

УДК: 528.02; 528.06

## ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

**Розенберг Е.Н.****Цветков В.Я.**

Д.т.н., профессор, первый заместитель Генерального директора, АО «НИИАС», E-mail: nii@vniias.ru, Москва, Россия

Д.т.н., профессор, начальник Научного отдела, АО «НИИАС», E-mail: cvj7@mail.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье исследуется цифровое управление подвижными объектами. Показано, что такое управление является ситуационным, описаны основные четыре модели информационных ситуаций, которые возникают при управлении подвижными объектами. Показано, что взаимодействие между информационными ситуациями приводит к появлению новых информационных ситуаций, а аналоговое управление де факто является цифровым. Цифровое управление интегрирует информационное управление, интеллектуальное управление и киберфизическое управление. По мере роста скоростей на железнодорожном транспорте отмечена тенденция перехода к распределенному и кибер физическому управлению. Показано развитие управленческих алгоритмов для задач транспорта.

### Ключевые слова:

Транспорт, цифровое управление, информационная ситуация, алгоритмы управления.

## DIGITAL MANAGEMENT IN TRANSPORT

**Rozenberg E.N**

Doctor of Technical Sciences, Professor, First Deputy Director General, JSC «NIIAS», E-mail: info@vniias.ru, Moscow, Russia

**Tsvetkov V.Ya.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC «NIIAS», E-mail: cvj7@mail.ru, Moscow, Russia

### Abstract

The article examines digital control of moving objects. It is shown that such control is situational, the main four models of information situations that arise when controlling moving objects are described. It is shown that the interaction between information situations leads to the emergence of new information situations, and analog control is de facto digital. Digital control integrates information control, intelligent control and cyber-physical control. As the speeds in rail transport increase, a tendency towards distributed and cyber-physical control is noted. The development of control algorithms for transport tasks is shown.

### Keywords:

Transport, digital control, information situation, control algorithms.

**Введение**

Развитие информационных коммуникаций [1] и информационных взаимодействий привело к развитию информационного управления [2]. Появление цифровой экономики и модернизация информационных технологий управления привели к возникновению цифрового управления [3-5]. Цифровое управление использует цифровое моделирование [6] и цифровые модели. Развитие цифровых методов привело к появлению ряда новых направлений, включая цифровое управление, цифровую экономику, цифровое право [7]. Контекстно цифровое управление переносит область управления в информационное поле или в киберпространство. Киберпространство [8-10] служит основой управления в технологиях «цифровые двойники». Значение «цифровой» в управлении означает дискретный. Цифровое управление может быть рассмотрено как анализ дискретных состояний объекта управления. Для каждого состояния может быть смоделирована ситуация или несколько ситуаций, в которых находится объект управления. Поэтому цифровое управление является ситуационным. Это требует применения модели информационной ситуации.

Многовариантность поведения объекта управления приводит к целесообразности использования методов поддержки принятия решений [11]. Дискретность в цифровом управлении требует применения методов дискретной оптимизации и дискретной математики. Подключение компьютера для дискретного анализа повышает оперативность принятия решений. Поэтому цифровое управление имеет преимущество перед аналоговым управлением. В цифровом управлении происходит переход от автоматизированных методов управления к методам социальной кибернетики [12, 13]. Цифровое управление в отдельных случаях имеет ярко выраженные технологии. Например, цифровая железная дорога [14] является примером реализации технологии цифрового управления. Управление с применением киберфизических систем [15, 16] также относится к цифровому управлению. Во многих случаях интеллектуальное управление также реализуется через цифровое управление. Интеллектуальное управление транспортом также относится к цифровому управлению.

**Виды управленческих моделей и ситуаций на транспорте**

Цифровое управление транспортом является ситуационным управлением. Оно использует модели ситуации, в которых находится объект транспорта. Цифровое управление транспортом использует четыре модели информационных ситуаций. Первая модель ситуации описывает окружение подвижного объекта. Вторая информационная модель ситуации описывает физическое перемещение подвижного объекта относительно местности. Третья информационная модель ситуации описывает состояние подвижного объек-

та в процессе его движения. Четвертая ситуация является прогностической. Она особенно характерна для беспилотного движения. Четвертая информационная ситуация прогнозирует ситуацию на пути возможного движения. Первая ситуация является условно стабильной. Вторая ситуация является динамической. Третья ситуация является условно динамической. Четвертая ситуация является вероятностной и динамической. Такое качественное различие ситуаций позволяет в полной мере описывать движение подвижного объекта.

Информационные управленческие ситуации (ИУС) разделяют на статические и динамические. Статическая информационная ситуация содержит постоянные параметры, которые существуют при управлении. Динамическая информационная управленческая ситуация содержит постоянные параметры, которые изменяются с течением времени и зависят от времени. Наряду с динамическими и статическими ситуациями существуют переходные ситуации, которые связывают динамические и статические ситуации.

