

Пропускная способность и экономика цифровой железной дороги при трансформации сигнализации и управления поездами

В.П.Куприяновский, Г.В. Суконников, О.Н.Дунаев, Н.О. Федорова, П.В.Куприяновский, Д.Е.Намиот

Аннотация—Эта статья продолжает цикл работ по управлению активами для цифровой экономики и цифровой железной дороги. В работе рассматриваются вопросы, связанные с сигнализацией и управлением поездами в проекте цифровой железной дороги. Проект цифровой железной дороги в Европе начался именно с приема общих стандартов на системы управления и сигнализации. Показана важная роль GSM-R - стандарта радио-телекоммуникаций, который сегодня является основой радио-блоков центров управления движением, и его используют как для передачи данных, так и для голосового общения.

Ключевые слова—цифровая железная дорога, цифровая экономика, сигнализация.

I. ВВЕДЕНИЕ

О буме цифровых трансформаций на железных дорогах мира написано много. В предыдущих публикациях, вслед за всеми, мы назвали весь проект «цифровой железной дорогой» и неоднократно приводили цифры экономических эффектов этой трансформации - 40% увеличения пропускной способности и 30% снижение тарифов на любые перевозки при сохранении и даже увеличении прибыльности железных дорог [1-8,32-34]. Необходимо сказать, что сегодня эти цифры многими странами увеличены до 50% и 50% [33], а многие эффекты, например, экологические [32], или городские еще предстоит подсчитать. Понятно, что эти экономические показатели кардинально меняют очень многое и, в первую очередь, отношение к проекту цифровая железная дорога в России. Это относится к возможностям получения транзитных доходов, логистических построений при перевозке грузов и

пассажиров, включая и международные перевозки. Так, при реализации такого проекта железнодорожный транспорт внезапно становится конкурентоспособным с морским, и это позволяет рассчитывать гораздо более существенные будущие доходы при участии России в новом железнодорожном шелковом пути между Китаем и Европой. Впрочем, таких железнодорожных шелковых путей может быть и много, и не только между Китаем и Европой. Это могут быть цифровые железные дороги между Японией и Европой, или Южной Кореей и Европой или Индией. Все это было и раньше полностью технически реализуемо, но только экономическая целесообразность делает эти проекты реальными. Почти все эти новые цифровые железнодорожные маршруты могут проходить через Россию (и мы хотели бы этого). Но для этого необходимо понимание, как цифровая трансформация железных дорог превращает их в один из хребтов цифровой экономики и, главное, почему происходят такие экономические «землетрясения», и как мы в России можем воспользоваться этими плодами, получив свои цифровые дивиденды.

После указанных выше публикаций, авторы получают много вопросов и пожеланий дать объяснения технических и экономических причин этих изменений в столь традиционной сфере, как железная дорога и того, в какие сроки они могут быть реализованы. Поэтому мы решили подробно остановиться на главных китах этой трансформации — цифровых моделях, сигнализации и управлении на железной дороге, распределенных вычислениях и т. п., которые в совокупности с очень многими изменениями и инновациями привели к таким результатам.

Отметим только, что железная дорога очень взаимосвязанная система, как в своей внутренней организации, так и в своей деятельности. Она давно стала одним из участников международного разделения труда и глобализации и имеет свои закономерности международных отношений. Сегодня много говорят о европейском кризисе и проблемах отношения ЕС и Великобритании. Но, когда британским транспортным чиновникам задали после референдума о брэксите вопрос о его влиянии на работы по цифровой железной

Статья получена 1 февраля 2017.
В.П. Куприяновский - МГУ имени М.В. Ломоносова (email: vpkupriyanovsky@gmail.com).
Г.В. Суконников – ОАО РЖД, (email: sukonnikovgv@center.rzd.ru)
О.Н. Дунаев РСПП (email: oleg.dunaev@mail.ru)
Н.О. Федорова - МИИТ (email: fedorova.n.o@gmail.com).
П.В. Куприяновский ЗАО "Сфера", (email: kuprpavel@yandex.ru)
Д.Е. Намиот - МГУ имени М.В. Ломоносова (email: dnamiot@gmail.com).

дороге и сотрудничестве с ЕС в этой части, то на задавших этот вопрос они посмотрели с большим удивлением, но все-таки ответили вежливо и кратко - «Никакого» и попросили больше таких вопросов им не задавать. Причина этого в том, что цифровая железная дорога - это один из самых ярких и экономически удачных проектов ЕС в преодолении исторических барьеров для создания совсем нового и конкурентоспособного железнодорожного рынка. Проект включает необходимые для этого технические гармонизации норм и правил разных государств, входящих в ЕС, и с этим никто не хочет расставаться.

II. ИСТОРИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО ПРОЕКТА ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.

Для понимания того, как были получены результаты, о которых мы говорили выше, придется объяснить, что такое железнодорожная сигнализация. Железнодорожная сигнализация может быть определена как все системы, используемые для безопасного регулирования движения поездов, по существу для того, чтобы предотвратить столкновения поездов. Все системы безопасности железных дорог, начиная с тех, которые используются с момента рождения первых железных дорог в Европе, так и самые передовые системы, которые используются в настоящее время, разделяют основную концепцию: поезда не могут столкнуться друг с другом, если они не смогут занимать одну и ту же часть железной дороги. По этой причине, железнодорожные линии разделены на секции, известные как блоки. В нормальных условиях, только одному поезду разрешается быть в каждом блоке в одно и то же время.

На длительном 200-летнем пути эволюции железнодорожной сигнализации она прошла путь от людей, стоящих с красными флажками вдоль железнодорожной линии до развитой и важной технической дисциплины. С изобретением электрического телеграфа, а затем и по телефону, стало возможным для персонала на станции (диспетчеры поездов), отправить сообщение (сперва, через определенное количество ударов колокола, а затем через телефонный звонок), чтобы подтвердить, что поезд прошел, и что конкретный блок был окончательно освобожден.

Около 1930 года были введены первые оптические сигналы. Вся система была названа абсолютным системным блоком или блоком телефонной системы. Когда фиксированные механические сигналы начали заменять ручные сигналы с 1930-х годов, родился полуавтоматический блок. Его критерии были аналогичны предыдущим, но обмен информацией между коробками, выдающими сигналы, проходил через электрическую цепь и систему рычагов, с помощью которого посылаются запрос и предоставление разрешения на доступ к блоку.

