



Цифровая железная дорога: принципы и технологии



Борис ЛЁВИН
Boris A. LYOVIN

Виктор ЦВЕТКОВ
Victor Ya. TSVETKOV



Лёвин Борис Алексеевич — доктор технических наук, профессор, ректор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Цветков Виктор Яковлевич — доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя центра стратегического анализа и развития НИИАС, Москва, Россия.

Digital Railway: Principles and Technologies

(текст статьи на англ. яз. — English text of the article — p. 57)

Статья посвящена исследованию цифровой железной дороги как сложной технико-технологической системы, имеющей связь с цифровой экономикой. Показаны основные технологические компоненты цифровой железной дороги. Описаны принципы блокового управления, принципы радионаблюдения, принципы радионаблюдения, взаимозависимости цифровой логистики и цифровой железной дороги. Подчёркиваются роль киберфизических систем в развитии цифровой железной дороги, перспективы цифровизации в обеспечении безопасной автоматизации и бесшовной интеграции всех видов транспорта.

Ключевые слова: транспорт, управление, цифровая железная дорога, сложные системы, цифровая экономика, цифровая логистика, цифровые модели, блоковое управление.

Цифровые технологии перестраивают многие отрасли промышленности, включая бизнес, транспорт и логистику [1]. Цифровая железная дорога является одним из следствий появления цифровой экономики. При этом следует отметить терминологическую особенность.

Термины «цифрование», «дигитализация», «цифровизация» соответствуют английскому digitalization. В России термин «дигитализация» стандартизован в ГОСТ Р 52438-2005. В цифровой экономике применяют термин digitization, который буквально означает «отцифровка». Однако в области экономики и транспорта у него другой русский эквивалент, нестандартизованный термин «цифровизация». С точки зрения лингвистики это неправильно, но с технологической допустимо и оправданно. Допустимость обусловлена тем, что классическая дигитализация связана с получением дискретной информации для обработки её на компьютере и хранении в базе данных. То есть довольно простое и узкое понятие.

Цифровизация в первоисточнике имеет более широкое значение, но многие российские публикации трактуют её содержа-

тельно как дигитализацию, чем теряется смысл применения термина. Цифровая железная дорога как технология возникла и развивается не изолированно, а вместе с технологиями цифрового транспорта [2], цифровой логистики [3], цифровой коммуникации [4], цифрового бизнеса [5] и так далее до киберфизических систем [6].

Как сущность цифровая железная дорога (ЦЖД) представляет из себя комплексную систему, содержащую сложные технологические системы [7], сложные технические системы [8], системы вычислительной обработки информации, коммуникационные системы, навигационные системы [9], технологии интернета вещей [10] и другие структурные элементы. Поэтому с системных позиций можно характеризовать ЦЖД как сложную технико-технологическую систему. Как феномен она связана с цифровой экономикой, и именно из её особенностей проистекают и многие особенности ЦЖД.

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Новая экономика возникла после четвёртой информационной революции [11], которую также называли «цифровой». Экономику, связанную с цифровой революцией, некоторые представляют новой или сетевой. Однако в 1994 году Дон Тапскот в книге «Цифровая экономика: надежды и опасность в эпоху интеллектуальных сетей» [12] выделил цифровую экономику из прежней сетевой экономики. И она может быть рассмотрена как кластер и результат развития новой экономики. Следует отметить, что в три последующих года (1995, 1996, 1997) Тапскот написал ещё три книги с точно таким же названием. В каждой он проводил корректировку и уточнение, но основные принципы, изложенные в [12], остались неизменными.

Принципиальным является то, что в своей книге Д. Тапскот даёт 12 признаков цифровой экономики: знание, цифровизация (digitization), виртуализация, молекуляризация (molecularization), интеграция/сетевая работа, дезинтермедиация (disintermediation), конвергенция, инновационность, презумптивность (prosumption), информированность, глобализация, разногласия (discordance). Эти признаки при-

няты мировым сообществом и не вызывают критики до настоящего времени.

