути между перекрестками, и выбирается синхронизированный план сигнализации.

Поскольку PSS, основанные на самых сильных потоках, не всегда являются оптимальными, региональный менеджер может заменить первый шаг и сгруппировать пересечения на основе более глубокого анализа. Чтобы адаптироваться к изменениям в потоке трафика, PSS обновляются всякий раз, когда наблюдается соответствующее изменение трафика, например, когда контроллер значительно увеличивает желаемое время цикла. Использование PSS уменьшает количество остановок и задержек, как показано в [15].

Еще одним расширением органической вычислительной системы является введение динамического маршрутного наведения [13] (DRG). Для DRG каждый наблюдатель/контроллер расширяется с помощью компонента маршрутизации (RC). Основываясь на измеренных задержках поворота, каждый контроллер перекрестка может оценить время в пути для альтернативных маршрутов, которые распределены по сети. Используя эти значения, RC определяет наилучший маршрут к месту назначения с адаптацией протокола DVR, используемого для интернет-маршрутизации.

Протокол DVR связывает каждый подход к взаимодействию с таблицей маршрутизации. Записи в таблицах маршрутизации включают пункт назначения, предполагаемое время до этого пункта назначения и необходимое направление. С помощью этого водитель может быть направлен к месту назначения на основе следующего прыжка, а повороты могут быть показаны с помощью переменных знаков обмена сообщениями. Маршруты обновляются в соответствии с наблюдаемым трафиком, путем отправки маршрутных сообщений на соседние перекрестки.

Это расширение повышает устойчивость систем к дорожным завалам и, как правило, еще больше со-

кращает время в пути, как показано в [13].

Другой целью [14] было создание устойчивой системы. Устойчивость описывается как способность «не только реагировать на выявленные нарушения и неудовлетворительную производительность системы, но и предвидеть предстоящие проблемы». Это означает, что контроллеры пересечения должны не только изучать правильные реакции на наблюдаемые условия, но и возможные воздействия этих реакций. Для достижения этой цели система была расширена компонентом прогнозирования, прогнозирующим данные о трафике на основе комбинации методов прогнозирования и их изученных точностей. Было показано, что это еще больше повышает производительность системы органического управления трафиком [14].

## Сравнение ОС и ОТС

После установления основных аспектов ОС и ОТС можно провести сравнение между ними.

### *Качество*

Основными качествами систем ОС являются адаптивность, гибкость и надежность. Как показано выше, ОС может использовать трехуровневую архитектуру наблюдателя/контроллера для изменения параметров, влияющих на поведение системы, для реагирования, например, на изменения в воспринимаемом потоке трафика. Таким образом, он имеет возможность справляться с определенными нарушениями и возвращаться к приемлемой производительности, что делает его адаптивной системой.

Кроме того, используя те же методы, он может приспособливаться к новым требованиям, предъявляемым в рамках управления целями, и, таким образом, считается гибкой системой. Поскольку он может справляться с определенными помехами, в том числе путем изменения PSS или перенаправления трафика с помощью DRG, он также считается надежной системой. Это усиливается его структурой как распределенной системы. В статье [16] распределенные механизмы управления рассматриваются как более надежные, поскольку одной точки отказа можно избежать.

Это качество также может быть получено из его создания в качестве устойчивой системы. Определение устойчивости, приведенное в разделе III, основано на

# 30

---

надежности, расширяя ее способностью предвидеть будущее. Фактически, можно утверждать, что добавление в систему компонента прогнозирования, который может прогнозировать транспортный поток и влияние решений, еще больше повысит надежность, поскольку могут быть сделаны прогнозы о результате принятия решения в ответ на отклонения. Тем не менее, это все еще область текущих и будущих исследований [14].

## **Архитектура**

Другим аспектом, который следует учитывать, является структура системы. Это распределенная система, где каждое пересечение имеет свой собственный контроллер. В городских транспортных сетях это приводит к большому количеству подсистем, что характерно для систем ОС. Можно также различать продуктивную часть системы и ее органическую часть. SuOC в этой системе является стандартным контроллером пересечения, который представляет собой продуктивную часть, обеспечивающую системе ее функциональность. SuOC дополнен саморазвивающейся системой, представленной уровнем 0 трехслойной архитектуры наблюдателя/контроллера. Другие слои системы затем считаются органической частью, поскольку они анализируют данные из слоя 0 и адаптируют параметры в соответствии с ним и цели, поставленные перед системой. Они предоставляют системе возможность автономно адаптироваться к новым ситуациям и настраивать себя. Кроме того, каждый контроллер реализует архитектуру *observer/controller*, которая была предложена архитектурой для реализации органической части. В данном случае это трехслойный наблюдатель/контроллер.

## **Свойства саморазвития**

Система отображает несколько свойств саморазвития. Система является самоорганизующейся. Это реализуется за счет способности контроллера пересечений изменять и изучать параметры, определяя поведение систем, в соответствии с целями, поставленными целевым менеджментом.

Система самоорганизуется за счет поиска и устранения противоречий. Отдельные противоречия (конфликты на перекрестках) не группируются напрямую и не связаны друг с другом. Однако с введением PSS

как части системы они связаны с группами для повышения производительности системы. Эти группы затем переоцениваются всякий раз, когда происходит событие, которое сигнализирует о соответствующем изменении трафика. Кроме того, DRG также представляет собой самоорганизующийся механизм. Контроллеры перекрестков устанавливают и распределяют расчетное время в пути между собой. Это время используется для оптимального управления движением и всегда обновляется в соответствии с потоком трафика и сигнализацией. Следовательно, система удовлетворяет определению самоорганизации.

Система самосовершенствуется. Это выполняется трехуровневой архитектурой наблюдателя/контроллера. Наборы параметров, управляющие поведением системы, выбираются уровнем 1 относительно их ожидаемой производительности в данной ситуации. Уровень 2 также использует механизмы обучения для поиска лучших наборов параметров для неизвестных ситуаций. Кроме того, значения пригодности для набора параметров обновляются в соответствии с его производительностью.

## **Эмерджентность** [18].

Система состоит из большого количества отдельных компонентов, что является свойством, связанным с эмерджентным поведением. Эмерджентность определялась разницей между локальным поведением индивидов и глобальным поведением системы. Это можно наблюдать в органической системе управления дорожным движением. Решения каждого контроллера перекрестка вместе с использованием PSS и DRG приводят к транспортному потоку через город, который должен отражать цели системы.

Однако эти потоки не всегда можно предсказать, глядя на поведение отдельных контроллеров пересечений. Это особенно очевидно в отношении PSS. Создание PSS приводит к так называемым «зеленым волнам» [14], которые, согласно [10], являются возникающим явлением для органических систем управления движением, поскольку представляют собой нелинейную комбинацию локальных поведений. Поскольку эти возникающие явления руководствуются системными целями, они представляют собой контролируемое возникновение, предложенное для ОС.

## Ситуационные методы управления

Концепции управления трафиком в мегаполисе [19] использует модель информационной ситуации и принципы ситуационного управления. По существу, управление транспортом мегаполиса основано на выявлении постоянно меняющихся отношений, связей, соответствий [20] между дискретными элементами транспортных потоков и извлечении неявных знаний [21]. Ситуационное управление [6] в качестве отправного принцип использует предположение того, что для всех видов управления движением нет универсального способа управления [22]. В силу этого управление движением организуется либо субсидиарно, либо по текущей ситуации [23].

Информационной поддержкой такого транспортного управления является модель информационной ситуации [24-26].

Аналитической поддержкой такого управления является ситуационный анализ.

Технической поддержкой такого управления является геомониторинг или геотехнический мониторинг.

Конструктивной поддержкой такого управления является применение методов прецедентов или стереотипов. Для создания новых стереотипов необходима систематизация ситуаций управления и анализ этих ситуаций. Новый подход управления транспортом требует создания шаблонов сценариев управления. Поэтому сценарии управления как развитие информационной ситуации являются основой современного управления движением на автомобильном и железнодорожном транспорте.

Тенденцией управления скоростным транспортом является сокращение времени на принятие управленческих решений. Сокращение времени влечет уменьшение времени на анализ стереотипных ситуаций. Уменьшение времени на анализ стереотипных ситуаций влечет рост информационной неопределенности [27]. Рост информационной неопределенности влечет повышение когнитивной нагрузки на управленческий персонал.

Рост информационной неопределенности влечет повышение риска неправильных решений. Выходом из такой ситуации является с одной стороны переход на интеллектуальные или кибер-физические методы управления, а с другой – уменьшение влияния «чело-

веческого фактора». Одним из методов уменьшения влияния человеческого фактора являются органические вычисления и органические системы управления. Органические вычисления в качестве базы используют информационное управление [28] и модели информационного поля [29]

Ситуационное управление транспортом использует вспомогательные технологии, включая интеллектуальное и кибер-физическое [30] управление. Схема ситуационного управления приведена на рис.1. Ситуационное управление содержит следующие компоненты: стратегическую цель управления (цель), систему управления (СУ), подвижный объект управления (ОУ), систему мониторинга, ситуацию, окружающую объект управления и локальную цель управления.

На первом этапе управление передается управляющим воздействием (УВ). Состояние объекта контролирует система мониторинга и внутренняя система контроля, которой может быть встроенная органическая система. Реальная ситуация воздействует на подвижный объект. Информация о воздействии ситуации (ИВ) передается в систему управления.

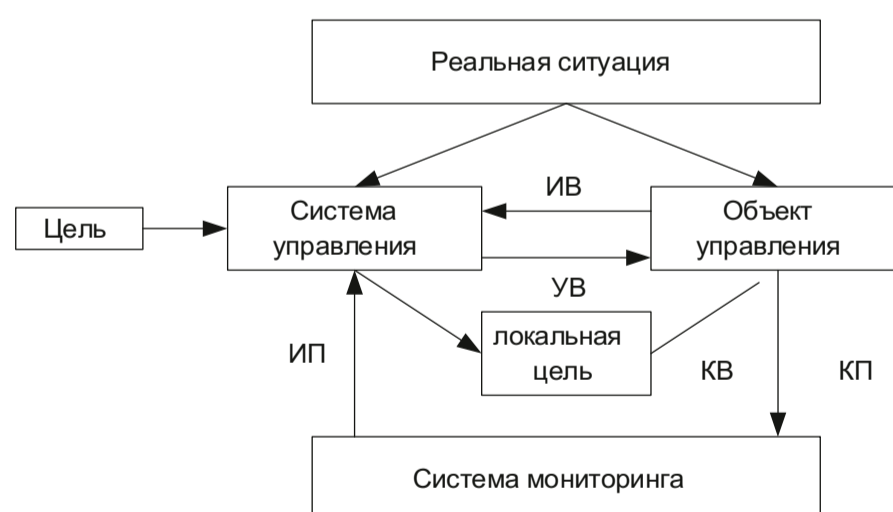


Рисунок 1. Ситуационное управление транспортом

В систему мониторинга также поступают контрольные параметры (КП) о состоянии подвижного объекта. В системе мониторинга контрольные параметры унифицируют и направляют в систему управления как информирующие параметры (ИП). На основе ИП и ИВ система управления проводит анализ объекта в ситуации. При необходимости система управления вырабатывает локальную цель управления. Эта локальная цель служит основой формирования корректирующих воздействий (КВ). Отсюда следует, что ситуационное управление является двух цикловым, в отличие

# 32

от одно циклового директивного управления. Целью ситуационного управления транспортом является повышение эффективности управления транспортными средствами в условиях воздействия внешней среды. Современные системы управления транспортом являются распределенными и сетевыми.

## Заключение.

Современное управление транспортом является одним из самых сложных видов управления. Ситуационное управление дополняет органические системы управления транспортом. Органические вычисления и ОТС совместимы с ситуационным управлением и дополняют его. Обычное ситуационное управление можно назвать точечным или объектным. Оно управляет отдельными объектами точка за точкой.

Ситуационное управление в мегаполисе можно назвать массовым или потоковым. Оно реализует управление в сети (включая железнодорожные сети) и может быть рассмотрено как сетевое ситуационное управление. Оно управляет потоками в сети, регулируя их в узлах. Понятие информационной ситуации в управлении транспортом включает пространственный и технический аспекты.

Пространственный аспект связан с пространственным местонахождением подвижного объекта управления. Технический аспект связан с факторами его состояния: состоянием его ходовой части, прогнозом ресурсных возможностей, отношений, в которых он находится с другими подвижными объектами и объектами препятствиями и прочим. Современное ситуационное управление совместимо с органическими вычислениями и этим повышает эффективность.

Современный этап применения ситуационного управления характеризуется включением массовых технологий управления. при этом большое значение приобретает фактор саморазвития систем управления или фактор их субсидиарности. В настоящее время есть основание ввести термин «ситуационное органическое управление». В малом ситуационное органическое управление включает встроенные органические вычисления (ОС). В большом ситуационное органическое управление включает встроенные органические системы управления. В этом случае система управления (рис.1) частично размещена на подвижном объекте, аналогично размещению вычислителей на транспортных кибер-физических системах. Современное ситуационное органическое управление связано с инновациями [31] и является инновационным управлением

## Список литературы

1. Козлов А. В. Анализ субсидиарных систем // Вестник РГРТУ. 2019. № 69. С.60-167.
2. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. -2012. – №6. – С.40-43.
3. Böhm J. Classification of Organic Traffic Control as an Organic Computing System. [https://www.researchgate.net/profile/Jonas-Boehm-2/publication/343016980\\_Classification\\_of\\_Organic\\_Traffic\\_Control\\_as\\_an\\_Organic\\_Computing\\_System/links/5f119f8992851c1eff184fb9/](https://www.researchgate.net/profile/Jonas-Boehm-2/publication/343016980_Classification_of_Organic_Traffic_Control_as_an_Organic_Computing_System/links/5f119f8992851c1eff184fb9/)
4. Козлов А. В. Саморазвитие субсидиарных систем // Славянский форум. -2019. – 3(25). – С.125-132.
5. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Среда поддержки интеллектуальных систем // Транспорт Российской Федерации. – 2011. -№ 6. – С.6-8.
6. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – №2. – С.42-46.



7. Охотников А.Л., Цветков В.Я. Интервальное ситуационное управление // Славянский форум. -2019. – 4(26). – С.86-94.
8. Sven Tomforde, Bernhard Sick, and Christian Miiller-Schloer. Organic Computing in the Spotlight. arXiv e-prints, page arXiv:1701.08125, January 2017.
9. Christian Mtiller-Schloer. Organic computing: on the feasibility of controlled emergence. In CODES+ISSS '04: Proceedings of the 2nd IEEE/ACM/IFIP international conference on Hardware/software code-sign and system synthesis, pages 2 – 5, New York, NY, United States, 2004. Association for Computing Machinery.
10. Hartmut Schmeck. Organic computing – a new vision for distributed embedded systems. In Arif Ghafoor, Uwe Brinkschulte, Krithi Ramam-ritham, and Robert G. Pettit, editors, Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'05), pages 201-203, New York, NY, United States, 2005. IEE.
11. Jurgen Branke, Moez Mnif, Christian Muller-Schloer, Holger Proth-mann, Urban Richter, Fabian Rochner, and Hartmut Schmeck. Organic computing – addressing complexity by controlled self-organization. In Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation, pages 185 – 191, New York, NY, United States, 2006. IEEE.
12. Matthias Gudemann, Florian Nafz, Frank Ortmeier, Hella Seebach, and Wolfgang Reif. A specification and construction paradigm for organic computing systems. In Sven Brueckner, Paul Robertson, and Umesh Bellur, editors, Second IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, pages 233 – 242, New York, NY, United States, 2008. IEE.
13. H. Prothmann, H. Schmeck, S. Tomforde, J. Lyda, J. Hahner, C. Muller-Schloer, and J. Branke. Decentralised route guidance in organic traffic control. In 2011 IEEE Fifth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, pages 219-220, 2011.
14. Matthias Sommer, Tomforde Sven, and Haehner Joerg. An organic computing approach to resilient traffic management. In Thomas Leo McCluskey, Apostolos Kotsialos, Jorg P. Muller, Franziska Klugl, Omer Rana, and Rene Schumann, editors, Autonomic Road Transport Support Systems, pages 113 – 130. Birkhauser, Basel, Sweden, 2016.
15. Sven Tomforde, Holger Prothmann, Fabian Rochner, Jurgen Branke, Jorg Hahner, Christian Mtiller-Schloer, and Hartmut Schmeck. Decentralised progressive signal systems for organic traffic control. In Sven Brueckner, Paul Robertson, and Umesh Bellur, editors, Second IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems, pages 413 – 422, New York, NY, United States, 2008. IEE.
16. Hartmut Schmeck, Christian Muller-Schloer, Emre Cakar, Moez Mnif, and Urban Richter. Adaptivity and self-organization in organic computing systems. ACM Trans. Auton. Adapt. Syst., 5(3), September 2010.
17. Christian Becker, Jorg Hahner, and Sven Tomforde. Flexibility in organic systems – remarks on mechanisms for adapting system goals at runtime. In Proceedings of the 9th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics – Volume 1: ICINCO, pages 287-292. INSTICC, SciTePress, 2012.
18. Цветков В.Я. Эмерджентизм // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2-1. – С.137-138.
19. Кужелев П.Д. Принципы управления транспортом мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 1(1). – С.27-33.
20. Цветков В.Я. Отношение, связь, соответствие // Славянский форум, 2016. -2(12). – С.272-27.
21. Цветков В. Я. Анализ неявного знания // Перспективы науки и образования. – 2014. – №1 (7). – С.56-60.
22. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. – №4(12). – С.5-10.
23. Encyclopedia of Management <http://www.enotes.com/management-encyclopedia/management-thought> Дата просмотра 16.03.2021.
24. Цветков В.Я. Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.13-19.
25. Титов Е.К. Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 4(12). – с.30-38.
26. Цветков В.Я. Систематика информационных ситуаций // Перспективы науки и образования. – 2016. – №5 (23). – С.64-68.
27. Ожерельева Т.А. Оппозиционный анализ неопределенности и определенности // Славянский форум. – 2017. – 1(15). – С.218-226.
28. Ожерельева Т.А. Информационное управление подвижными объектами // Государственный советник. – 2018. – №4(24). – С.29-37.
29. Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №1-3. – С.455-456.
30. Volkova V., Loginova A., Kudriavtceva A. Management of enterprise cyberphysical systems sustainable development while undergoing a digital transformation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 940. – №. 1. – С. 012009.
31. Ожерельева Т.А. Анализ пространственных транспортных инноваций // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.27-34.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

