

Г. ТЕЕГ (G. Theeg), Ш. БАУМГАРТНЕР (S. Baumgartner), У. МАСЕК (U. Maschek)

Сравнение систем сигнализации для высокоскоростного движения

Традиционные системы сигнализации непригодны для обеспечения безопасности движения поездов с высокой скоростью. Поэтому были разработаны новые системы, в которых учитываются удлинение тормозного пути и возможности восприятия сигналов при высокоскоростном движении. В статье рассмотрены исторические условия создания и особенности таких систем в разных странах.

Развитие железных дорог характеризуется непрерывным ростом скорости движения поездов (рис. 1). Условия движения с высокой скоростью не укладываются в границы возможностей традиционных систем сигнализации, что потребовало новых подходов. Эти границы очерчены, с одной стороны, возможностями восприятия показаний напольных сигналов, а с другой — удлинением тормозного пути, не позволяющим остановить поезд на отрезке между предупредительным и основным сигналами.

В памятке МСЖД 734 дана следующая классификация железнодорожных сообщений в зависимости от скорости движения и соответствующих систем сигнализации:

- для скорости примерно до 140–160 км/ч достаточно светофорной сигнализации с традиционным расстоянием (от 1000 до 1500 м) между предупредительным и основным сигналами. Отдельные железные дороги уже и в этом диапазоне скоростей вводят дополнительно сигнализацию в кабине машиниста, но в большинстве случаев используется светофорная сигнализация;

- при более высокой скорости (примерно до 200 км/ч), реализуемой преимущественно на реконструированных линиях, исторически сложившегося расстояния между предупредительным и основными сигналами недостаточно для

остановки поезда, поэтому его торможение осуществляется в пределах двух блок-участков. Некоторые железные дороги считают, что при такой скорости возможно надежное распознавание показаний сигналов, и добавляют еще одно предупредительное сигнальное показание. Такой способ сигнализации в условиях скоростного движения с применением традиционных систем применяется, в частности, в Великобритании и Франции;

- при скорости, превышающей 200 км/ч, машинист не способен надежно распознавать показания напольных сигналов. Такие скорости характерны преимущественно для новых линий. Здесь необходимы специализированные системы, обеспечивающие отображение сигнальных показаний в кабине машиниста или автоведение поезда,

а также, как правило, непрерывную передачу информации с пути на локомотив. Подобные системы существуют в Японии, Франции, Италии, Германии, Испании и других странах.

Настоящая статья посвящена специализированным системам, используемым на высокоскоростных линиях. Их отличают непрерывная передача информации на поезд и отображение сигнальных показаний в кабине машиниста. В статье делается попытка сравнить и систематизировать используемые средства передачи информации на поезд, индикации, управления и контроля. Из-за различий в распределении населения и экономики, сло-

Максимально допустимая скорость при светофорной сигнализации в некоторых странах, км/ч

Швеция	80 (110)
Италия	150
Япония	160
Германия	160
Великобритания	примерно 200
Франция	220

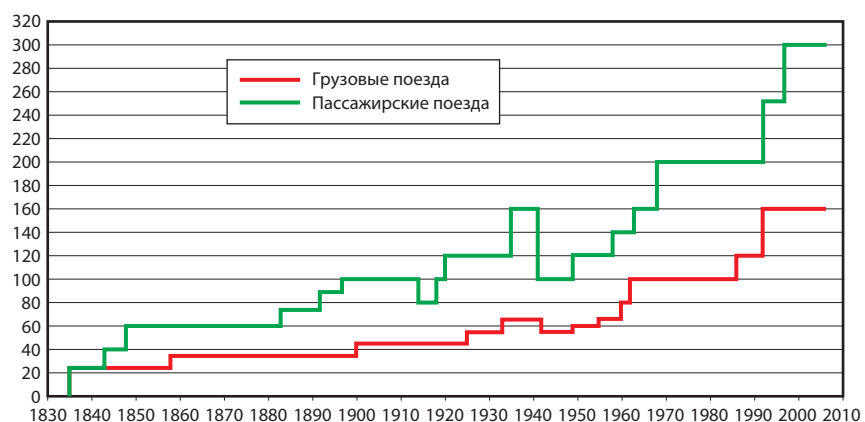


Рис. 1. Рост максимальной допустимой скорости движения поездов на железных дорогах Германии

жившихся подходов к обеспечению безопасности и особенностей исторического развития технологий существуют разные технические решения для таких систем.

Свойства систем сигнализации для высокоскоростного движения

Эксплуатационные и инфраструктурные требования

Инфраструктуру для скорости движения более 160 км/ч можно обобщенно классифицировать следующим образом:

- **реконструированные линии.** Это — обычные железнодорожные линии, модернизированные в расчете на более высокую скорость движения (около 200 км/ч). В большинстве случаев на них применяются традиционные системы сигнализации, адаптированные под скоростное движение, хотя некоторые железные дороги используют здесь системы сигнализации, предназначенные для высокоскоростного движения;

- **новые линии.** Такие линии построены специально для высокоскоростного движения. В настоящее время закладываемая в их проект максимальная скорость составляет в большинстве случаев не менее 250 км/ч. В то время как на реконструированных линиях приходится зачастую учитывать большее разнообразие инфраструктуры (например, разные ограничения скорости на ответвлениях), новые линии можно проектировать с более унифицированной инфраструктурой, а значит, упрощенными граничными условиями для организации движения поездов.