Остановимся на тех признаках, которые относительно редко встречаются в русскоязычной литературе. Наиболее важный термин — цифровизация (digitization) или цифровка. Ключевым отличием в этом термине являются знания.

Цифровизация — группа технологий, в результате функционирования которых знания могут храниться в цифровой форме. В старой экономике, где информация оставалась аналоговой или физической, общение было возможным только благодаря фактическому перемещению людей. В новой экономике цифровая форма, обеспечиваемая цифровыми устройствами, позволяет в кратчайшие сроки свободно перемещать огромное количество информации и знаний между людьми в разных частях мира.

Виртуализация в цифровой экономике означает комплекс технологий, с помощью которых можно превращать физические и материальные вещи в виртуальные. Этим достигаются сжатие информации и когнитивный эффект обозримости и воспринимаемости [13] больших объёмов информации, которые в обычных технологиях создают для человека информационный барьер.

Молекуляризация (molecularization) — переносное понятие, состоит в том, что традиционные организационные структуры уступают место более гибкой и мелкой структуре. Команды проекта являются нормой, когда люди из всех уголков мира собираются вместе. В новой экономике это будет «светлая организация», которая выживет «тяжёлые организации», которым сложнее измениться и адаптироваться к статическим условиям. Частично примером молекуляризации могут служить стартапы.

Дезинтермедиация (disintermediation) — процесс, при котором действия посредников существенно сокращаются. Примером является бесскладовая торговля или интернет-торговля. Этот процесс требует более тесной связи предприятий с потребителями напрямую.

Конвергенцией называют доминирующий сектор экономики, который создаётся путём сближения вычислений, коммуникации и контента.





Рис. 1. Место цифровой железной дороги среди сложных технико-технологических систем.

Презумптивность (prosumption) — процесс, который сменяет массовое производство традиционной экономики на массовую настройку (компьютерных) продуктов в цифровой экономике, стирает различия между производителями и клиентами. Однако он требует высокой информационной культуры от клиента. Например, различные государственные электронные услуги, покупка электронных билетов и регистрация через компьютер не доступны лицам, не имеющим компьютерной подготовки. При этом каждый потребитель становится участником информационной магистрали, создавая и отправляя сообщение на заказ или определяя своё мнение о продукте или услуге, которые он покупает.

Разногласия (discordance) — негативный процесс, связанный с расслоением клиентов по признаку информационной культуры. Для любого нового явления происходит сопротивление среды, части общества и медленная адаптация к нему. В результате возникают технологические конфликты. Разрыв между технологически грамотными — «имущими» и технологически негра-

мотными — «неимущими» растёт и может вызвать серьёзные проблемы для общества в ближайшем будущем. Изменения в экономике делают возможным создание новых типов организаций, где применение информационных технологий для работы в области знаний повысит эффективность потребителей и эффективность организаций.

МЕСТО ЦЖД СРЕДИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Как сложная технико-технологическая система ЦЖД связана и взаимодействует с другими сложными системами и направлениями [14] (рис. 1).

Цифровая экономика служит, уже подчёркивалось, методологической основой ЦЖД. Цифровой транспорт [2] является более общим понятием и включает в себя ЦЖД. В настоящее время существует необходимость в единой транспортной политике [15] и это требует, чтобы ЦЖД была комплементарна другим видам цифрового транспорта. Как отражение этого факта в Евросоюзе создана Европейская система



Рис. 2. Технология радионаблюдения.

управления железнодорожным движением (ERTMS), включая Европейскую систему управления движением поездов (ETCS) и мобильные сети GSM-R для обеспечения связи между поездами и подвижными блоками [16]. В практическом аспекте ЦЖД подчинена интересам цифровой логистики [3] и цифрового бизнеса [5].