# Анализ требований к открытой системе генерализации железнодорожных карт

## ANALYSIS OF REQUIREMENTS FOR AN OPEN SYSTEM OF RAILWAY MAP GENERALIZATION

**Дулин С.К.** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, АО «НИИАС»; ИПИ ФИЦ ИУ РАН,  
E-mail: skdulin@mail.ru, Москва, Россия

**Дулина Н.Г.** к.т.н., ведущий программист, ВЦ ФИЦ ИУ РАН, E-mail: ngdulina@mail.ru, Москва, Россия

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

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



## Аннотация

В работе рассмотрены два подхода к описанию структуры открытой системы генерализации геоданных, применимой для карт железных дорог. При первом подходе доступ к сервису генерализации осуществляется путем указания карты, при этом сервис реализуется на основе своих собственных требований к геоданным. Во втором подходе клиент сам должен управлять своими геоданными на основе веб-служб реестра операций и решать проблемы проверки геоданных. Эти два подхода определяют различные способы взаимодействия с геоданными. Предполагается, что при исследовании генерализации могут быть приняты онтологические допущения об особенностях дорог, при этом проблемы совместимости решаются путем формализации исследований генерализации и практического опыта открытого обмена результатами исследований.



## Annotation

The paper considers two approaches to describing the structure of an open geodata generalization system applicable to railway maps. In the first approach, the generalization service is accessed by specifying a map, and the service is implemented based on its own geodata requirements. In the second approach, the client must manage its own geodata based on the web services of the register of operations and solve geodata validation problems. These two approaches define different ways of interacting with geodata. It is assumed that in the study of generalization, ontological assumptions about the features of the roads can be made, while compatibility problems are solved by formalizing the studies of generalization and practical experience in the open exchange of research results.

# 35

## Введение

Обзор существующих железнодорожных карт показывает, что они либо не являются многомасштабными, как карты федеральных железных дорог, либо не обеспечивают открытой структуры железнодорожной сети, такой как OpenRailwayMap (<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/RU:OpenRailwayMap>). Таким образом, чтобы предоставить удобную интерактивную карту, необходимо использовать генерализацию для создания многомасштабной карты железных дорог, которая также может поддерживать открытую структуру в каждом масштабе.

**Генерализация** – отбор и обобщение изображаемых на карте объектов соответственно назначению и масштабу карты и особенностям картографируемой территории (ГОСТ 21667-76. Картография. Термины и определения).

**Автоматическая генерализация** – все операции в процессах получения, преобразования, передачи и распределения информации, выполняющиеся компьютером по заданной программе (БСЭ).

**Автоматизированная генерализация** – генерализация цифровой картографической информации, выполняемая на компьютере в диалоговом режиме (ГОСТ 28 441-99. Картография цифровая. Термины и определения).

Соответственно технология генерализации используется для преобразования карты исходного масштаба в карту более мелкого масштаба (производного масштаба). Качество генерализации карты определяется сравнением входных и выходных наборов геоданных [1, 2]. Эти наборы главным образом зависят от мер, которые характеризуют формы объектов и их пространственные отношения. Однако при генерализации не всегда сохраняются первоначальные наборы, так как существуют мотивации для изменения набора геоданных, например, минимально допустимые размеры для целевого масштаба. Поэтому независимо от изменений наборов геоданных целесообразно сравнивать результаты эвристических методов генерализации с результатами, которые являются оптимальными при данных ограничениях.

Обычно выделяют две разные проблемы генерализации: получение менее подробной базы геоданных из заданной (генерализация базы данных или генерали-

зация модели) и получение графической карты, либо из базы геоданных, либо на основе другой карты. (картографическая генерализация). В качестве предварительного условия для автоматической генерализации базы геоданных национальные картографические агентства многих стран разработали спецификации баз геоданных, определяя, при этом, минимальные размеры для конкретного масштаба.

Появление новых технологий для поиска, обработки и визуализации геоданных привело к расширению запросов в области автоматизированной картографии [3]. В то же самое время и методики, используемые при традиционной реализации генерализации геоданных стали более сложными [4]. Можно указать две причины, в связи с которыми открытость в исследовательских системах расширяет интероперабельность процессов генерализации. С одной стороны, существует потребность поддерживать интероперабельность за счет совместного использования в пользовательском сообществе новых методик, алгоритмов, структур данных и архитектур управления.

С другой стороны, необходимо развивать интероперабельность через генерализацию в разных областях использования географической информационной системы, например при отображении геовизуализации и обслуживании на основе местоположения. В пределах сообщества взаимодействующих пользователей открытость должна быть на достаточно детализированном уровне. Вне сообщества открытость должна поддерживаться использованием общезначимых концепций и методик генерализации.

*Требования к генерализации внутри сообщества включают:*

- 1) Поддержку совместного использования и сравнения методик и результатов;
- 2) Совместный доступ пользователей к сложному пространственному моделированию геоданных, анализу и функциональным возможностям реструктурирования так, чтобы они могли использоваться как основание для новых методик;
- 3) Обеспечение доступа к библиотекам алгоритмов, которые могут использоваться, чтобы изучить процедурное знание, требуемое для оформления операций управления генерализацией;
- 4) Обеспечение пользователям возможности предлагать и проверять новые улучшенные функци-

# 36

ональные возможности в пределах целостной структуры генерализации, реализуемой на основе общедоступных компонентов.

*Вне сообщества можно указать следующие требования:*

- 1) Представление функциональных возможностей генерализации таким образом, чтобы они могли быть объединены с возможностями географических приложений других пользовательских областей;
- 2) Выражение концепций генерализации, типа ограничений карты, многомасштабных представлений информации, операций генерализации и альтернативных типов изображения, формальным машинно-ориентированным способом;
- 3) Выполнение генерализации в реальном времени на текущих данных, допускающее разные динамические ограничения, типа текущего местоположения пользователя или время дня, и статические ассоциации, типа присущих пространственных отношений между найденными особенностями и основными особенностями карты;
- 4) Обеспечение связи между наборами многомасштабных представлений одних и тех же геоданных.

*Кроме того, существуют общие требования, применимые для обоих случаев:*

- 1) Обеспечение способности поддерживать пользователей, независимо от их выбора платформы или программной среды;
- 2) Кодирование и передача геоданных без потери информации;
- 3) Поддержка описания и кодировки спецификаций и правил формирования карты.

## Контексты открытости в геоинформатике

Открытая архитектура – это коллекции компонентов и их интерфейсов, спецификация которых, на некотором уровне степени детализации общедоступна. Интерфейсы могут быть представлены как контракты, налагающие обязательства на взаимодействия между пользователями и провайдером. Для обмена методами генерализации между пользователями интерфейсы нуждаются в подробных определениях, представляющих операции генерализации и их пара-

метры. Для приложений генерализации, интерфейсы могут быть ограниченными, возможно с единственной операцией «генерализация карты».

Открытые протоколы обеспечивают языковой синтаксис и концептуальную формализацию для взаимодействий в пределах открытой архитектуры. Протоколы определены для кодирования концепций моделирования геоданных, относящихся к предметной области и операциям интерфейса. Они могут определять форматы для описания операции и кодирования информации, которой необходимо обмениваться через интерфейс, или для координации связи. Протоколы должны быть основаны на абстракциях единого домена, общих для всех соответствующих компонентов, хотя их логическая кодировка (например, классы Java, XML, структуры SQL) может различаться в зависимости от архитектуры. Для исследования генерализации протоколы должны иметь возможность представлять модели географических явлений, которые инкапсулируют геометрические, топологические и семантические концепции и которые могут быть закодированы как параметры операций. Чтобы представлять сервис генерализации для других приложений, протоколы должны содержать такие концепции картографии, как спецификации карты, содержимое и стиль карты, темы карты, а также различные типы карт.

Открытые стандарты формализуют определения открытых архитектур. Они определяются через открытые, международные процессы с участием всех сторон, публично задокументированы и доступны для использования без лицензионных ограничений. Стандарт Web Map Service (WMS) – это международная спецификация для публикации и использования в сети динамических карт.

Для публикации сервиса WMS на ГИС серверах применяется функция WMS, активируемая при публикации картографического сервиса или сервиса изображений. Сервисы WMS необходимы в том случае, если требуется открыть доступ к картам в открытом и общепринятом формате, применяемом различными клиентскими приложениями на различных платформах. С этим сервисом может работать любое клиентское приложение, разработанное с поддержкой спецификации WMS. На настоящий момент опубликованы четыре версии спецификации WMS – 1.0.0, 1.1.0, 1.1.1 и 1.3.0.

Стандартизация упрощает взаимодействие между компонентами разных пользователей и позволяет разрабатывать платформу без привязки к конкретному программному обеспечению. Что наиболее важно, стандартизация формализуют определения для абстракций геоданных, облегчая взаимодействие между пользователями и сводя к минимуму дублирование в проектных решениях. В связи с этим работа органов

стандартизации, таких как Open Geospatial Consortium (OGC 2004) и World-Wide Web Consortium (W3C 2004), произвела революцию в реализации практической геоинформатики. Существует целый ряд стандартов, относящихся к открытым системам генерализации (<https://www.ogc.org/standards>), Таблица 1 иллюстрирует некоторые наиболее важные из них.

Таблица 1.

### Стандарты генерализации

СТАНДАРТ	ОПИСАНИЕ
Web Map Service (WMS 2004)	Спецификация WMS определяет интерфейс, позволяющий сделать картографические сервисы доступными через Интернет.
Styled Layer Descriptors (SLD 2004)	SLD позволяет определять спецификации карты. Он кодирует концепции для определения содержания, «слоев» карты и представления, «стилей» слоя карты.
Scalable Vector Graphics (SVG 2004)	SVG – это кодировка XML для описания графики с использованием векторных примитивов.
Web Feature Service (WFS 2004)	Спецификация WFS определяет интерфейс для доступа к пространственным данным как географическим объектам через Интернет.
Geography Markup Language (GML 2004)	GML – это протокол для кодирования описаний географических объектов в XML. GML использует стандартные концептуальные абстракции (ISO 19107, ISO 19109) в качестве схемы данных для классификации пространственных объектов, их атрибутов и геометрии.
Filter Encoding (FES 2004)	Спецификация кодирования фильтра обеспечивает нейтральный протокол для ограничения пространственных и семантических запросов к ресурсам пространственных данных (например, WFS).
Web Services Architecture (WSA 2004) – Simple Object Access Protocol (SOAP 2003) – Web Services Definition Language (WSDL 2001)	Архитектура веб-служб (WSA) – это набор протоколов и стандартов, позволяющих программным приложениям взаимодействовать через Интернет независимо от платформы. Два из них: – SOAP – это облегченная реализация протокола WSA. Она обеспечивает доступ к объектам, операциям или геоданным по сети с использованием структурированных сообщений XML. – WSDL протокол WSA для описания интерфейса веб-службы. Он позволяет службе раскрывать поддерживаемые ею операции и форматы сообщений.

Спецификации WMS и WFS помогают разворачивать функциональные возможности генерализации с помощью географических сервисов приложений. Протоколы SLD и FES позволяют интерпретировать запросы к этим сервисам и обеспечивают механизм для запуска генерализации. GML – это протокол для кодирования и обмена геоданными. Для картографических сервисов и сервисов геоданных он кодирует ответы на запросы, описывает временные геоданные, которые должны отображаться динамически, и описывает области, связанные с темой карты и пользователем.

Стандарты веб-сервисов – это общие механизмы для доступа к вычислительным объектам и операциям через Интернет. В платформе для совместного исполь-

зования исследований, где основной целью является предоставление методов доступа для сравнения, а не предоставление операций, которые могут быть интегрированы в полную систему, они могут предоставлять операции генерализации даже на уровнях высокой детализации. К ним можно получить доступ в нейтральном формате XML, независимо от конкретных сред разработки.

Существует много определений открытого исходного программного обеспечения, главным образом отличающихся по описанию лицензирования условий и по возможности изменения программного обеспечения. Как правило, программное обеспечение поставляется вместе с его исходным текстом. Такое программное обеспечение уместно рассматривать как откры-

тую архитектуру, которая была определена на очень детализированном уровне. Поскольку открытое исходное программное обеспечение может быть изменено, оно адаптируемо и может быть объединено с другим кодом. Исследования генерализации можно ускорить, потому что инструменты с открытым исходным кодом могут предоставить основные функции, необходимые для создания картографической платформы, которая, вообще говоря, не связана с целями исследования. Существует ряд проектов ГИС с открытым исходным кодом, которые представляют интерес для генерализации (<http://www.geoapi.org/snapshot/index.html>). Некоторые их примеры перечислены в Таблице 2.

Среди наиболее полезных типов программного обеспечения с открытым исходным кодом выделяются программные платформы, определяющие структуру программной системы. Программные платформы определяют архитектуры, которые модулируют функциональность посредством определения договоренности в совместной работе. Их цель неоднократное использование архитектурного дизайна для создания подобных типов программного обеспечения, а не просто повторное использование кода.

Структуры программной системы часто реализуются в соответствии с открытыми стандартами, с их модульной конструкцией, обеспечивающей соответствие на очень высоких уровнях детализации. В таблице 2 примером этого является GeoAPI. Платформы, реализующие стандарты WMS, также особенно полезны для открытой системы генерализации, поскольку большую часть их дизайна можно использовать повторно.

### Архитектурные модели для открытых систем генерализации

Два типа требований к исследованиям предполагают использование двух разных архитектурных подходов. Генерализация, предоставляемая как часть более широкой стратегии трансформации изображения, лучше всего реализуется путем расширения существующих моделей для географических сервисов. Это связано с тем, что в них используются стандартизованные и хорошо понятные интерфейсы и протоколы, а реализации с открытым исходным кодом означают, что разработчики могут сосредоточиться на расширении существующих систем, а не начинать с нуля. Такой тип развертывания называется промежуточным программным обеспечением, поскольку сервисы находятся внутри архитектуры, между клиентскими приложениями и серверами геоданных. Преобразования, требующие детализированного доступа к методам генерализации, лучше поддерживаются сервисами, которые могут подробно раскрывать операции и их параметры. Модель веб-служб реестра операций, к которой можно получить доступ через Интернет с помощью XML, обеспечивает хорошие результаты для реализации этой потребности. Это связано с тем, что операции могут описываться и использоваться независимо от языковых контекстов, типы геоданных для параметров могут быть описаны с использованием существующих стандартов для обмена географической информацией, а функциональность может достигаться без необходимости физического доступа пользователей к коду, реализующему операцию, или к серверу, выполняющему вычисления.

На рис. 1 показаны два типа сервиса генерализации. В первом сценарии доступ к сервису осуществляется путем указания карты, при этом сервис реализуется на основе своих собственных требований к геодан-

Таблица 2.

#### Примеры реализованных открытых исходных проектов

Программное обеспечение	Описание
GeoAPI (2004)	GeoAPI реализует протоколы OGC для географической информации на Java. Это упрощает низкоуровневую интеграцию между различными платформами. Это совместная разработка с OGC Geographic Objects (GO-1 2004).
Deegree (2004), GeoTools (2004), GeoServer (2004)	Это разные платформы Java, реализующие спецификации веб-служб OGC (включая WMS и WFS).
JTS Topology Suite (JTS), JTS Conflation Suite (JCS) and JUMP (Vivid Solutions 2004)	JTS и JCS – это инструменты для пространственного анализа и структурирования геоданных. Они используют стандартные геометрические абстракции. JUMP – это настольная картографическая платформа, использующая JTS и JCS.

