НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.001.57
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-3

Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 3 (112). С. 22–26

Комплексное пространство цифровой железной дороги

Ирина ДУБЧАК

Ирина Александровна Дубчак
Российский университет транспорта, Москва, Россия.
РИНЦ SPIN-код: 1330-5849, РИНЦ Author ID: 1152475.
✉ *dia.rut.miit@gmail.com.*

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся выводы по итогам исследования сложившегося де-факто комплексного пространства цифровой железной дороги. Показано, что комплексное пространство цифровой железной дороги в качестве первоисточника имело информационное пространство, но в процессе развития оно усложнилось, появились специфические отличия, сделавшие его более разнообразным и, благодаря интеграции информационного пространства с технологией «интернета вещей», более близким по содержанию к киберпространству.

Показаны связь комплексного пространства с геоинформационным пространством и с координатным пространством, его многофункциональность, включающая функции коммуникации, навигации, координации, позиционирования и управления, реализуемые в том числе как способ оптимизации графика движения и обеспечения бесперебойной работы системы транспортной инфраструктуры на основе комплементарного обеспечения группового управления, корпоративного управления и управления одиночными объектами.

Ключевые слова: транспорт, комплексное пространство, управление, цифровая железная дорога, сложные системы.

Для цитирования: Дубчак И. А. Комплексное пространство цифровой железной дороги // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 3 (112). С. 22–26. DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-3.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

© Дубчак И. А., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая железная дорога (ЦЖД) появилась как результат цифровой технологической трансформации. В ее основе – динамические пространственно-временные модели управления железной дорогой [1]. ЦЖД обладает большей свободой в выборе режимов движения, но бо́льшая свобода сопряжена с большей неопределенностью, ввиду чего необходимо использовать методы моделирования [2] и уменьшения неопределенности [3]. Для задач ЦЖД требуется использовать рассуждения и выбор доминирующих факторов в условиях нечеткой информации [4]. Неопределенность, которая существует в сопряженных с ЦЖД ситуациях, приводит к необходимости применения вероятностных мер по индексам включения в случае неизвестной функции полезности [5].

ЦЖД [6] может быть рассмотрена как сложная «система систем», в частности, для ее функционирования необходимо использовать не только информацию, но и геознания [7]. Как и обычное такси, ЦЖД использует электронные карты и атласы [8] для прокладки маршрутов и режимов движения, при этом и решение задач получения картографических информационных моделей должно происходить в реальном времени [9].

ЦЖД развивается комплементарно с технологиями цифрового транспорта: цифровой логистики [10], беспилотного транспорта [11], цифровых коммуникаций [12], киберфизических систем [13; 14]. Как саморазвивающаяся система ЦЖД относится к классу субсидиарных систем [15]. Как пространственный феномен ЦЖД связана с геоинформатикой, геодезией и пространственной экономикой [16]. Как современное управление [17] в целом тесно связано с информационными пространствами и иными пространствами как инструментами управления, так и ЦЖД также использует пространство для управления, которое следует считать комплексным. Это пространство образовано коммуникационными и информационными пространствами и технологиями.

Целью исследования стал анализ особенностей и взаимосвязей комплексного пространства цифровой железной дороги.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Структура комплексного пространства ЦЖД

Для понимания особенностей комплексного пространства на рис. 1 приведена его обобщенная структура.

Комплексное пространство ЦЖД включает три основных пространства: *коммуникационное, управленческое и координатное*.

Так как ЦЖД является пространственной системой, она использует пространственное управление и применяет пространственную логику [18]. Для пространственного управления необходимо *координатное пространство*, которое создают с использованием геодезических методов. В координатное пространство входят технологии глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), с помощью которых координаты подвижного объекта вычисляют в реальном времени. Координатное пространство создают на основе геодезических сетей (ГГС) и местных сетей, при этом для железных дорог применяют специальные реперные сети.

Коммуникационное пространство включает сети связи и устройства цифровой коммуникативистики, мобильную связь, которая является обязательным компонентом ЦЖД [12], а также радиорелейное информационное пространство, которое обеспечивает радионаблюдение подвижных объектов дополнительно к визуальному

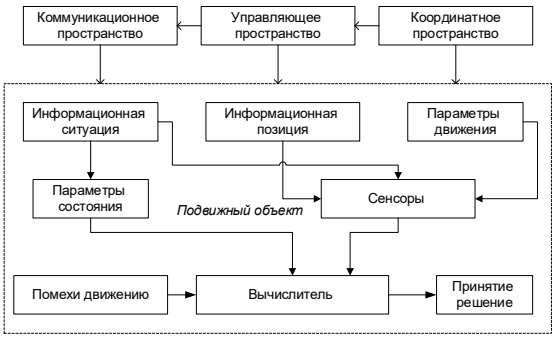

Рис. 1. Структура комплексного пространства ЦЖД [составлено автором].

