

УДК: 001.895; 656.3

Принципы построения систем управления движением поездов на высокоскоростных линиях зарубежных стран

General principles of signalling systems for high speed lines around the world

Озеров А.В., Начальник Международного управления АО «НИИАС»,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Москва, Россия
Ozerov A.V., Head of International Department, JSC NIAS,
E-mail: A.Ozerov@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье рассматриваются общие подходы к построению и современные тенденции развития систем управления и обеспечения безопасности движения высокоскоростных поездов (СУДП ВСМ), с учетом используемых принципов передачи данных, как, например, кабельные шлейфы, кодовые рельсовые цепи, радиосвязь, а также общая структура СУДП ВСМ. Показано, что современные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов на высокоскоростных магистралях характеризуются существенной адаптацией и комплексированием традиционных систем железнодорожной автоматики, а также гибридизацией схем управления, предполагающей резервирование контура управления по радиоканалу рельсопроводным каналом, для повышения безопасности и живучести систем.

Ключевые слова: ВСМ, система управления и обеспечения безопасности движения, рельсовые цепи (РЦ), радиосвязь, бализы, МСЖД, ETCS/ERTMS, LZB, TVM, BACC, ATC, KTCS, CTCS.

Abstract

The article deals with the general approaches for construction and today's trends in development of train control systems for high-speed rail lines, taking into account the data transmission principles, such as cable loops, track circuits and radio, as well as the general architecture of train control systems for high-speed rail lines. The paper shows that advanced train control systems for high-speed rail lines feature significant adaptation and integration of legacy command and control systems, as well as hybridization of control loops providing for the redundancy of radio control loop with coded track circuits to increase the safety and resilience of the systems.

Keywords: HSR, signalling systems, track circuits (TC), radio communication, balises, UIC, ETCS/ERTMS, LZB, TVM, BACC, ATC, KTCS, CTCS.



Введение

По данным Международного союза железных дорог (МСЖД), на декабрь 2021 года общая протяженность высокоскоростных магистралей (ВСМ) в мире составляет 59 000 км [1]. Безусловным лидером в этом отношении является Китайская Народная Республика – за последние пятнадцать лет в Китае построена сеть ВСМ протяженностью 40 474 км и дополнительно строится еще более 13 тыс. км. Далее с большим отрывом идут Испания (3 661 км), Япония (3 081 км) и Франция (2 735 км) (Рис. 1).

Максимальная скорость движения коммерческих поездов на линиях ВСМ в настоящее время составляет 350 км/ч (Рис. 2). В существующей мировой практике пока нет опыта регулярного движения со скоростями выше 350 км/ч, хотя отдельные тестовые поездки показывают такую возможность. Ограничивающими факторами являются не только высокая стоимость проектирования, строительства и технического обслуживания путевой инфраструктуры под более высокие скорости, но и технические вопросы обеспечения безопасности движения поездов.

Как правило, система управления движением поездов (СУДП) на ВСМ разных стран мира имеет классическую трехуровневую иерархическую структуру и включает верхний (диспетчерский), средний (станционный) и нижний уровни управления. Подсистемы СУДП объединяются в единый комплекс посредством магистральной сети передачи данных на основе ВОЛС. В современных условиях СУДП ВСМ строится на принципах максимальной автоматизации функций диспетчерского персонала и обеспечения автоматического управления движением поездов на перегонах и станциях, а координация движения поездов на линиях ВСМ, как правило, осуществляется из диспетчерского центра. Это может быть специально выделенная зона в дорожном (региональном) центре управления перевозками (ЦУП) или отдельно организованный центр дистанционного контроля и управления (ЦДКУ) с интеграцией функций диспетчерской централизации (ДЦ).

На уровне диспетчерского управления предусмотрена реализация функций автоматической установки маршрутов (АУМ), автоматического контроля исполнения графика движения поездов (ГДП), распознавания конфликтов, корректировки и перестроения ГДП, передачи актуализированного ГДП и рекомендаций скоростного режима в бортовую подсистему автоведения поезда (АТО), прогнозирования сбоев и нарушений движения поездов, информирования пассажиров и железнодорожного персонала. Данные функции в той или иной степени реализованы в наиболее известных программно-аппаратных платформах, таких как ARAMIS компании Thales, ICONIS (Alstom), DaVinci (Indra), IROS (JR East) и др.