# 39

ным. Во втором случае клиент сам должен управлять своими геоданными и решать проблемы проверки геоданных. Соответственно, способы взаимодействия с геоданными в каждом сценарии различаются. Модель промежуточного программного обеспечения работает полностью автоматически, тогда как в модели реестра пользователь имеет более интерактивный контроль.

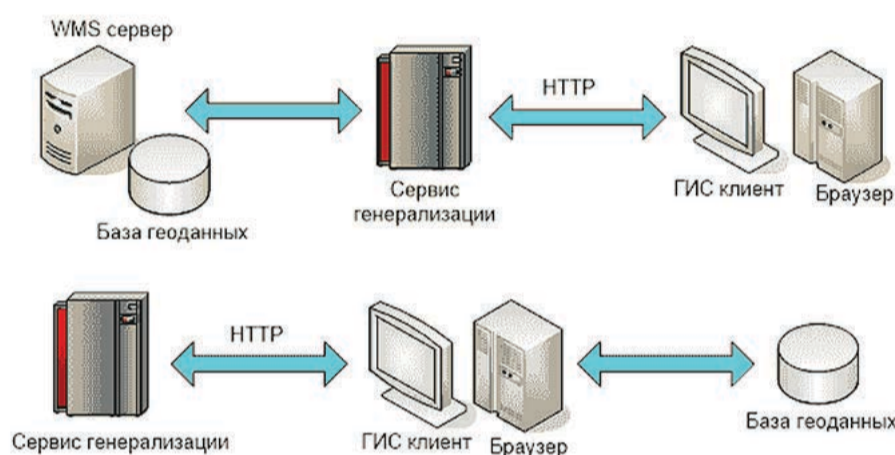


Рисунок 1. Два архитектурных подхода к генерализации. Программные средства генерализации внутри архитектуры (сверху) и регистрация собственных геоданных (ниже).

Категоризация базовых сервисов для архитектур, отображающих пространственную информацию, описывается OGC Portrayal Model, также известной как Cuthbert Model ([https://www.researchgate.net/figure/OGC-portrayal-model\\_fig3\\_309462375](https://www.researchgate.net/figure/OGC-portrayal-model_fig3_309462375)). Она описывает четыре последовательные этапы обработки.

- **FILTER** – Доступ к географическим характеристикам базы геоданных через пространственные и семантические фильтры.
- **DEG** (Генератор отображаемых элементов) – Объединение геометрической и семантической информации с правилами стилей для создания стилизованных графических векторных примитивов (например, инструкций postscript, элементов SVG или графических объектов Java).
- **RENDER** – Рисование отображаемых элементов на основе изображения. По сути, это предполагает проекцию, обрезку, растеризацию и сглаживание векторных изображений.
- **DISPLAY** – Отображение визуализированного изображения на устройстве вывода.

Принятие концепций этой категоризации полезно, поскольку позволяет обсуждать генерализацию в более широком контексте изображения. Несколько реализаций веб-карт с открытым исходным кодом также

соответствуют этой модели, отвечающей принятому стандарту. Функциональность генерализации может быть добавлена к этой модели на различных этапах. Рисунок 2 иллюстрирует представление изображения (слева) с возможными изменениями в результате генерализации (справа).

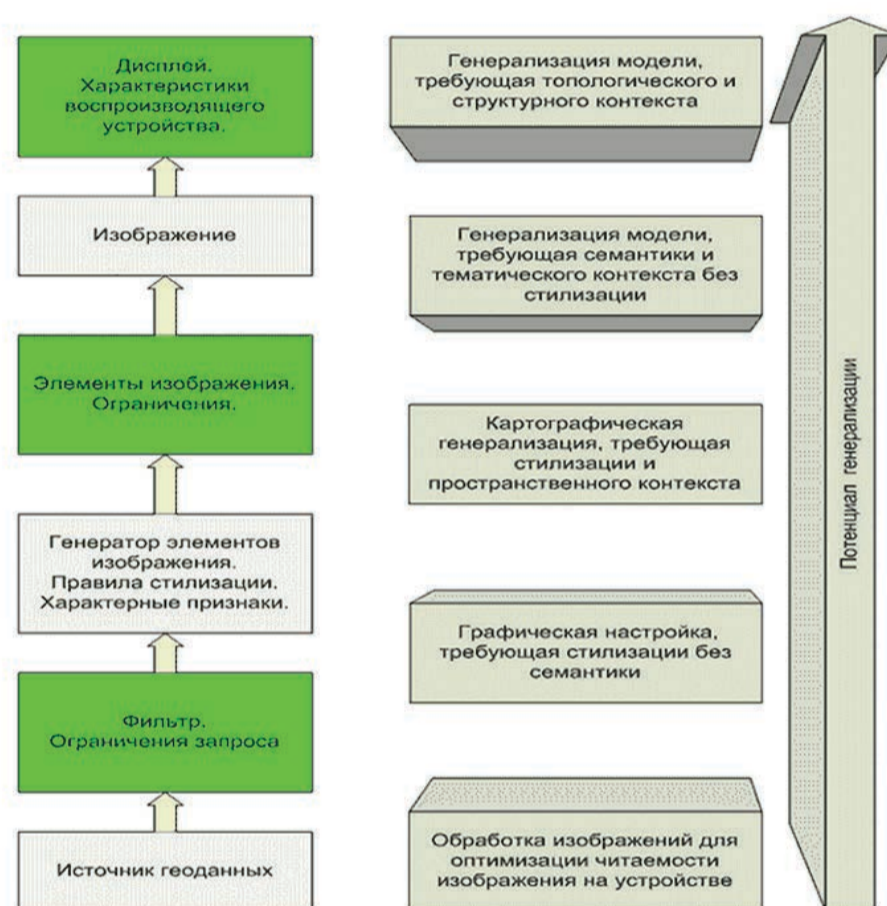


Рисунок 2. Представление изображения и генерализация

Источник геоданных связан с генерализацией модели в отношении разрешения и объема геоданных, а не с графической генерализацией, которая требует соответствующей информации о стилях. Пополнение данных может быть предпринято для поддержки генерализации путем моделирования сложных многомасштабных пространственных отношений. На этом этапе также можно управлять множественными представлениями объектов и геоданными с разным разрешением. Фильтрация позволяет контролировать уровень детализации карты. Слои, моделирующие различные явления, могут быть созданы путем выбора в соответствии с масштабом, семантикой, пространственными отношениями и выбранной важностью. Этап создания элемента отображения является наиболее подходящим моментом для графической генерализации. Если доступна информация как о семантике, так и о стиле, то это позволяет эффек-

# 40

тивно анализировать ограничения графической четкости. На этапе генерации изображения существуют только стилизованные графические примитивы без семантики. Могут применяться методы, основанные на преобразовании координат, например проекции переменного масштаба. Также может быть выполнена настройка для улучшения вида графических переменных, таких как яркость и цветовые контрасты. Размещение текста также допустимо, особенно если язык текста динамически локализован на клиентском месте.

## Использование реестра

В модели открытой системы каждый пользователь может развернуть свой собственный сервис генерализации. Благодаря Интернету и использованию технологий, не зависящих от платформы, такие сервисы могут размещаться на серверах по всему миру. Чтобы обнаружить эти сервисы, необходим специальный реестр, в котором указывается, какие сервисы доступны, где они расположены и какие алгоритмы они предлагают. Реестр предлагает единую точку доступа, где можно найти всю дополнительную информацию. Хотя сервисы могут меняться, переместить их всегда можно через реестр.

Эту модель совместного использования и обнаружения сервисов генерализации можно представить в виде трех этапов, показанных на рисунке 3. Этап «публикации» выполняется поставщиком сервиса, например пользователем, который хочет сделать свою операцию генерализации доступной. Он должен создать (а) описание интерфейса, содержащее параметры сервиса генерализации и ссылку в виде URL-адреса, по которому можно получить доступ к сервису. После публикации описания интерфейса (b) в базе геоданных реестра сообщество может получить доступ к сервису. Этап поиска выполняется потребителем сервиса, например пользователем, желающим опробовать операцию. Выбрав желаемый сервис из списка доступных (1), осуществляется переход по ссылке, указывающей на описание интерфейса (2), и извлекается само описание интерфейса (3). На третьем этапе, используя описание интерфейса, потребитель может «привязаться» к сервису и установить связь с адресом сервиса.



Рисунок 3. Реестр сервисов генерализации

Доступ к интерфейсу и операциям сервиса генерализации может осуществляться либо через веб-страницу на основе форм, либо через подключаемый модуль для картографического программного обеспечения. Клиент веб-страницы имеет возможность загружать файл через HTTP. Плагин ГИС легко интегрируется в картографическое приложение. Пользователь может получить доступ к сервису без необходимости экспортировать и повторно импортировать данные, поскольку функции кодируются и декодируются непосредственно в приложении. Использование форматов XML делает подход открытым и гибким. Однако затраты на преобразование данных и транспортировку больших объемов данных могут стать узким местом в приложениях реального времени.

Другой способ предоставления данных сервису – указывать напрямую URL-адрес источника геоданных (например, WFS). Затем сервис обращается к самому источнику геоданных, обрабатывает их и отправляет пользователю. В этой ситуации потребитель услуги – это простой клиент, контролирующий процесс без загрузки картографических данных.

## Заключение

Целью данной работы являлся анализ структуры открытой системы генерализации геоданных, ориентированной, тем самым, гетерогенные информационные объекты.

В работе рассмотрены два подхода к описанию такой структуры. При первом подходе доступ к сервису генерализации осуществляется путем указания карты, при этом сервис реализуется на основе своих собственных требований к геоданным. Во втором подходе



# 41

---

де клиент сам должен управлять своими геоданными на основе веб-служб реестра операций и решать проблемы проверки геоданных. Соответственно, способы взаимодействия с геоданными в каждом подходе различаются.

Модель промежуточного программного обеспечения работает полностью автоматически, тогда как в модели веб-служб реестра операций пользователь имеет более интерактивный контроль. При исследовании генерализации часто принимают онтологические допущения о географических характеристиках, например, об особенностях дорог. Здесь существует семантическая проблема, так как введенные предположения могут привести к трудностям при исполь-

зовании выбранных методов, если разработчик и пользователь не обладают общим пониманием определения типов функций [4].

Такие проблемы совместимости могут быть решены только путем формализации консенсуса в информационном сообществе исследований генерализации и практического опыта открытого обмена результатами исследований. В этом отношении подход на основе веб-служб реестра операций может оказаться весьма полезным. Его относительная простота, языковая нейтральность и легкость публикации и доступа к алгоритмам означают, что препятствия для взаимодействия пользователей практически отсутствуют.

## Список литературы

1. Haunert J.-H., 2007: A formal model and mixed-integer program for area aggregation in map generalization. – PIA07: Photogrammetric Image Analysis, Munich, Germany. – IAPRS Volume XXXVI, part 3/W49A, pp. 161-166.
2. Bard S., 2004: Quality Assessment of Cartographic Generalization. – Transactions in GIS, 8(1):63–81.
3. Никишин Д. А. Процессы генерализации в аналоговой и цифровой картографии // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 204-216.
4. Дулин С.К., Дулина Н.Г., Ермаков П.В. Агрегирование геоконцепций при генерализации карты с учетом логической согласованности и семантической точности // Системы и средства информатики. Т. 23. № 2. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2013. – С. 115-131.

**42**

УДК: 334.71: 656: 338.245

**ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ****База данных транспортной кибер-физической системы****TRANSPORT CYBER-PHYSICAL SYSTEM DATABASE**

**Матчин В.Т.** Ст. преподаватель, Институт информационных технологий, МТУ (МИРЭА),  
E-mail: vtmatchin@yandex.ua, Москва, Россия

Matchin V.T. Senior Lecturer, Institute of information technologies, MTU (MIREA),  
E-mail: vtmatchin@yandex.ua, Moscow, Russia

**Аннотация**

Исследуются базы данных транспортной кибер-физической системы. Показано, что эти базы данных являются частью транспортной кибер-физической системы и дополнением к вычислителю, а также являются пространственными и темпоральными базами данных. Они являются компьютерноориентированными, и запросы в них происходят автоматически по мере движения. Вводится новый термин «основная модель базы данных», раскрываются особенности обновления такой базы данных, что включает обновление информации для вычислителя и обновление содержания базы данных. База данных транспортной кибер-физической системы является бортовой, она содержит цифровую информацию и визуальную информацию, и жестко синхронизирована с глобальной базой данных, которая находится в центре управления движением.

**Annotation**

The databases of the transport cyber-physical system are investigated. It is shown that these databases are part of the transport cyber-physical system and an addition to the computer, and are also spatial and temporal databases. They are computer-oriented, and requests to them occur automatically as they move. A new term «basic database model» is introduced, the features of updating such a database are revealed, which includes updating information for the calculator and updating the contents of the database. The database of the transport cyber-physical system is on-board, it contains digital information and visual information, and is tightly synchronized with the global database, which is located in the traffic control center.

# 43

## Введение

Транспортные кибер-физические системы (ТКФС) [1] возникли в результате адаптации кибер-физических систем (КФС) к сфере транспорта [2-4]. При сравнении их с интеллектуальными транспортными [5-7] системами (ИТС) следует вывод, что они являются распределенными и децентрализованными системами, в то время как ИТС являются централизованными. При сравнении ТКФС с сетевыми [8] системами следует вывод, что они не являются сетевыми, а являются субсидиарными [9]. КФС являются распределенными, они формировались на основе интеграции ряда технологических и программных компонент при сохранении сетевой структуры. При этом технологически ТКФС формировались на основе идеологии интернета вещей [1], а методологически на основе ИТС.

К основным компонентам ТКФС, кроме технологии Интернета вещей (IoT), относят встроенные системы (*embedded system*) [10], технологию повсеместных вычислений (*Ubiquitous computing*) [11], органические вычисления [12], мультиагентные алгоритмы (*multi-agent algorithms*) [13], нейроморфные вычисления [14]. Главное, что ТКФС на основе этих новшеств становятся самоорганизующимися системами [15]. Последнее свойство определяет различие в алгоритмах для ИТС [16] и ТКФС [17]. Таким образом между ИТС и ТКФС существует ряд важных различий. Но еще одно, менее заметное различие, заключается в организации и функциях баз данных для этих систем.

## Особенности баз данных в ТКФС

На рис.1 представлены основные компоненты кибер-физических систем – база данных и вычислитель. Особенности вычислителей в ТКФС состоят в том, что они являются распределенными и относительно маломощными. Классическое вычислительное устройство имеет оперативную память и долговременную память. В силу ограниченности вычислитель КФС и ТКФС имеет минимальную оперативную память. Роль долговременной памяти выполняет БД ТКФС (рис.1). Сточки зрения функциональности управления в ТКФС существует следующее разделение. Вычислитель выполняет функции системы принятия решений. БД ТКФС выполняет функции системы поддержки при-

нятия решений. Отсюда следует первое различие между БД ТКФС и обычной базой данных. Обычная база данных является «человеко-ориентированной». База данных ТКФС является «компьютерно-ориентированной».

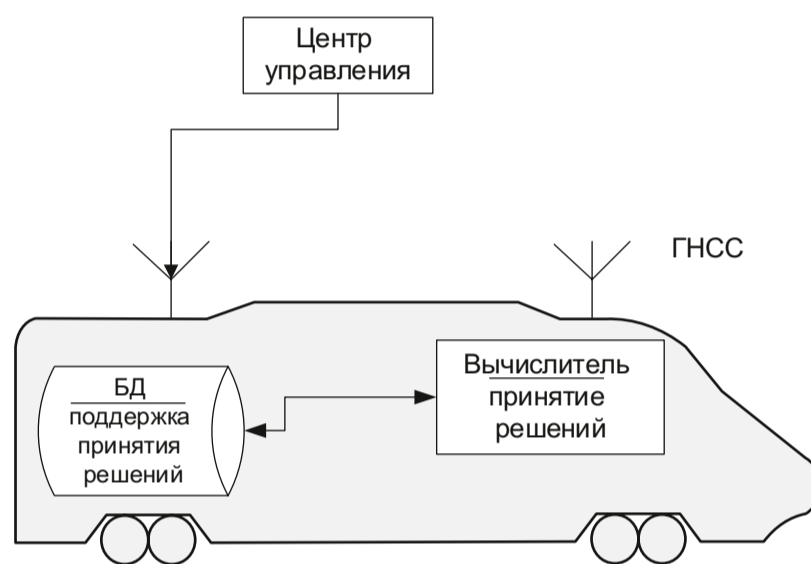


Рисунок 1. БД в ТКФС.