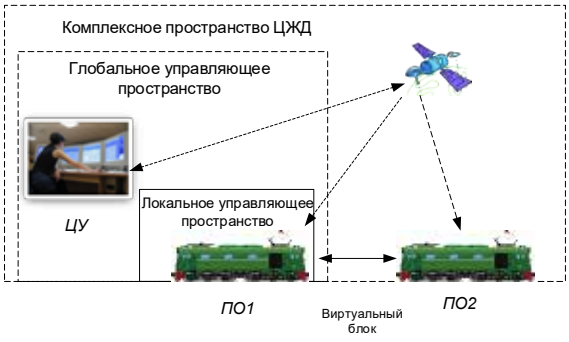

Рис. 2. Глобальное и локальное управляющее пространство ЦЖД [разработано автором].

наблюдению в обычном транспорте, являясь необходимым компонентом при беспилотном управлении транспортом [18]. Коммуникационное пространство также содержит спутниковое коммуникационное пространство, спутниковое навигационное пространство и спутниковое координационное пространство. Эти пространства поддерживаются с помощью ГНСС. Спутниковое навигационное пространство решает задачи ориентации и навигации подвижного объекта.

Координационное пространство фактически является координатным пространством, решает задачи определения местоположения объекта в абсолютной и относительной системе координат, и таким образом ГНСС входит в координатное и коммуникационное пространство.

Спутниковое коммуникационное пространство поддерживает связь через космические системы связи. Коммуникационное пространство решает проблемы информационной безопасности

Управленческое пространство ЦЖД является информационным управляющим пространством. Оно делится на локальное и глобальное, различие между ними показано на рис. 2.

Глобальное управляющее пространство ЦЖД включает множество локальных пространств и имеет ядро в виде центра управления (ЦУ, рис. 2). Глобальное управляющее пространство ЦЖД также включает технологию «интернета вещей».

Локальное управляющее пространство включает статическую и динамическую (скользящую) информационную ситуацию, при этом статическая информационная ситуация связана со стационарными объектами окружения трассы и помехами движению [15], а динамическая информационная ситуация – с подвижным объектом и перемещается вместе с ним. Информация из этой ситуации попадает в системы интеллектуального управления объектом или глобальные ИТС.

Технологические особенности ЦЖД

Первой технологической особенностью ЦЖД является использование комплексного пространства. Второй технологической особенностью ЦЖД является применение подвижных блоков. Эта особенность (Moving block signaling (MBS)) показана на рис. 4, а для сравнения на рис. 3 показано обычное движение.

Обычное движение называют сигнально-блоковым именно потому, что оно использует систему фиксированных в пространстве блоков и систему сигнализации, разделяющую блоки. Сигнал дает команду на движение или остановку. Рис. 3 показывает плотность движения при сигнально-блоковом движении, при котором часть блоков (от 30 до 50 %) пустует.

Как альтернатива этому на рис. 4 дана схема цифрового движения с технологией подвижных блоков или «конвертов».

Подвижный блок реализуется через систему связи. Подвижный объект рассчитывает допустимое приближение к следующему объекту и двигается синхронно с ним. При этом фиксированная сигнализация и фиксированные блоки не нужны. Подвижный блок – динамическая информационная ситуация, которая скользит по трассе, а подвижный объект находится внутри такой ситуации. При таком движении пустующих блоков нет и существенно возрастает интенсивность перевозки.

В технологии MBS подвижный объект имеет встроенный вычислитель, который формирует размеры блока и через коммуни-

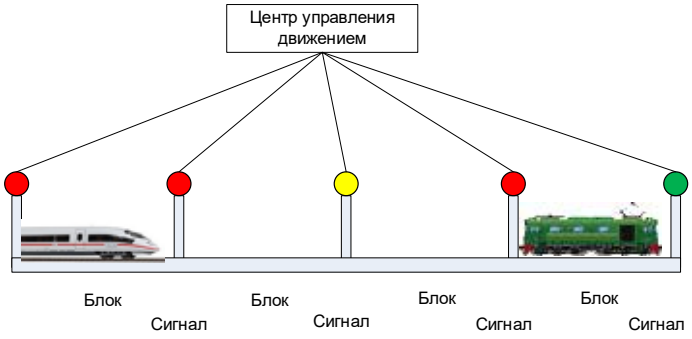

Рис. 3. Принцип обычного движения [[6] и др.].