Основным режимом управления движением поездов на ВСМ является диспетчерское управление из единого центра (ЦУП или ЦДКУ) с возможностью перевода в режим станционного управления при проведении плановых регламентных работ на инфраструктуре или при возникновении нестандартных ситуаций.

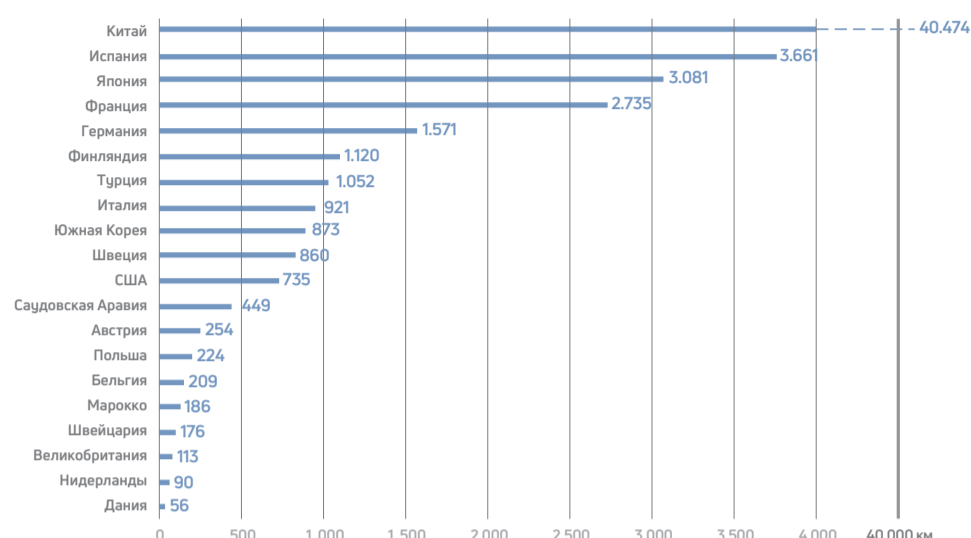


Рисунок 1. Протяженность линий ВСМ в странах мира



Рисунок 2. Максимальная скорость движения на ВСМ разных стран



Рисунок 2. Фото зала ЦУП ВСМ в Пекине

На станционном уровне управление осуществляется посредством устройств электрической централизации (ЭЦ) и автоблокировки (АБ). Информация от устройств станционного уровня передается в ЦУП ВСМ по резервируемым каналам ДЦ и включает данные о местоположении подвижных единиц, состоянии объектов управления ЭЦ, АБ и других устройств [2].

Структура взаимодействия с верхним и нижним уровнями может различаться и зависит от типа применяемых устройств сигнализации и средств передачи сиг- ➤➤➤

нальной информации. Например, на некоторых линиях ВСМ Германии, Австрии и Испании общей протяженностью примерно 1750 км до сих пор применяется система LZB, в которой для передачи сигнальной информации на поезд используются кабельные индуктивные шлейфы. Управление движением на участке ведется с линейного поста LZB, в котором хранятся данные об участке и который получает от устройств ЭЦ информацию о свободных блок-участках и положении стрелок, а от поезда – данные о его текущем местоположении и тормозных характеристиках. На основе этих данных рассчитывается расстояние до следующей точки изменения скорости и на поезд по шлейфу передается информация о текущем значении максимально допустимой скорости на участке, расстоянии до препятствия, величине уклонов и др. Провода шлейфа LZB скрещиваются через каждые 100 м, что позволяет определять местоположение и скорость поезда путем подсчета бортовым оборудованием изменений фазы при прохождении через пересечение. Свободность пути контролируется системами ЭЦ посредством рельсовых цепей или счетчиков осей. Система LZB резервируется точечной АЛС INDUSI или ASFA [3].

