

УДК: 528.02; 528.06

РАЗВИТИЕ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ



Розенберг Е.Н.

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

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

Аннотация

В статье исследуются информационные коммуникации в сфере железных дорог. Дается анализ существовавших и современных функций железнодорожной сигнализации. Описана необходимость появления информационного транспортного пространства. Раскрывается содержание трех основных функций информационного транспортного пространства. Дан анализ трех коммуникационных уровней Европейская система управления движением поездов. Показана эволюция коммуникации и управления при переходе от уровня к уровню. Раскрывается содержание системы железнодорожного сигнального управления, которая использует телекоммуникации между поездом и путевым оборудованием для управления движением и контроля инфраструктуры. Локальная цель системы сигнализации/управления поездами состоит в предотвращении столкновений при движении поездов по железнодорожным путям. Глобальная цель системы сигнализации управления поездами на основе связи в увеличении пропускной способности железных дорог за счет безопасного сокращения временного интервала между поездами, движущимися по линии.



Цветков В.Я.

Ключевые слова:

транспорт, система управления поездом, системы сигнализации, централизации и блокировки, выделенная связь ближнего действия, три уровня ETCS.

DEVELOPMENT OF RAILWAY SIGNALING

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 explores information communications in the railway sector. An analysis of the existing and modern functions of railway signaling is given. The need for the emergence of an information transport space is described. The content of the three main functions of the information transport space is revealed. An analysis of three communication levels of the European train traffic control system is given. The evolution of communication and control during the transition from level to level is shown. The content of the railway signaling control system is revealed, which uses telecommunications between the train and track equipment for traffic control and infrastructure control. The local purpose of a train signaling/control system is to prevent collisions as trains move along the railway tracks. The global goal of a communication-based train control signaling system is to increase railway capacity by safely reducing the time interval between trains moving along the line.

Keywords:

transport, train control system, signaling, centralization and blocking system, dedicated short-range communication, three levels of ETCS.

Введение

Первоначальное назначение железнодорожной сигнализации состояло в регулировании движения и обеспечении безопасности железнодорожного транспорта. Основной была функция управления движением. Современные системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) повышают пропускную способность железных трасс и обеспечивают безопасное движение железнодорожного транспорта. По мере развития СЦБ в них стала появляться коммуникационная и информационная функции. Возникло понятие информационное пространство транспорта [1], в котором осуществлялась сигнализация. Большой вклад в развитие информационного пространства транспорта внесла технология Интернета вещей [2].

Информационные транспортные пространства выполняют три основные функции: управленческую поддержку, информационное обеспечение (информирование) и коммуникационную функцию (обмен информацией). Информационные пространства выполняют функции поддержки, в то время как прямое управление осуществляют центры управления. Применение спутниковых технологий расширило возможности информационного пространства транспорта.

В рамках Евросоюза развиваются две системы в этом направлении. Общая система Европейская система управления железнодорожным движением (European Rail Traffic Management System - ERTMS) [3, 4] и специализированная система Европейская система управления движением поездов (European Train Control System – ETCS) [5]. ERTMS решает общие задачи управления железнодорожным движением: совместимость национальных транспортных систем, развитие систем сигнализации, увеличение с пропускной способности инфраструктуры, повышение и сохранение безопасности на ЖД. ETCS есть главный компонент систем сигнализации и управления в рамках ERTMS.

Три уровня ETCS.

Система ETCS развивается и ее развитие отражено в трех уровнях системы. На рис.1 приведена схема первого уровня ETCS.

Обмен данными осуществляется точечной передачей с пути на поезд через балисы ETCS или евробалисы. Полномочия на передвижение предоставляются через фиксированные и переключаемые евробалисы. На рис.1 они показаны в виде прямоугольников зеленого цвета. Первоначально это новшество ввели во Франции. Первый уровень системы ETCS

устанавливается на пути и на поезде (1, рис.1). Обмен данными осуществляется точечной передачей с пути на поезд через евробалисы. Евробалисы отправляют данные о маршруте на бортовое устройство (ETCS, рис.1).