Информационные ситуации могут содержать ядро ситуации как объект управления. Эта модель описывает объект и его окружение. Информационные ситуации могут не содержать ядро. В этом случае они описывают только информационную ситуацию. На рис. 1 показаны четыре типа информационных ситуаций при цифровом управлении.

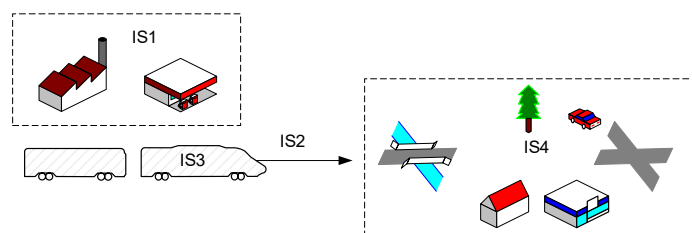


Рисунок 1. Четыре типа информационных ситуаций при цифровом управлении.

Первая ситуация (IS1) – текущее окружение объекта, вторая ситуация (IS2) – подвижный объект, третья ситуация (IS3) – состояние подвижного объекта. Четвертая информационная ситуация (IS4) – это будущее окружение объекта. Если в ситуации IS4 находится другой подвижный объект, то появляется модель подвижного блока (IS5), и возникает задача «виртуальной сцепки» [17].

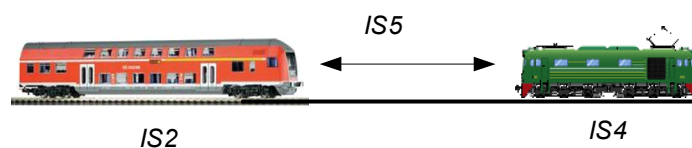


Рисунок 2. Модель подвижного блока.

Можно констатировать, что информационное взаимодействие (information interaction-II) информационных ситуаций позволяет создавать новые информационные ситуации.

## II (IS2, IS4)→IS5

Информационная ситуация (IS5) решает задачи безопасного движения на цифровой железной дороге и более точную задачу «виртуальной сцепки».

### Многообразие применения термина «цифровые методы»

Первое появление термина «цифровые» связано с названием «цифровые вычислительные машины» (ЦВМ). На ранних этапах развития вычислительной техники существовало два типа вычислительных машин: аналоговые и цифровые. Аналоговые (АВМ) обрабатывали непрерывные аналоговые сигналы. Они использовали специально разработанные электронные схемы, в которых осуществлялось функциональное преобразование сигналов как аналоговой информации. Переходная характеристика такой схемы соответствовала требуемому алгоритму обработки.

Например, для дифференцирования входного сигнала использовалась дифференцирующая цепочка и непрерывный сигнал преобразовывался в другой, который представлял непрерывную производную от исходного. Аналогично дело обстоит с интегрированием или решением дифференциальных уравнений. Другими словами, алгоритм обработки был жестко зашит в электронную схему обработки и был неперестраиваемым. По этой причине эти ЭВМ были узко специализированными и дорогими в изготовлении.

Цифровые вычислительные машины были основаны на преобразовании аналоговых сигналов в дискретные последовательности с сохранением информативности аналоговой информации. Для обработки информации с помощью ЦВМ она должна быть дигитализована (digital-цифра), т.е. преобразована в цифровой код. Именно цифровой дискретный код определяет сущность термина «цифровой». ЦВМ более универсальны в обработке, так как позволяли обрабатывать разные данные с помощью наборов программ. Они являются более дешевыми по стоимости производства. Универсальность ЦВМ и низкая стоимость явились существенными конкурентными преимуществами ЦВМ перед АВМ. Это привело к вытеснению с рынка АВМ. В настоящее время аналоговые вычислительные машины практически не используются, за исключением специальных устройств обработки данных. Все персональные компьютеры являются цифровыми, и поэтому данный термин не употребляют по отношению к компьютерам.

Следующий этап развития термина цифровой связан с цифровой (четвертой) информационной революцией. По мере развития систем ком-

муникаций и вычислительных систем, а также перевода различных видов информации в дискретную форму, появились термины «цифровые данные», «цифровая информация», «цифровые технологии», «цифровые методы», «цифровые системы». Обобщение этих понятий привело к появлению новой цифровой формы представления информации. Для обработки информации в информационных системах и с помощью новых информационных технологий все выше рассмотренные виды информации переводят в цифровую форму. Таким образом, цифровая форма представления информации интегрирует (объединяет) различные виды информации и создает возможность их совместной обработки.