В настоящее время, передача сигналов железной дороги осуществляется на основе автоматического

блока, который не требует ручного вмешательства. Линия, оснащенная электронным блоком автоматической системы сигнализации или блокировки, разделена на участки длиной не короче тормозного пути для наиболее быстрых поездов присутствующих на маршруте. Функция обнаружения присутствия или транзита транспортных средств, в той или иной секции остается за системой, которая называется рельсовой цепью

В начале 80-ых системы автоматической защиты поездов — АТР, связанные с железнодорожной сигнализацией для повышения безопасности, были введены в Европе, чтобы быть в состоянии постоянно контролировать скорость поезда. Они называются АТР (Automatic Train Protection) или автоматической защитой поездов. Первые АТР системы использовали индикацию целевой скорости и звуковые предупреждения для того, чтобы посоветовать машинисту, если поезд движется на красный сигнал (опасность) или превышает ограничение скорости. В этих случаях к системе прилагалась функция автоматического торможения, если машинист не реагирует на предупреждения. Но все АТР, несомненно, были очень важным шагом вперед. Они не вносили кардинальных экономических изменений. Все это называлось автоматизацией и даже цифровизацией, но было лишь шагом к цифровой железной дороге. Только в 21 веке родились АТС-системы автоматического контроля поездов (Automatic Train Control). АТС реализуют функцию автоматического управления поездами или АТО-автоматические операции с поездами (Automatic Train Operation), так что поезд движется без вмешательства машиниста, реализуя полностью системы Driverless или системы без участия машиниста.

Несмотря на огромный прогресс, в том числе, в трансграничных железнодорожных технологиях, основной вопрос о транспарентности и, главное, об экономической выгодности изменений на железной дороге при соблюдении правил единого рынка в Европе кардинально разработан не был. Поэтому после решения, принятого министром транспорта Европейского союза в декабре 1989 года, ЕС приступил к реализации проекта по анализу проблем, связанных с сигнализацией и управлением движением поездов. Вероятнее всего, именно 1989 год и может считаться годом начала проекта «цифровая железная дорога». В конце 1990 года ERRI (Европейский институт железнодорожного исследований) начал думать, как развивать общие совместимые системы АТР/АТС, которые могут быть приняты во всех европейских странах. Системы названные по первым буквам, что означало Европейские - ERTMS/ETCS (или просто ETCS) были выбраны в качестве международной командной системы управления и сигнализации. Благодаря этой стандартизации, с начала 21 века уже гарантируется интероперабельность европейской сети железных дорог и совсем неожиданный эффект — изменение экономических правил железнодорожной отрасли. В основе этого подхода лежат (в буквальном

смысле - на шпалах) устройства LEU (Lineside Electronics Unit), о которых мы писали ранее [1-8]. Они позволяют системам понимать, где именно находится поезд, и как он движется. Для того, чтобы читатель смог визуальнo представить их количество мы приводим рисунок 1, сделанный на эксплуатируемой в Лондоне железной дороге Crossrail [30]. Сегодня именно эти устройства и информация собранная ими и служит основой для цифровой железной дороги.

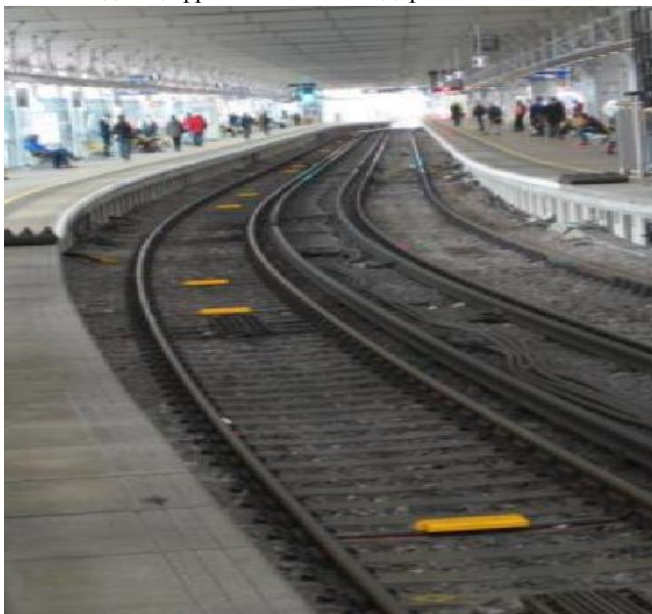


Рис. 1. Как выглядят установленные LEU (желтого цвета между рельсами) на линии Crossrail [30]

Ш. ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ И ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

Но чтобы установить такие сигнальные устройства как LEU, необходим расчет, где они будут наиболее полезны и необходимы. Для этого нужна информация о всем пути, его характеристиках и взаимосвязях. Этот процесс эффективно организуют информационные модели. Собственно, о роли цифровых моделей в экономике было написано неоднократно [3, 32, 34, 37-41], а статьи [3, 43] были непосредственно посвящены информационным моделям железных дорог. В строительной отрасли их использование уже привело к аналогичному экономическому тектоническому сдвигу и распространяется на города и инфраструктурные проекты, к которым, безусловно, относятся и железные дороги. Более того, именно практическое использование цифровых информационных моделей, во многом, и породило, по нашему мнению, такое явление, как цифровая экономика в ее нынешнем виде и вносит свою лепту в экономическую эффективность цифровой железной дороги. У России уже есть огромные достижения в практическом применении этого подхода. Это Росэнергоатом, занявший 30 % мирового рынка строительства ядерных энергоблоков. Однако, несмотря на то, что это совершенно публичные данные, их понимание, а главное - использование принципов в других отраслях, пока еще в России не происходит.

Мы специально, когда употребляем термин

информационное моделирование, не говорим о конкретных его применениях и форматах — их множество. Одних форматов цифровых моделей более 300! Важно понять принцип - чем больше знаешь объективных данных о реальном мире и связей между ними - тем эффективнее все можешь рассчитать и действовать. Это давно известно военным и подход «цифрового поля боя» и «цифрового солдата» реализуется во всем мире, включая Россию.

На железных дорогах членов Международного союза железных дорог (и значит для ОАО РЖД) решение вступило в силу 1 сентября 2016 г. По сути - это требование создания и использования цифровой модели железной дороги. Есть много стран, в которых давно такого рода требования законодательно обязательны. Вы не можете сдать объект в эксплуатацию без предъявления такой модели. Это практика ЕС, США, Японии и других стран. Наличие такой модели существенно снижает эксплуатационные затраты и позволяет решать вопросы ликвидации чрезвычайных ситуаций. Без данных из таких моделей трудно представить себе управление городами, инфраструктурами и развитие современной промышленности.