Цифровая коммуникация [4] является обязательной для ЦЖД. Её особенность в том, что она создаёт возможности радионаблюдения в дополнение к видеонаблюдению в обычном транспорте. Цифровая железная дорога требует новой цифровой (информационной) технологии управления [17], а будучи пространственным объектом, нуждается в применении геоинформационных технологий, технологий космического наблюдения и комплексного пространственного мониторинга [18]. Многие ситуации управления ЦЖД исключают возможность оперативной реакции человека, поэтому всё большее распространение получают элементы интеллектуального управления или интеллектуальные транспортные системы.

Цифровая коммуникация актуализирует проблему информационной безопасности в двух аспектах: неумышленные ошиб-

ки человека и целенаправленное вредительство или внешние угрозы. Для эффективной политики информационной безопасности и отражения внешних и внутренних угроз широко используют киберфизические системы.

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Радионаблюдение. На рис. 2 поясняется его сущность. Для реализации технологии вся трасса железной дороги должна быть оборудована станциями радиоконтроля, чтобы подвижный объект всегда находился в зоне наблюдения.

Это технология наземного наблюдения, и она не связана со спутниковой навигацией, а дополняет её. В России такой радиоконтроль существует в особо охраняемых зонах. Поэтому распространить эту технологию на железную дорогу не представляется сложным. Радионаблюдение включает пеленгацию подвижного объекта [19] с учётом его движения по трассе, цифровая модель которой известна.

Для реализации этой технологии подвижные средства и даже каждый вагон должны быть дополнительно к приёмникам GPS/ГЛОНАСС оборудованы радиочастотными метками.



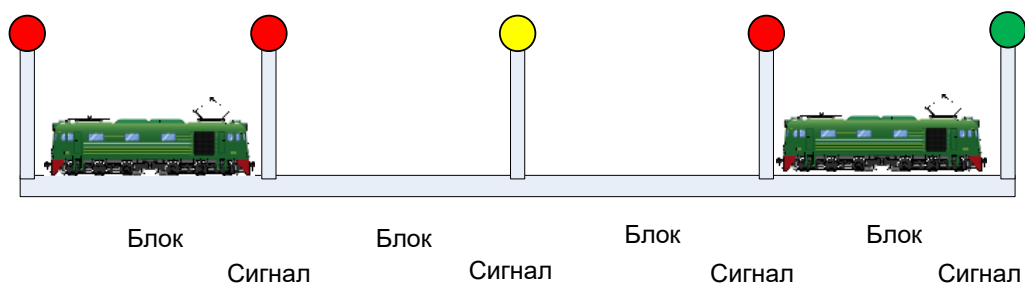


Рис. 3. Принцип обычного движения.

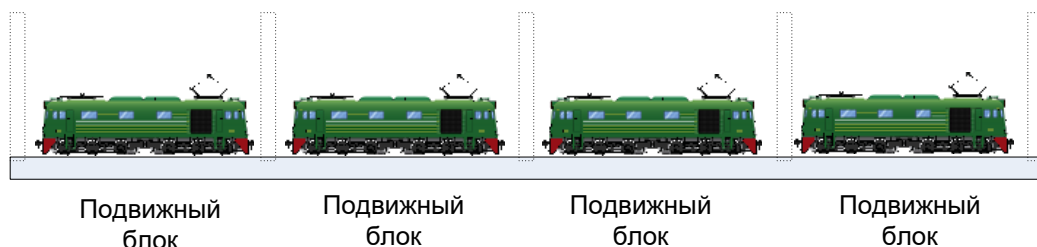


Рис. 4. Принцип использования подвижных блоков сигнализации.

Технология подвижных сигнальных блоков (Moving block signaling). Эта технология поясняется на рис. 3 и 4. Обычное движение можно определить как сигнально-блоковое. Между поездами существуют блоки, движение по которым разрешено оптическими и дополнительными сигналами. Если сигнал разрешающий, то происходит движение. При запрещающем транспортное средство стоит.

В технологии подвижных блоков сигнализации (рис. 4) подвижный объект содержит внутреннюю информационно-вычислительную систему [16] и представляет собой для других объектов систему, которая осуществляет с ними информационное взаимодействие [20].