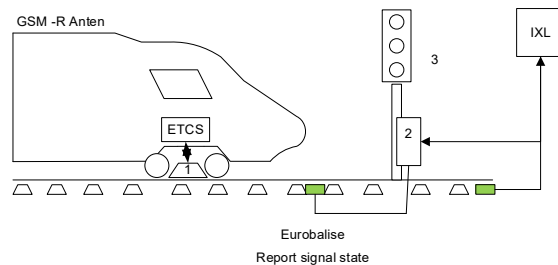


Рис.1 ETCS уровень 1.

На основе полученных данных рассчитывают максимальную скорость, а также кривые разрушения. В дополнение к Eurobalises используют EuroLoop (заполнение петли) на основе радиосвязи (заполнение радиоканала), которое непрерывно передает данные на большее расстояние. Балисы передают данные на сигнальное устройство (2) и в interlocking (IXL). Напоминаем, что так называют устройство блокировки, предотвращает конфликтующие движения по путям, особенно при развилках, пересечениях и на переездах.

Термином «A balise» называют электронный маяк, помещенный между рельсами железной дороги в составе системы автоматической защиты поездов (АТЗ). Французское слово «balise» используется для отличия этих маяков от других типов маяков. В евроstandarte применяют термин евробалисы (Eurobalises). Balise используются в системе сигнализации KVB (фр. *Contrôle de Vitesse par Balises*) установленные на основных линиях французской железнодорожной сети, за исключением высокоскоростных Lignes à Grande Vitesse.

KVB сравним с ETCS Level 1, потому что он предлагает управление скоростью на основе маяка без какой-либо индикации для машиниста. В России эта идея предлагалась в виде сети электронных меток [6], однако РЖД ее не приняло во внимание должным образом.

В отличии от KVB и ETCS Level 1 следующий этап развития ETCS Level 2 (рис.2) представляет собой коммуникационную радиосистему, которая отображает разрешения на движение (индикацию) в кабине машиниста.

Поезд постоянно отправляет данные в Центр радиоблокировки (RBC), чтобы сообщить о своем точном местоположении и движении.

В этой технологии евробалисы используются в качестве пассивных маяков позиционирования, то есть как простые радиометки. Поезда уточняют свое положение с помощью дополнительных датчиков, таких как акселерометры, одометры или радары.

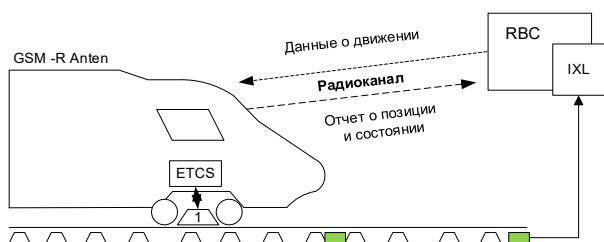


Рис.2. ETCS уровень 2

ETCS уровень 2 можно интерпретировать как расширенный уровень 1, с непрерывной передачей данных ETCS по протоколу GSM-R. В этой технологии RBC контролирует все движения поездов на закрытой территории.



Рис.3. ETCS уровень 3

Центр управления включает центр радиоблокировки. Он постоянно получает информацию о местоположении каждого поезда и в любой момент рассчитывает минимально возможные расстояния между поездами. Таким образом, трек больше не разделяется на фиксированные блоки, а разбивается на «движущиеся блоки». В то же время крайне важно, чтобы поезда гарантировали свою целостность, поскольку не существует путевого оборудования, предоставляющего эту информацию. ETCS L3 в настоящее время все еще находится на стадии стандартизации. В России также была подана заявка и получен патент [7] на подобную технологию, но она осталась без внимания.