В России накоплен очень широкий опыт их использования, и сегодня в проекте цифровой железной дороги его надо использовать комплексно. Поясним сказанное. Что бы построить или реконструировать что-либо необходимо провести ПИР (проектно-изыскательские работы) — результат есть цифра на разных слоях цифровой карты. Исходя из того, что необходимо и понимания того, что физически есть, делается проект, по которому выполняются работы, и он тоже в цифре и именно в нем происходят расчеты минимизации перемещения земляных масс или радиусов разворотов железнодорожных путей и многое другое. Для размещения систем радиосвязи в цифровых моделях рельефов и сооружений рассчитываются в цифре же зоны радио-видимости и т.п. К сожалению, в этапах жизненного цикла зданий и сооружений в России вся эта цифровая информация не передается на следующие этапы. Ее приходится собирать заново, и такая практика приводит и к невероятному удорожанию проектов и, что не менее важно, к длительным срокам их реализации, а зачастую и к гораздо более серьезным последствиям — росту аварийности и даже к катастрофам.

В информационных моделях собственно данные разбиваются на слои, связанные между собой семантическими и онтологическими связями. Избыточные данные никому не нужны (так как работа с ними стоит денег). Данные не связанные между собой тоже имеют меньшую ценность и называются «силосом данных». Есть, собственно, абсолютно практическая дисциплина, которой уже учат в университетах «наука о данных» (data science), положения и инструменты которой широко применяются в цифровой экономике.

Все исходные посылки построения, как систем сигнализации, так и систем управления связаны с контролем за безопасностью на конкретных физических

железнодорожных путях. Они связаны с контролем совершенно реальных поездов огромного веса, находящихся в движении и торможении и основываются на математических и физических расчетах. Использование всех возможностей информации для управления движением поездов при соблюдении и повышении безопасности всех операций и есть сущность перехода к цифровым системам сигнализации и управления или ERTMS/ETCS и основывается на информационных моделях, которые получают данные в режиме реального времени, базируясь на современных железнодорожных радиосистемах. Таким образом, именно использование многих технологий совместно и данных из разных источников и есть основа цифровой железной дороги.

Не следует думать, что на цифровой железной дороге все ограничивается только этим. Необходимо было найти способ интеграции подвижного состава в поезде, например, для синхронного торможения локомотивами и вагонами или точного и плавного торможения рядом с грузовыми или пассажирскими станциями. Собственно, и само производство подвижного состава и локомотивов в существенной степени зависит от физических свойств конкретной железной дороги и для этого данные из цифровой модели железной дороги совершенно необходимы. Сами производства тоже давно имеют в основании цифровые модели. Таким образом, модель и практическое использование, как мало меняющихся данных, так и непрерывно поступающей в нее информации, а также расчеты на их основе для принятия решений автоматическом режиме — это основа цифровой железной дороги, которая остается физически таким же сложным и взаимоувязанным единым объектом при своей цифровой трансформации.

В завершении этого раздела заметим, что примерно половина затрат ОАО РЖД относятся к объективно необходимым строительным статьям. Строятся будущие возможности железной дороги и поддерживаются существующие. В 2017 году эти затраты составляют около 400 млрд. рублей, и поэтапное внедрение информационного моделирования может дать, по опыту других стран, до 30 % экономии и вдвое сократить время выполнения проектов. Так как этот процесс, фактически, в ОАО РЖД системно не стартовал, то он может также стать частью планов по цифровой железной дороге.

IV. КАК РАЗВИВАЛОСЬ ПОНЯТИЕ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В понятие цифровой железной дороги входят сегодня как высокоскоростные железные дороги, так и железные дороги высокой пропускной способности, развитие которых в мире идет совместно и по общим принципам и стандартам, с широким и обязательным применением информационных моделей. Но так было не всегда. Вначале их рассматривали как отдельные связанные понятия. Поясним сказанное. HS (High Speed - высокоскоростные) / HC (High Capacity - высокой пропускной способности) железные дороги являются одним из видов железнодорожного транспорта, который работает существенно быстрее, чем традиционные железнодорожные перевозки. Важно, чтобы прояснить разницу о HS и HC концепций, отметить:

- Высокоскоростные железные дороги это современные линии, со сложным оборудованием, с путями, где это возможно, в основном размещенными на прямых и плоских линиях, на которых двигаются поезда, специально предназначенные для достижения высоких максимальных скоростей;
- Термин «большой емкости» означает железнодорожную систему для транспортировки, как товарных поездов, так и пассажирских.

Для HS линий иногда это может относиться к современным системам управления железнодорожным движением, которые обеспечивают прохождение большего количества поездов из-за более управляемых и регулируемых систем.

Основными целями проектов HS / HC в ЕС было то, что они должны были превратить европейскую железнодорожную сеть в Высокоскоростные / Высокой пропускной способности системы:

- С общей мощностью более чем в два раза превышающей обычную мощность;
- Обеспечивающих модернизацию и специализацию существующих линий для местных и региональных линий;
- Создающих соединения для портов или аэропортов с учетом возможностей автомобильных дорог;
- Способных реализовать концепцию взаимодействия (интеграцию потоков международного трафика на рельсовом транспорте).

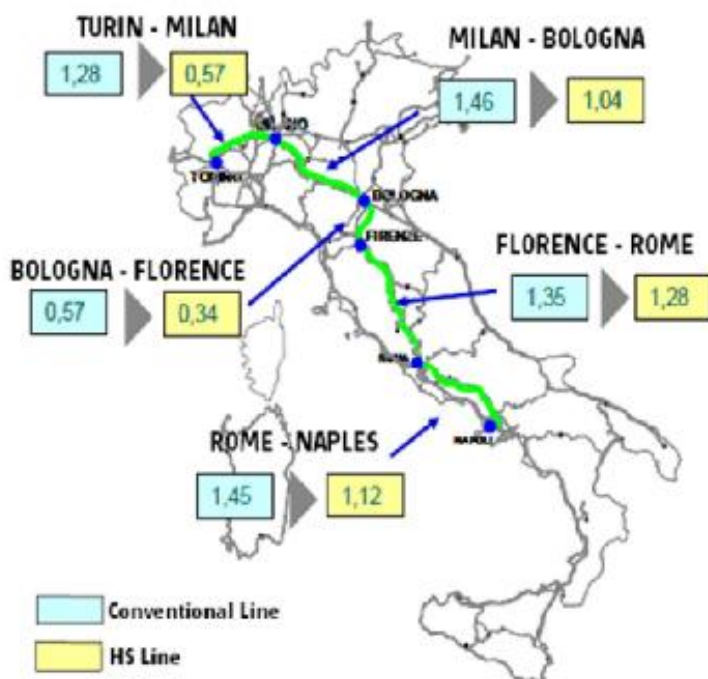


Рис.2. Снижение времени перевозок на итальянских Высокоскоростных / Высокой пропускной способности системе железных дорог [10]