В отношении взаимодействия с традиционной железнодорожной сетью линии с системами сигнализации, рассчитанными на высокоскоростное движение, классифицируются следующим образом:

- **смешанное движение** (новые или реконструированные линии).

На таких линиях курсируют также поезда, не оснащенные бортовыми устройствами сигнализации для высокоскоростного движения. Поэтому линии оборудуют как традиционными системами светофорной и локомотивной сигнализации, так и системами для высокоскоростного движения. Высокоскоростные поезда также заходят на обычные линии, а значит, должны быть оснащены соответствующими системами АЛС. Смешанное движение доминирует преимущественно на германских и итальянских высокоскоростных линиях;

- **только высокоскоростное движение с выходом на обычную сеть** (в основном новые линии). В этом случае на высокоскоростных линиях курсирует только специализированный подвижной состав, который при этом заходит зачастую и на обычную сеть, особенно в зонах узловых станций и на конечных участках маршрутов. Поэтому традиционной сигнализацией, однако подвижной состав приходится оснащать дополнительно обычными системами АЛС. Типичными примерами здесь являются французские линии;

- **автономные сети высокоскоростных сообщений** (только новые линии). Здесь нет никаких мест сопряжения с обычными железнодорожными линиями с эксплуатационной точки зрения. Передача подвижного состава между обычной и высокоскоростной сетями не предусмотрена. Примером может служить сеть высокоскоростных линий Японии, где передаче поездов в значительной мере препятствует уже различие в ширине колеи.

Возможности непрерывной передачи информации

Для непрерывной передачи сигнальной информации на поезд могут использоваться следующие средства:

- **рельсовые цепи.** В этом случае наряду с контролем свободности

пути рельсовые цепи служат для передачи различной сигнальной информации. Как и на обычных железных дорогах, возможна комбинация АЛС с децентрализованной автоблокировкой. Кодирование информации осуществляется путем частотной, амплитудной или фазовой модуляции несущей частоты или за счет передачи импульсов. Недостатком рельсовых цепей является потребность в поддержании заданного сопротивления балласта и реализации мер по устранению влияния обратного тягового тока. К достоинствам следует отнести возможность распознавания излома рельса и защиты от опасных ситуаций — работник, обнаруживший нарушение, может предупредить о нем, шунтировав рельсовую цепь. Системы сигнализации на основе рельсовых цепей работают на высокоскоростных линиях в Японии, Франции и Италии;

- **кабельные индуктивные шлейфы.** Кабель, уложенный вдоль рельсового пути, используется как среда передачи и стационарная антенна. Данные могут передаваться в обоих направлениях. Недостатками по сравнению с рельсовыми цепями являются более высокая вероятность повреждения и большие расходы на установку и техническое обслуживание. Кабельные индуктивные шлейфы применяют в Германии в составе системы АЛСН LZB;

- **радиосвязь.** Передача по радио относится к наиболее современным технологиям. Преимуществом являются более низкие затраты на напольное оборудование. При использовании радиосвязи важно обеспечить надежное покрытие территории, по которой движется поезд. Радиосвязь используется в европейской системе управления движением поездов ETCS уровней 2 и 3.

Передача сигнальной информации возможна в аналоговой или цифровой формах, причем в последнем случае объем передаваемых данных может быть значитель-

но большим. В настоящее время в большинстве новых проектов используется цифровая передача.

Генерация команд на движение

Команды на движение и данные о допустимой скорости могут генерироваться двумя способами:

- **децентрализованно.** Как и в децентрализованных системах автоблокировки, соседние сигнальные точки взаимодействуют друг с другом. Сигнальная точка информирует предыдущую сигнальную точку или находящийся между ними поезд о показании сигнала. Предыдущая сигнальная точка генерирует с учетом этой информации команду на движение, которая должна отображаться в кабине машиниста;

- **централизованно.** Для управления протяженным участком пути предусматривается центральный пункт. В него от децентрализованных устройств (как правило, систем централизации) поступает информация о положении стрелок и состоянии участков контроля свободности пути. Эта информация анализируется, и на ее основе генерируется команда на движение.

Данные об участке для расчета тормозного пути

Для расчета кривой контроля скорости при торможении перед препятствием наряду со сведениями о поезде необходимы данные об участке пути, такие, как величина уклона и параметры мест, требующих снижения скорости. Если данные о поезде, как правило, имеются в бортовом устройстве, информация о свойствах инфраструктуры может храниться следующим образом:

- **централизованно на линии.** Данные о протяженном участке пути размещаются в центральном пункте. Этот принцип используется в большинстве систем сигнализации для высокоскоростного движения;

- **децентрализованно на линии.** Информация хранится распределенно в стационарных устройствах. Например, в каждом раздельном пункте размещена информация об уклонах на прилегающих участках;

- **на поезде** (цифровой атлас линии). Этот вариант пригоден только для автономных сетей. Такая технология используется в Японии;

- **заданная длина блок-участков.** В простейшем случае все блок-участки имеют одинаковую длину, и кривая контроля скорости при торможении рассчитывается исходя из наиболее неблагоприятных условий по уклонам. В других случаях длины блок-участков подбирают с учетом уклонов таким образом, что торможение происходит на них примерно одинаково. Недостатком такого подхода является невысокая гибкость при адаптации к местным особенностям и техническим изменениям. Эта технология используется преимущественно в старых системах с аналоговой передачей, не способных транслировать большой объем данных.