Транспортная кибер-физическая система не является полностью автономной. Ее контролирует и управляет по необходимости «Центр управления» (рис.1). В процессе принятия решений ТКФС использует спутниковую связь для координации и принятия решений. Следует отметить, что при управлении ТКФС используется пространственная информация. Это влечет необходимость применения методов геоинформатики [18] и применения геоинформационных технологий для принятия решений [19]. Соответственно, БД ТКФС является пространственной или базой геоданных [20] и использует методы обновления пространственных баз данных [21, 22].

## Структура БД ТКФС

Поскольку база данных ТКФС является «компьютерно-ориентированной», то это накладывает особенности на ее организацию. Особенностью БД ТКФС является то, что эта база данных обслуживает подвижные объекты и находится на их борту. Такие базы данных называют бортовыми [23]. Поэтому данные в них организованы специально. Если в обычной базе данных данные хранятся независимо под структуру БД, то в БД ТКФС данные хранятся зависимо в виде предметной модели (рис.2).

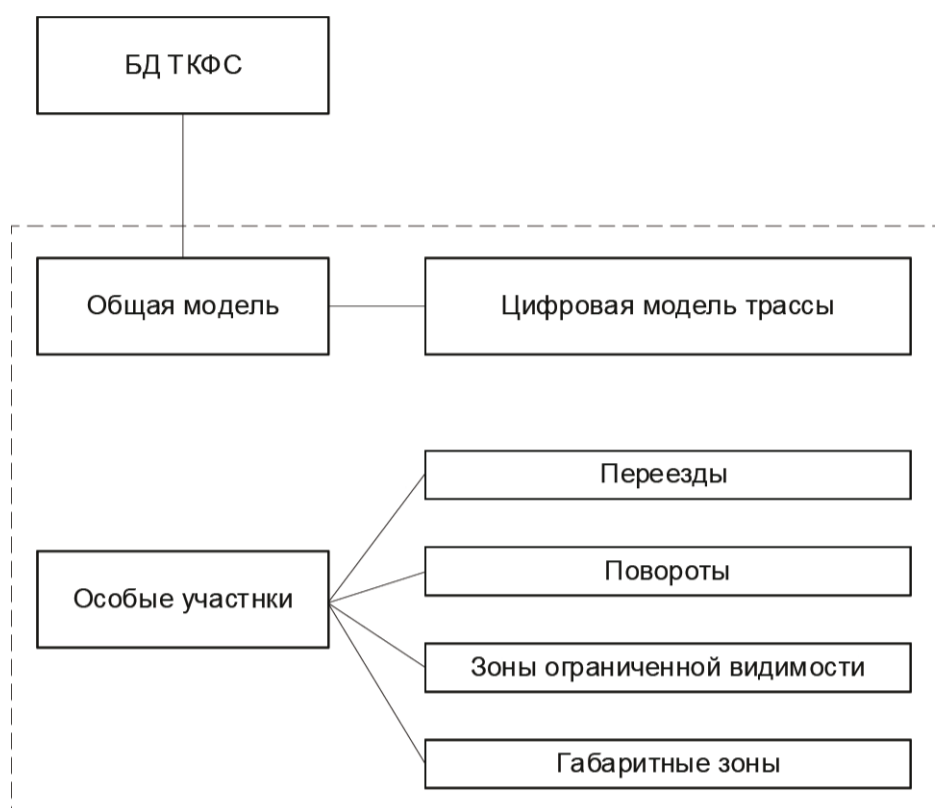


Рисунок 2. Структура базы данных ТКФС

Отличием БД ТКФС является то, что данные в ней хранятся в виде основной модели и вспомогательных моделей. Основной моделью БД ТКФС является цифровая модель трассы, которая представляет собой пространственную протяженную модель и может быть в сотни километров на местности. Поэтому для БД ТКФС необходимо введение нового понятия «основная модель БД». Это понятие определяет предметное назначение БД. Как дополнение к основной модели в БД хранятся модели ситуаций или модели особых участков, которые требуют повышенного внимания при движении транспортного средства по этим участкам. Типовые участки показаны на рис.2. Это переезды, повороты, зоны с ограниченной видимостью, габаритные зоны и другие участки. Все эти модели поставляются в вычислитель в виде запросов от него и в виде сопровождения движения по трассе. База данных ТКФС и другого транспортного средства является бортовой базой данных [23]. Такие базы данных широко применяют в воздушном транспорте. Бортовая база данных (ББД) ТКФС связана с базой данных в центре управления (рис.1). такую базу данных называют также глобальной базой данных.

## Обновление ББД

ББД ТКФС является пространственной базой данных. Пространственные базы данных делят на статиче-

ские, динамические и темпоральные. Любая ББД является еще и темпоральной [24]. Темпоральная часть ББД связана с временными характеристиками, которые меняются в процессе движения. Поэтому фактор обновления ее темпоральной и пространственной части является обязательным. Темпоральная база данных ТКФС содержит временную и пространственную информацию. Темпоральная база данных ТКФС относится к геоинформационным базам данных или базам геоданных [25]. Особенность ее в том, что в ней фактор времени значительно выше, чем в статических базах данных. В ней существует временной запрос к данным, который меняется по мере движения транспортного объекта. В стационарной базе данных такой запрос отсутствует. Таким образом, важное отличие темпоральной базы данных состоит в том, что информация в вычислитель в ней посылается не по запросу человека, а автоматически по мере движения объекта по трассе и сменах пространственных ситуаций. В ТКФС пространственная информация может дублироваться в виде виртуальной электронной карты. По крайней мере, в центре управления такая карта имеется всегда для контроля. Поэтому первая особенность ББД состоит в дуальном представлении своего содержания. Эта двойственность типична для геоинформатики и для ГИС. Она состоит в наличии визуальной и цифровой форм представления одной и той же информации ББД. Дополнительным фактором создания ББД является организация пространственных данных в виде геоданных. Отсюда при работе с ББД играют важную роль методы формирования геоданных. Для их получения используют информационно-измерительные устройства и различные сенсоры. Окончательно они формируются при создании интегрированной информационной основы [26].

Вторая особенность ББД состоит в быстрой смене окружающей ситуации объекта движения. Это особенность обуславливает использование модели, которую называют динамическая информационная ситуация. Динамическая информационная ситуация является обязательным свойством ТКФС.

Третья особенность ББД состоит в регулярном обновлении информации, которая направляется в ее вычислитель. Это обновление имеет две причины: перемещение подвижного объекта по трассе и изменение внешней ситуации, в которой в текущий момент

# 45

---

находится ТКФС. ТКФС в процессе движения использует основную модель БД (цифровая модель трассы) и вспомогательные модели (оперативная информация о ситуации движения) и текущую модель ситуации. Основная модель БД содержит общую информацию о всем маршруте движения, включая точки трассы, в которых объект находился ранее, находится сейчас и будет находиться в будущем. Для контроля этой модели применяют геотехнический мониторинг [27, 28]. Текущая модель ситуации [29] содержит подробную информацию о точке или интервале трассы, в которой объект находится в настоящее время. Для вычислителя эти модели имеют цифровой вид. Для центра управления модели имеют вид мульти масштабной карты.

Обновление информации в ББД состоит из обновления информации, посылаемой в вычислитель, и обновления информации, которая хранится в ББД. Обновление информации ББД, посылаемой в вычислитель, разделяют на штатное и не штатное. Оно зависит от динамической информационной ситуации, которая ставит задачи штатного и нештатного обновления ББД. Штатное и не штатное обновление связано со штатными и не штатными ситуациями на трассе при движении. Соответственно, эти модели реальных ситуаций преобразуют в модели информационных ситуаций. Модель информационной ситуации в ББД или вычислителе является индикатором движения.

Многие БГД являются стационарными. Стационарные БД применяют в разных системах управления, транспортное АСУ, ситуационный центр, ИТС. Подвижные БД или ББД применяют в других системах управления, ТКФС, ЦЖД [30], автономный поезд [31]. БДД всегда перемещается, в силу чего информация об окружающей ситуации, в которой находится ТКФС и которая посылается в вычислитель, в ней регулярно меняется. Штатное обновление информации, посылаемой в вычислитель, обусловлено перемещением ТКФС по трассе. Оно состоит в поставке новой информации в вычислитель ТКФС сообразно движению по трассе. Штатное обновление сопровождается контролем со стороны информационно-измерительных устройств (ИИУ) и сенсоров ТКФС. Если информация от ИИУ и сенсоров ТКФС соответствует цифровой модели трассы, то движение ТКФС является штатным. Штатное обновление информации, посылаемой в вычис-

литель, сопровождается контролем со стороны центра управления.

Нештатное обновление связано с появлением новых ситуаций на трассе, которых ранее в цифровой модели трассы не было. Нештатное обновление состоит в поставке информации в вычислитель при появлении новой ситуационной информации. Эта новая информация появляется, если ее вводит в ББД центр управления, или, если ее находят информационно-измерительные устройства и сенсоры ТКФС. Эта же новая информация служит основанием для обновления содержания ББД.

Если информация от ИИУ и сенсоров ТКФС не соответствует цифровой модели трассы, то возникает необходимость принятия решений, которое осуществляет либо вычислитель, либо центр управления. Для выявления новых ситуаций на трассе проводят на постоянной основе геотехнический мониторинг [27, 28]. Выявление не штатных ситуаций можно рассматривать как технологию извлечения неявных знаний [32].

## Механизм описания ситуации

ББД в аспекте коммуникации отличаются от многих баз пространственных данных (БПД) или стационарных баз данных. ББД являются многоканальными.

Первый канал – это информационно-измерительные устройства и сенсоры ТКФС, которые отслеживают движение по трассе. Этот канал можно назвать оперативным.

Второй канал – это канал связи с центром управления. Он играет роль контроля движения и добавления информации в ББД из центра управления. Этот канал можно назвать стратегическим.

Третий канал передает информацию от ГНСС. Этот канал можно назвать позиционным. Он использует спутниковые системы для глобального (грубого) позиционирования и связи.

Четвертый канал – это канал, связанный с информационным пространством, которое создают позиционированные радиорелейные мачты. Эти мачты позиционированные (измерено их точное метрическое положение), и только они позволяют определять местное положение ТКФС, независимо от спутникового канала связи. Таким образом, третий и четвертый канал дублируют друг друга. Третий канал задает

# 46

грубое местонахождение ТКФС, а четвертый канал задает точное местонахождение ТКФС на трассе.

Специфика первого канала состоит в автоматизированном приеме пространственной информации с помощью сенсоров. Это делает зависимым качество информации этого канала от точности и диапазона датчиков. Специфика третьего канала состоит в использовании спутниковых технологий, определяющих положение подвижного объекта в пространстве. Современные подвижные объекты используют спутниковые технологии для обновления информации. Спутниковые технологии собирают информацию и передают ее как в центр обработки, так и на подвижный объект.

Современное управление транспортом является ситуационным [29], поэтому информация в ББД или цифровая модель трассы сформирована в виде последовательных моделей информационных ситуаций [33]. Содержание ситуаций ББД и БД центра управления должно быть согласовано. Нештатное изменение ситуации в любой из этих баз данных влечет изменение в другой БД. Это является обязательным условием БД для подвижных объектов

ББД служит поддержкой управления подвижным объектом. Она может быть рассмотрена как система поддержки принятия решений при управлении подвижным объектом. Она может быть рассмотрена как система топологического анализа [34]. Локальная, текущая или оперативная информационная ситуация описывает подвижную реальную ситуацию вокруг подвижного объекта. Ее ядром является подвижный объект, в частности ТКФС. В процессе движения ТКФС текущая информационная ситуация скользит по маршруту движения. По мере движения ТКФС в ББД оперативная информационная ситуация меняется синхронно движению и синхронно изменению реальной ситуации вокруг ТКФС. Ситуационное обновление ББД состоит в замене информационно ситуации на информацию о новой ситуации в соответствии с перемещением ТКФС.

Содержание глобальной базы данных (ГБД) в центре управления и бортовой базы данных жестко связано. С информационных позиций ББД можно рассмотреть, как подмножество глобальной базы данных в центре управления.

$$\text{ББД} \subseteq \text{ГБД} \quad (1)$$

$$\text{ББД} \subseteq \text{ГЭК} \quad (2)$$

Выражение (1) говорит о том, что ББД есть цифровое подмножество ГБД. Выражение (2) говорит о том, что ББД есть визуальное подмножество глобальной электронной карты (ГЭК). Два выражение (1) и (2) подчеркивают двойственность представления ББД. Ситуационно ББД и ГБД имеют вид

$$IS, \text{ББД} = F(PC, SE, OY) \quad (3)$$

$$IS, \text{ГБД} = F(PC, SE, OY) \quad (4)$$

Выражение (3) (4) говорит о том, что важным содержанием ББД и ГБД являются: IS – текущая информационная ситуация, PC – точка условного центра ТКФС на трассе, SE семантическое окружение ТКФС, OY – особые участки. Выражения (3,4) говорят о том, что информационные ситуации в ББД и ГБД при движении объекта по трассе одинаковы. Изменение оперативной информационной ситуации содержания ББД и ГБД при движении объекта осуществляется синхронно. ББД и ГБД в рамках модели ситуации описывают реальные пространственные отношения в этой реальной ситуации.

В цифровой модели трассы пространственные отношения заданы как информационные отношения. ИИУ и сенсоры определяют соответствие информационных отношений реальным пространственным отношениям. Существует проблема точности представления объекта от ИИУ и объемом модели. высокая точность требует большого информационного объема. Большой информационный объем снижает быстродействие вычислителя ТКФС.

Для обновления ББД при большом информационном объеме применяют технологии искусственного интеллекта [35]. Альтернативой классическому обновлению БД служит новая технология регенерации [23]. ББД применяют чаще в воздушном транспорте, чем в железнодорожном.

## Заключение

ББД ТКФС является предметно ориентированной. Она содержит данные в виде предметных моделей. ТКФС используют ББД как систему поддержки принятия решений в виде дополнения к вычислителю ТКФС. В ТКФС ББД играет роль жесткой памяти для вычислителя. База данных ТКФС является темпоральной и пространственной. Темпоральность приводит

# 47

к новой форме организации запросов к БД. Запросы организовываются автоматически при движении ТКФС по трассе. ББД является компьютерно-ориентированной, а не человеко-ориентированной.

ББД является многофункциональной и в первую очередь обслуживает вычислительное устройство ТКФС, во вторую центр управления. Основная функция ББД связана с поддержкой принятия решений. Для поддержки принятия решений бортовая БД содержит пространственную информацию о трассе движения и дополнительную информацию об особых ситуациях на трассе. Обновление информации в ББД ТКФС делится на обновление информации для вычислителя и обновление содержания ББД. Большая модель «циф-

ровая модель трассы» разбивается в ББД на небольшие модели информационных ситуаций.

В настоящее время контроль движения проводят с использованием информационного управляющего пространства, которое создают метрические радиорелейные мачты. Таким образом, бортовые базы данных транспортных кибер-физических систем являются новым типом баз данных, которые выполняют не столько функции хранения информации, сколько функции систем поддержки принятия решений. В этом смысле они больше похожи на системы OLAP, чем на системы OLTP.

## Список литературы

1. Козлов А.В. Транспортные кибер-физические системы как результат развития технологии интернета вещей // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.11-21.
2. Дзюба Ю.В., Цветков В.Я., Козлов А.В. Киберфизические системы в управлении транспортом // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 1. С.10-12.
3. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.55-60.
4. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С.138-145.
5. Коваленко Н.И. Извлечение знаний для интеллектуальных транспортных систем // Перспективы науки и образования- 2014. – №5. – С.45-52.
6. Цветков В.Я., Розенберг И.Н. Интеллектуальные транспортные системы – Saarbrücken, 2012. – 297с.
7. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 4(4). – С.45-53.
8. Кудж С.А., Цветков В.Я. Сетевое управление и кибер-физические системы // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. –2(19). – С.86-92.
9. Козлов А.В. Субсидиарность транспортных кибер-физических систем // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.
10. Shamrat F. M. et al. Implementation of a smart embedded system for passenger vessel safety //International Conference on Computational Intelligence, Security and Internet of Things. – Springer, Singapore, 2019. – С.357-370.
11. Chen L. et al. Intelligent ubiquitous computing for future UAV-enabled MEC network systems //Cluster Computing. – 2021. – С.1-11.
12. Sven Tomforde, Bernhard Sick, and Christian Miiller-Schloer. Organic Computing in the Spotlight. arXiv e-prints, page arXiv:1701.08125, January 2017.
13. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №6. – С.107-109.
14. Keene S. T., Gkoupidenis P., Van de Burgt Y. Neuromorphic computing systems based on flexible organic electronics // Organic Flexible Electronics. – Woodhead Publishing, 2020. – С.531-574.
15. Bellman K. et al. Self-aware cyber-physical systems //ACM Transactions on Cyber-Physical Systems. – 2020. – Т. 4. – №. 4. – С.1-26.
16. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Сложность программного обеспечения интеллектуальных транспортных систем // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4. 4(16). – С.3-15.
17. Охотников А.Л., Цветков В.Я., Козлов А.В. Алгоритмы транспортных киберфизических систем // Железнодорожный транспорт. 2021. № 12. С.49-53.
18. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. – №4. – С.52-57.
19. Цветков В.Я. Применение геоинформационных технологий для поддержки принятия решений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – №4. – С.128-138.