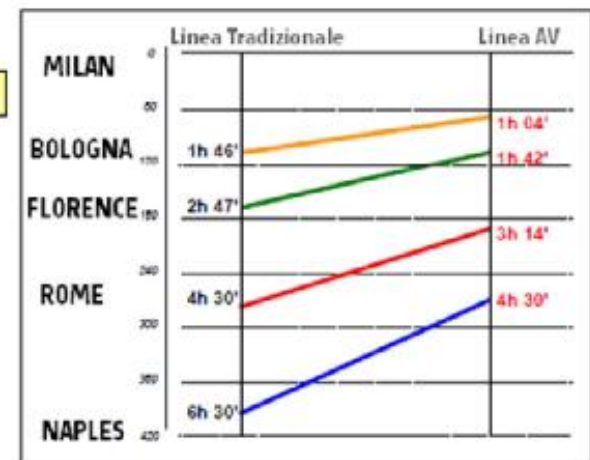
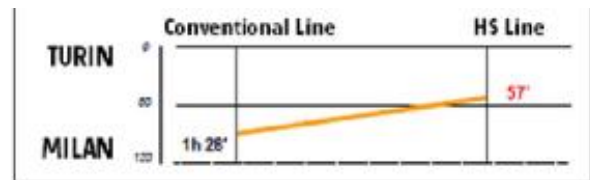
Не следует думать, что все сказанное выше - это только эксперимент. На рисунке 2 приведены результаты уже достигнутые в Италии к 2014 году [10]. Поскольку решение ЕС в 1996 году, было о том, что ERTMS станет единственным стандартом для всех линий HS/HC, то в огромном количестве европейских государств введение ERTMS/ETCS уже работает параллельно и интегрируется с проектами HS / HC.

В завершение сказанного ранее о моделях следует отметить, что на цифровой железной дороге очень широко применяются, наряду с информационными моделями, математические модели. Одним из ключевых принципов системы ATP является концепция модели торможения, математическая модель применимая к любому сухопутному транспортному средству с определенными ограничениями. Это позволяет прогнозировать максимальную безопасную скорость движущегося средства, исходя из следующих данных:

- Расстояние до цели (потенциальное препятствие на маршруте)
- Текущая скорость
- Физические характеристики транспортного средства.

Исходя из этих данных, можно рассчитать кривую торможения, как показано на рисунке 3. После того, как известен шаблон торможения, легко определить ту максимальную скорость, с которой транспортное средство может двигаться, так чтобы оно могло остановиться безопасно до точки мишени \ опасности.

Для того, чтобы воспользоваться моделью торможения, необходимо собрать нужную информацию, рассчитать кривую оптимального торможения и сделать ее доступной для бортовой системы поезда и машиниста. Для этого бортовая система:



1. принимает пакеты данных от оборудования с железнодорожной линии (Trackside), содержащей виртуальные сигналы и ограничения скорости вдоль линии
2. имеет цель создания картины происходящего, через мгновенный обмен данными, безопасной кривой и уверенности в том, что текущая скорость поезда всегда ниже максимума, определенного с помощью модели.

Если поезд движется со скоростью выше, чем максимум, система ATP вмешивается с автоматическим торможением, снижая скорость. На рисунке 3 приведена принципиальная схема работы математической модели торможения, применение которой также вносит свою лепту, как в экономические параметры, так и в безопасность [10].

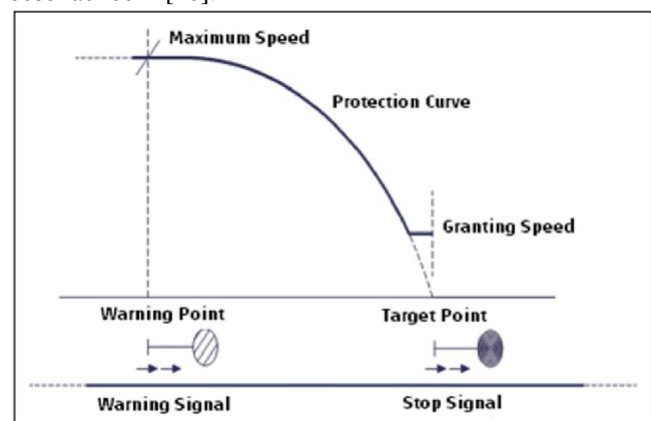


Рис. 3. Схема работы математической модели торможения [10].

V ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ЕВРОПЫ НА НАЦИОНАЛЬНЫХ ATP К ERTMS / ETCS ПРОЕКТАХ

В настоящее время все автоматизированные системы, которые защищают машиниста и собственно поезд от возможного превышения скорости или

игнорирования стоп-сигналов называются ATP. На протяжении многих лет в Европе были разработаны и эксплуатируются много различных систем ATP в соответствии с различными национальными требованиями, техническими стандартами и правилами эксплуатации. Независимое развитие этой несовместимых систем защиты поездов и управления способствовало развитию препятствий трансграничным операциям в железнодорожных перевозках на европейской сети и потерям, как времени, так и конкурентоспособности железнодорожного транспорта. На рисунке 4 показано разнообразие таких систем [10, 2014 год].