Регулирование скорости

Регулирование скорости может осуществляться следующими способами:

- **вручную.** Поскольку по сравнению с техническими системами человек в большей мере склонен к совершению ошибок, этот метод непригоден для управления в условиях высокоскоростного движения с его повышенными требованиями к обеспечению безопасности;

- **вручную с техническим контролем.** Человек имеет приоритет в регулировании скорости, однако предусмотрены технические средства контроля (АЛС), которые в случае опасности тормозят поезд до полной остановки или до безопасной скорости. Наряду с обычной железнодорожной сетью этот принцип используется на большинстве высокоскоростных линий;

- **полуавтоматически.** Часть операций выполняется техническими средствами, ответственность за другую часть несет машинист. Критерием выбора может быть, например, влияние той или иной операции на безопасность движения. Примером могут служить более старые системы для высокоскоростного движения в Японии;

- **автоматически с поддержкой со стороны человека.** В нормальном режиме эксплуатации технические средства управляют всеми процессами под контролем машиниста, который вмешивается в процесс управления при возникновении ситуаций, не предусмотренных алгоритмом работы технических средств, и резервирует технику в случае нарушений в ее работе. Проблемой при этом может стать недостаточная загрузка человека в режиме нормальной эксплуатации, что может привести к снижению концентрации его внимания и навыков, а значит, неспособности надлежащим образом действовать при нарушениях. Поэтому, например, в Японии сознательно отказались от такой технологии;

- **полностью автоматически.** Полностью автоматический режим требует полноценного распознавания техническими средствами или исключения всех опасных ситуаций, защита от которых признана необходимой. Он может быть реализован в автономных сетях ограниченной протяженности с несложной структурой (системы городского транспорта). На магистральных железных дорогах реализация полностью автоматического управления требует непропорционального усложнения технических средств. Поэтому на высокоскоростных линиях такой режим не используется.

Форма кривой контроля скорости

Управление движением поезда осуществляется, как правило, на основе команд на движение, дан-

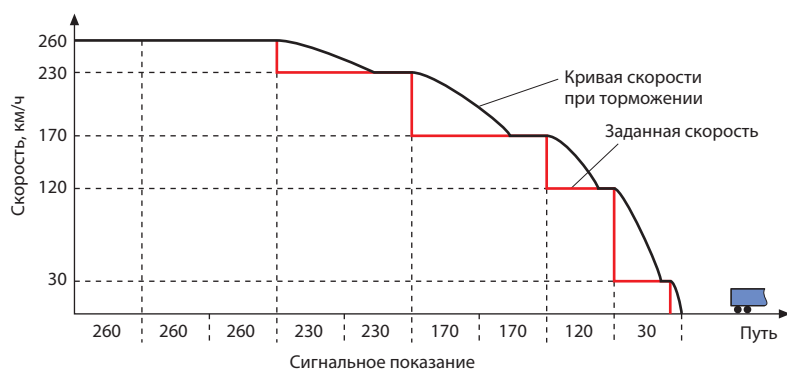


Рис. 2. Управление торможением в старой японской системе сигнализации для высокоскоростного движения (пример)

ных об участке пути и скорости. В большинстве случаев для торможения с высокой скорости до остановки необходимо несколько блок-участков. При торможении кривая контроля скорости может строиться следующим образом:

- **непрерывный расчет кривой вне границ блок-участков до места изменения скорости** (остановка или место, требующее снижения скорости). Поскольку для этого необходимы детальные данные, эта технология используется в системах с цифровой передачей информации;

- **расчет кривой по промежуточным значениям скорости**, причем при каждой смене блок-участка независимо от поезда задается конкретное промежуточное значение скорости. Этот принцип используется преимущественно при аналоговой передаче, поскольку не требует трансляции большого объема информации. При таком решении гибкость в отношении использования подвижного состава разных типов и изменения длин блок-участков мала. Управление торможением должно осуществляться в расчете на наименее благоприятное сочетание данных о поезде, длине блок-участков и уклонах, что с учетом запасов, обусловленных соображениями безопасности, часто приводит к формированию характерной каскадной кривой скорости при торможении. При использовании поездов разных типов кривая строится в расчете на поезд с худшими тормозными свойствами,

вследствие чего нет возможности в полной мере использовать улучшение в парке подвижного состава;

- **ступенчатая кривая контроля скорости**. При этом простом решении вследствие отсутствия квазинепрерывного определения местоположения поезда бортовыми средствами для всего блок-участка действует одно значение контрольной скорости. Наряду с недостатками предыдущего решения здесь возникает необходимость в устройстве протяженных охранных отрезков за сигнальными точками.