На ограниченных участках скоростного движения используется СУДП с полунепрерывным типом передачи данных на основе путевых приемопередатчиков, как например, система EBICAB в Испании и скандинавских странах, имеющая ограничения по скорости 220 км/ч. Данная СУДП имеет ограниченные перспективы внедрения в силу очевидных лимитирующих факторов.

Более распространенным средством передачи данных на борт поезда являются рельсовые цепи (РЦ). Они применяются на ВСМ Бельгии и Франции (TVM 300/430), Италии (BACC), Японии (ATC, DS-ATC), Южной Кореи (KTCS) и Китая (CTCS-2, CTCS-3) и имеют увеличенную по сравнению с обычными РЦ длину, которая варьируется от 1350 до 2000 м в зависимости от технического решения. Следует отметить, что системы KTCS и CTCS-2 построены как аналоги системы TVM 430 и используют ту же разновидность резонансной РЦ [4].

На некоторых участках TVM резервируется точечной АЛС (система ETCS/ERTMS уровень 1) либо системой передачи данных по радиосети GSM-R (система ETCS/ERTMS уровень 2).

Европейская система ETCS/ERTMS уровень 2, включающая в себя локомотивную сигнализацию ETCS и систему радиосвязи GSM-R, на текущий момент является наиболее широко внедряемой СУДП на линиях ВСМ стран ЕС (Рис. 4) [5].

Масштабное внедрение СУДП на основе радиосвязи (ETCS/ERTMS уровень 2 или аналоги) объясняется ограничениями других средств передачи данных на борт поезда как с точки зрения объема передаваемой информации, так и с точки зрения скорости передачи, которые приобретают критическое значение при повышении скоростей движения поездов. Так, например, в TVM 430 размер посылки составляет 27 бит, а средняя скорость передачи 17,3 бит/с, в LZB – 78 бит и 600 бит/с соответственно, при этом по радиоканалу GSM-R в системе ETCS/ERTMS уровень 2 можно передавать сообщения разного размера (в зависимости от назначения и настроек)



Рисунок 4. Типы систем управления и обеспечения безопасности движения в странах ЕС