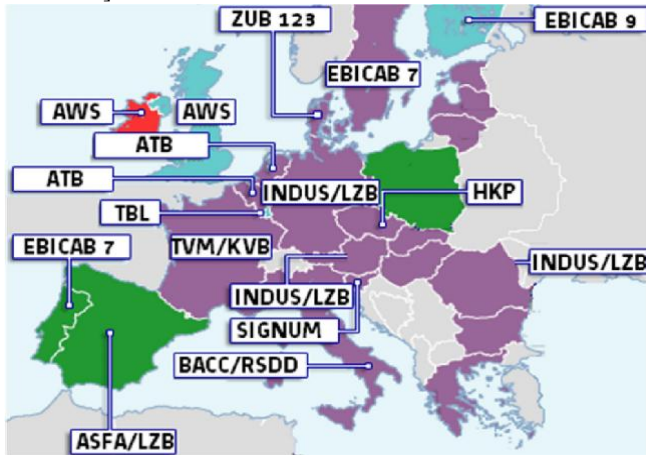


Рис. 4. Где и какие ATP применяются в ЕС [10]

С появлением практики европейской интеграции возникла необходимость установить общие правила для свободного движения по железнодорожным сетям во всех европейских странах. Проект HS / HC или единой цифровой железной дороги начался в 1991 году как проект под ключ, то есть когда: генеральный подрядчик несет ответственность за создание инфраструктуры и установку технологической системы на каждом конкретном участке.

Для поддержания технологической однородности по работе, выполняемой каждым генеральным подрядчиком по каждому участку HS / HC, технологическая система была построена технологическим консорциумом, ответственным за поставки технологических систем и сигнализации для всех участков (секций) конкретной HS/HC. На рисунке 5 показано состояние таких проектов на 2014 год [10]. Достигнутые результаты и, в первую очередь, практический опыт послужили надежной основой трансформации в проекты цифровых железных дорог.

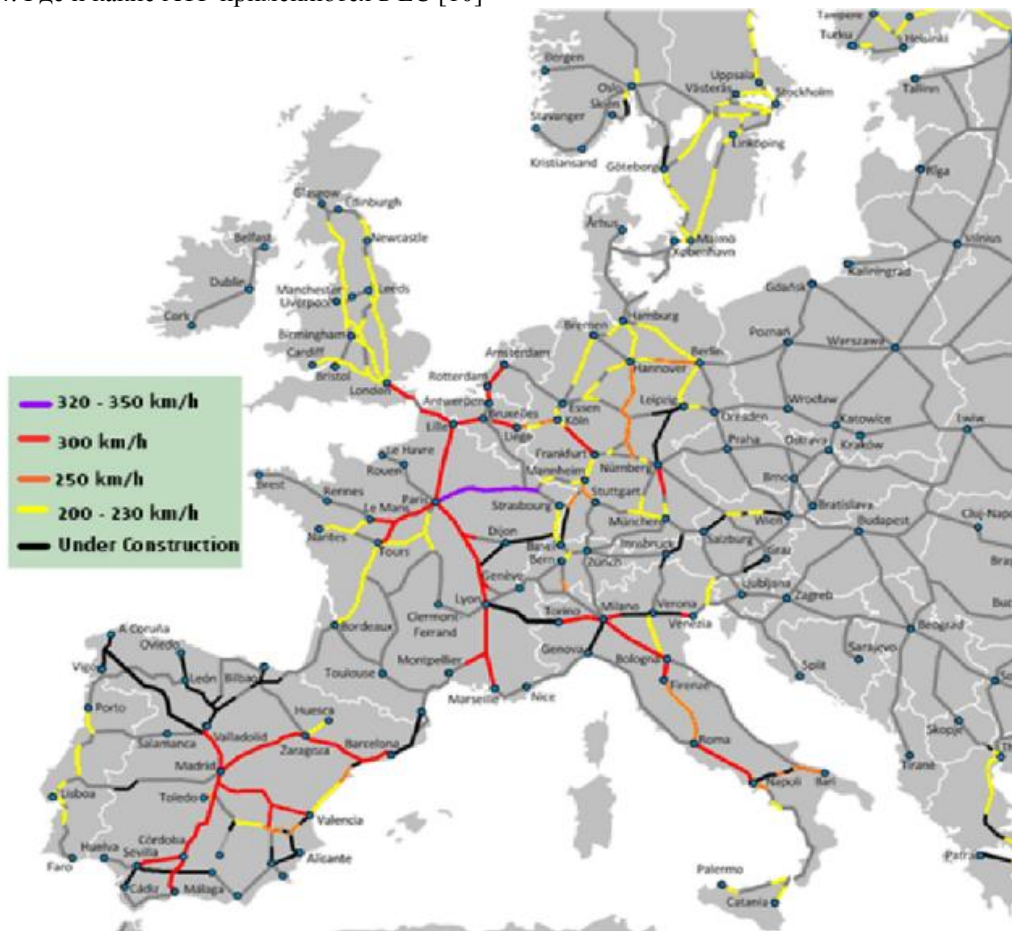


Рис. 5. Карта состояния и проектов HS / HC в ЕС [10]

VI НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ПРОЕКТЕ ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА

Новые стандарты для сигнализации управления появились в основном в связи с необходимостью повышения безопасности, повышения надежности, облегчения трансграничных перевозок в Европе, и управления расходами на обеспечение функционирования и поддержания железной дороги. Они включают в себя систему управления движением поездов, сеть радиосвязи для передачи голоса и данных, а также программное обеспечение для управления трафиком на сети железных дорог. На HS/HC, ERTMS/ETCS (или просто ETCS) системы сигнализации уровня L2 дают через информационно-управляющую систему машинистам всю информацию, необходимую для безопасного управления, как в части реакции на его действия, так и по изменениям в линейных условиях движения и с активацией экстренного торможения, если скорость движения поезда превышает максимально допустимые значения.

Естественно, что это не сплошной поток информации, а обработанный, к примеру, с помощью математической модели, о которой мы говорили выше. ERTMS это система управления европейским железнодорожным движением, которая разработана под руководством Европейской Комиссии UNISIG (сегодня это уже специальное железнодорожное агентство ЕС). Она состоит из двух основных компонентов: Европейская система управления движением поездов (ETCS) и GSM-R. Развитие ERTMS основывается на необходимости взаимодействия в рамках европейской железнодорожной системы. Эти требования для взаимодействия изложены в Директиве ЕС 1996/48 о совместимости высокоскоростных поездов, а также директивы ЕС 2001/16 о совместимости железнодорожной системы. Обе эти директивы устанавливают необходимость единой технической спецификации в законодательстве ЕС, что делает их обязательными для любых новых или модернизированных железнодорожных путей или подвижного состава быть совместимым с ETCS. Директивы были реализованы и на страновом уровне. Так это было сделано в законодательстве Великобритании по железным дорогам (Interoperability) в Положении 2011 года, которое вступил в силу 16 января 2012 года. ERTMS зарекомендовал себя как международный стандарт, и инвестиции за пределами Европы составляют более 45% от глобальных инвестиций ERTM по всему миру в 2014 году. Великобритания не собирается от него отказываться в ходе реализации брэккета, как мы уже говорили выше, и продолжает выпускать национальную регламентацию в этом стандарте [14]. Существует огромное количество документов по этим системам и технических требований, мы укажем только некоторые [11-13]. Последний, к примеру, документ [13] был выпущен Международным союзом железных дорог.