Подводя итог можно сказать, что в этой технологии путевое оборудование исчезло. Однако это не означает положительный фактор. Наземный контроль должен быть. Местоположение поезда и целостность не зависят от путевого оборудования (сигналов, рельсовых цепей или счетчиков осей), а управляются поездом и RBC. Для всех 2 и 3 -го вариантов можно отметить общие признаки,

которые детализируются и претерпевают изменения в каждом уровне.

Бортовая установка, известная как bord включает:

Бортовой компьютер (UEVAL), содержащий процессор, блок связи и записывающее оборудование. Визуальный интерфейс для использования машинистом, который позволяет вводить данные о скорости, длине и категории поезда. Он же отображает информацию о состоянии поезда. Он дублирует дорожные сигналы для машиниста. Антенна, размещенная под локомотивом, для приема информации, отправляемой наземными установками, а также спутниковыми технологиями.

Наземные установки включают:

Маяки (электронные метки) или цифровые или аналоговые транспондеры, размещаемых между рельсами пути или на путевых устройствах. Это могут быть фиксированные маяки или переключаемые маяки (отправка множества сообщений, так что один сигнал может отправлять разные наборы информации по мере необходимости). Кодер, используемый в качестве интерфейса между существующим сигналом и переключаемыми маяками.

Бортовой компьютер генерирует два пороговых значения скорости на основе полученных сигналов от балансовых датчиков. Это уже выход на технологию предельной разницы скоростей [8-10] (limit speed difference - LSD). Если поезд превышает ограничение скорости, преодолевая первое пороговое значение скорости, раздается звуковой сигнал, и панель управления указывает машинисту, что необходимо без промедления отрегулировать скорость поезда. При превышении второго порога скорости система автоматически включает экстренное торможение поезда.

Communications-based train control

Дополняет рассмотренные технологии система Communications-based train control (CBTC) [11, 12]. Это система железнодорожного сигнального управления, которая использует телекоммуникации между поездом и путевым оборудованием для управления движением и контроля инфраструктуры. С помощью систем CBTC определяют точное местоположение поезда более точно, чем с помощью традиционных систем сигнализации.

CBTC использует связь между оборудованием железнодорожного пути и поездом для управления поездом и управления движением. Точное положение поезда при использовании CBTC известно точнее, чем при использовании традиционной системы сигнализации.

Это дает возможность управлять железнодорожным движением более эффективно и безопасно. Согласно определению в стандарте IEEE 1474 [15], система CBTC — это «непрерывная автоматическая система управления поездом, использующая определение местоположения поезда с высоким разрешением, независимо от рельсовых цепей; непрерывная двусторонняя передача данных с высокой пропускной способностью; а также железнодорожные и придорожные процессоры, способные реализовывать функции автоматической защиты поездов (automatic train protection - ATP), а также дополнительные функции автоматического управления поездами (automatic train operation - ATO) и автоматического контроля поездов (automatic train supervision - ATS).

Локальная цель системы сигнализации/управления поездами состоит в предотвращении столкновений при движении поездов по железнодорожным путям. Таким образом, общим компонентом различных типов систем сигнализации для поездов является следующее: местоположение поездов должно быть известно системе на определенном уровне детализации.

Следующая значительная эволюция в архитектуре сигнализации поездов продолжила тенденцию обеспечения более точного управления движением поездов за счет увеличения объема данных, передаваемых поезду, так что теперь поездом можно было управлять и контролировать, чтобы он следовал определенному профилю скорости и расстояния, а не чем просто реагировать на ограниченное количество отдельных кодов скорости. Это поколение технологий управления поездами, также называемое технологией «пройденного расстояния», может поддерживать автоматические режимы движения и повышать пропускную способность поездов. При такой архитектуре управления поездами пределы полномочий движения поездов по-прежнему определяются занятостью рельсовых цепей.