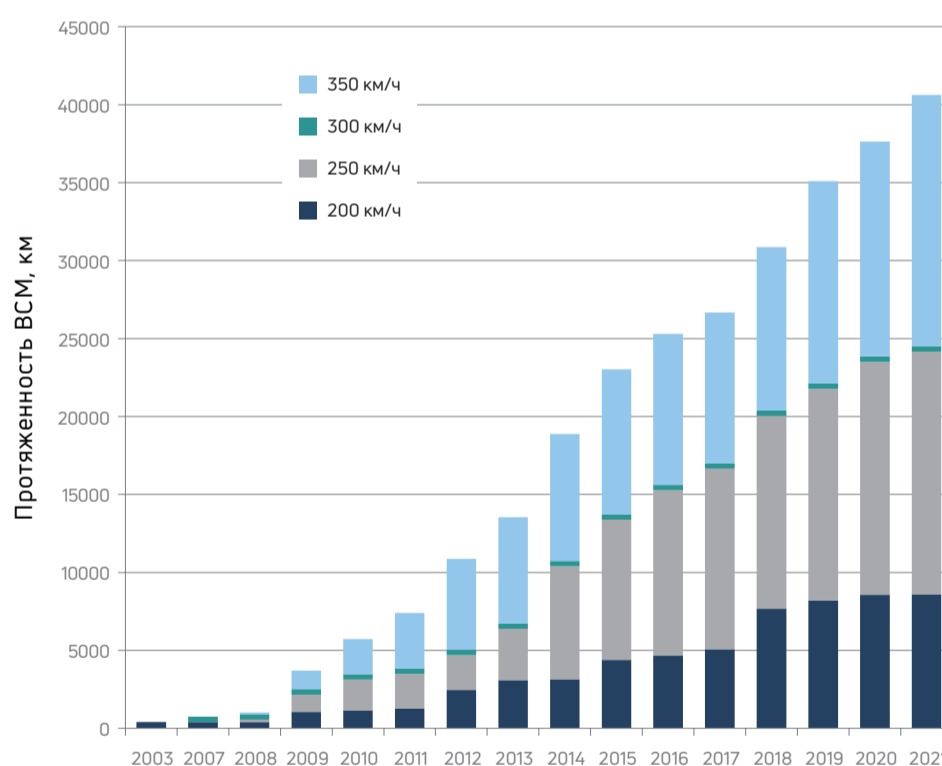


Рисунок 5. Динамика строительства ВСМ в Китае

со скоростью 9,6 кбит/с (например, сообщение «Отчет о местоположении» должно передаваться с борта поезда в центр радиоблокировки RBC не реже одного раза в 6 секунд) [6].

Вместе с тем, система радиосвязи GSM-R также имеет свои ограничения и является устаревшим стандартом, который прекратит свое существование к 2030 году. По этой причине осуществляются работы по его замене [7]. Например, в Республике Корея с 2014 года ведется разработка национальной системы управления и обеспечения безопасности KTCS-2 на основе технологии ETCS/ERTMS уровень 2. Вместо стандарта GSM-R система KTCS-2 >>>



Рисунок 6. Обобщенная структура СУДП ВСМ

предусматривает использование сети беспроводной связи LTE-R. В апреле 2022 года система CTCС-2 впервые введена в коммерческую эксплуатацию на участке протяженностью 180 км линии Чолла. В новой системе CTCС-2 РЦ по-прежнему применяются для контроля занятости блок-участков.

Безоговорочный лидер по строительству линий ВСМ в мире – Китай. На Рис. 5 показана динамика ввода в эксплуатацию магистралей ВСМ в Китае по годам в зависимости от проектируемых скоростей движения.

Первая высокоскоростная линия в Китае была запущена в 2008 году. Поезда на линиях ВСМ курсируют со скоростью до 350 км/ч. С целью обеспечения требуемого уровня безопасности перевозок при участии зарубежных компаний была создана национальная система управления движением поездов CTCС, которая основана на технологиях европейской системы ETCS/ERTMS. Технологии системы CTCС адаптированы к национальным условиям, включая применение рельсовых цепей как одного из каналов передачи информации с пути на поезд (наряду с радиоканалом).

По аналогии с системой ETCS/ERTMS, система CTCС имеет несколько уровней. При скоростях движения 200-250 км/ч используется система CTCС-2, где рельсовые цепи применяются для контроля занятости участка и передачи информации на поезд, как в системе TVM.

Система CTCС-3 применяется на скоростях движения свыше 250 км/ч. Основным средством передачи информации на поезд является цифровой радиоканал стандарта GSM-R. Необходимая для каждого поезда информация поступает из центра радиоблокировки (RBC). В обратном направлении с поездов в RBC по радиоканалу передается информация о фактическом местонахождении и скорости движения каждого поезда [8].

Необходимо подчеркнуть, что в системе CTCС уровней 2 и 3 предусмотрено резервирование за счет использования системы нижнего уровня. В системе уровня 2 в качестве резерва используется уровень 0 (РЦ и напольные светофоры с ограничением скорости до 120 км/ч), в системе уровня 3 – уровень 2 (РЦ и активные бализы с возможностью обеспечения скоростного режима 200-250 км/ч). Переход между зонами действия CTCС уровней 2 и 3 и их соответствующими резервными системами происходит автоматически при движении поезда без его остановки [9].

На сети высокоскоростных линий Китая достигнута полная эксплуатационная совместимость. Это означает, что поезда могут беспрепятственно переходить с линий, оборудованных CTCС уровня 2, на линии с CTCС уровня 3 и обратно. Также обеспечена эксплуатационная совместимость бортовых устройств, построенных на разных платформах, т.е. поезда, оснащенные бортовыми устройствами разных поставщиков, могут обра- >>>

щаться на линиях с центрами радиоблокировки разных изготовителей.