Система подвижных сигнальных блоков определяется в реальном времени компьютерами в виде безопасных зон вокруг каждого поезда [16]. Подвижный блок позволяет поездам сближаться, сохраняя при этом требуемые пределы безопасности, тем самым увеличивая общую пропускную способность линии. Определение блока требует знания точного местоположения данного поезда, а также скорости всех поездов в любой момент времени и постоянной связи между центральной сигнализацией и системой сигнализации кабины. Это называют интегрированным или интеграль-

ным управлением. В цифровом аспекте такой механизм предполагает переход от точечных цифровых моделей объектов к интервальным, что описано в [21].

Подвижный блок эффективно поддерживает безопасный «конверт» пустой дорожки вокруг каждого поезда (рис. 4), который перемещается вместе с ним. Этот конверт может быть адаптирован для соответствия скорости поезда, оптимизируя пропускную способность линии в разных ситуациях.

ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИКА

Цифровизация — один из главных приоритетов для железнодорожного сектора и его будущего. Задача заключается в том, чтобы предложить своим клиентам высокоэффективные и привлекательные варианты перевозок и максимально использовать возможности, предлагаемые цифровыми преобразованиями. Рост цифровых данных приводит к необходимости все чаще применять технологию Big Data [22], анализировать информацию, оптимизировать свою деятельность, цепочки поставок.

Автоматизация построения логистической цепочки и оптимизация входящего и исходящего движения груза позволяют рационально использовать имеющиеся ресурсы, сокращать отходы. Мобильные



Рис. 5. Применение БПЛА для погрузочно-разгрузочных работ.

решения обеспечивают большую прозрачность операций. Цифровая система управления запасами и цепочками поставок облегчает сквозную видимость для инвентаризации, заказов и поставок.

Наряду с Big Data в бизнесе появился новый термин «богатство данных». Логистические компании применяют богатство данных, связанных с перемещением своих товаров и грузовых автомобилей, для определения моделей, отвечающих тенденциям клиентов и поиска того, что хорошо работает, чтобы получать конкурентные преимущества.

Логистические компании прибегают к цифровым технологиям не только для повышения эффективности операций, но и для анализа операций и их преобразования. Использование роботов на больших складах и при обращении с опасными грузами уже широко распространено, как и практика обходиться без водителя-оператора, ограничиваясь дистанционным управлением.

Следующая важная деталь в цифровой логистике – применение дронов [23], особенно для доставки груза на «последней миле». Правительство США уже запустило пилотную систему мониторинга трафика на основе беспилотных летательных аппа-

ратов. В таких странах, как Испания, Франция, Чешская Республика, есть несколько исследовательских проектов, изучающих возможности беспилотных летательных аппаратов для управления трафиком. Их использование значительно ускорит работу, уменьшит трудности, напряжение и неэффективность (рис. 5).

Например, AmazonPrimeAir уже реализует отгрузку [23] с помощью беспилотных летательных аппаратов менее чем за 30 минут после того, как клиенты разместили заказ. Когда эта технология станет широко распространённой, логистика существенно изменится.

В ПОРЯДКЕ ДИСКУССИИ

В ряде работ ЦЖД ошибочно называют моделью. Это реальная технико-технологическая система, а система управления цифровой дорогой может быть рассмотрена как сложная организационно-техническая система [14]. Сводить сложную систему к модели некорректно.

Часто в материалах о ЦЖД не уделяют должного внимания технологии организации данных, хотя по стандартам ISO/IEC9126–1. 2001 и ГОСТ 28195–89 именно организация данных является одним из трёх компонентов качества любых инфор-





мационных систем. Информационные системы в составе ЦЖД — элемент перво-степенный, с определяющими функциями.

Применительно к российским условиям упускается и столь серьёзный фактор, как координатные преобразования. Для небольших стран типа Великобритании эта проблема не существует. Для государств с большой территорией зональные преобразования становятся необходимым условием точного определения местоположения транспортного средства в единой координатной среде. Связана с ней и проблема единого времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровизация может и должна обеспечивать безопасную автоматизацию и бесшовную интеграцию всех видов транспорта, а также увеличение пропускной способности и качества различных видов транспорта.