Придорожный процессор, зная местоположение всех поездов по рельсовым цепям, может генерировать закодированные сообщения для каждой рельсовой цепи. Эта информация содержит разрешенную скорость линии, заданную скорость поезда и

расстояние, которое осталось пройти до заданной скорости. Используя эту информацию, бортовое оборудование поезда рассчитывает профиль скорости и расстояния, по которому поезд должен следовать. Кроме того, в сигнальном оборудовании кабины каждого поезда хранится база данных карты путей с уклоном, кривизной, местоположением станции и информацией об ограничении скорости в гражданском секторе. Поезд знает, на каком пути он находится, благодаря уникальному идентификатору сигнальной информации кабины. Затем сигнальное оборудование кабины использует базу данных карт путей для расчета точного профиля скорости и расстояния

Следующее поколение архитектуры управления поездами называют CBTC. Цель системы CBTC такая же, как и у традиционных систем, например, безопасное разделение поездов; однако перед ним также стоит задача минимизировать количество придорожного и путевого оборудования. Это означает отказ от традиционных устройств обнаружения поездов, то есть рельсовых цепей. Подобно предыдущим поколениям технологий управления поездами, CBTC поддерживает автоматические режимы движения и контролирует/контролирует движение поездов в соответствии с определенным профилем скорости и расстояния. Однако для систем CBTC пределы полномочий на движение больше не ограничиваются физическими границами рельсовых цепей, а устанавливаются посредством отчетов о местоположении поездов, которые могут обеспечивать принципы управления «виртуальным блоком» или «движущимся блоком» [16].

В системах CBTC основная часть логики управления поездом теперь расположена внутри поездного оборудования CBTC, а географически непрерывная сеть передачи данных между поездами и между поездами позволяет передавать значительно больший объем управления и информации о состоянии, чем это возможно с системами управления поездом предыдущего поколения. Таким образом, системы CBTC предлагают наибольшую эксплуатационную гибкость и могут поддерживать максимальную пропускную способность поездов, ограниченную только производительностью подвижного состава и ограничениями физического выравнивания путей. В частности, высокий уровень контроля, обеспечиваемый системами CBTC, делает эту технологию предпочтительной для движения беспилотных поездов (driverless/unattended train operations - UTO)

Имея точную информацию о местонахождении поезда в системах СВТС, следующий поезд может следовать за задней частью поезда с помощью системы движущихся блоков. В частности, поезда постоянно рассчитывают местоположение поезда и кривую его торможения, а затем передают их придорожному оборудованию.

Затем придорожное оборудование может создавать защищенные зоны, каждая из которых называется пределом разрешения движения (limit of movement authority - LMA). Кроме того, в системах СВТС используется замкнутый контур управления между поездом и наземным центром управления для повышения надежности управления поездом. Следовательно, это приводит к сокращению интервалов между последовательными поездами и увеличению пропускной способности. Кроме того, используя цифровую радиопередачу, СВТС может обеспечить двустороннюю связь с большой пропускной способностью между поездом и обочиной, что может уменьшить ненужное ускорение поезда и торможение при замедлении, улучшить комфорт пассажиров и обеспечить значительную экономию энергии

Системы СВТС допускают различные уровни автоматизации или степени автоматизации (GoA), как определено и классифицировано в IEC 62290-1 [17]. Доступные уровни автоматизации варьируются от защищенного ручного режима GoA 1 (обычно применяется в качестве резервного режима работы) до полностью автоматизированного режима GoA 4 (UTO). Промежуточные режимы работы включают полуавтоматический GoA 2 (режим полуавтоматической работы [STO]) или беспилотный GoA 3 (режим беспилотного поезда [DTO]). Последний работает без водителя в салоне, но требует присутствия сопровождающего для работы в ухудшенных режимах работы, а также для сопровождения пассажиров в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Хотя системы СВТС считаются базовой технологией для «беспилотных» или «автоматических поездов», они не являются их синонимами.