В преддверии Зимних Олимпийских игр 2022 года в Китае на линии ВСМ Пекин – Чжэнцзяо протяженностью 170 км было запущено движение поездов Fuxing (Olympic Express) с максимальной скоростью движения 350 км/ч, на которых была реализован режим автоведения, не требующий практического участия машиниста в управлении поездом (АТО поверх CTCС 3). Для обеспечения автоматического режима вождения была построена сеть мобильной связи пятого поколения 5G, обеспечившая непрерывный обмен информацией с ЦУП ВСМ о маршрутах и параметрах движения с возможностью их корректировки в масштабе реального времени соответственно поездной обстановке.

Еще один уровень системы CTCС (CTCС-4) находится в стадии разработки и рассматривается в качестве перспективного варианта системы нового поколения. Он предусматривает реализацию принципа подвижного блок-участка, использование интегрированного навигационного модуля на основе данных национальной спутниковой системы BeiDou и цифровой карты для задач высокоточного позиционирования, применение новых видов беспроводной связи типа LTE-R и 5G для двусторонней передачи ответственной информации между поездом и центром радиоблокировки RBC.

С учетом указанного масштаба внедрения ВСМ в Китае, можно сделать вывод о том, что наиболее распространенной в мире является СУДП ВСМ с двухконтурной схемой управления по радиосвязи и рельсопроводному каналу с использованием в некоторых случаях допол-

нительных элементов резервирования в виде активных бализ и путевых электронных устройств LEU, увязанных с системами ЭЦ на станциях. Обобщенная структура такой системы управления и обеспечения безопасности движения поездов показана на Рис. 6.

Таким образом, современные системы управления и обеспечения безопасности движения поездов на высокоскоростных магистралях характеризуются существенной адаптацией и комплексированием традиционных систем железнодорожной автоматики, включая аппаратуру диспетчерской и электрической централизации, автоблокировки, автоматической локомотивной сигнализации, для обеспечения более высоких скоростей движения поездов, а также гибридизацией схем управления, предполагающей резервирование контура управления по радиоканалу рельсопроводным каналом, для повышения безопасности и живучести систем. При этом стараются добиться максимальной автоматизации функций диспетчерского персонала и обеспечения автоматического управления движением поездов на перегонах и станциях, включая автоматическую установку маршрутов на станциях и автоматический режим вождения поездов на перегонах. В связи с этим большое внимание уделяется системам диагностики и мониторинга с интеллектуальной функцией прогнозирования отказов технических средств и сбоям графика, а также высокопроизводительным средствам мобильной передачи данных с возможностью непрерывного обмена данными между поездом и центром управления для обеспечения функций автоматического режима движения. ■

Список литературы

1. Táuler, Á. High-Speed Rail 2022 Atlas / Á. Táuler, S. Martín, M. Benito. – 4th Edition. – France: International Union of Railways (UIC), 2022. – p. 204.
2. Никитин А.Б. Управление движением поездов на высокоскоростных магистралях: общесистемные требования // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №1. – С. 12-16.
3. Розенберг, Е.Н. Построение систем управления и обеспечения безопасности движения поездов на ВСМ / Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 34-41.
4. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko (Eds.). – 3rd Edition. – GmbH: PMC Media House, 2020. – 553 p.
5. Озеров, А.В. Европейская система интервального регулирования / А.В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 14-15.
6. Попов, П. А. Интервальное регулирование на основе цифрового радиоканала / П. А. Попов, А. В. Озеров // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 10. – С. 19-22.
7. Озеров, А. В. Железнодорожная радиосвязь нового поколения / А. В. Озеров, А. П. Куроптева // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 1(25). – С. 17-24.
8. Розенберг, Е.Н. Современные системы управления движением поездов / Е.Н. Розенберг, Е.Е. Шухина, А.В. Озеров, В.М. Малинов. – Электронное издание. – Москва: Издательские решения, 2020. – 210 с.
9. Xue A.W. The new development of CTCС in the intercity railway. / Xue A.W., Cui S, Yan F., Yi H. // Aspect; IRSE; 2015.