Интернет вещей вносит свой вклад в высокоинтегрированные решения, удобные для управления транспортом, что помогает реализовать проект ЦЖД и цифровой логистики. Приложения IoT в цифровой логистике широко применяются: от отслеживания транспортных товаров с контролируемым температурным режимом до обеспечения правильной доставки пакета в нужное место в указанное время. Проект ЦЖД целесообразно реализовать как проект сложной интегрированной системы с включением в неё киберфизических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Замышляев А. М. Эволюция цифрового моделирования // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 1. — С. 82–91.
2. Keck W. H., Emberson D. A. Posting status data in digital transport stream processing: пат. 7817721 США. — 2010.
3. Digital transformation in transportation and logistics. [Электронный ресурс]: <https://www.i-scoop.eu/digital-transformation/transportation-logistics-supply-chain-management/>. Доступ 11.02.2018.
4. Шнеппс-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. — V. 5. — No. 1. — Pp. 71–80.

5. Brousseau E., Pénard T. The economics of digital business models: A framework for analyzing the economics of platforms // Review of Network Economics. — 2007. — V. 6. — No. 2. — Pp. 81–114.
6. Khaitan [et al]. «Design Techniques and Applications of Cyber Physical Systems: A Survey», IEEE Systems Journal, 2014, V. 9(2), pp. 1–16. DOI: 10.1109/JSYST.2014.2322503.
7. Буравцев А. В. Сложные технологические системы // Славянский форум. — 2017. — № 3. — С. 14–19.
8. Цветков В. Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии. — 2017. — № 3. — С. 86–92.
9. Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Романов И. А. Управление железной дорогой на основе спутниковых технологий // Государственный советник. — 2013. — № 4. — С. 43–50.
10. Дешко И. П., Кряженков К. Г., Цветков В. Я. Устройства, модели и архитектуры Интернета вещей: Учеб. пособие. — М.: Макс Пресс, 2017. — 88 с.
11. Поляков А. А., Цветков В. Я. Прикладная информатика. — М.: Янус-К, 2002. — 392 с.
12. Tapscott D. The Digital Economy. Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence. McGraw-Hill Published, 1994, 368 p.
13. Цветков В. Я. Когнитивное управление: Монография. — М.: Макс Пресс, 2017. — 72 с.
14. Буравцев А. В. Функционирование сложной организационно-технической системы в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 3. — С. 48–58.
15. Розенберг И. Н. О единой транспортной политике // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 1. — С. 22–26.
16. A digital future for Britain's railway to benefit passengers and support economic growth. [Электронный ресурс]: <https://www.networkrail.co.uk/our-railway-upgrade-plan/digital-railway/>. Доступ 11.02.2018.
17. Замышляев А. М. Информационное управление в транспортной сфере // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 4. — С. 11–24.
18. Лёвин Б. А. Комплексный мониторинг транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 1. — С. 14–21.
19. Розенберг Е. И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б. В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010.
20. Tsvetkov V. Ya. Information interaction // European researcher. Series A. 2013, Iss. 11–1 (62), pp. 2573–2577.
21. Цветков В. Я. Интегральное управление высокоскоростной магистралью // Мир транспорта. — 2013. — № 5. — С. 6–9.
22. Данилов К. В., Капустин Н. И. Технологии Big Data в железнодорожной отрасли инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 4. — С. 25–33.
23. Лёвин Б. А., Бугаев А. С., Ивашов С. И., Разевиг В. В. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути // Мир транспорта. — 2013. — № 2. — С. 152–157.
24. D'Andrea R. Can drones deliver? // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. — 2014. — V. 11. — No. 3. — Pp. 647–648. ●

Координаты авторов: Лёвин Б. А. — tu@miit.ru, Цветков В. Я. — cvj2@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 11.02.2018, принята к публикации 04.04.2018.