Технические и эксплуатационные резервные уровни

На линиях со смешанным движением высокоскоростных и обычных поездов сохраняют напольные сигналы. При отказе системы сигнализации для высокоскоростного движения они используются в качестве резервного уровня, что сопровождается ограничениями скорости. Если и этот резервный уровень выйдет из строя или окажется неприменимым при конкретном отказе, предусмотрено движение поездов вслед. В некоторых системах, например, во Франции движение поездов вслед является единственным резервным уровнем.

Чем крупнее эксплуатационные недостатки резервных уровней, тем большее значение имеют высокая эксплуатационная готовность системы и пространственное ограничение нарушений.

Описание отдельных систем

Япония

В 1964 г. в Японии была открыта первая в мире высокоскоростная линия. Население страны сконцентрировано в основном в прибрежных регионах, что позволило сформировать мощную сеть высокоскоростных линий вдоль нескольких осей. В Японии реализована в значительной мере автономная сеть высокоскоростных линий, не имеющая, как правило, инфраструктурных и эксплуатационных связей с сетью обычных линий.

На высокоскоростных линиях используется полуавтоматическое управление — торможение по соображениям безопасности перед препятствием осуществляется автоматически; машинист управляет процессами тяги и торможения, не влияющими на безопасность, такими, как остановка на перронных путях станций или разгон поезда.

Данные с пути на поезд передаются посредством кодовых рельсовых цепей, причем на каждом блок-участке размещены две рельсовые цепи. В классической системе на части высокоскоростной сети рельсовые цепи имеют в значительной мере унифицированную длину, поэтому при подходе к месту остановки при проследовании границ блок-участков действует заданное значение скорости. В результате процесс торможения имеет типичную каскадную форму (рис. 2). В диапазоне высоких скоростей обе рельсовые цепи блок-участка передают одинаковые коды, на последнем же блок-участке перед препятствием торможение до полной остановки осуществляется в две ступени. При достижении скорости 30 км/ч машинист может нажать специальную кнопку и продолжить поездку с этой скоростью до тех пор, пока на небольшом расстоянии перед местом препятствия по сигналу из индуктивного шлейфа не включится торможение до полной остановки. Для въезда на обгонный путь

установлена еще одна ступень скорости — 70 км/ч.

Для предотвращения взаимных влияний рельсовые цепи на линии работают на четырех разных несущих частотах. Соседние рельсовые цепи на одном пути используют несущие частоты 720 и 900 Гц, на втором пути — частоты 840 и 1020 Гц. На эти несущие частоты накладывается модулирующая частота, содержащая полезную информацию, причем за каждой модулирующей частотой закреплено определенное сигнальное показание. Используя малое число сигнальных показаний, удалось реализовать мощную систему высокоскоростных сообщений. Интересно, что на поезд передается значение не контрольной, а только заданной скорости, которая снижается ступенчато, что предполагает устройство блок-участков постоянной длины для нормального функционирования системы.

В 1990-е годы была разработана более современная система управления, в которой по рельсовым цепям передаются цифровые сигналы. В ней на поезд транслируется следующая информация:

- идентификационный код рельсовой цепи;
- число впередилежащих свободных блок-участков;
- сведения о направлении движения при приближении к ответвлениям;
- действующие ограничения скорости.

На поезде имеются поездные данные и данные об участке (длины всех рельсовых цепей на обслуживаемом полигоне, значения уклонов и т. д.). Бортовое устройство рассчитывает на основе этой информации доступный тормозной путь и непрерывные заданные величины. Скорость может регулироваться машинистом или автоматически. Для измерения пройденного пути служит одометр, показания которого калибруются через небольшие расстояния посредством напольных устройств. Наряду

с кривой заданной скорости при торможении формируется кривая контрольной скорости, при превышении которой инициируется включение принудительного торможения.

Франция (система TVM)

Первая французская высокоскоростная линия была открыта в 1981 г. С тех пор происходит расширение сети. Распределение населения и экономики страны требует создания прямых и быстрых сообщений со столицей, поэтому было принято решение о строительстве сети новых линий с радиальной структурой. За исключением коротких участков со смешанным сообщением, сеть предназначена исключительно для высокоскоростного движения, поэтому от использования напольных сигналов отказались. Вместе с тем высокоскоростные поезда заходят на сеть обычных линий, где взаимодействуют с системой сигнализации как обычные поезда.

Для высокоскоростных линий была разработана система локомотивной сигнализации TVM 300. В отношении передачи информации и процессов торможения она очень похожа на японскую систему, однако за управление торможением отвечает машинист, действия которого контролируют технические средства. Каждой рельсовой цепи соответствует один блок-участок, поэтому в пределах него передается и отображается одно сигнальное

показание. В итоге формируется ступенчатая кривая контроля скорости при торможении, охраннный отрезок соответствует длине всего следующего блок-участка (рис. 3).

Длины блок-участков адаптированы к параметрам уклонов, чтобы создать одинаковые условия для торможения поездов. Поперечное включение конденсаторов позволило использовать рельсовые цепи длиной до 3000 м. Анализ состояния маршрута и генерация команд на движение осуществляются централизованно. Предусмотрена возможность переключения направления движения для полноценной сигнализации при движении по неправильному пути. Контрольная скорость превышает допустимую на 10–15 км/ч.