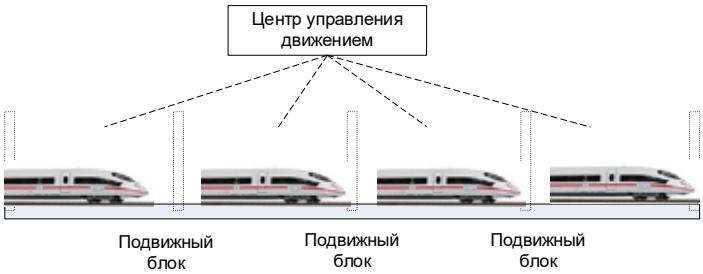

Рис. 4. Принцип цифрового движения [[6] и др.].

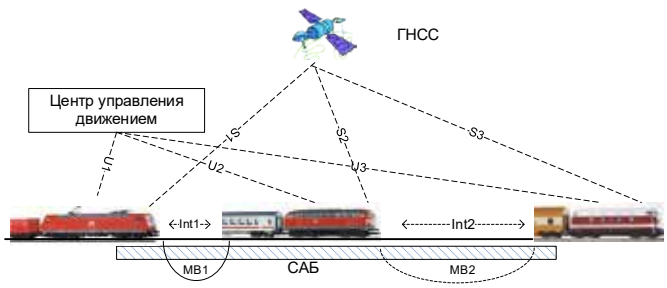

Рис. 5. Принцип функционирования комплексного пространства ЦЖД [подготовлено автором].

кационное пространство осуществляет коммуникационное взаимодействие с другими подвижными объектами.

Основы функционирования ЦЖД

На рис. 5 показан принцип функционирования комплексного информационного пространства ЦЖД.

Показанные три условных подвижных объекта (А, Б, В) имеют спутниковую связь и спутниковую координацию. Эта связь показана как S1, S2, S3. Помимо этого, между центром управления движением и подвижными объектами существует координационная и информационная связь (U1, U2, U3). Между подвижными объектами существует координационная и информационная связь (Int1, Int2). По этой связи они передают информацию о собственном положении, скорости и ускорении движения, которая используется в центре управления движением для адаптации перевозок, оптимизации трафика и расчета подвижного блока.

Рис. 5 по сути демонстрирует объективную необходимость комплексного пространства ЦЖД как инструмента управления перевозками. При использовании такой технологии интенсивность перевозок возрастает (рис. 4), но значительно возрастает и сложность управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексное пространство цифровой железной дороги, возникшее на основе интеграции информационного пространства с технологией «интернета вещей» и включающее функции коммуникации, навигации, координации и позиционирования, предопределило свою роль как практически безальтер-

нативной основы управления и развития железнодорожного транспорта.

Например, технологии виртуальной сцепки [20], тесно связанной с понятием виртуальных блоков, повышают эффективность ЦЖД и, относясь к локальному информационному пространству подвижного объекта, могут рассматриваться именно в качестве технологии комплексного пространства ЦЖД.

Кроме того, комплексное пространство цифровой железной дороги позволяет осуществлять решение задач оптимизации внутри себя, не прибегая к внешним вычислителям.

В целом исследование показало высокую перспективность использования концепции комплексного пространства цифровой железной дороги для анализа, системного развития и внедрения взаимосвязанных технологических решений, направленных на повышение эффективности железнодорожных перевозок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 48–51. EDN: SNGVHJ.

2. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Modelling uncertainty with generalized credal sets: application to conjunction and decision. International Journal of General Systems, 2018. Vol. 47, Iss. 1, pp. 67–96. DOI: 10.1080/03081079.2017.1391805.

3. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. The contradiction between belief functions: Its description, measurement, and correction based on generalized credal sets. International Journal of Approximate Reasoning, 2019, Vol. 112, pp. 119–139. DOI: 10.1016/j.ijar.2019.06.001.

4. Bozhenyuk, A., Belyakov, S., Knyazeva, M., Rozenberg, I. On Computing Domination set in Intuitionistic Fuzzy Graph. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2021, Vol. 14, Iss. 1, pp. 617–624. DOI: 10.2991/ijcis.d.210114.002.

5. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Ranking probability measures by inclusion indices in the case of unknown utility function. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2014, Vol. 13, Iss. 1, pp. 49–71. DOI: 10.1007/s10700–013–9169–6.

6. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Цифровая железная дорога: принципы и технологии // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3 (76). – С. 50–61. DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-3-5.

7. Розенберг И. Н., Вознесенская М. Е. Геознания и георефернция // Вестник Московского государственного областного педагогического университета. Географическая среда и живые системы. – 2010. – № 2. – С. 116–118. [Электронный ресурс]: https://www.geoecosreda.ru/jour/article/view/872/842. Доступ 29.05.2024.

8. Gvishiani, A. D., Rozenberg, I. N., Soloviev, A. A., Kostianoy, A. G., Gvozdik, S. A., Serykh, I. V., Krasnoperov, R. I., Sazonov, N. V., Dubchak, I. A., Popov, A. B., Kostianaia, E. A., Gvozdik, G. A. Electronic Atlas of Climatic Changes in the Western Russian Arctic in 1950–2021 as Geoinformatic Support of Railway Development. Applied Sciences (Switzerland), 2023, Vol. 13, Iss. 9, pp. 5278. DOI:10.3390/app13095278.

9. Belyakov, S., Belyakova, M., Rozenberg, I. Approach to Real-Time Mapping, Using a Fuzzy Information Function. Communications in Computer and Information Science, 2013, Vol. 398, PART I, pp. 510–521. DOI: 10.1007/978-3-642-45025-9_50.

10. Chung-Shan Yang, Moses Shang-Min Lin. The impact of digitalization and digital logistics platform adoption on organizational performance in maritime logistics of Taiwan. Maritime Policy & Management, 2023, pp. 1–18. DOI: 10.1080/03088839.2023.2234911.

11. Yuan Shuyun, Ying Li, Fangwen Bao, Haoxiang Xu. [*et al.*] Marine environmental monitoring with unmanned vehicle platforms: Present applications and future prospects. Science of The Total Environment, 2023, Vol. 858, Part 1, 159741. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022. 159741.

12. Шнепс-Шнеппе М. А., Федорова Н. О., Суконников Г. В., Куприяновский В. П. Цифровая железная дорога и переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G-R – состоится ли он? // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – № 1. – С. 71–80. [Электронный ресурс]: http://injoit.org/index.php/j1/article/view/379/346. EDN: XNRUKL. Доступ 29.05.2024.

13. Khaitan, S. H., McCalley, J. D. Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey. IEEE Systems Journal, 2015, Vol. 9, Iss. 2, pp. 350–365. DOI: 10.1109/JSYST.2014.2322503.

14. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 138–145. DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-2-13.

15. Лёвин Б. А., Цветков В. Я., Дзюба Ю. В. Субсидиарное управление на железной дороге // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 4 (83). – С. 22–35. DOI: 10.30932/1992-3252-2019-17-4-22-35.

16. Tsvetkov, V. Ya. Spatial Relations Economy. European Journal of Economic Studies, 2013, Vol. 3, Iss. 1, pp. 57–60. EDN: PZTGYF.

17. Kovalenko, N., Rosenberg, I., Tsvetkov, V. UC aims system in the management of the economic activities of the track complex of JSC «Russian railways». E3S Web of Conferences, 2023, Vol. 376, 04001. DOI: 10.1051/e3sconf/202337604001.

18. Dolgy, A. I., Rozenberg, I. N., Tsvetkov, V. Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation. AIP Conference Proceedings, 2021, Vol. 2402, Iss. 1, 50059. DOI: 10.1063/5.0074851.

19. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Динамическая информационная ситуация в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – № 1. – С. 3–8. [Электронный ресурс]: https://niias.ru/upload/iblock/e29/ojxkwbyvwvmimhgmf0uml56anww9he6x.pdf [полный текст выпуска]. Доступ 29.05.2024.

20. Yuan Cao, Jiakun Wen, Lianchuan Ma. Tracking and collision avoidance of virtual coupling train control system. Future Generation Computer Systems, 2021, Vol. 120, pp. 76–90. DOI: 10.1016/j.future.2021.02.014. ●

Информация об авторе:

***Дубчак Ирина Александровна** – начальник Управления новых проектов и технологий Российского университета транспорта, Москва, Россия, dia.rut.miit@gmail.com.*

Статья поступила в редакцию 29.05.2024, одобрена после рецензирования 24.06.2024, принята к публикации 28.06.2024.