Эта система управления Европейского движения на

железнодорожных линиях становится мировым стандартом. В то время как Великобритания не будет связана директивами ЕС, когда она покинет Европейский Союз, британцы считают, что было бы контрпродуктивным и дорогостоящим не продолжать использовать те же стандарты, используемые в остальной части Европы и всего мира.

ETCS отличается от сигнализации фиксированного блока, обеспечивая непрерывную или прерывистую передачу данных от поезда до центра управления с использованием программного обеспечения для управления трафиком. Данные о поезде используются в программном обеспечении для управления транспортными потоками для решения вопросов о разрешении движения поезда (разрешение продолжить движение). ETCS может быть развернуто на уровнях 1, 2 или 3. Уровень 1 не является полным развертыванием, так как не использует сигналы на путях для управления движением. В ETCS Level 2, который в настоящее время доступен для развертывания, все полномочия по движению постоянно обновляются от поездов, которые отправляют их текущее положение и статус в центр управления движением. Оборудование на путях по-прежнему необходимо для обнаружения поезда при использовании 2-го уровня. В ETCS Level 3, который в настоящее время отсутствует, все сигнальные системы на путях и оборудование обнаружения поезда заменяются оборудованием на борту поезда.

Для обеих уровней ETCS 2 и 3, информация о сигналах на путях дополнена дисплеями в кабине машиниста. Поезда контролируют свое положение с помощью датчиков на поезде и balises (электронных бакенов), прикрепленных к трассе. Они сообщают о своем местоположении и скорости в центр управления движением (RBC) через радиоканал. RBC получает информацию от всех поездов в конкретной рабочей зоне, что позволяет ему отображать трафик в сети. Он проверяет, что в маршруте все ясно, и оставляет его для конкретного поезда, а затем передает разрешения на движение (и другую информацию) непосредственно в кабину машиниста. Собственно это 3-й уровень то, что является основой для потенциального очень большого увеличения мощности железной дороги или пропускной способности. Однако его стандартизация не завершена.

GSM-R является стандартом радио телекоммуникаций, который сегодня является основой радиоблоков центров управления движением, и его используют как для передачи данных, так и для голосового общения. Он построен на втором поколении (2G) мобильной технологии, которая в области потребительской электроники в настоящее время в значительной степени устарела. В большинстве стран в настоящее время имеются национальные сети GSM-R. Тем не менее, технология 2G является устаревающей технологией, и не будет поддерживаться в долгосрочной перспективе. Гарантии существуют, чтобы обеспечить поставку оборудования до 2025 года, но, после этого,

коммерческие соображения будут определять, как долго будет существовать это оборудование. Железнодорожное агентство ЕС провело уже исследования о возможных миграциях, и такие исследования сегодня проводят многие владельцы и операторы железнодорожных инфраструктур [22].

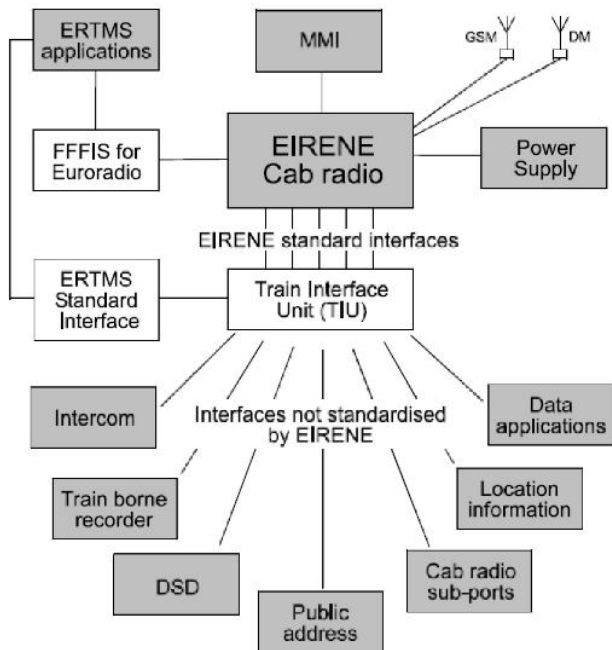


Рис. 6. Архитектура интерфейсов GSM-R для кабины машиниста [13]

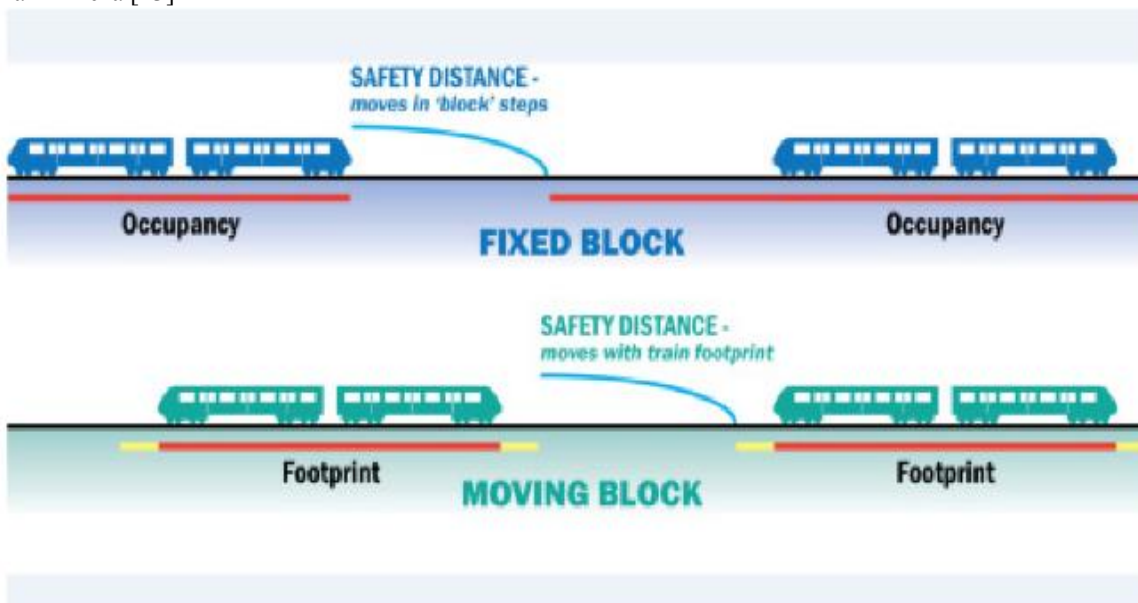


Рис. 7. Безопасная дистанция между поездами при фиксированном блоке и движущемся (Crossrail) [30]

В этом случае системы управления и сигнализации будут иметь равные возможности применения математических моделей и реализации минимального безопасного расстояния остановки между поездами, которые варьируются в зависимости от их скорости, положения и тормозного пути. Будет существовать возможность корректировать сигналы в режиме

Однако, чтобы показать сегодняшнюю огромную роль GSM-R в системе управления поездами приводим рисунок 6, который нам также необходим и для понимания читателем дальнейшего изложения.