В кабине машиниста отображаются преимущественно сигналы двух видов: предупредительные (A), которые регламентируют скорость на границе со следующим блок-участком, и исполняемые (E), которые устанавливают разрешенную в данный момент скорость. Оповестительный сигнал (300V) (см. рис. 3) заменяет первый предупредительный сигнал при световой сигнализации по дальности его видимости машинистом.

Большинство ответвлений спроектированы таким образом, что укладываются в эти градации скорости. Для других ответвлений, а также для специальных случаев (например, проезд обнаруженного излома рельса) введена дополнительная ступень скорости (80 км/ч).

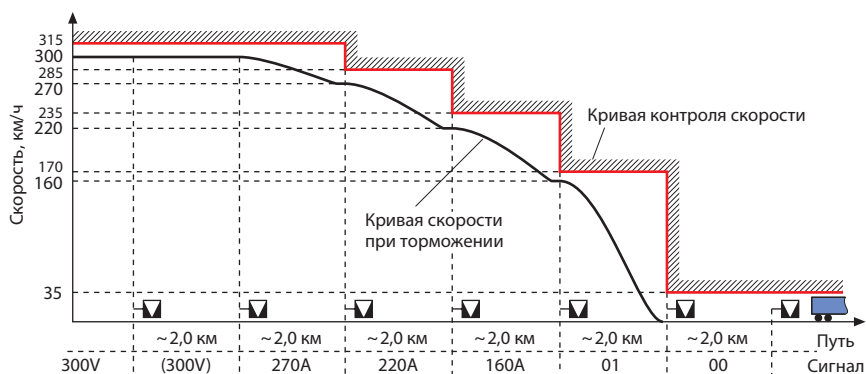


Рис. 3. Контроль скорости при торможении в системе TVM 300 (на примере высокоскоростной линии TGV Atlantique)

Здесь также на каждом пути попеременно используются две разные несущие частоты. Полезная информация передается посредством частотной модуляции, позволяющей получить в системе TVM 300 18 разных кодов сообщений.

Дополнительно при помощи коротких шлейфов возможна точечная передача информации, в частности:

- о начале и конце зоны действия системы сигнализации для высокоскоростного движения;
- о смене пути;
- о разнице между местами обязательной и пермиссивной остановки;
- о включении и выключении тягового тока, а также поднятии и опускании токоприемника.

В качестве резервного уровня предусмотрено только движение поездов вслед по блок-участкам с неработоспособной системой сигнализации. Для повышения эксплуатационной готовности предусмотрено резервирование бортовых устройств.

Дальнейшее развитие происходило примерно по тому же пути, что и на железных дорогах Японии. Более новая система TVM 430 используется на некоторых линиях, в том числе на линии TGV Est сов-

местно с системой ETCS уровня 2. В отличие от современной японской АЛС с цифровой передачей информации данные о линии размещены на распорядительном посту TVM 430. С пути на поезд передаются цифровые 27-разрядные сообщения. Однако торможение, как и прежде, осуществляется ступенями 300 – 270 – 230 – 170 – 0 км/ч. Благодаря передаче данных о длинах блок-участков и уклонах кривая торможения лучше адаптирована к имеющимся на блок-участке условиям и потому не имеет более каскадной формы. Контрольная кривая в большей мере приближена к реальной кривой скорости при торможении, и блок-участки стали короче по сравнению с TVM 300. Это позволяет полнее использовать пропускную способность линии.

Поезда, оборудованные системой TVM 430, могут обращаться по линиям с аппаратурой системы TVM 300.

Особое положение занимает тоннель под Ла-Маншем, соединяющий Францию и Великобританию. В нем использована система сигнализации, в значительной мере идентичная TVM 430, однако максимально допустимая скорость в тоннеле составляет 160 км/ч.

Италия (система ВАСС)

В Италии система автоблокировки ВАСС была адаптирована для линий со смешанным движением высокоскоростных и обычных поездов. В традиционной системе автоблокировки аппаратура каждой сигнальной точки передает свое показание по рельсовой цепи против направления движения, чтобы предыдущая сигнальная точка могла учесть его при формировании своего показания. Кодирование рельсовых цепей осуществляется посредством импульсов, несущая частота составляет 50 Гц. Если на блок-участке находится поезд, то сигнальная точка не получает сигнал из рельсовой цепи и реагирует на отсутствие кода выдачей запрещающего показания. Таким образом реализуется принцип защиты от опасных отказов. Длина рельсовых цепей на перегонах составляет в среднем 1350 м, при большей длине происходит нежелательное увеличение времени хода поездов.

Система была дополнена локомотивной сигнализацией, при которой бортовое устройство принимает сигналы из рельсовых цепей и оценивает их. За счет этого на поезде можно получить информацию о состоянии двух рельсовых цепей и

Таблица 1

Сигнализация в системе ВАСС с девятью и четырьмя кодами

Код	Модуляция несущей частоты 50 Гц	Модуляция несущей частоты 178 Гц	Показание на пульте машиниста		
			Традиционная сигнализация	Сигнализация для высокоскоростного движения	
270**	270	120	—	Свободны четыре блок-участка (v_{max})	
270*	270	75	—	Свободны три блок-участка	
270	270	—	●	Свободны два блок-участка	
180*	180	75	—	Ожидать снижения скорости до 100/130 км/ч	
180	180	—	●	Свободен один блок-участок	
120**	120	180	—	130 км/ч	
120*	120	75	—	100 км/ч	
120	120	—	●	30/60 км/ч	
75	75	—	●	Остановка	
АС	Нет кода	—	—	Занятый путь	

длине доступного тормозного пути. Поезда, оборудованные такой АЛСН, могут курсировать по некоторым реконструированным линиям со скоростью до 200 км/ч, в то время как скорость обычных поездов ограничена 150 км/ч.