20. Матчин В. Т. Стандартизация при создании баз геоданных // Славянский форум, 2015. – 4(10) – С.209-216.
21. Матчин В.Т. Обновление баз данных с пространственной информацией // Славянский форум, 2015. – 3(9) – С.173-180.
22. Матчин В.Т. Обновление баз данных подвижных объектов// ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.24-29.
23. Матчин В.Т. Регенерация бортовых баз данных // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 4(12). – С.20-29.
24. Матчин В.Т. Обновление темпоральной базы данных в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. -2(2). – С.39-46.
25. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. – 2005. – Т. 11. № 3. – С.16-29.
26. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №4. – С.150-154.
27. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.42-49.
28. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – №4. – С.054-058.
29. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – №2. – С.42-46.
30. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p.181- 185.
31. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Тенденции развития автономного поезда // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.3-12.
32. Цветков В. Я. Анализ неявного знания // Перспективы науки и образования. – 2014. – №1 (7). – С.56-60.
33. Плотников С.Б. Параметрическая и пространственная информационная ситуация // ИТ – Стандарт. 2021. 3(28). С.40-45.
34. Титов Е.К. Топологическое моделирование на базе транспортных геоданных // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №4 (20). – С.38-45.
35. Железняков В.А. Интеллектуальное обновление информации в банке геоданных // Инженерные изыскания. -2012. – № 5. – С.58-61.



## ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

# Управление движением при наличии помех

## TRAFFIC CONTROL IN THE PRESENCE OF INTERFERENCE

**Булгаков С.В.** к.т.н., доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),  
E-mail: bul@bk.ru, Москва, Россия

Bulgakov S. V. PhD, Assist.Professor, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK),  
E-mail: bul@bk.ru, Moscow, Russia



## Аннотация

В статье исследуется управление подвижными объектами при учете влияния возможных помех движению. Для подавления помех движению предлагается использовать управляющее воздействие на объект. Показано, что управление при наличии помех является ситуационным управлением. Рассмотрено два варианта управления: реактивное и с задержкой. Основой управления предлагается теории линейных стационарных систем. Статья раскрывает содержание двух основных методов борьбы с помехами движению. Описан астатический метод управления. Статья сравнивает характеристики статического и астатического алгоритмов управления. Описаны преимущества и недостатки этих видов управления. Показана необходимость и особенность использования пространственной информации в управлении.

## Annotation

The article explores the control of moving objects, taking into account the influence of possible interference with the movement of the object. To suppress interference with movement, it is proposed to use a control action on the object. It is shown that control in the presence of interference is situational control. Two control options are considered: reactive and delayed. The basis of control is the theory of linear stationary systems. The article reveals the content of two main methods of combating traffic obstruction. The astatic control method is described. The article compares the characteristics of static and astatic control algorithms. The advantages and disadvantages of these types of control are described. The necessity and peculiarity of the use of spatial information in the management.

# 50

## Введение

Моделирование и необходимость учета пространственных и временных факторов являются основой управления подвижными объектами [1-3]. Учет пространственных и временных факторов требует применения методов геоинформатики [4] и различных управляющих пространств [5, 6]. Различают разные виды управления подвижными объектами: точечное, групповое и массовое. Точечное связано с управлением отдельными объектами. Групповое управление [7] связано с управлением связанных групп объектов. Массовое управление связано с управлением грузопотоков или сложных видов движения, типа движения в мегаполисе [8]. Для описания подвижного объекта можно использовать разные модели: технологическую, техническую, прикладную. Технологическая модель подвижного объекта рассматривает его как сложную технологическую систему [9]. Она принимает во внимание технологические аспекты и мало принимает во внимание технические аспекты.

Например, информационное управление [10] ориентировано на технологическую модель подвижного объекта. Техническая модель подвижного объекта рассматривает его как сложную техническую систему [11]. Эта модель определяет техническое состояние объекта до и в процессе движения. Прикладная модель подвижного объекта рассматривает его как прикладную систему [12]. Эта модель включает техническую и технологическую компоненты. Однако в силу сложности ее применяют редко. Движение объекта происходит в условиях изменяющейся внешней среды, которая оказывает влияние на объект. При существенном воздействии внешней среды приходится применять многоцелевое управление [13, 14]. Рост сложности ситуаций управления приводит к необходимости применения интеллектуального управления [15-17], управления с применением кибер-физических систем [18, 19].

## Типовые ситуации воздействия среды

Точечное управление большей частью является ситуационным [20] (рис.1-3).

На рис.1-3 приведены три ситуации воздействия на подвижный объект с разными степенями свободы, которые существенно влияют на движение объекта.

Влияние помех существенно различается для разных видов транспорта. Для воздушного транспорта [21] (рис.1) воздействие происходит по всем направлениям. Для водного транспорта (рис.2) воздействие происходит [22, 23] в плоскости и существенным является по курсу движения и перпендикулярно курсу движения. Для железнодорожного транспорта (рис.3) воздействие продольное. Оно происходит в направлении движения. С точки зрения моделирования механизм одинаковый, но размерность задач разная: трехмерная, двухмерная и одномерная. Однако учитывая принцип суперпозиции движения можно анализировать одномерную задачу, распространив ее на другие измерения. Таким образом, подвижные объекты (ПО) подвержены воздействию внешних возмущений, что необходимо учитывать, если эти возмущения существенны, то есть приводят к изменению траектории движения или характера движения.

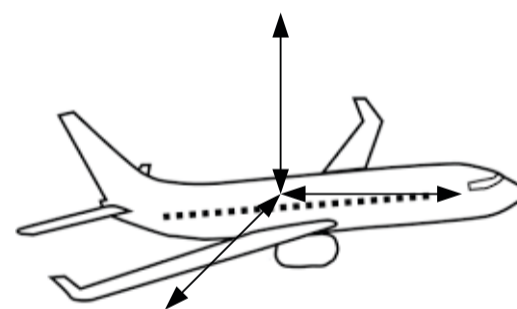


Рисунок 1. Трехмерное воздействие на подвижный объект

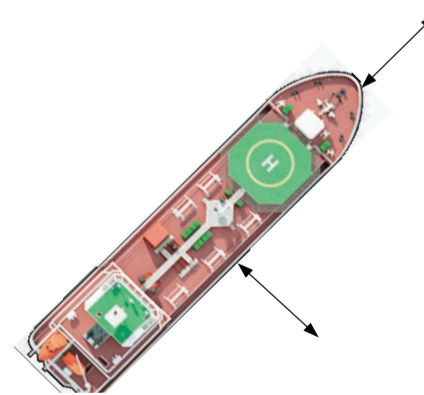


Рисунок 2. Воздействие с двумя степенями свободы



Рисунок 3. Воздействие с одной степенью свободы.

## Математический анализ

Принято подразделять системы управления на статические и астатические [24-26]. Эта классификация определяется видом отклонения при воздействии помех. Выделяют два вида управляющих систем. Первый вид называют статическим или реактивным. Он характеризуется тем, что при возмущающем воздействии траектория объекта стремится к некоторому постоянному значению. В системе управления отклонение параметра управления приближается к предельному значению, которое определяется как функция величины воздействия. По существу, речь идет об асимптотическом поведении. Отсюда эти технологии получили название асимптотические. Для них целевым состоянием движущегося подвижного объекта является асимптота. Такой же подход применим и к режиму работы двигателя. Для его режима пределом будет асимптота. Если рассматривать цикл управления, то можно рассматривать асимптоту как сходимости алгоритма вычисления или управления.

Альтернативой статической системе управления является астатическая. Ее особенностью является то, что в ней. Благодаря специальному алгоритму отклонение управляемой величины асимптотически стремится к нулю. Это асимптотическое значение существует при любом воздействии. Если сравнивать эти подходы со сходимостью математических вычислений, то для статических систем управления имеет место локальная сходимость, а для астатических систем управления имеет место абсолютная сходимость.

Возмущающее воздействие при астатическом управлении стремится к некоторому постоянному значению. Астатические технологии называют также «стремящимися к нулю». Это обусловлено тем, что пределом режима работы является ноль. Это и есть абсолютная сходимость алгоритма. Соответственно этим системам выделяют алгоритмы управления: статический алгоритм (СА) и астатический алгоритмах (АА).

В качестве теоретической основы управления ПО применяют так называемую Linear time-invariant теорию [27], которую сокращенной называют LTI. На русский язык ее интерпретируют как «линейная не зависящая от времени». Она в настоящее время является разделом прикладной математики. Буквально ее на-

звание означает – теория линейных временных инвариантов. В российской литературе принято называть ее как «теория линейных стационарных систем». Кроме управления ее применяют при обработке сигналов и во многих других областях. Теории относится к исследованиям реакции линейной системы, на произвольное внешнее воздействие.

Примером систем LTI могут служить электрические цепи, включающие разные элементы: сопротивления, конденсаторы, индуктивности [27]. Системы LTI обладают временной инвариантностью и линейностью. Линейность обусловлена редукцией нелинейных схем в силу невозможности точного воспроизведения сложных процессов. Линейность устанавливает, во-первых линейную связь между входом и выходом системы, и, во-вторых, она задает и использует линейную переходную характеристику. Инвариантность по времени связана с эргодичностью сигнала, что означает слабое влияние задержки. Математическая модель состоит в том, что задается зависимость

$$y(t) = K_1 \cdot x(t)$$

$$y(t+T) = K_1 \cdot x(t+T) \quad (1)$$

где  $x(t)$  - входной сигнал,  $y(t)$  – выходной сигнал. В выражении (2)  $T$  - задержка. В рамках такого описания полагают, что механизм управления не зависит от времени.

Важная особенность теории LTI состоит в том, что любая ее система может быть описана функцией, которую называют импульсная характеристика системы. Выход системы в этом случае можно рассматривать как математическую свертку сигнала входа с импульсным откликом.

Выражения (1), (2) описывают динамическую информационную ситуацию. Динамика обусловлена изменениями условий ситуации. Астатическое управление применяется не только в технических, но и в живых системах. В живых системах оно связано с субсидиарностью и возможностью субсидиарного управления. В технических системах субсидиарность возможна в киберфизических системах.

Простое управление в технических и прикладных системах, если оно возможно, связывают с воздействием на одну характеристику. Обычно такой характеристикой является ситуация или состояние объекта. Одним из мотивов управления может быть противодействие внешним возмущениям.

В условиях множества воздействий возникает необходимость учета множества факторов. При необходимости учета множества факторов управление становится многоцелевым. При этом возникает дополнительная задача формирования приоритета целей и выбора целей. Приоритет выбора целей зависит от ситуации.

Для эффективного учета внешних факторов применяют адаптивные системы. Адаптация – это мягкое условие поведения системы. Более жестким является регенерация. Для этой цели применяют самоорганизующиеся системы. Такие системы способны для выживаемости менять структуру. Примером может служить субсидиарное деление живых систем. Возможность изменения структуры приводит к системам с переменной структурой [16, 17]. Изменение структуры в них обусловлено необходимостью адаптации и выживания.

На рис.4 показано воздействие помехи  $u(t)$ . Помеха действует с момента времени  $t_0$ . На рис. 5 показано изменение состояния объекта или выходного сигнала (режим)  $Y_{вых}$  под воздействием помехи. Это может быть торможение и падение скорости до нуля. Изменение начинается с момента времени  $t_0$ .

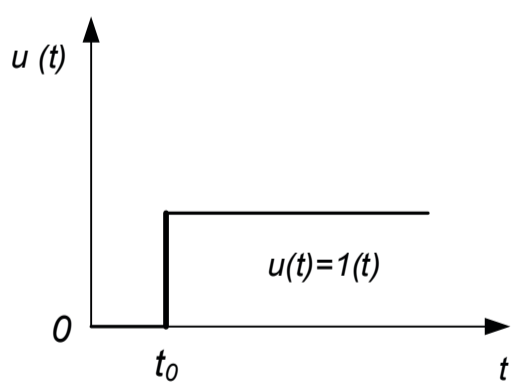


Рисунок 4. Воздействие помехи движению

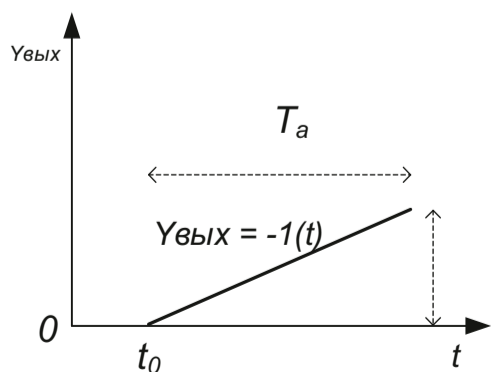


Рисунок 5. Изменение выходного сигнала

На рис.6 показано управляющее воздействие  $v(t)$  и поведение объекта рис.7 управления  $Y_{вых}$  в результате этого воздействия. Условно управляющее воздействие начинает действовать с этого же момента времени  $t_0$ . Это так называемое реактивное управление при отсутствии запаздывания. В результате управляющего воздействия  $v(t)$  действие помехи  $u(t)$  исключается. Если существует запаздывание управляющего сигнала, то он будет действовать до тех пор, пока не исчезнет влияние помехи. Это и есть результат линейной не зависящей от времени теории (Linear time-invariant – LTI). Для статических систем управления характеристика воздействия изображается наклонной прямой (рис.7).

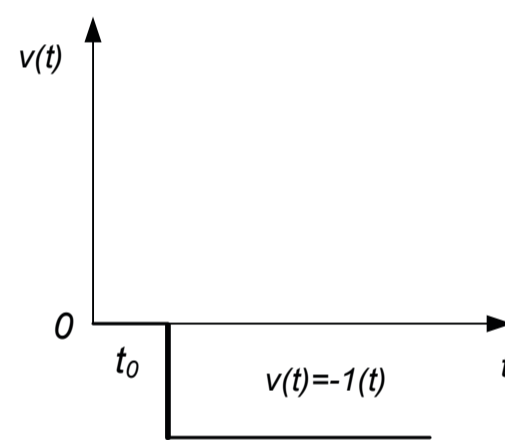


Рисунок 6. Управляющее воздействие  $v(t)$

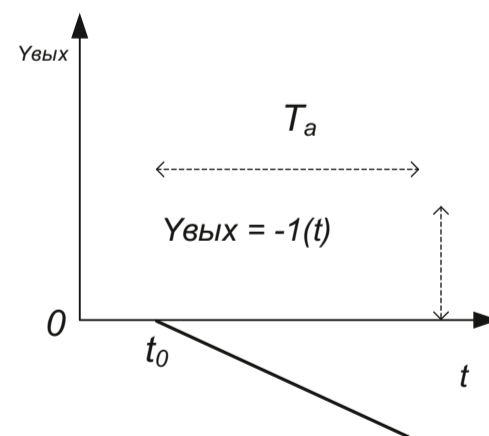


Рисунок 7. Изменение состояния объекта  $Y_{вых}$

Для астатических систем управления статическая суммарная характеристика воздействия – прямая, параллельная оси времени. Как показывают рисунки 4 и 6 внешние воздействия делятся на управляющие и помехи. При этом система управления может быть астатической по отношению к помехе и статической по отношению к управлению. Влияние помех (рис.5) можно компенсировать управляющим воздействием (рис.7). Это приводит к раз-

делению алгоритмов таких систем на: алгоритмы по возмущению и алгоритмы восстановления.

Первые алгоритму контролируют помехи и возмущения. Такой подход является первым в системах информационной безопасности. В этом случае реакция осуществляется почти без запаздывания по отношению к моменту возникновения помехи. Она возникает (рис.7) обычно до существенного воздействия помехи и существенного изменения управляющей характеристики. В этом ее преимущество. Недостаток состоит в высокой чувствительности ко всем воздействиям, включая кратковременные и несущественные. При несущественных воздействиях состояние не меняется. Система начнет срабатывать вхолостую

При работе алгоритма с запаздыванием по отклонению исключается возможность холостого срабатывания. Недостаток таких алгоритмов в том, что регулирующее воздействие при существенных помехах, будет отставать по отношению к изменению состояния.

Устранением недостатков этих алгоритмов допустимо в комбинированной системе. В этой схеме управляющее воздействие есть функция помехи и изменения состояния.

Для таких комбинированных алгоритмов и систем существует специальная характеристика, которую называют разгонной кривой (рис.8). В отличие от рис.5 и рис.7 она допускает задержку управления. Также как рис.7 она показывает изменение выходной регулируемой величины  $Y_{вых}(t)$  от времени.

Разгонная характеристика системы требует предварительной оценки с помощью тестовых воздействий. Для ее определения применяют эталонные дискретные воздействия. Разгонная характеристика такого алгоритма управления также требует тестовых воздействий и измерений результатов.

Поэтому в зависимости от времени задержки на практике используют набор разгонных кривых. Их выбор определяет ЛПР. Тестовые разгонные кривые определяют по наборам управляющих  $v(t)$  и возмущающих  $u(t)$  воздействиях. Эта двухмерность формирует матрицу разгонных характеристик. Разгонные характеристики снимают также при изменении состояния исполнительного механизма  $x(t)$ . Это означают, что задают искусственные помехи и изучают поведение объекта в этих условиях.

На рис.8 приведена типовая разгонная характеристика при наличии помех. На рис.8 показано  $T_a$ - разгонное время, в течение которого управляемый параметр изменяется от начального значения до требуемого значения, чтобы компенсировать влияние помехи. Эта характеристика является условной и эмпирической. Она часто принимается 0.663 от асимптотического значения. Величину, обратную времени разгона называют скоростью разгона  $V_p=1/T_a$

На рис.9 приведена типовая разгонная характеристика при наличии управляющего воздействия. На ней пунктиром показано влияние помех.

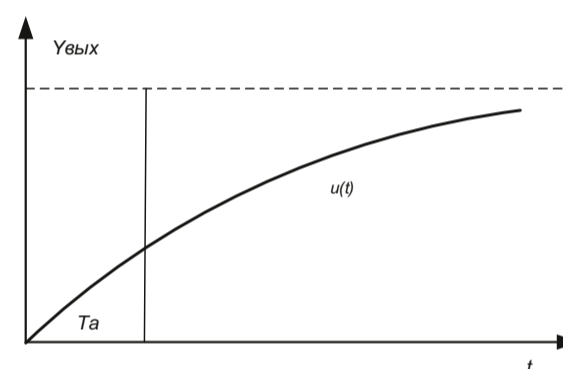


Рисунок 8. Разгонная кривая за счет помех

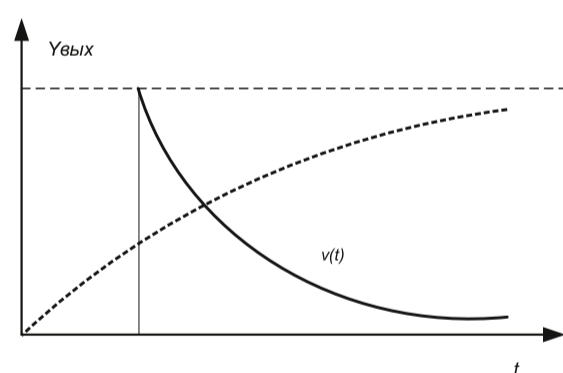


Рисунок 9. Разгонная кривая управляющего воздействия

Для оценки самовосстановления применяют «коэффициент самовыравнивания» –  $K_p$ . Он связывает скорость воздействия помехи со скоростью изменения управляемого параметра.

$$K_p = - du/dv \tag{2}$$

Минус в выражении (2) означает, что самовыравнивание существует при наличии отклонение управляемого параметра. Оно влечет уменьшение последствий помехи. Величину обратную коэффициенту самовыравнивания называют коэффициент передачи усиления  $K=1/K_p$ . Отношение времени разгона  $T_a$  к коэффициенту самовыравнивания задает динамическую постоянную времени «Тд».

$$T_d = T_a / K_p = K \cdot T_a \quad (3)$$

$T_d$ - учитывает динамические и статические свойства в отличие от  $T_a$ . Время достижения конечного значения регулируемой величины называется временем переходного процесса  $T_{пп}$ . Результирующее действие показано на рис. 10.

Как и следовало ожидать, управляющее воздействие подавляет действие помехи, и это напоминает аperiodическое колебание.

Следует остановиться на том, что такое управление является ситуационным и не просто, а с использованием пространственной информационной ситуации. Это приводит к необходимости использовать методы геоинформационного моделирования [28, 29] и разрабатывать интегрированные модели [30] для управления, аналогичные моделям, применяемым в ГИС.

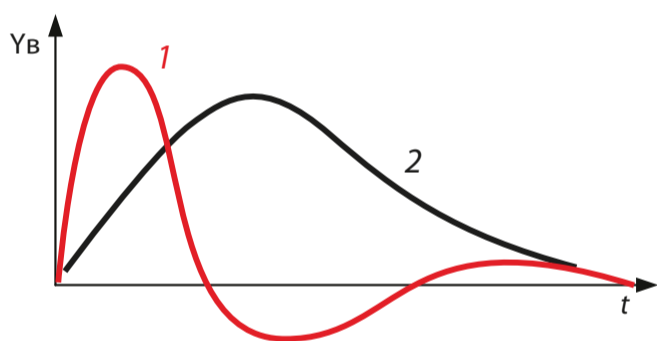


Рисунок 10. Совместное действие помехи и управляющего воздействия, где 1 означает вариант с высокой чувствительностью, а 2 – с высокой инертностью.

При этом следует отметить, что противодействие помехам требует наличия и использования дополнительных ресурсов [31], включая информационные ресурсы [32, 33], когда речь идет об информационном или интеллектуальном управлении. Накопленный опыт управления, в частности опыт использования разгонных характеристик, позволяет формировать интеллектуальные ресурсы [34]. Этим создается возможность использования технологии в интеллектуальных и кибер-физических системах.

## Заключение.

Управление ПО при наличии помех движению является актуальным направлением исследования, требующим дальнейшего исследования. Как показывают исследования, существует два пути таких технологий: реактивное и с задержкой. Возможно подавление помех движению при использовании механизма астатического управления. Реактивное управление ПО преодолевает помеху, но приводит к отставанию от графика. Этот вид управления использует достаточно простой алгоритм и поэтому прост в реализации. Астатическое управление ПО приводит к тому, что ПО восстанавливает временной график движения.

Этот вид управления использует более сложный алгоритм и требует специальных условий в реализации, а также дополнительных ресурсов. Эти алгоритмы применимы для точечного и группового управления движением. Использование астатического управления ПО повышает эффективность движения и дает возможность интервального управления [35]. Астатическое управление эффективно при ситуационном управлении в условиях динамики. 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. Такие системы можно применять только при автоматизированном и при интеллектуальном управлении. Это позволяет накапливать опыт автоматизированного управления для переноса его в интеллектуальное управление транспортом и при использовании кибер-физических систем.

## Список литературы

1. Розенберг И.Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 1(1). – С.22-26.
2. Tsvetkov V. Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. 2012, №1(1). P.40-44.
3. Дзюба Ю. В., Охотников А. Л. Мобильное управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.16-25.
4. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформатика как система наук // Геодезия и картография. – 2013. – №4. – С.52-57.
5. Бучкин В.А. Геоинформационное пространство в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 2(14). – С.34-44.
6. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
7. Козлов А.В., Матчин В.Т. Методы и алгоритмы управления группами подвижных объектов // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.15-28.
8. Щенников А. Н. Комплементарное управление транспортными потоками мегаполиса // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 3(11). – С.17-25
9. Буравцев А.В. Сложные технологические системы // Славянский форум. – 2017. -4(18). – С.14-19.
10. Ожерельева Т.А. Информационное управление подвижными объектами // Государственный советник. – 2018. – №4(24). – С.29-37.
11. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.86-92.
12. Цветков В.Я. Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – С.76- 85
13. Дзюба Ю.В. Многоцелевое управление подвижными объектами // Наука и технологии железных дорог. – 2019. – 1(9). – С.53 -60.
14. Tsvetkov V. Ya. Multipurpose Management // European Journal of Economic Studies. 2012. № 2 (2). p.140-143.
15. Щенников А.Н. Интеллектуальные транспортные системы как специализированные системы // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – 4(4). – С.45-53.
16. 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.
17. Щенников А. Н. Интеллектуальное управление в сфере транспорта // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – 1(5). – С.34- 42.
18. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. Т. 16. № 2 (75). – С.138-145.
19. Цветков В.Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – №3(27). – С.55-60.
20. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – №2. – С.42-46..
21. Фам Суан Куен Методика планирования полета легкого беспилотного летательного аппарата: дис., к.т.н. Спец. 05.13.01 – М.: НИУ (МАИ). – 155с.
22. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
23. 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.
24. Цветков В.Я., Щенников А.Н. Астатическое управление подвижными объектами // Славянский форум. -2019. – 1(23). – С.53-59.
25. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
26. 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.
27. 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.
28. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
29. Андреева О.А. Геоинформационное моделирование // Славянский форум. -2019. – 2(24). – С.7-12.
30. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №4. – С.150-154.
31. Щекочихина Ю.Н. Специфические особенности в управлении материальными ресурсами на железнодорожном транспорте // Горизонты экономики. – 2018. – №. 2. – С. 64-69.
32. Матчин В.Т. Информационные ресурсы // Славянский форум, 2016. -3(13). – с.154-160.
33. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №3. – с.85-91
34. Раев В.К. Формирование интеллектуальных ресурсов // Славянский форум. -2020. – 1(27). – С.87-97.
35. Цветков В.Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. – 2013. – № 5 (49). – С.6-9.

**56**

629.067, 654.9, 656.05, 656.078

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

# Помехоустойчивость в каналах связи интегрированной системы технического зрения

NOISE IMMUNITY IN THE COMMUNICATION CHANNELS OF THE INTEGRATED TECHNICAL VISION SYSTEMS

Охотников А.Л. Заместитель начальника Департамента – начальник Отдела, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Okhotnikov A.L. Deputy Head of Department – Head of the Section, JSC «NIIAS»,  
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia



## Аннотация

В статье описаны критерии качества функционирования систем технического зрения на железнодорожном транспорте. Приведена схема организации передачи данных для интегрированной системы технического зрения (СТЗ). Рассмотрена задача повышения помехоустойчивости при передаче данных за счет снижения влияния помех на канал связи. Дано описание и приведены виды различных помех, которые влияют на канал передачи данных от бортовых и инфраструктурных СТЗ в центр дистанционного контроля и управления. Рассмотрены методы повышения помехоустойчивости за счет использования нескольких каналов передачи данных, разделения сигнала по частоте, разнесения антенн приемника, подбора ширины полосы сигнала для переноса шума, использования комбинированного метода, а также адаптивного управления поляризацией сигнала.

## Annotation

The article describes the criteria for the quality of functioning of technical vision system in railway transport. A diagram of the organization of data transmission for an integrated vision system is given. The problem of increasing noise immunity during data transmission by reducing the influence of interference on the communication channel is considered. A description is given and the types of various interference that affect the data transmission channel from the on-board and infrastructure TVS to the monitoring and control center are given. Methods of increasing noise immunity are considered, such as the use of multiple data transmission channels, signal separation by frequency, antenna diversity of the receiver, selection of the signal bandwidth for noise transmission, a combined method, as well as adaptive control of signal polarization.



## Введение

В современных сложных технических системах (СТС), которыми являются и системы технического зрения (СТЗ), большое внимание уделяется функциональной надежности устройств в части их устойчивой работоспособности и точности определения объектов-препятствий. От решения СТЗ, особенно в режиме полностью автоматического управления поездом (GoA4), зависит безопасность сотен жизней пассажиров, а в будущем и сохранность грузов, включая опасные, которые автономные поезда будут перевозить по всей территории нашей страны.

Для повышения безопасности движения поездов на смену человеческим чувствам восприятия окружающей обстановки (машиниста) приходят технические решения, построенные на базе различных датчиков, сенсоров и искусственного интеллекта. Такими устройствами являются радары, лидары, видеокамеры и тепловизоры. Эффективность этих устройств не подвергается сомнению по сравнению с функционированием человека, в связи с их высокой чувствительностью и работоспособностью 24/7. Необходимо добиться от этих устройств и систем высокой надежности и функциональной безопасности при применении на железнодорожном транспорте. Чтобы доказать функциональную безопасность применения автономных поездов, использующих СТЗ, требуется рассмотреть эти системы как отдельные элементы в общей системе автоматического управления движением поездов (САУ ДП) [1].

Рассматриваемая система управления должна работать с высоким уровнем функциональной безопасности. Для оценки и анализа функционирования СТЗ, входящей в контур управления движением поездов, можно использовать следующие критерии качества функционирования, такие как надежность, адаптивность, интероперабельность, взаимозаменяемость, совместимость, резервирование, информационная и кибер-безопасность, ключевым из них в рамках исследования является помехоустойчивость в каналах связи интегрированной системы технического зрения.

## Постановка задачи

При использовании СТЗ, как бортовых, так и стационарных (инфраструктурных), необходимо учитывать,

что данные от этих систем должны передаваться между собой и в центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ). Передача информации в центр управления об обнаруженных препятствиях и экстренных ситуациях непрерывно осуществляется для оценки вероятности наступления опасного события [2]. Под опасным событием предполагаем наезд поезда на препятствие.

Данные между объектами управления в цифровом виде передаются посредством широкополосной системы связи (стандарта LTE, 5G). Схема работы системы связи и передачи данных между объектами интегрированной СТЗ и ЦДКУ приведена на рисунке 1.

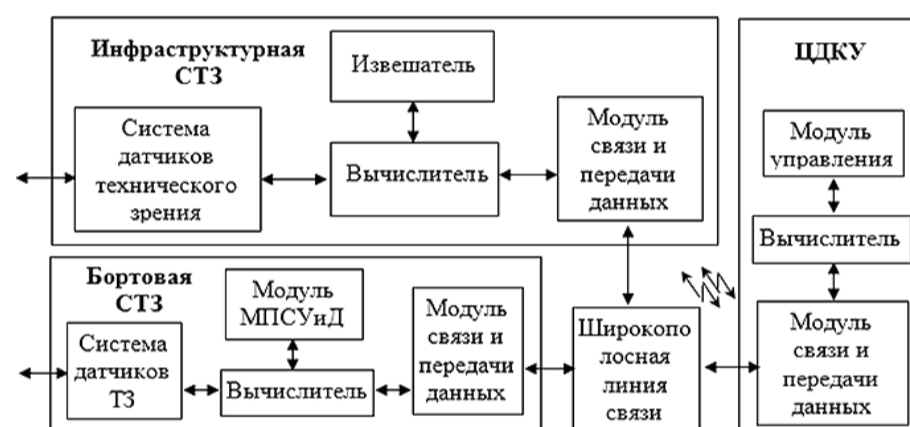


Рисунок 1. Схема передачи данных для ИСТЗ

Для оценки такого показателя функциональной надежности работы системы связи и передачи данных (ССиПД) с использованием устройств СТЗ как помехоустойчивость рассмотрим возможные источники помех и их виды. Далее разберем варианты решения проблем, связанных с появлением помех как в каналах передачи данных, так и в самих устройствах СТЗ, для улучшения этого показателя с условием добиться максимизации отношения сигнал / шум, а точнее их мощности.

Под помехоустойчивостью будем принимать способность системы приема/передачи противодействовать влиянию помех [3]. Так как наличие помех является неотделимым свойством нашего существования, избавиться от них невозможно, но повлиять и попытаться устранить их влияние это сложная, но вполне разрешимая задача.

## Виды помех

Природа помех лежит в случайных отклонениях некоторых параметров от их средних значений, называемых флуктуацией. Помехи можно разделить на два основных класса – аддитивные (суммируется с полез-

# 58

ным сигналом) и мультипликативные (перемножающийся с сигналом). В целях интересующей нас задачи будем рассматривать только помехи, которые по своей природе случайны и непредсказуемы для наблюдателя. Исходя из этого на передаваемый сигнал влияет помеха  $\epsilon$  которую можно описать через выражение [4]:

$$x = V(s, \epsilon)$$

или  $x = s + \epsilon$ , где  $x$  – принятый сигнал,  $s$  – переданный сигнал,  $\epsilon$  – аддитивная помеха или просто шум.

### **Виды аддитивного шума**

В случае флуктуации тока, а именно его частиц (электронов, ионов) относительно их среднего значения, связанные с их дискретностью, возникает дробовой или пуассоновский шум.

Шум, для которого характерно нормальное распределение значений сигнала называют гауссовским. Гауссовский шум применяют для тестирования или моделирования каналов связи.

Для аддитивных помех (шумов) наиболее явной причиной их возникновения являются флуктуации, вызванные тепловым движением, а помеху, возникающую при этом, называют тепловым шумом.

Одним из видов помех, влияющим на работу ССиПД и СТЗ является электромагнитное излучение. Основа помехи строится на дискретной природе этого излучения – кванте. Так как квантом электромагнитного излучения называется фотон, помехи, влияющие на устройства приема/передачи, часто называют *фотонным шумом*.

В реальных системах на практике помимо аддитивной помехи в каналах передачи, приема, а также в преобразователе сигнала перед решающим устройством присутствует *мультипликативная помеха*. Природа ее состоит в случайном изменении параметров канала приема/передачи. Она описывается выражением [5]:

$$x = sv = v_0 s + \epsilon$$

где  $x$  – сигнал на входе приемника,  $s$  – сигнал на выходе передатчика,  $v$  – случайный процесс, определяемый мультипликативной помехой,  $v_0$  – среднее значение этого процесса,  $\epsilon$  – равнозначная аддитивная помеха.

Когда параметры передатчика сигнала подвергаются случайным изменениям во времени возникает мультипликативная помеха. Эти изменения связаны с изменением внешней ситуации (множество отра-

жающих предметов, изменение погодных условий, электромагнитное излучение и т.д.). В ряде случаев в датчиках СТЗ флуктуация (отклонения от средних значений) некоторых параметров хоть и проявляется, но на практике не влияет на работу сенсора и поэтому не рассматривается. Однако встречаются случаи, когда стохастические изменения внешней среды довольно активно влияют на канал передачи (приема) данных и тогда сигнал может либо не приниматься (пропуск сигнала), либо на входе приемника появляется ложный сигнал (ложная тревога). В этом случае обнаружение и квалификация сигнала становится невозможной. Влияние мультипликативной помехи на ССиПД и подсистему, отвечающую за прием сигнала, его обработку и идентификацию не может выдать правильное решение в конкретной ситуации, что вызывает нештатную ситуацию. Так, например, бывает в случае погодных, сезонных, суточных или местных условий при использовании коротковолновых сигналов передачи.

При быстром перемещении транспортного средства (поезда) и в случаях интерференции (рассеивания) волн от предметов, окружающих железнодорожный путь, и от колебаний электрических параметров атмосферы возникает эффект *замирания (фединг)*. Данное явление проявляется для волн, которые очень чувствительны даже к небольшим изменениям в среде распространения. С выхода передатчика сигнал, который рассеивается за счет отражения от элементов среды и окружающих предметов, достигает входа приемника разными путями, что подразумевает многолучевое распространение. Из-за того, что рассеянные сигналы преодолевает разные расстояния и интерферируют между собой, его параметры меняются за счет разности фаз. Состояние атмосферы и окружающей среды влияют на интенсивность и мощность принимаемого сигнала настолько, что могут фактически полностью скрыть его на некоторое время от приемника. Два луча равной интенсивности могут погасить друг друга из-за взаимного суммирования отраженных сигналов при геометрической разности длин путей волн, равной половине длины волны. В этом случае волны приходят к приемнику в противофазе. Если на вход приемника приходит количество лучей более трех, то общий сигнал определяется суммой синусоид сигналов со случайными фазами (амплитудами).

# 59

## Варианты решения проблемы.

Для решения проблемы замирания и повышения помехоустойчивости рассмотрим разновидности метода накопления. Один из вариантов – организация нескольких каналов приема/передачи для обнаружения объектов, что предлагается делать в интегрированной СТЗ. Помимо применения бортовых и стационарных систем, важно применять большее количество датчиков различной физической природы по возможности с независимыми замираниями. Если раньше в СТЗ использовались только видеокамеры (один канал или несколько – в зависимости от числа камер), то в современных системах предлагается применять несколько датчиков, помимо традиционных камер (лидары, тепловизоры, радары). Увеличение числа каналов за счет использования нескольких типов датчиков хоть и усложняет систему, но одновременно качественно повышает помехоустойчивость и соответственно отношение мощности сигнал/шум.

При использовании нескольких каналов передачи данных сигналы можно применить в разных вариантах. Один из вариантов в его классической форме как метод накопления – это сложение или комплексирование параметров сигналов. Альтернативный вариант – это автоматический выбор такого канала передачи, сигнал которого в данное время максимальный (лучше, сильнее). Суммирование нескольких сигналов одновременно необходимо осуществлять с учетом веса сигнала. Максимальный вес сигнала присваивается тому сигналу, который лучше определяется. Чем выше вес сигнала, тем точнее он может определить объект и его параметры (координаты, расстояние). Выбор весов осуществляется на базе определения критерия оптимальности, соответствующего качеству сигнала. Одновременно можно говорить о том, что для операции простого накопления сигналов все весовые коэффициенты уравниваются. При выборе сигнала с максимальным уровнем и качеством, остальные веса сигнала принимаются равными нулю, кроме одного. Например, можно посчитать максимальное значение отношения сигнал/шум для суммарного сигнала. Как показывает практика, преимущество такой «оптимальной» системы перед системой, использующей метод с простым накоплением, проявляется не так явно.

На практике часто встречается известный метод для повышения надежности приема истинного сигнала и отношения сигнал/шум может основан на разделении сигнала по частоте, таким образом передача одного и того же сигнала осуществляется на разных частотах. Природа данного метода основана на разнице фазовых соотношений для различных частот. Определение интервала частотной корреляции для получения наилучшего результата лежит в диапазоне разнесения двух частот и составляет порядка  $10^{-3}$  (интервал около 1 кГц). Например, для лидаров ключевым параметром является частота повторения импульса. Применение сигналов высокой частоты в СТЗ позволяет произвести усреднение сигнала с целью улучшения отношения сигнал/шум. Наиболее подходящей частотой является частотный диапазон ~ кГц для эффективного усреднения, а использование сигнала с частотой в ~ МГц не является характерным, так как несут ошибки при определении сигнала в таком диапазоне частот [6].

Можно также использовать метод повышения помехоустойчивости и в частности борьбы с замиранием, состоящий в разнесении *антенн приемника* (принцип стереокамеры).

Если рассматривать процессы, отражающие напряженность поля сигнала в двух точках приема антенн через функцию времени, то можно заметить, что эти процессы наиболее близки в точке схождения этих антенн, т.е. чем ближе они находятся, тем меньше различий в параметрах сигнала.

В случае увеличения расстояния между точками приема антенн или между двумя датчиками (сенсорами) одного типа (камеры, лидары) СТЗ, можно найти такое наименьшее расстояние, когда зависимость между сигналами приемника этих датчиков будет стремиться к нулю и изменения напряженности поля сигнала можно принять как некоррелированные. Такое минимальное расстояние между точками приема сигнала называют интервалом пространственной корреляции. Например, на коротких волнах (~10 МГц) отношение интервала пространственной корреляции  $d$  к длине волны  $\lambda$  определяется как 1 к 10. В случае рассмотрения такого датчика как лидар, при длине волны в 1535-1550 нм, расстояние между двумя лидарами на корпусе кабины поезда, должно быть в пределах 1,5 м, что должно положительно повлиять на качество

# 60

---

приема оптической волны лазерного луча сенсора. Так же интересен метод для повышения надежности противодействия влиянию помех, который использует специально выбранную ширину полосы сигнала для переноса шума. При использовании модуляции аналогичной шуму, а также при правильном выборе основы сигнала можно добиться высоких результатов в целях повышения уровня помехоустойчивости сигнала [7]. Таким образом, сплошным спектром определенной ширины можно снизить влияние шума на сигнал, что не скажешь о линейчатом спектре, который состоит из отдельных спектральных линий со своей длиной волны.

Известен также способ адаптивного управления поляризацией радиоволн, основанный на использовании системы частотного слежения за уровнем сигнала. Применяя данный способ можно повысить

значение отношение сигнал/шум более чем в два раза и снизить вероятность ошибки передачи сигнала почти в 3 раза [8].

Также в [9] предлагается комбинированный метод для увеличения параметра сигнал/шум. Адаптивная система позволяет изменить спектр сигнала таким образом, чтобы он занимал меньший диапазон частот, а принцип скачкообразного изменения частоты обеспечит его концентрацию на частотах с минимальной интенсивностью шума.

С помощью методов теории информации можно предложить для каждого уровня помех найти нужную степень избыточности источника информации. Эти методы помогают разрабатывать специальные помехоустойчивые коды (самокорректирующие). Для решения этих задач необходимо учитывать потерю информации в канале, связанную с наличием помех [10].

## Выводы

Рассмотрев различные виды помех и их особенности, можно прийти к выводу, что сигнал всегда сопровождается помехами, которые суммируются с ним (*аддитивные*) или перемножаются (*мультипликативные*). Есть различные способы, чтобы уменьшить их влияние для повышения помехоустойчивости систем, включая СТЗ, и в то же время, чтобы максимизировать отношение мощности сигнала к мощности шума, который сопровождает этот сигнал.

Таким образом, за счет сложения (комплексирования) сигналов, полученных от одной сцены текущего сценария от различных видов датчиков СТЗ или нескольких датчиков одного типа, можно получить более правдоподобный результат, чем с использованием системы, содержащий один канал приема/передачи. Помимо этого, методом накопления (сложения кадров, изображений) для каждого типа датчика мы также получаем более качественный сигнал (изображение) на интересующем нас кадре для определения объекта-препятствия по ходу движения поезда.

Единственным минусом метода является его временные затраты, поэтому число сигналов (кадров изображений) для накопления необходимо подбирать исходя из лимита времени принятия решения. Более быстрым, но сложным является метод последовательного анализа, который позволяет определить вероятность события при меньшем среднем числе наблюдений. Данный метод требует наличия обратного канала, т.е. информационную связь от приемника к передатчику с условием, что обратный канал достоверен.

Для улучшения получения сигнала также необходимо учитывать разнесение датчиков относительно вертикальной оси кабины поезда с учетом характеристик используемых сенсоров. Для учета берется используемая длина волны датчика и частотные характеристики. Применяя указанные методы и способы, можно реально улучшить характеристики принимаемого сигнала и повысить помехоустойчивость сложных технических систем, таких как СТЗ локомотива.

# 61

---

## Список литературы:

1. Охотников, А. Л. Разработка систем для автономного подвижного состава / А. Л. Охотников, М. А. Чернин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 11. – С. 21-24. – DOI 10.34649/AT.2021.11.11.006.
2. Патент № 2754376 С1 Российская Федерация, МПК В61L 27/00. Система связи и дистанционного управления для скоростного электропоезда: № 2021106310: заявл. 11.03.2021; опубл. 01.09.2021 / П. Д. Мыльников, А. Е. Манова, И. Н. Королев [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги».
3. Котельников В.А. Теория потенциальной помехо-устойчивости. // М.: Радио и связь, 1998. — 152 с. ISBN 5-256-01421-8.
4. Общее понятие о помехи в инвариантных системах передачи информации / И.И. Павлов, М.С. Павлова, И.А. Гусельников, С.С. Тагаков//Colloquium-journal.–2018. – № 11-6(22). – С.64-66.
5. Харкевич, А. А. Борьба с помехами / А. А. Харкевич. – 2-е издание, исправленное. – Москва: «Издательство «Наука», 1965. – 276с.
6. Лазерно-оптическое оборудование и компоненты lenlasers.ru URL:/ <https://lenlasers.ru/news/stati/komponentnaya-baza-lidar-sistem/#>: (Дата обращения 06.06.2021).
7. Селиванова, С. П. Повышение качества радиосвязи в КВ-диапазоне / С. П. Селиванова, В. Г. Сомов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – Т. 1. – № 11. – С.250-252.
8. Хазан В. Л. Математические модели дискретных каналов связи декаметрового диапазона радиоволн: Учеб. пособие / ОмГТУ. Омск, 1998. – 107с.
9. Лукьянов, А. С. Оптимизация отношения сигнал/шум при цветных шумах / А. С. Лукьянов, С. С. Печников, А. В. Попов // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2019. – № 1(28). – С.4-7.
10. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е.С. Вентцель // 10-е изд., стер. – Москва: Высш. шк., 2006. – 575 с. ISBN 5-06-005688-0.

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

# Об организации ремонтно-путевых работ на инфраструктуре московского железнодорожного узла в условиях интенсивного пассажирского движения

## ON THE ORGANIZATION OF REPAIR AND TRACK WORKS ON THE INFRASTRUCTURE OF THE MOSCOW RAILWAY HUB IN CONDITIONS OF INTENSE TRAFFIC

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

**Быков В.С.** аспирант, Российский университет транспорта (ПУТ), E-mail: vladislavbykov33@gmail.com, Москва, Россия

Kovalenko N.A. Ph.D.(Tech.), Associate Professor, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: nina-alex-kov@mail.ru, Moscow, Russia

Bykov V.S. Postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), E-mail: vladislavbykov33@gmail.com, Moscow, Russia



### Аннотация

Проведен анализ вариантов выполнения ремонтно-путевых работ по развитию железнодорожной инфраструктуры Московского железнодорожного узла. Рассмотрены основные принципы предоставления «окон» на период ремонтно-путевых работ, сравниваются варианты выполнения ремонтно-строительных работ с выделением «окон» продолжительностью 8-12 часов и с применением технологии закрытого перегона. На примере строящегося МЦД-3 (участок Москва-Пассажирская Казанская-Перово) выполнено обоснование рационального варианта организации путевых работ. Показано, что на пассажиронапряженных участках с преобладанием пригородно-городских перевозок в целом экономически целесообразно организовывать «окна» по технологии закрытого перегона.



### Annotation

The analysis of options for performing repair and track work on the development of the railway infrastructure of the Moscow railway junction has been carried out. The basic principles of providing «windows» for the period of repair and track work are considered, the options for «windows» for 8-12 hours and with round-the-clock closure of the stage are compared. On the example of the future MCD-3 Moscow-Passenger Kazanskaya-Perovo, an analysis of a rational option for organizing track work was made. It is shown that in general it is economically expedient to organize “windows” using the closed haul technology on passenger-heavy sections.

# 63

## Введение

Центральный транспортный узел (далее ЦТУ) является крупнейшим транспортным узлом в России и одним из крупнейших в мире. Узел представляет собой совокупность радиальных и кольцевых железнодорожных линий, соединительных ветвей, подходов, путепроводных развязок и станций со всем комплексом обустройств в границах Москвы (в новых границах) и прилегающих районах Московской, Владимирской, Тверской, Тульской, Рязанской, Калужской областей (до конечных пунктов следования пригородных поездов с вокзалов Москвы). Узел обеспечивает широкие транспортно-экономические связи как внутри региона, так и с другими регионами страны.

Активный рост пригородного движения в ЦТУ связан с вводом в эксплуатацию Московских центральных диаметров (МЦД) на радиальных направлениях. Осуществление сквозного пассажирского движения достигается за счет больших объемов реконструкции железнодорожных путей и их увязки в единые транспортные коридоры (диаметры). Фактические и плановые виды работ в рамках реализации проекта «Программа развития железнодорожной инфраструктуры Центрального транспортного узла с учетом организации перспективных диаметральных маршрутов на период 2019-2024 гг.» представлены в таблице 1.

Помимо вышеуказанных мероприятий построено множество новых остановочных пунктов, таких как Сколково, Волоколамская, Пенягино, Остафьево, Санино, Славянский Бульвар, Курьяново, Грачевская.

## Основные принципы выделения «окон» на период ремонтно-путевых работ

Залогом обеспечения безопасности движения пассажирских и грузовых поездов на железнодорожном транспорте является исправное состояние элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта [12,13]. Своевременное обслуживание основных элементов инфраструктуры путевого комплекса позволяет реализовать намеченные объемы в перевозке грузов и пассажиров с сохранением мер безопасности на железнодорожном транспорте. Определение ремонтных работ железнодорожного пути с учетом надежности и уровня риска приведено в [10].

Содержание и развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта требует выполнения значительного объема ремонтно-строительных работ [6,7,8,9]. Вопросы бюджетирования прямых затрат путевого комплекса ОАО «Российские железные дороги» в свете современной классификации железнодорожных линий рассмотрены в [11].

Таблица 1.

Основные виды работ по развитию железнодорожной инфраструктуры на диаметральных маршрутах

Станция/перегон	Направление	Мероприятия по реконструкции
Выполненные работы в период 2019-2020 гг.		
Карачарово-Железнодорожная	МЦД-4	Строительство IV главного пути
Москва Пассажирская Смоленская – Одинцово	МЦД-1	Строительство III и IV главных путей
Москва Пассажирская Ярославская - Мытищи	МЦД-5	Запущено движение поездов по V главному пути
Мытищи-Пушкино	МЦД-5	Запущено движение поездов по IV главному пути
Мытищи - Подлипки-Дачные	МЦД-5	Запущено движение поездов по III главному пути
Реутово-Стройка	МЦД-4	Запущено движение поездов по II главному пути
Плановые работы на период 2021-2024 гг.		
Москва Пассажирская Казанская – Митьково;	МЦД-3	Реконструкция Митьковской соединительной ветви
Москва Сортировочная - Поклонная	МЦД-4	Строительство Киевско-Смоленской соединительной ветви
Пост 81 км – Дмитров – Икша – Поварово (БМО)	—	Строительство II главного пути

# 64

На сети железных дорог РФ ежегодно предоставляется до 600 тыс. «окон», из которых примерно 12% имеют продолжительность 4 ч и более [1].

Рост интенсивности пассажирского движения в ЦТУ с вводом в эксплуатацию Московских центральных диаметров (МЦД) на радиальных направлениях предъявляет особые требования к предоставлению «окон» с учетом высокой интенсивности и заполняемости графика движения поездов пригородными и пригородно-городскими поездами. По сообщению Пресс-службы МЖД от 1 декабря 2021 года, в 2021 году на Московской железной дороге (МЖД) в период ремонтно-путевой кампании, которая стартовала весной 2021 года, отремонтировано 341,6 км пути, уложено 200 новых стрелочных переводов, проведена выправка 1400 км пути и 1600 стрелочных переводов (всего на МЖД 18 тыс. стрелочных переводов, 95% которых оборудованы системами электрообогрева или пневмообдувки для обеспечения стабильной работы в зимний период).

На перегонах Казанского направления МЖД из наиболее протяженных участков, где были отремонтированы пути, можно выделить участок Кривандино – Черусти (более 19 км), Быково – Раменское (12,4 км) и Воскресенск – Шиферная –

Пески (12,1 км). В Рязанской области на участке Кораблино – Ряжск капитальный ремонт первого уровня (с использованием новых материалов) проведен на 2-м пути (16,6 км) и капитальный ремонт третьего уровня (сплошная замена рельсов) на 1-м пути (9,3 км). На Белорусском направлении обновили пути на участках Можайск – Бородино (≈ 16 км) и Уваровка – Блокпост 161-й км (14,6 км), на Рижском направлении – на участке Румянцево – Чисмена (12,2 км), на Киевском – на участке Суходрев – Тихонова Пустынь (12,1 км). В Курской области отремонтирован участок Охочевка – Щигры протяженностью почти 14 км, в Калужской – участок Думиничи – Палики (11,3 км). Пример расположения отремонтированных участков на направлениях от Москвы Пассажирской Казанской до станций Черусти и Пески представлен на рис. 1.

По технологии закрытого перегона в 2021г. проводилось 60% всех ремонтно-путевых работ. Преимущество круглосуточного закрытия перегонов состоит в большей выработке путевых машинных комплексов, а также в единовременном подводе всей техники на период ремонта верхнего строения пути. На время работ перегон закрывается, а движение поездов организуется по одному пути в реверсивном режиме.



Рисунок 1. Расположения отремонтированных участков на направлениях от Москвы Пассажирской Казанской до станций Черусти и Пески



# 65

Оставшиеся 40% работ проводились в соответствии с директивным план-графиком предоставления «окон» продолжительностью 4-8 часов последовательно несколько суток.

Стоит отметить, что любые мероприятия по реконструкции влекут за собой изменения в эксплуатационной работе как отдельных станций, так и всего направления в целом. Схема ограничений представлена на рис. 2.

Выбор рационального варианта организации поездной работы при выполнении путевых ремонтно-строительных работ определяется по результатам сравнительного анализа технико-экономических показателей реализации каждого из рассматриваемых вариантов, а также с учетом местных особенностей и эксплуатационной обстановки [3,4]. Следует отметить, что каждый из рассматриваемых вариантов предоставления «окон», а именно: выделение «окон» продолжительностью 8-12 часов в течение нескольких дней и круглосуточное закрытие перегона, имеет свои преимущества и недостатки (табл.2).



Рисунок 2. Схема ограничений при организации ремонтно-путевых работ

Для сравнительного анализа и выбора рационального варианта организации поездной работы на пассажиронапряженном направлении был выбран участок Москва-Пассажирская Казанская-Перово строящегося МЦД-3. С целью сохранения объема движения на время реконструкции были уложены временные III и IV главные пути. Переключение происходило поэтапно, движение поездов осуществлялось по оставшимся главным путям.

Технико-экономическая оценка сравниваемых вариантов и выбор из них наиболее рационального производится по «Методике расчета эффективности технологических процессов по капитальному ремонту и

модернизации (реконструкции) пути в «окна» продолжительностью 8-12 часов и на закрытых перегонах», утвержденной Распоряжением ОАО «РЖД» от 30 ноября 2013 г. № 2718р [2]. Данная Методика позволяет выявить оптимальный вариант проведения ремонтно-путевых работ с учетом многообразия влияющих факторов, среди которых: затраты на подвод техники к месту работ, возможные затраты на сооружение временных съездов, затраты на отклонение части поездов и т.д.

Таблица 2.

Сравнение вариантов организации поездной работы в период выделения «окон» для путевых ремонтно-строительных работ

Выделяемые «окна»	Преимущества	Недостатки
Выделение «окон» продолжительностью 8-12 часов в течение нескольких дней	Эффективное использование напольной пропускной способности; Снижение отклоняемого поездопотока	Увеличение количества дней для предоставления «окон»; Низкая выработка путевых машин
Круглосуточное закрытие перегона на период выполнения полного объема ремонтно-строительных работ	Снижение количества дней ремонта; Высокая выработка путевых машин	Увеличение отклоняемого поездопотока и его сгущение в месте ремонта; Снижение пропускной способности ремонтируемого направления

Расчет затрат, связанных с движением поездов в период проведения ремонтных работ по сравниваемым вариантам, производится по следующей формуле:

$$C_v^{пр.п.} = C_v^T + C_v^{OC} + C_v^Э + C_v^O \quad (1)$$

где:  $v$  – вариант технологии проведения ремонтно-путевых работ;

$C_v^{пр.п.}$  – затраты, связанные с движением поездов в период проведения ремонтных работ по варианту  $v$ , тыс. руб.;

$C_v^T$  – совокупная стоимость потерь поездо-часов при проведении ремонтов пути по варианту  $v$ , тыс. руб.;

$C_v^{OC}$  – совокупная стоимость потерь поездо-часов при ограничении скорости движения поездов при организации работ по варианту  $v$  в течение ремонтно-путевых работ и стабилизационного периода  $\Gamma_n$ , тыс. руб./поезд;

$C_v^Э$  – совокупная стоимость дополнительного расхода электроэнергии (топлива) при разгоне-торможении поездов при организации работ по варианту:  $v$  в течение ремонтно-путевых работ и стабилизационного периода  $\Gamma_n$ , тыс. руб./поезд;

# 66

$C_v^O$  – совокупные затраты по пропуску части поездов по обходному маршруту при организации работ по варианту  $v$ , тыс. руб.

Для случая, когда все поезда следуют в соответствии с графиком движения поездов и без отклонения от основного маршрута следования, значения параметров  $C_v^T$  и  $C_v^O$  принимаются равными 0. Исходные данные для расчета оставшихся параметров приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Исходные данные для расчета

Параметр	Единица измерения	Значение параметра
Продолжительность «окна»	ч	8
Количество «окон»	окно	6
Закрытие перегона	сутки	3
Размеры пассажирского движения	пар поездов/сут	40
Размеры пригородного движения	пар поездов/сут	128
Средняя масса пассажирского поезда	т	1100
Стоимость электроэнергии	руб/кВт·ч	4,63

Расходы  $C_v^{OC}$ , связанные с ограничением скоростей движения поездов в течение ремонтно-путевых работ и стабилизационного периода, при организации работ по варианту  $v$  определяются без учета составляющих меньшего порядка по формуле:

$$C_v^{OC} \approx 0,04 \cdot 10^6 \cdot \frac{\Gamma_{v\text{ст}}}{K_\alpha \cdot q_{гр}} \cdot (\alpha_{п} \cdot C_{п} + \alpha_{гр} \cdot C_{гр}) \cdot (1 + K_v^{OC\text{рем.}}) \quad (2)$$

$$K_1^{OC\text{рем.}} = \frac{2K_\alpha \cdot q_{гр} \cdot n_1^{\text{ост.дв.}}}{\Gamma_{1\text{ст}}}, K_2^{OC\text{рем.}} = 0,$$

где:  $\Gamma_{v\text{ст}}$  – пропущенный тоннаж, при котором стабилизируется путь после ремонта

( $\Gamma_{v\text{ст}}$  может быть принят равным 0,35 млн т бр. в «окно» продолжительностью 8-12 часов и равным 0,7 млн т бр. при закрытом перегоне) [3];

0,04 – время торможения/разгона поезда, ч;

Результаты расчетов, выполненных для участка Москва Пассажирская Казанская – Перово:

$$K_1^{OC\text{рем.}} = \frac{2 \cdot 0,73 \cdot 1100 \cdot 8}{0,35 \cdot 10^6} = 0,036$$

$$C_1^{OC} \approx 4 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,35}{0,73 \cdot 1100} (0,9 \cdot 0,72 + 0,1 \cdot 11,32) \cdot (1 + 0,036) = 38,21 \text{ тыс. руб./поезд};$$

$$C_2^{OC} \approx 4 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,35}{0,73 \cdot 1100} (0,9 \cdot 0,72 + 0,1 \cdot 11,32) \cdot (1 + 0) = 29,18 \text{ тыс. руб./поезд};$$

Расходы  $C_1^\Delta$  и  $C_2^\Delta$ , связанные с дополнительными потерями энергоресурсов при разгоне-торможении поездов в течение ремонтно-путевых работ и стабилизационного периода после ремонта из-за ограничения скоростей движения, определены по формуле (3):

$$C_1^\Delta \approx 3,8 \cdot \Gamma_{1\text{ст}} \cdot C_{эм} \cdot K_{эм} \cdot (V^2 - V_{25}^2 \cdot \alpha_{25} - V_{60}^2 \cdot \alpha_{60}) \cdot (1 + K_1^{\Delta\text{рем.}}), \quad (3)$$

$$K_1^{\Delta\text{рем.}} = \frac{2K_\alpha \cdot q_{гр} \cdot n_1^{\text{ост.дв.}}}{\Gamma_{1\text{ст}}},$$

$$C_2^\Delta \approx 3,8 \cdot \Gamma_{2\text{ст}} \cdot C_{эм} \cdot K_{эм} \cdot (V^2 - V_{60}^2)$$

где:  $\alpha_{25(60)}$  – доля поездов, следующих по участку с ограничением скорости после проведения ремонта пути в «окно» (два поезда после «окна» следуют со скоростью не более 25 км/ч, остальные – 60 км/ч);

$V, V_{25(60)}$  – участковая скорость по участку до ремонта (определяется на каждом участке индивидуально) и средняя скорость при ограничении после ремонта в течение стабилизационного периода, км/ч;

$C_{эм}$  – стоимость кВт.ч электроэнергии (кг условного топлива), тыс. руб./кВт.ч (тыс. руб./кг), определяется по данным железной дороги – филиала ОАО «РЖД», для которой определяются затраты на капитальный ремонт (реконструкцию) участка;

$K_{эм}$  – коэффициент, характеризующий расход электроэнергии (условного топлива) на вводах тяговых подстанций на 1 т-км механической работы (расчетное значение  $K_{эм} \approx 4,63$ ).

$$K_1^{\Delta\text{рем.}} = \frac{2 \cdot 0,96 \cdot 1100 \cdot 9}{0,35 \cdot 10^6} = 0,2484$$

$$C_1^\Delta = 3,8 \cdot 0,35 (54,1^2 - 0,013 \cdot 25^2 - 0,987 \cdot 40^2) \cdot (1 + 0,2484) \cdot 0,00369 \cdot 4,63 = 44,53 \text{ тыс. руб./поезд};$$

# 67

$$C_2^3 = 3,8 * 0,7(54,1^2 - 40^2) * 0,00369 * 4,63 = 27,89 \text{ тыс. руб./поезд}$$

В соответствии с формулой (1), эксплуатационные расходы, связанные с продвижением поездов и вагонов по участкам полигона, составят, по первому варианту:

$$C_1^{\text{пр.п}} = 38,21 + 44,53 = 82,74 \text{ тыс. руб./поезд}$$

и по второму варианту:

$$C_2^{\text{пр.п}} = 29,18 + 27,89 = 57,07 \text{ тыс. руб./поезд}$$

Экономическая оценка организации поездной работы в период ремонтно-путевых работ представлена на рис.3.

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, что на выбранном участке экономически целесообразно организовывать «окна» по технологии закрытого перегона.

Стоит учитывать, что на выбор рационального варианта проведения путевых ремонтно-строительных работ и организации поездной работы влияет специализация выбранного направления по видам движения: грузовое или пассажирское, а также возможность применения различных вариантов форсирования наличной пропускной способности [5].



Рисунок 3. Сравнение вариантов организации движения в период ремонтно-путевых работ

## Заключение

В работе рассмотрены вопросы организации поездной работы в период ремонтно-путевых работ на пассажиронапряженном направлении МЖУ. Выполнен сравнительный анализ организации проведения ремонтно-строительных работ с выделением «окон» продолжительностью 8-12 часов с технологией закрытия перегона на период от одних до нескольких суток. Выбор рационального варианта организации поездной работы на участках МЖУ должен производиться по результатам технико-экономических расчетов, выполненных с учетом существующей структуры поездопотоков и выделения преобладающего вида движения (грузового, пассажирского, пригородно-городского).

Учет особенностей и объемов местной работы станций, расположенных на рассматриваемых участках, а также условий для обеспечения их бесперебойной работы в период проведения реконструктивно-строительных работ являются необходимым условием и залогом успешного развития пассажирского и пригородно-городского сообщений в ЦТУ при обеспечении безопасности движения поездов.

Таким образом, в результате проведенного анализа и выполненных расчетов установлено, что на пассажиронапряженных участках с преобладанием пригородно-городских перевозок экономически целесообразно организовывать «окна» по технологии закрытого перегона.

## Список литературы

1. Сайбаталов Р.Ф. Полигонные технологии/ Сайбаталов Р.Ф // Железнодорожный транспорт/ 2016. -78с.
2. Методика расчета эффективности технологических процессов по капитальному ремонту и модернизации (реконструкции) пути в «окна» продолжительностью 8-12 часов и на закрытых перегонах // Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 30.11.13 №2718.
3. Инструкция о порядке планирования, разработки, предоставления «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ в ОАО «РЖД» // Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 25.02.19 №348.
4. Быков В.С. Пути решения задач выбора технико-технологических параметров поездной работы грузонапряженных направлений в период проведения ремонтно-путевых работ // Труды международной научно-практической конференции «Федор Петрович Кочнев-выдающийся организатор транспортного образования в России» (РФ, г.Москва, РУТ (МИИТ), 22-23 апреля 2021 года), С.71-74.
5. Методика определения пропускной и провозной способности инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования / Утверждена приказом Минтранса России от 18 июля 2018г. №226. - 40с.
6. Коваленко Н.И., Атякин Д.И. Сквозные «окна» как ресурс ремонта // Мир транспорта. 2011. № 5. С.120-123.
7. Инструкция о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД» от 26 октября 2007 г» введена с 01.01.2008 г. распоряжение № 2047р.
8. Коваленко Н.И., Коваленко Н.А. Определение потерь перевозочного процесса с учетом снижения доли дохода компании ОАО «РЖД» при выборе продолжительности «окон» для путевых работ. //Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2015. №9. С.20-24.
9. Коваленко Н.И., Гринь Е.Н. «Окна», одновременные на обоих путях. //Мир транспорта. 2013.Т.11. №5 (49). С.98-101.
10. Kovalenko Nikolai, Grin Elena, Kovalenko Nina (2020) The determination of the repairs of railway track considering the reliability and risk level. In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Energy Efficient Building Design Volume 157 (2020) E3S Web Conf., 157 (2020) 06031. Springer, 20 March 2020, pp 92-99.
11. Kovalenko N.I., Volkov B., Kovalenko A., Kovalenko N. (2020) Budgeting Direct Costs of Track Complex of JSC "Russian Railways" in the Light of Modern Classification of Railway Lines. In: Popovic Z., Manakov A., Breskich V. (eds) VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1115. Springer, January 2020, pp 177-183.
12. Бородин А.Ф. Комплексные решения проблем развития инфраструктуры и перевозочных ресурсов. //Мир транспорта.- 2017.- Т.15, №1.-С.6-17.
13. Бородин А.Ф., Панин В.В. Автоматизированная система прогноза ресурсов сети.// Железнодорожный транспорт.- 2017.- №4.- С.18-27...

**Наука и технологии железных дорог**  
Ежеквартальное сетевое  
научно-методическое издание

№ **1** (21) **2022**

# КОНТАКТЫ

## Редакция

8 (916) 433-60-72  
[journal@vniias.ru](mailto:journal@vniias.ru)

Главный редактор –  
Розенберг Игорь Наумович

Заместитель главного редактора –  
Цветков Виктор Яковлевич

Редактор –  
Колосов Дмитрий Эдуардович

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

+7 (495) 967-77-06

[info@vniias.ru](mailto:info@vniias.ru)