Термины «цифровые данные», «цифровая информация», «цифровые технологии», «цифровые методы», «цифровые системы», «цифровые модели» описывают понятия, связанные с обработкой дискретной (цифровой) информации в компьютерных системах. В настоящее время цифровые данные и системы используют не только в вычислениях, но и в других технологиях (криптография, цифровое телевидение, цифровая телефонная связь, цифровая фотография и др.). В этих системах термин «цифровой» означает работу с дискретной информацией.

По способу отображения объекта в модель можно говорить об аналоговой и дискретной моделях. Примерами таких моделей могут служить обычный фотоснимок и цифровой снимок или цифровое изображение. Аналоговые модели в свою очередь разбиваются на две группы: прямой и косвенной аналогии. К группе моделей прямой аналогии относятся модели, создаваемые на основе физического моделирования: аналоговые карты, модели судов, самолетов, гидротехнические сооружения и т. п. К группе моделей косвенной аналогии относят модели, создаваемые на основе математического моделирования, например, цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная на основе аналитического описания поверхности.

Дискретные модели основаны на замене непрерывных функций набором дискретных значений аргументов и функций. Это уменьшает объем информации дискретных моделей в 100-100 раз по сравнению с объемом информации для аналоговых моделей. Дискретность определяется шагом квантования. Для необходимости сохранения информативности дискретной модели по отношению к объекту шаг квантования выбирается с учетом теоремы Шенона-Котельникова.

В геоинформатике и информатике существует технология цифровизации (digitizing, digitising, digitalization). Она преобразует аналоговые данные в дискретную форму, пригодную для использования в ЦВМ.

Термин «цифровой» сохранился как характеристика для некоторых данных и систем (цифровые методы, цифровые снимки, цифровые фотокамеры, цифровые данные, цифровая информация). В настоящее время он означает, что информация в этих данных и системах со-

держится в дискретной форме и предназначена для обработки с помощью современных компьютерных технологий.

В прикладной информатике и геоинформатике цифровое моделирование заключается в использовании возможностей математических методов и программных средств для моделирования объектов. В широком смысле слова цифровая модель (ЦМ) (digital model, DM) – это информационная дискретная модель, сформированная для обработки на компьютере.

В узком смысле слова цифровая модель – это информационная дискретная модель пространственных объектов, в которой одними из обязательных параметров являются: координаты, размеры, габариты, точность координат, масштаб и т.д. Естественно, что эта модель предназначена для обработки в информационных или геоинформационных технологиях. Цифровые модели могут храниться в базах данных или независимо в виде файловых структур. Наибольшее распространение цифровые модели нашли в ГИС, транспорте, строительстве, архитектуре.

Цифровая модель местности (ЦММ) (digital terrain model, DTM) относится к первой управленческой модели, описанной выше. Ее можно назвать внешней моделью по отношению к подвижному объекту управления (IS1). Цифровая модель подвижного объекта является второй управленческой моделью (IS2). Эти модели являются пространственными. Цифровая модель состояния подвижного объекта в пространстве параметров является третьей управленческой информационной моделью. Эта модель является параметрической. Цифровая модель будущего состояния подвижного объекта является четвертой управленческой информационной моделью, и она является пространственно вероятностной. Эта модель служит основой расчета подвижных или виртуальных блоков на цифровой железной дороге.

Одной из разновидностей ЦММ является цифровая модель рельефа. Эта модель используется для отображения рельефа местности и расчета угроз движению. Она также служит основой для расчета объема работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Если рассматривать термин «цифровой» как дискретный, то выясняется, что обычное управление является дискретным, то есть цифровым. Оно является циклическим и имеет цикл управления  $T$

$$T = t_1 + t_1 + t_1 + t_1 + t_1 + t_1 \quad (1)$$

Интерпретация содержания (1) дискретного управления следующая.

Первый временной интервал  $t_1$  – сбор информации о состоянии объекта управления  $t_1$  – отправка информации в центр управления движением (ЦУД)  $t_1$  – анализ информации в ЦУД  $t_1$  – выработка управляющего решения  $t_1$  – отправка управляющего решения по линиям коммуникации  $t_1$  – реализация решения.

ЦУД может быть ситуационной комнатой или интеллектуальной транспортной системой.

На рисунке 3 дана иллюстрация дискретного или цифрового управления. В момент времени  $t_1$  (не путать с интервалом  $t_1$ ) объект находится в условной позиции L1 и отправляется информация в ЦУД. За период  $T_1$  происходят операции, описанные в выражении (1). За этот период объект перемещается в позицию L2. По существу,  $T_1$  – это мертвая зона для управления.