На новой линии Рим — Флоренция наряду с несущей частотой 50 Гц введена вторая несущая 178 Гц, которая также подвергается импульсному кодированию. Передаваемый на этой частоте код позволяет пересчитывать сигнальные показания, транслируемые на несущей частоте 50 Гц, в более разрешающие (табл. 1). Трансляция девяти кодов вместо четырех удлинняет доступный тормозной путь до четырех рельсовых цепей и делает возможным проследование ответвлений с более высокой скоростью.

В отличие от французской системы TVM здесь блок-участок охватывает примерно четыре-пять рельсовых цепей. На границах блок-участков установлены напольные светофоры.

Сигнальные показания отображаются на пульте управления машиниста. Одновременно по показаниям сигналов и с учетом стандартной длины рельсовых цепей 1350 м бортовое устройство рассчитывает кривую контрольной скорости, при превышении значений которой включается принудительное торможение.

В качестве резервных уровней используются:

- при отказе только оборудования, отвечающего за трансляцию кода на частоте 178 Гц, — сигнализация с использованием четырех кодов;
- напольные сигналы;
- движение поездов вслед.

Система обладает обратной совместимостью в полном объеме: обычные поезда, не способные принимать кодовые сигналы на частоте 178 Гц, следуют только по показаниям сигналов, транслируемых на несущей частоте 50 Гц, с соответствующим ограничением скорости. То же касается высокоскоростных

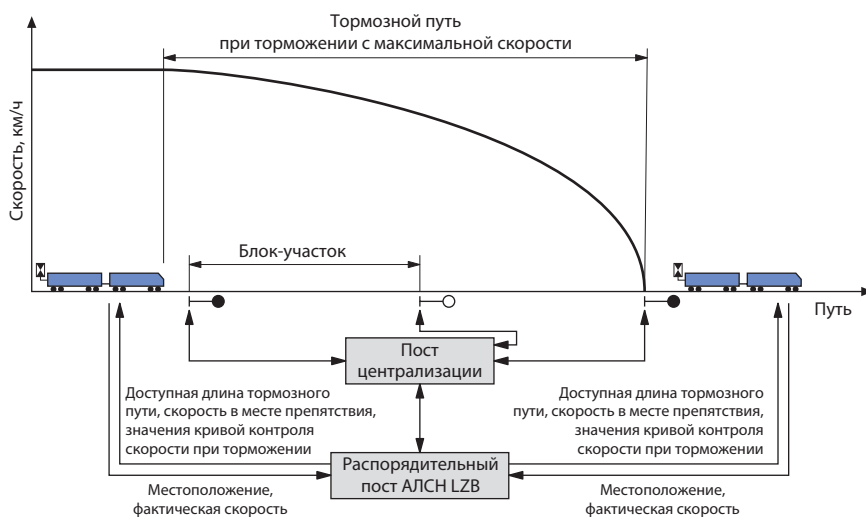


Рис. 4. Управление торможением в системе LZB

поездов, следующих по обычным линиям, где не предусмотрено кодирование на частоте 178 Гц.

Германия (система LZB)

В Германии, как и в Италии, организовано смешанное движение высокоскоростных и обычных поездов. Это требует двойного оснащения устройствами сигнализации высокоскоростных поездов, а также новых и реконструированных линий, рассчитанных на скорость более 160 км/ч. Традиционные средства светофорной сигнализации и точечной АЛС могут использоваться на случай нарушений в качестве резервного уровня для высокоскоростных поездов с сопутствующими ограничениями скорости.

В системе LZB, в отличие от рассмотренных выше систем АЛСН, для обмена информацией между поездом и напольными устройствами служит кабельный индуктивный шлейф. Ключевую роль в ней играет распорядительный пост LZB, в котором хранятся данные об участке и который получает от систем централизации данные о свободных блок-участках и положении стрелок, а от поезда — информацию о его текущем местоположении и тормозных свойствах. На основе этих сведений диспетчерский центр рассчитывает расстояние до следующего места изменения скорости (рис. 4). Он передает

через индуктивный шлейф на поезд, в частности, следующие данные:

- текущее значение максимально допустимой скорости на участке;
- расстояние до препятствия;
- значение скорости, которая должна поддерживаться начиная с места препятствия (остановка или более низкая скорость);
- значения кривой контроля скорости при торможении;
- величины уклонов на участке.

На основе этих сведений бортовое устройство рассчитывает заданную скорость и отображает ее в кабине машиниста. Соблюдение заданной скорости контролируется техническими средствами. Машинист может также выбрать режим автоматического регулирования скорости.

Уложенный в пути кабельный шлейф используется в качестве стационарной антенны. Бортовая антенна, расположенная над продольной осью пути, взаимодействует с частью кабеля, уложенной в середине междурельсового пространства. Другая часть кабельного шлейфа проходит в пазухе между головкой и подошвой рельса. Через каждые 100 м провода шлейфа скрещиваются, в результате чего вектор напряженности излучаемого электромагнитного поля поворачивается на 180°. Это позволяет определять местоположение бортовой антенны в пределах каждых 100 м. Между точ-

ками скрещения проводов индуктивного шлейфа пройденный путь определяется по показаниям одометра с точностью 12,5 м.

Свободность пути контролируется при этом системами централизации посредством рельсовых цепей или счетчиков осей.

Ранее в системе LZB использовались шлейфы длиной 12,7 км. В настоящее время уложены исключительно короткие шлейфы длиной 300 м каждый, что позволяет минимизировать последствия повреждений кабеля. Система продолжает работать при отказе одного 300-метрового шлейфа, что способствует увеличению ее эксплуатационной готовности.

Наряду с германскими новыми и реконструированными линиями система LZB используется в Австрии (линия Зальцбург — Вена) и Испании (линия Мадрид — Севилья).

Другие страны

Республика Корея. На южнокорейской высокоскоростной линии применяется французская система TVM 430. Система АЛСН, средства сигнализации на пульте машиниста и центр управления аналогичны применяемым на французской линии TGV Nord. Трасса линии проектировалась в расчете на скорость 350 км/ч, максимально допустимая скорость движения поездов семейства TGV составляет 300 км/ч. Линия работает с 2004 г.

Испания. На высокоскоростной линии Мадрид — Севилья, открытой в 1992 г., работает немецкая система LZB. При этом используют поезда семейства TGV.

США. С 1990-х годов в северо-восточном коридоре Бостон — Нью-Йорк — Вашингтон курсирует высокоскоростной поезд Acela. Участки, по которым обращается Acela, в рамках проекта внедрения диспетчерской централизации оборудованы автоблокировкой и АЛСН на базе рельсовых цепей. На одном из участков за счет введения второй несущей частоты (как в Италии) число сигнальных показаний увеличено с четырех до девяти, а значит, возможно движение с более высокой скоростью. Дополнительные путевые приемопередатчики передают на поезд данные о характеристиках участка.

Швеция. Эта страна представляет собой особый случай с точки зрения высокоскоростного движения. На реконструированной линии Стокгольм — Гётеборг скорость движения составляет до 250 км/ч, однако по оснащению средствами СЦБ линию можно отнести к обычным магистралям, адаптированным для скоростного движения. Несмотря на отображение сигнальных показаний в кабине машиниста, передача с пути осуществляется точно через приемопередатчики. Кроме того, на линии имеются переезды в одном уровне.

Система ETCS

Система ETCS уровня 2 является новым европейским стандартом для управления движением высокоскоростных поездов. По функциональности она напоминает немецкую систему LZB, однако вместо кабельного шлейфа для передачи данных используется радиоканал (подсистема Euroradio). Поезда определя-

ют свое местоположение по сигналам от путевых приемопередатчиков (подсистема Eurobalise), а в промежутках между ними — по показаниям импульсных колесных датчиков, радаров и акселерометров. Бортовое устройство выполняет более значительный объем функций по сравнению с системой LZB. Так, бортовое устройство самостоятельно рассчитывает кривую контроля скорости при торможении. Сигнальные показания отображаются в кабине машиниста, поэтому от напольных светофоров можно отказаться. ETCS уровня 2 может внедряться одновременно с другими системами сигнализации. Для обнаружения подвижного состава системы централизации по-прежнему используют традиционные устройства контроля свободы пути (рис. 5).

В настоящее время систему ETCS уровня 2 внедряют на ряде высокоскоростных линий в Европе. Пока неясно, каковы перспективы применения этой системы на высокоскоростных железных дорогах вне европейского континента.

Система ETCS уровня 3 является более развитым вариантом ETCS уровня 2, при котором можно полностью отказаться от напольных устройств контроля свободы пути. Однако для ее использования необходимо решить проблему надежного контроля полноты состава всех поездов, курсирующих по линии. Система предусматривает тесную интеграцию центров блокировки на базе радиосвязи RBC и систем централизации. В настоящее время спецификации на ETCS уровня 3 еще не готовы полностью.

Заключение

В табл. 2 обобщены рассмотренные выше основные свойства систем сигнализации для высокоскоростного движения. Наиболее ранние системы работают преимущественно с рельсовыми цепями и аналоговой передачей информации, причем малый объем передаваемой информации влечет

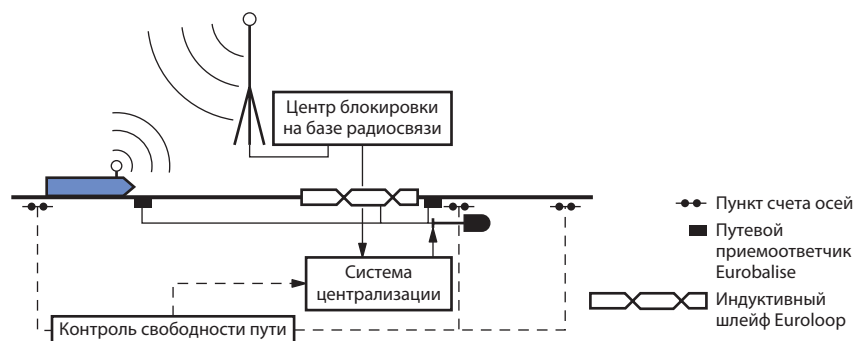


Рис. 5. Конфигурация системы ETCS уровня 2

Таблица 2

Сопоставление характеристик систем сигнализации для высокоскоростного движения

Система	Страна (регион) применения	Железнодорожная сеть	Способ эксплуатации	Напольные сигналы	Среда передачи	Вид передаваемых сигналов	Данные об участке пути	Управление движением поезда	Кривая контрольной (заданной) скорости при торможении
Старая японская АЛСН	Япония	Автономная (новые линии)	Только высокоскоростное движение	Только маневровые	Рельсовые цепи	Аналоговый	Одинаковая длина блок-участков	Полуавтоматическое	Ступенчатая
Новая японская цифровая АЛСН						Цифровой	Хранятся на поезде	Ручное под контролем техники/автоматическое	Непрерывная
TVM 300	Франция с отдельными линиями в Бельгию и тоннель под Ла-Маншем, Республика Корея	Новые линии	Преимущественно высокоскоростное движение, выход поездов на обычные линии	На некоторых участках, на других — только в качестве пригласительных сигналов в местах разветвления путей	Рельсовые цепи	Аналоговый	Адаптация длин блок-участков	Ручное под контролем техники	Ступенчатая
TVM 430						Цифровой	На участке (централизованно)		С промежуточными значениями скорости
ВАСС	Италия	Некоторые новые линии	Смешанное движение	Да	Рельсовые цепи	Аналоговый	Одинаковая длина блок-участков	Ручное под контролем техники	С промежуточными значениями скорости
LZB	Германия, Австрия, Испания	Новые и реконструированные линии	Смешанное движение	Частично сохранены (в большинстве случаев с удлиненными блок-участками)	Кабельный шлейф	Цифровой	На участке (централизованно)	Ручное под контролем техники/автоматическое	Непрерывная
ETCS уровня 2	Европа, частично Восточная Азия	Новые и реконструированные линии	Смешанное движение	Частично сохранены	Радиосвязь	Цифровой	На участке (централизованно)	Ручное под контролем техники/автоматическое	Непрерывная

за собой необходимость в уравнивании или адаптации (с учетом уклонов) длин блок-участков, что снижает гибкость применения АЛСН и приводит к формированию каскадных кривых контроля скорости при торможении. В более новых системах наблюдается тенденция к цифровой передаче информации по рельсовым цепям, кабельным шлейфам или радиоканалу. При этом в большинстве систем формируется непрерывная кривая скорости вплоть до места препятствия, во французской системе TVM 430 используются жестко заданные значения промежуточных скоростей на границах блок-участков, однако и здесь минимизируется ступенчатость кривой.

В будущем на новых линиях в Европе будет преимущественно использоваться система ETCS в со-

четании (при необходимости) с более старыми национальными системами. Вместе с тем старые системы будут работать предположительно еще в течение нескольких десятилетий, несмотря на то, что это будет отрицательно сказываться на эксплуатационной совместимости высокоскоростных железнодорожных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Theeg G., Baumgartner S., Maschek U. Hochgeschwindigkeitssignalisierung im internationalen Vergleich. Signal+Draht, 2006, Heft 5.
2. Poré J. High Speed Line Signalling System. Bailey, Colin (Hrsg.): European Railway Signalling. A & C Black, London 1995.
3. Internationaler Eisenbahnverband: UIC-Kodex 734 E — Anpassung der Sicherungsanlagen an die Anforderungen der hohen Geschwindigkeiten. 2. Ausgabe, 2004.
4. Yamanouchi S. Safety and ATC of Shinkansen. Japanese Railway Engineering, 1979, Heft 2.

5. Somiya H., Ito J. Train Control System of Tokaido Shinkansen in the 21st Century. Japanese Railway Engineering, 2000.

6. Guilloux J.-P. Das Signalsystem der Hochgeschwindigkeitsstrecken in Frankreich. Signal+Draht, 1990, Heft 1/2.

7. Rétvieau R. La signalisation ferroviaire. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1987.

8. Bianchi C. Die Führerraumsignalisierung auf der Direttissima Rom-Florenz. Signal+Draht, 1985 Heft 1+2.

9. Wenzel B. Vergleich des Aufbaus, der Funktion und der Datenübertragungs- und Verarbeitungsvorgänge zwischen LZB und CIR-ELKE und ETCS Level 2. Seminararbeit an der TU Dresden, 2006.

10. Hagelin G., Stridh A. Signalisierung für höhere Geschwindigkeiten — eine Fallstudie. Signal+Draht, 1997, Heft 4.

11. U.S. Department of Transportation: Federal Railroad Administration (FRA): Railroad Safety Advisory Committee (RSAC): Positive Train Control (PTC). http://rsac.fra.dot.gov/ASP/PTC_report.asp, Januar 2006.