СВТС представляют собой системы

железнодорожной сигнализации нового поколения. Они обеспечивают автоматизированное управление поездом в Real Time с помощью беспроводной связи между поездом и сетью точек доступа (AP) [12]. В сущности, это развитие идеи электронных меток RFID [6]. Один из вариантов заключается в использовании метки на корпусе поезда [13]. Когда поезд пересекает сигнальный индикатор рядом с железной дорогой, считыватель обнаруживает RFID-метку, а счетчик осей подсчитывает количество проезжающих осей вагонов поезда.

Заключение.

Системы железнодорожной сигнализации должны развиваться для соответствия растущему спросу на перевозки и повышению пропускной способности. Глобальная цель системы сигнализации управления поездами на основе связи (СВТС) - увеличить пропускную способность за счет безопасного сокращения временного интервала (интервала) между поездами, движущимися по линии. Технология управления поездами на основе СВТС используется в крупных городах для максимального использования их инфраструктуры. По сравнению с обычной системой блочной сигнализации и системой сигнализации в кабине, СВТС обеспечивает наиболее эффективные возможности в отношении скорости движения и пропускной способности, будучи при этом наиболее экономичным с точки зрения затрат на техническое обслуживание [14]. СВТС также обеспечивает лучшие диагностические возможности по сравнению с традиционными системами сигнализации. Он использует ограниченное количество оборудования на пути по сравнению с традиционными системами сигнализации и допускает либо централизованную, либо распределенную архитектуру. По этим причинам СВТС в настоящее время является предпочтительной системой для новых линий, а также для большинства обновлений систем сигнализации.

Список литературы

1. Ознамец В.В. Информационное управляющее транспортное пространство // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 4(16). – С.43-50.
2. Laghari A. A. et al. A review and state of art of Internet of Things (IoT) //Archives of Computational Methods in Engineering. – 2021. – С.1-19.
3. Abed S. K. European rail traffic management system-an overview //2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ). – IEEE, 2010. – С.173-180.
4. Berger U. et al. Verification of the european rail traffic management system in real-time maude //Science of Computer Programming. – 2018. – Т. 154. – С.61-88.
5. Cao Y., Wen J., Ma L. Tracking and collision avoidance of virtual coupling train control system //Future Generation Computer Systems. – 2021. – Т. 120. – С.76-90.
6. Цветков В.Я., Ознамец В.В. Применение радиометок при мониторинге железнодорожных дорог // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 5. С.34-35.
7. Розенберг Е.И., Розенберг И. Н., Цветков В. Я., Шевцов Б.В. Устройство контроля подвижного объекта. Патент на полезную модель. № RU 95851 U1. Зарегистр. 10.07.2010.
8. Lee C., Hellinga B., Saccomanno F. Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety //Transportation research part C: emerging technologies. – 2006. – Т. 14. – №. 3. – С. 213-228.
9. Gregurić M. et al. Variable speed limit control based on deep reinforcement learning: A possible implementation //2020 International Symposium ELMAR. – IEEE, 2020. – С. 67-72.
10. Vrbanić F. et al. Variable speed limit and ramp metering for mixed traffic flows: A review and open questions //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 6. – С.2574.
11. Oh S., Kim K., Choi H. Train interval control and train-centric distributed interlocking algorithm for autonomous train driving control system //Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. – 2016. – Т. 17. – №. 11. – С.1-9.
12. Zhang X. et al. Physics-based wireless channel modeling and optimization of access points placement for communications-based train control systems //2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring). – IEEE, 2021. – С. 1-4.
13. Pang Z. Y. et al. Wireless Train Detection Based on Null-Filled UHF RFID Reader Antenna for Communications-Based Train Control //IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2023.
14. Diemunsch K., Rabindran N. Origins and current status of the different communications-based train control products //ASME/IEEE Joint Rail Conference. – American Society of Mechanical Engineers, 2020. – Т. 83587. – С. V001T11A002.
15. IEEE 1474.1-2004. IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements.
16. Щенников А.Н. Применение виртуальных блоков в управлении транспортом // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 1(9). – С.17 -26.
17. IEC 62290-1:2014 Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts.