

Интеграция ETCS и системы централизации в программе SmartRail 4.0

Отраслевая программа SmartRail 4.0 преследует цель значительного повышения экономической эффективности и производительности железных дорог Швейцарии, инфраструктура которых относится к числу наиболее интенсивно используемых в Европе. Для этого предусмотрено объединить в единую современную и открытую архитектуру все релевантные прорывные технологии, такие как европейская система управления движением поездов ETCS уровня 2 и выше, безопасное определение местоположения поезда бортовыми средствами, радиосвязь нового поколения FRMCS, автоматический пересчет оперативного графика движения, автоведение и др. Одна из шести подпрограмм отраслевой программы SmartRail 4.0 носит название ETCS Stellwerk, или ETCS Interlocking, и предусматривает создание системы микропроцессорной централизации (МПЦ) нового поколения, которая позволит сократить на величину до 70% инвестиционные расходы устройства СЦБ и управления движением поездов.

Программа SmartRail 4.0 была запущена в начале 2017 г. и изначально разрабатывалась по заданию Федеральных железных дорог Швейцарии (SBB), однако вскоре к ней присоединились и другие железнодорожные компании страны, в том числе BLS, Südostbahn и Rhätische Bahn, в результате чего она превратилась в национальную отраслевую программу.

Необходимость в форсированной разработке программы SmartRail 4.0 обусловлена в том числе тем, что срок службы многих систем, связанных с обеспечением безопасности и управлением движением поездов (в том числе систем централизации, напольного оборудования, цифровой радиосвязи GSM-R), близок к завершению. Переход к цифровым технологиям открывает новые возможности для повышения эффективности работы железных дорог и пересмотра с целью рационализации целого ряда

устоявшихся подходов к управлению и обеспечению безопасности движения поездов.

Исходная ситуация

В условиях растущей конкуренции с другими видами транспорта возникает безусловная необходимость в снижении издержек железных дорог. Вместе с тем в последние 20 лет стоимость как стационарного, так и бортового оборудования систем сигнализации и управления движением поездов непрерывно росла.

Новые технологии влекут за собой сокращение длительности жизненного цикла систем и потребность в более частом внесении изменений в алгоритмы их работы, а необходимость в объединении отдельных систем в сети обостряет проблему совместимости компонентов и приводит к дальнейшему сужению круга постав-

щиков технических решений. Кроме того, в последние 20 лет резко увеличились затраты на сертификацию систем и доказательство их безопасности на всех этапах жизненного цикла, значительно превысив расходы на разработку и проектирование в рамках конкретных проектов.

Объем функциональных требований к архитектуре комплекса систем ЖАТ непрерывно увеличивается, а вместе с ним растут число компонентов и уровень их сетевого взаимодействия. Европейская система управления движением поездов ETCS, которая принята в качестве стандартной на железнодорожной сети стран Евросоюза, также характеризуется растущими расходами на реализацию проектов вследствие высокого спроса. При этом ситуацию с развертыванием ETCS усложняет отсутствие у имеющихся продуктов достаточно высокого уровня автоматизации в отношении процессов, имеющих место на протяжении жизненного цикла.

ETCS сама по себе является стандартизированным средством коммуникации между другими железнодорожными системами и не предъявляет каких-либо дополнительных требований к ним. Высокая стоимость ее внедрения обусловлена прежде всего недостаточной зрелостью имеющихся продуктов и необходимостью интеграции ETCS в комплексы ЖАТ с устаревшей архитектурой, в которую многократно вносились локальные изменения. При существующих условиях внедре-

ние ETCS приводит к усложнению имеющегося комплекса устройств. Во многих случаях развертывание ETCS не приводит к росту пропускной способности и не дает ожидаемого экономического эффекта (см. отчет Европейской счетной палаты, «ЖДМ», 2018, № 2, с. 70–78).

Переход к новой архитектуре комплекса систем обеспечения безопасности и управления движением поездов, изначально ориентированной на ETCS, позволил бы значительно улучшить ситуацию в отрасли.

Возможности оптимизации

Для оптимального управления перевозочным процессом достаточно минимального количества напольного оборудования – преимущественно устройств управления стрелками и переездами. Уже существующие технологии позволяют отказаться практически от всех остальных напольных устройств в пользу цифровых решений. Замена до 70% напольных устройств (общее число объектов управления на сети SBB составляет 115 тыс. ед.) бортовыми системами на нескольких тысячах поездов приведет к существенному росту экономической эффективности железных дорог. Имеющиеся базовые технологии еще не реализованы в виде достаточно зрелых систем, поэтому необходимо целенаправленно и активно стимулировать их разработку. После внедрения таких систем ежегодные расходы на напольные устройства СЦБ могут быть уменьшены на величину до 70% при сравнительно небольших затратах на требуемое новое бортовое оборудование – при условии, что для этого оборудования будет выбрана рациональная архитектура в отношении возможности дальнейшего обновления, открытости, стандартизации и подтверждения безопасности в сочетании с оптимизированной методикой за-

купок. Сейчас же SBB тратят ежегодно сотни миллионов евро на обновление, содержание и модернизацию напольных и бортовых устройств сигнализации.

В целом отраслевая программа SmartRail 4.0 предусматривает в качестве целевых показателей снижение ежегодных эксплуатационных расходов примерно на треть, рост пропускной способности инфраструктуры на 15–30% и повышение уровня безопасности в первую очередь при выполнении маневров и в местах проведения путевых работ.

Функциональные блоки SmartRail 4.0

Основными функциональными блоками в архитектуре комплекса средств управления и обеспечения безопасности движения поездов, отвечающего требованиям программы SmartRail 4.0, являются:

- **путевая инфраструктура** (рельсовый путь, стрелки, переезды и т.п.), которая упрощается за счет отказа от напольных светофоров, сигнальных знаков и большей части напольных устройств контроля свободы пути;

- **система автоведения (АТО)**, которая будет развиваться поэтапно (в настоящее время реализована выдача рекомендаций о режиме управления поездом). Ближайшей целью является реализация режима GoA2 – автоматическое управление движением поезда, при котором машинист отвечает за безопасность. Изучается возможность полной автоматизации управления поездом (GoA4) для определенных эксплуатационных сценариев. Более точное управление скоростью движения поездов при использовании АТО позволяет повысить пропускную способность, точность движения и энергоэффективность перевозок;

- **высокоточное определение местоположения поездов и кон-**

троль их полносоставности бортовыми средствами (позволяет повысить пропускную способность за счет перехода к подвижным блокам участкам и отказаться от напольных устройств контроля свободы пути);

- **высокопроизводительная система радиосвязи.** Программа предусматривает переход от устаревающей системы GSM-R к радиосвязи нового поколения FRMCS;

- **система централизации нового поколения** с интегрированным центром радиоблокировки RBC;

- **система автоматизированного диспетчерского управления (TMS)**, которая отвечает за планирование перевозочного процесса (на всех временных горизонтах) и управление им в максимально автоматизированном режиме. При отклонениях от расписания автоматически формируется новый оптимизированный график;

- **модульная архитектура бортового оборудования ETCS** (способствует снижению расходов и создает условия для внедрения инновационных технических решений).

Роль МПЦ и центров радиоблокировки

МПЦ в сочетании с центром радиоблокировки (RBC) занимает ключевое место в архитектуре комплекса средств сигнализации, играя роль операционной системы в среде, направленной на автоматизацию работы железной дороги. Именно МПЦ решает, каким образом должны сочетаться элементы инфраструктуры и поезда, и в значительной мере определяет расходы на требуемое оборудование. Системы централизации также предоставляют информацию о поездной ситуации для вышестоящего диспетчерского управления (система TMS), а их исполнение определяет качество и точность этой информации. Таким образом, они

имеют решающее значение с точки зрения автоматизации перевозочного процесса.

Алгоритмы, реализующие логику централизации, в значительной мере определяют эффективное использование ресурсов железной дороги. На стоимость всего комплекса устройств обеспечения безопасности и управления движением поездов позитивно влияют такие свойства системы централизации, как применение открытых интерфейсов, зависимость от применяемого аппаратного обеспечения, минимизация функций, для которых необходимо обеспечить уровень безопасности SIL 4, возможность учета местных условий путем задания параметров, модульный подход при выполнении процедур допуска к эксплуатации отдельных компонентов (во избежание комплексных проверок), функциональная независимость алгоритмов обеспечения безопасности от сценариев эксплуатационного процесса и конфигурации станций и участков.

С учетом всех перечисленных аспектов в отраслевой программе

SmartRail 4.0 были сформулированы требования к концепции МПЦ, увязанной с системой ETCS.

Компактная архитектура МПЦ в расчете на бессветофорную сигнализацию

При отказе от напольных светофоров архитектура системы централизации немедленно упрощается, поскольку происходит переход к управлению поездами напрямую и в реальном времени. Безопасность может при этом оцениваться по таким универсальным показателям, как расстояние до препятствия и скорость, без использования сложных зависимостей, учитывающих местные условия, или сотен дополнительных функций, требующих в каждом случае отдельного программирования. Точно так же упрощаются наиболее сложные функции систем СЦБ, связанные с реагированием на нарушения и отказы. Опираясь на оптимизированную архитектуру с достаточной избыточностью и готовностью, можно устранить проблему, создающую основные рис-

ки для эксплуатационного процесса на железной дороге, а именно недостаток информации, возникающий прежде всего при сбоях в работе технических средств.

Слияние МПЦ и RBC

Систему централизации и центр радиоблокировки целесообразно объединить в единый функциональный комплекс – ETCS-МПЦ, что позволит избежать дублирования на системном уровне и при проектировании, избавиться от распределенных алгоритмов обеспечения безопасности, подразумевающих проверку информации о состоянии отдельных систем, а также убрать ненужные возможности тонкой настройки бортовых средств ETCS для отображения сигнальных показаний в кабине машиниста (рис. 1).

Рис. 1. Архитектура комплекса средств управления и обеспечения безопасности движения поездов. Логика централизации ориентирована на бессветофорную систему ETCS



Новая концепция предусматривает отказ от привычного в настоящее время двойственного администрирования маршрутов (ими оперирует система централизации) и разрешений на движение (их генерирует центр радиоблокировки). В результате образуется только одна стационарная система обеспечения безопасности, реализующая функции МПЦ и ETCS, которая управляет разрешениями на движение с заданной топологией и перед их передачей на поезд проверяет и замыкает соответствующие элементы маршрута.

Ядро уровня безопасности SIL 4 и оперативная оценка риска

Передача всех функций, не связанных с обеспечением безопасности, в вышестоящую систему диспетчерского управления TMS дает возможность создать универсальный и независимый от эксплуатационного процесса уровень, который должен соответствовать требованиям SIL 4. Таким образом, система централизации выполняет в первую очередь универсальную функцию проверки запросов TMS, таких как продление зоны действия разрешения на движение или установка стрелки в требуемое положение. Запросы TMS признаются допустимыми, если состояние, к которому они приводят, оценивается как безопасное. Управление установкой маршрута также осуществляется в системе TMS, задания которой исполняются через ETCS-МПЦ. Функционально в ETCS-МПЦ сохраняется только проверка пригодности маршрута для выдачи разрешения на движение.

Частью универсальной функции проверки является основанная на геометрических расчетах оценка защищенности разрешения на движение и опасных зон (подобно ограждению маршрутов), а также проверка расстоя-

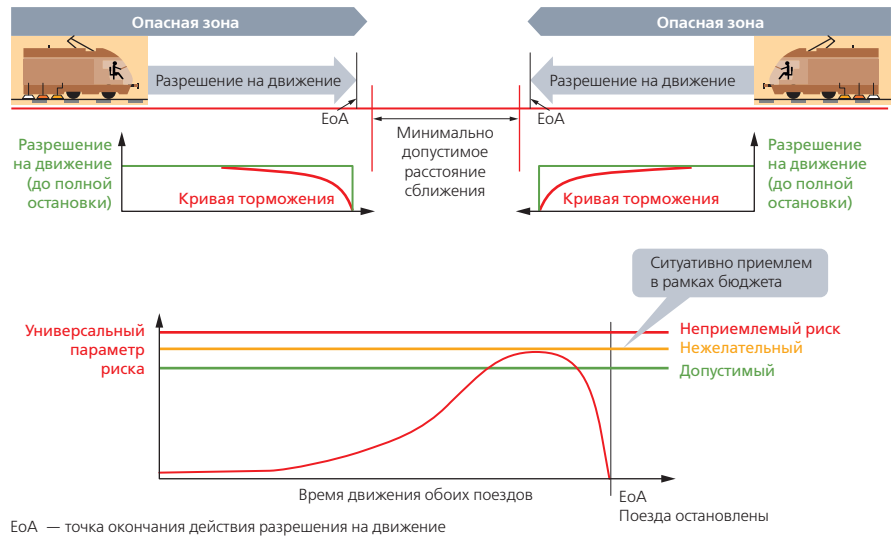


Рис. 2. Проверка безопасности запроса от TMS посредством универсальной функции проверки рисков

ний до препятствий (параметры этой универсальной проверки могут программироваться), включая защитный участок за точкой окончания действия разрешения на движение (рис. 2). Универсальный алгоритм оценки расстояния до препятствия в зависимости от времени основан на парной оценке двух топологически соседних (т.е. соединенных отрезком рельсового пути) объектов риска (таких как поезда, локализуемые препятствия, закрытые районы путевого развития, локализуемые работники на путях и т.п.) и их параметров, влияющих на безопасность (удаленность, скорость, тип объекта, уклон, защитные устройства на пути и т.п.).

Универсальная функция оперативной проверки рисков позволяет одинаково безопасно использовать любое путевое развитие, в том числе старые и неоптимально построенные станции. Потребность в изменении их путевого развития больше не будет обусловлена сообщениями безопасности, а может быть вызвана только стремлением повысить пропускную способность. Благодаря этому убирается

один из факторов, определяющих потребность в инвестициях.

Еще одним важным преимуществом такой функции является сокращение объема работ по доказательству безопасности уже сертифицированной системы при ее обновлении, внесении изменений или внедрении на конкретном объекте. Достаточно иметь точные данные о топологии зоны действия и проверить исправность системы. Благодаря этому снижается стоимость проектирования и ускоряется ввод систем в эксплуатацию.

Передача максимального числа функций системе TMS позволяет не только сократить на 20–30% объем дорогостоящего ПО системы обеспечения безопасности, но и полностью перенести в TMS отображение эксплуатационного процесса. Универсальная функция проверки безопасности системы ETCS-МПЦ одинаково работает при любых вариациях эксплуатационного процесса и любых его состояниях. Таким образом, ETCS-МПЦ может работать с одинаковой функциональностью в любой стране и при любой топологии зоны действия.

Математические параметры универсальной функции оперативной оценки рисков допускают конфигурирование, позволяющее реализовать разные уровни без-

опасности в расчете на разные виды перевозок и на конкретные регламентирующие документы. Таким образом, систему ETCS-МПЦ можно экономически эффективно использовать как при высокой интенсивности движения, так и на второстепенных линиях. Допустимая плотность движения определяется при этом только напольным или бортовым оборудованием — система централизации остается при этом одной и той же. Параметры функции оценки рисков могут быть одновременно изменены для всей сети или избирательно для поездов определенных категорий (например, перевозящих опасные грузы), поскольку постовое оборудование ETCS-МПЦ располагается в защищенных центрах обработки данных.

В этих условиях TMS может работать как IT-система, обеспечивающая точное оптимизированное управление перевозочным процессом. Она может принимать решения, руководствуясь разными критериями, например делая выбор в пользу движения с более высокой скоростью или с меньшей защитой от боковых наездов и более низкой скоростью. В зависимости от текущей поездной ситуации TMS может использоваться для выдачи

часто обновляемых разрешений на движение, характеризующихся малой дальностью действия и сравнительно невысокой разрешенной скоростью, или назначать отдельным приоритетным поездам разрешения на движение с большей дальностью действия и более высокой скоростью. Имитационное моделирование показало, что такое точное адаптированное регулирование значительно повышает пропускную способность железнодорожных узлов и снижает негативное влияние на нее разноскоростных режимов движения. Без соответствующей функциональности системы централизации нельзя достаточно эффективно использовать такие перспективные системы, как ETCS уровня 3 (короткие межпоездные интервалы), автоведение (поддержание заданной скорости) и система точного определения местоположения поезда.

Аппаратная абстракция, защита инвестиций и обратная совместимость

Более 80% инвестиций в сфере ЖАТ приходится на напольное оборудование. Для защиты и оптимального использования этих инвестиций систему централизации

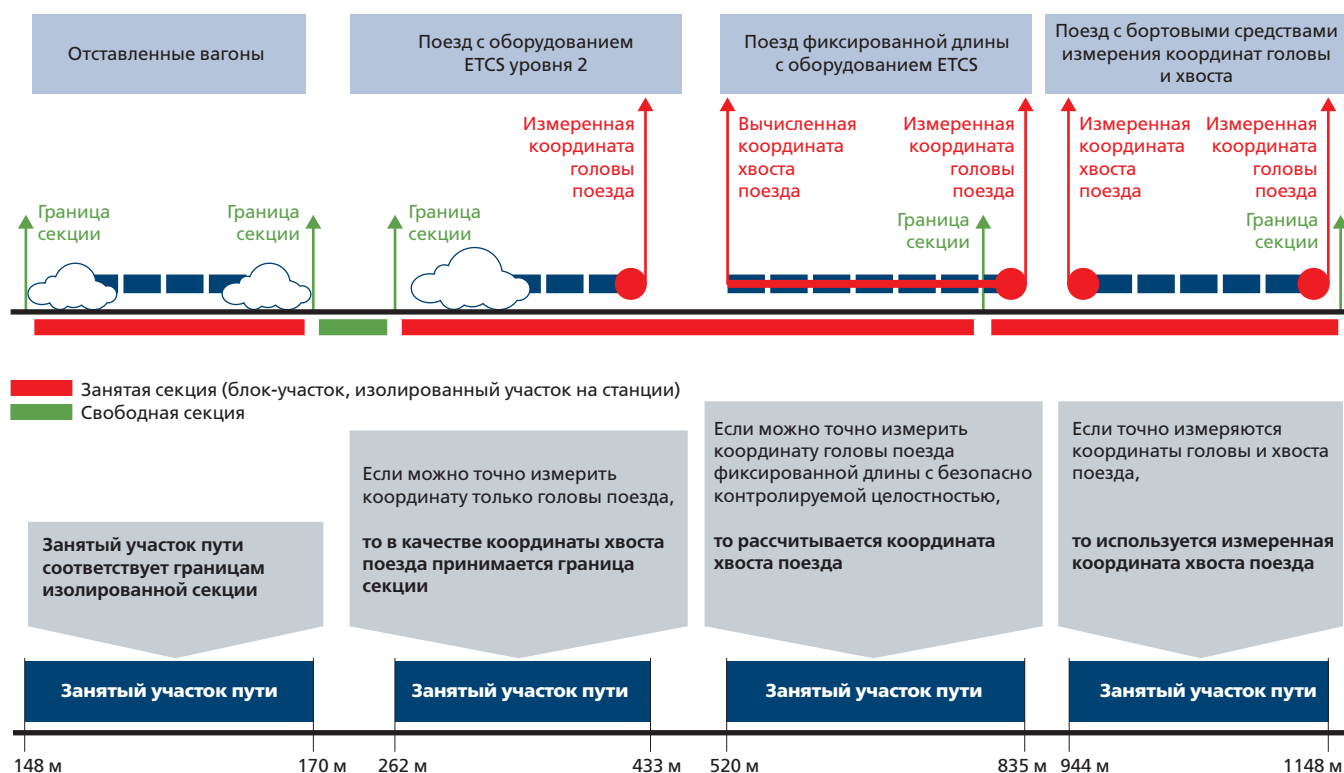
должен отличать ряд специфических свойств, которые в традиционной технике отсутствуют.

Наиболее важным свойством является аппаратная абстракция. Как и в любой современной операционной системе, специфические параметры исполнительных устройств (на железной дороге такими устройствами являются поезд и напольное оборудование системы централизации) не должны обрабатываться логикой централизации и не должны требовать специализированной аппаратной реализации в системе. Необходимо их абстрактное и универсальное описание и обработка. В противном случае при каждой смене технологий на уровне напольного оборудования требуется внесение изменений в логику централизации и повторное выполнение процедуры доказательства безопасности в полном объеме. В связи с этим важно отделить логику централизации от исполнительного оборудования при помощи слоя аппаратной абстракции (hardware abstraction layer, HAL). Логике централизации известны только необходимые для вычисления зависимостей свойства и состояния напольных устройств. Так, поверх слоя HAL для реализации логики централизации существенно важно знать, допустимо ли движение по отдельным элементам инфраструктуры и с какими ограничениями, но не имеет значения, что это за элементы — стрелки или переезды. Должны быть известны только их свойства.

Точно так же управление и обмен информацией с объектными контроллерами должны основываться на стандартных протоколах, которые допускали бы простую замену объектного контроллера и напольного устройства на другое оборудование, для которого получен



Рис. 3. Гибкое использование датчиков разных видов в ETCS-МПЦ



свой допуск к эксплуатации. Такие высококачественные контекстно-зависимые протоколы должны обеспечивать ситуационную обработку профилей (как это имеет место в протоколах USB или Bluetooth), а также полностью контролировать работу исполнительного устройства на уровне интерфейса в соответствии со спецификацией. Управляющие сигналы, учитывающие аппаратную реализацию напольного оборудования, генерируются только объектным контроллером. При такой архитектуре минимизируется взаимозависимость между постовым и напольным оборудованием в отношении как доказательств безопасности, так и закупок, модернизации и замены компонентов. В конечном счете появится возможность подключать к системе новые компоненты с проведением только небольшого числа тех процедур валидации, которые не поддаются автоматизации.

Слой аппаратной абстракции важен также с точки зрения интегрированного применения раз-

Рис. 4. Наиболее эффективное использование информации от разных датчиков местоположения поезда в переходный период возможно только при задействовании логики централизации, основанной на геометрических расчетах

ных датчиков и автоматической координации исполнительных устройств (таких как все имеющиеся пользовательские интерфейсы машиниста и каналы передачи разрешения на движение). Интегрированное применение разных датчиков предполагает, что, например, занятость пути определяется при помощи сразу нескольких источников информации – в зависимости от оснащенности участка или поезда.

При таком подходе нет необходимости делать выбор в пользу какого-то жестко заданного уровня системы ETCS, предполагающего наличие строго определенного оборудования. Более экономичным и целесообразным с точки зрения перехода от существующих к пер-

спективным системам является непрерывно развивающийся комплекс из датчиков разных видов (рис. 3). Так, в парках отстоя еще долгое время будут сохраняться рельсовые цепи и счетчики осей, на перегонах потребность в них отпадет быстрее благодаря появлению бортовых средств контроля полноразмерности поездов. Возможность использовать показания разных датчиков позволит сократить интервал попутного следования даже при условии, что за поездом, полностью контролирующим свою целостность и местоположение (например, при помощи средств ETCS уровня 3), движется поезд, местоположение которого контролируют счетчики осей (рис. 4).

Важной функциональной особенностью, требуемой для экономически эффективного перехода к бесветофорной ETCS, должна стать способность новых объектных контроллеров обеспечивать подключение одновременно к прежнему и новому постово-

му оборудованию системы централизации. Переключение между режимами управления от прежнего или нового постового оборудования осуществляется при этом дистанционно и позволяет подготовить крупные сегменты железнодорожной сети к переходу на новые системы без необходимости создавать дорогостоящие временные интерфейсы или инвестировать значительные средства в полную замену постового и напольного оборудования.

Сокращение объема напольного оборудования и оптимизация расходов

Сигнализация в кабине машиниста, реализуемая средствами ETCS, позволяет отказаться от поездных светофоров. Предпосылкой для этого является наличие системы централизации, способной обеспечить экономически эффективный переход к этой технологии в масштабе крупных сегментов пути, удобное проектирование и сохранение имеющегося напольного оборудования.

В дальнейшем произойдет также отказ и от маневровых светофоров в пользу сигнализации в кабине машиниста. Для этого необходима система централизации, способная обеспечить безопасность управления маневровой работой по радиоканалу и с использованием альтернативных систем опреде-

ления местоположения подвижных единиц.

Существующие напольные устройства контроля свободности пути и путевые приемопередатчики будут заменены бортовыми системами безопасного определения местоположения поезда, учитывающими топографию путевого развития и контролирующими полносоставность. В связи с этим логика системы централизации должна обладать способностью обрабатывать такую информацию и оперировать разными режимами деградации имеющихся систем определения местоположения поезда, причем во всех возможных комбинациях.

Перспективы

Реализовать программу SmartRail 4.0 предусмотрено в три этапа:

- этап 1 (2017–2019 гг.) – проектирование. Разработка требований к архитектуре и функциям перспективных систем, а также их технико-экономическое обоснование;
- этап 2 (2020–2026 гг.) – тестирование и пилотные проекты. Опробование концепции на одной или нескольких пилотных линиях;
- этап 3 (2027–2038 гг.) – развертывание серийных систем в масштабах сети.

В настоящее время выполняются различные исследования и работы по технико-экономическому обоснованию концепции

ETCS-МПЦ, которые должны быть завершены до конца 2019 г. одновременно с разработкой спецификации и подготовкой к проведению тендеров. Уже имеющиеся предварительные результаты исследований подтверждают возможность реализации рассмотренной системы ETCS-МПЦ.

Предварительные описания концепции и предварительные версии спецификаций системы ETCS-МПЦ и отдельных ее компонентов уже представлены на сайте www.smartrail40.ch вместе с предварительными версиями документов по другим компонентам архитектуры комплексной системы обеспечения безопасности и управления движением поездов нового поколения.

Работы по программе SmartRail 4.0 ведутся в тесном сотрудничестве с железными дорогами соседних стран (в первую очередь Германии и Франции), с промышленностью, а также с участниками европейских инициатив Shift2Rail (поддержка исследований и инноваций в области железнодорожного транспорта, подробнее см. «ЖДМ», 2016, № 8, с. 32–37) и EULYNX (стандартизация интерфейсов МПЦ, подробнее см. «ЖДМ», 2017, № 5, с. 66–70).

Материалы программы SmartRail 4.0 (www.smartrail40.ch); Signail und Draht, 2018, № 10, S. 29–39; Eisenbahntechnische Rundschau, 2018, № 10, S. 53–55.

**Ежедневные новости железных дорог мира,
анонсы и одна статья из свежего номера «ЖДМ»
еще до выхода журнала из типографии.**

Заходите на сайт www.zdmira.com