Центры управления движением используют программное обеспечение для управления трафиком, чтобы принять решение о наиболее эффективной организации движения поездов по сети. Такое программное обеспечение может быть развернуто в отдельных центрах управления, или в крупных железнодорожных операционных центрах. Сбор дополнительной информации и передача его в систему управления дорожным движением может уменьшить и увеличить мощности маршрута или пропускную способность. Сегодня проходят интенсивные исследования по теме «Идеала движущегося блока». Он становится все большей реальностью на 3 уровне. Наглядное представление о том, как сокращается гарантированное безопасное расстояние между поездами в движущемся блоке показано на рисунке 7, который взят из материалов практически реализованного в первой очереди проекта Crossrail.

реального времени для того, чтобы проложить большую часть маршрута с учетом динамических данных информационной модели.

Однако уже сегодня проведены расчеты по сокращению дистанции торможения и блоков при внедрении современных систем сигнализации и управления, дополненных новыми решениями, позволяющих говорить о существенной экономии и создании элементов движущегося блока [43] (рисунки 8,9).

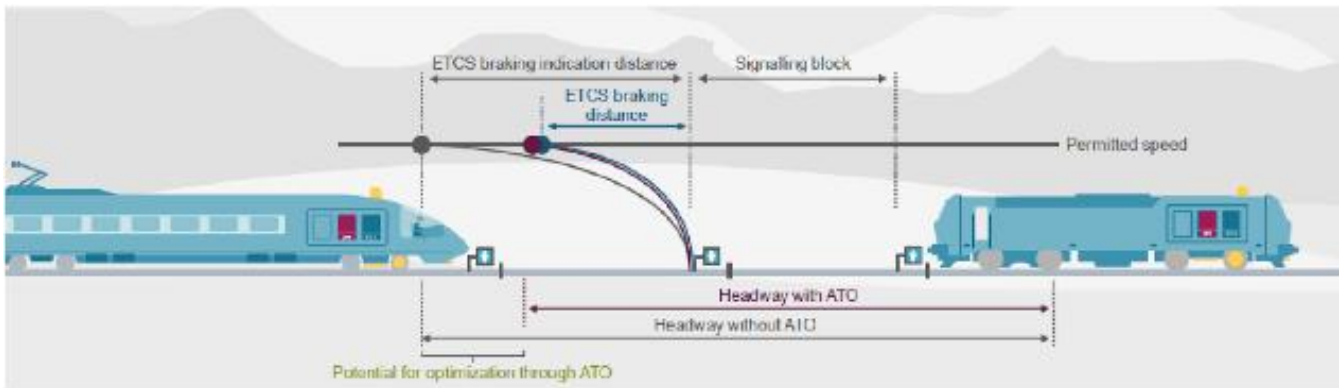


Рис. 8. Сравнение сокращений дистанции торможения и сигнализации и управления (Siemens [43]).



Рис. 9. Триангуляционное решение для ETCS Level 2 [43]

Дальнейшее техническое и организационное развитие проекта цифровых железных дорог в ЕС и усилия Европейского железнодорожного агентства ЕС сосредоточились на реализации 9 европейских железнодорожных коридоров [16-29], результаты которых, безусловно, заслуживают внимания, например, стран входящих в ЕЭАС, как замечательный пример совместной реализации общих экономических интересов. Было продолжено также развитие сети скоростных железных дорог Европы, но конкретные проекты стран стали развиваться отдельно [15].

VII ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ВЕЛИКОБРИТАНИИ — ОПЫТ РАСЧЕТОВ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Реальность крупных изменений и очень значимых экономических и логистических изменений привела в 2016 году к смене терминологии на более общую — цифровая железная дорога. В Великобритании программа цифровой железной дороги представляет собой межотраслевой план для ускорения модернизации сигнальных и управляющих систем, который также предполагает провести и ряд других новых и значимых технических новшеств. Позиция Великобритании является в этом смысле знаковой — планируется провести эти работы на всей железнодорожной сети с заменой подвижного состава.

Насколько нам известно, пока такой проект в мире единственный. Так, работы по замене системы сигнализации обычно выполняется только тогда, когда существующая инфраструктура достигает конца своего срока службы, и на этой основе надо было бы ждать около пятидесяти лет для того, чтобы новые сигнальные и управляющие системы были бы развернуты по всей сети железных дорог Великобритании. Однако широкое обсуждение и исследования показали, что 50-летний график не дает темпа приоритизации и практического применения для удовлетворения растущего спроса в пропускной способности железных дорог, и это решение было официально пересмотрено.

Поэтому существующие программы будут изменены. Network Rail (владелец инфраструктуры и аналог ОАО РЖД) публично утверждает, что программа цифровой железной дороги может достичь увеличения на 40% мощности путем замены сигнализации и инфраструктуры управления дорожным движением в настоящее время, а не в конце жизни оборотных средств. Это новое предложение предполагает, что все поезда будут оснащены технологией ETCS к 2024 году, все сигнальные системы и системы управления движением будут развернуты к 2024 году, и все расширенные возможности начнут эксплуатироваться к 2029 году.

Утверждение, что ETCS будет обеспечивать до 40% большей мощности, основано на моделировании и исследованиях, в которых рассматривались три варианта высокого уровня для области Юго-Западной магистрали

Великобритании. В одном из этих вариантов, было показано, что для ускорения внедрения ETCS / АТО, необходимо обеспечить требуемую 60% дополнительную мощность в сочетании с Crossrail 2 (вторая очередь программы модернизации метро и железной дороги Лондона). Полученные результаты свидетельствуют о том, что внедрение ЕТКС 2-3-го уровней в сочетании с автоматическим АТО на маршруте между Лондоном и Уокингом может позволить пропускать до 34 поездов в час, с текущих 28 поездов, а оставшееся плановое увеличение мощности будет получено за счет других улучшений на линии.