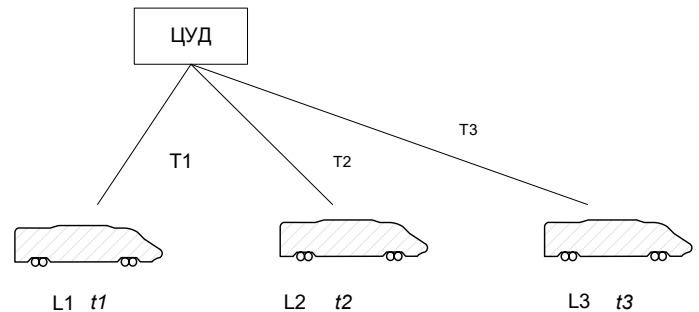


Рисунок 3. Схема дискретного управления.

В период  $t_2 = t_1 + T_1$  объект перемещается в позицию L2. Из этой позиции отправляется информация в ЦУД. За период  $T_2$  объект перемещается в позицию L3. Чем больше скорость объекта, тем на большее расстояние перемещается подвижный объект и тем больше «мертвая зона» для управления. Это привело к тому, что для интенсификации движения применяют расчеты на месте, то есть в подвижном объекте. Такая идеология применяется в цифровой железной дороге (ЦЖД) и в транспортных киберфизических системах (ТКФС).

### Заключение

Для повышения эффективности цифрового управления транспортом применяют различные интеллектуальные и кибернетические системы. Это мотивирует развитие специальной группы алгоритмов, которые называют алгоритмами управления. С этими алгоритмами связаны алгоритмы поведения, алгоритмы познания [18], метаэвристические алгоритмы и мультиагентные алгоритмы. С этими алгоритмами связаны алгоритмы интервального движения и алгоритмы интервального управления. Алгоритм познания в цифровом управлении означает возможность изучения новой ситуации и накопления опыта.

Цифровое интеллектуальное управление включает методы формирования правил управления и правильной реакции на непредвиденные ситуации. Цифровое управление не является принципиально новой технологией. Оно использует принципы дискретного управления и методы дискретной математики и дискретных вычислений. Цифровое управление дает возможность решения задач высокой сложности, которые не решаются с помощью человеческого интеллекта.

Цифровое управление реализуют в информационном, интеллектуальном и киберфизическом

варианте. Информационный вариант использует прямые или детерминированные алгоритмы. Интеллектуальный вариант цифрового управления использует правила и метаэвристику, включая мультиагентные алгоритмы. Киберфизический вариант использует идеологию Интернета вещей и распределенные вычисления на месте. Для сложных ситуаций движения характерна разбалансировка управленческих воздействий. Технология цифрового управления решает задачи согласования движения и управления.

### Список литературы

1. Дешко И.П. Коммуникационная закрытая информационная модель // Образовательные ресурсы и технологии – 2017. -3 (20). – С.41-47.
2. Замышляев А.М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1. – 4(4). – С.11-24.
3. Ознамец В.В. Цифровое управляющее пространство// ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.35-39.
4. Ожерельева Т. А. Цифровое управление // Славянский форум. -2020. – 3(29). - С.44-55.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. - 2018. - Т. 16. - №3 (76). - С. 50-61.
6. Замышляев А.М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. – 2017. Т.1.– 1(1). – С.82-91.
7. Иноземцев М.И., Нектов А.В., (2023). Зарубежные диссертации по цифровому праву: статистический и библиографический обзор. // Цифровое право, 4(1), 28–63. <https://doi.org/10.38044/2686-9136-2023-4-1-28-63>.
8. He T. et al. Self-powered glove-based intuitive interface for diversified control applications in real/cyber space //Nano Energy. – 2019. – Т. 58. – С. 641-651.
9. Barlow J. P. A Declaration of the Independence of Cyberspace //Duke Law & Technology Review. – 2019. – Т. 18. – №. 1. – С. 5-7.
10. Demchak C. C. China: Determined to dominate cyberspace and AI //Bulletin of the Atomic Scientists. – 2019. – Т. 75. – №. 3. – С. 99-104.
11. Ожерельева Т. А. Системы поддержки принятия решений // Славянский форум, 2015. - 4(10) – С.252-259.
- 12.. Umpleby S. What comes after second order cybernetics? //Cybernetics & Human Knowing. – 2001. – Т. 8. – №. 3. – С. 87-89.
13. Lutterer W. Systemics: the social aspects of cybernetics //Kybernetes. – 2005.
14. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.
15. Leng J. et al. Digital twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop //Journal of ambient intelligence and humanized computing. – 2019. – Т. 10. – №. 3. – С. 1155-1166.
16. Ma S. et al. Energy-cyber-physical system enabled management for energy-intensive manufacturing industries //Journal of Cleaner Production. – 2019. – Т. 226. – С. 892-903.
17. Охотников А.Л. Виртуальная сцепка как элемент интервального регулирования движения поездов // Наука и технологии железных дорог. – 2024. Т.8.– 2(30). – С.42-47.
18. Моисеев Н. Алгоритмы развития. - М.: Наука, 1987. – 304 с. Переиздана 2017 Издательством Litres.