Созданная специально группа реализации этого проекта анонсировала следующие факторы и необходимые ключевые позиции в новом предложении:

- реалистичный план, с участием сети железнодорожных маршрутов, пассажирских и грузовых железнодорожных операторов и местных заинтересованных сторон;
- упрощение, последовательность и автоматизация процесса проектирования инфраструктуры
- согласованность и, на базе этого, выравнивание финансирования проектов промышленности и стимулов, чтобы гарантировать, что технологии будут готовы в срок, дополняют друг друга так, чтобы все преимущества всей системы были достигнуты в плановый срок;
- наличие национальной и стабильной межотраслевой программы для поддержки внедрения цифровой железной дороги, с полностью прозрачным управлением;
- финансирование программы цифровая железная дорога в течение текущего пятилетнего периода CP5 (2014-19), с запуском двух линий в 2018 году, для того, чтобы убедиться в практической готовности программы, включая индивидуальные проекты, чтобы начать ее полное развертывание в начале следующего пятилетнего плана CP6 (2019-24).
- пилоты в упомянутом плане, должны дать полную практическую уверенность в логистической железнодорожной цепи поставок.

Как легко понять из предыдущего, именно бортовые системы и их развитие и, в первую голову, кабина машиниста являются ключевыми в архитектуре новых,

более производительных решений. Сегодня Network Rail уже финансирует разработку дизайна бортовых ETCS технологий для каждого класса локомотива или поезда. Признано, что эта цифровая железнодорожная программа не может быть реализована без межотраслевого подхода, и поставщики технологии явно имеют основополагающее значение для создания современной цифровой сети железных дорог.

Технология ETCS уже была успешно воплощена на транспортной сети Лондона (TfL) и обеспечивает хороший практический пример преимуществ, которые могут быть уже реализованы. В марте 2016 года ее руководитель David Waboso был назначен директором программы цифровой железной дороги. В своей предыдущей должности, г-н D.Waboso руководил модернизацией сигнальной системы на линии Виктория, в результате чего была увеличена частота движения поездов с 24 до 36 в час на протяжении большей части линии. Кроме этого, реализация этого проекта в TfL (Транспорт для Лондона) показала, что существуют и другие преимущества. Так в результате этого проекта Лондонский метрополитен в настоящее время стал более чем на 50 процентов более надежным.

Системы метро являются основными областями, в которых ETCS уже используется на сети железных дорог Великобритании. Системы метро очень сильно отличаются от линий железных дорог. Они, как правило, имеют только один тип подвижного состава, простой маршрут и одну скорость движения, что сильно отличается от магистральных маршрутов.

Но назначение D. Waboso руководителем цифровой железной дороги стало обнадеживающим признаком того, что его практический опыт будет использоваться для форсирования воплощения программы цифровой железной дороги. Сегодня уже показано, что 10% повышение производительности может быть достигнуто в ключевых узлах на линиях большой загрузки при развертывании текущих решений ETCS в сочетании с обновлением традиционной инфраструктуры. При этом, перенесение центра принятия решения в кабину машиниста может быть частично осуществлено за счет применения дополняющих решений, и это можно сделать быстро, имея в виду последовательность внедрения систем и общую зависимость полученных от этого экономических эффектов, представленных на рисунках 10 и 11.

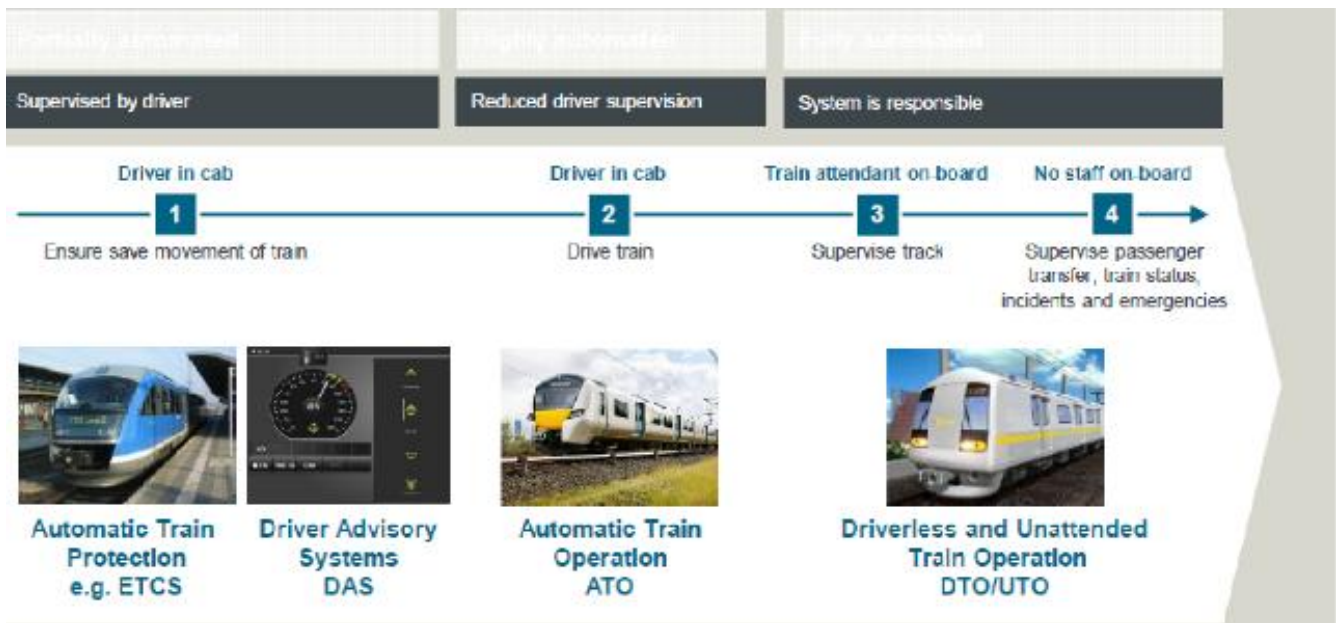


Рис. 10. Последовательность развития систем сигнализации и управления на железных дорогах



Рис. 11. Графическое изображение зависимостей уровней развития цифровых преобразований со снижением стоимости всех операций на железной дороге.

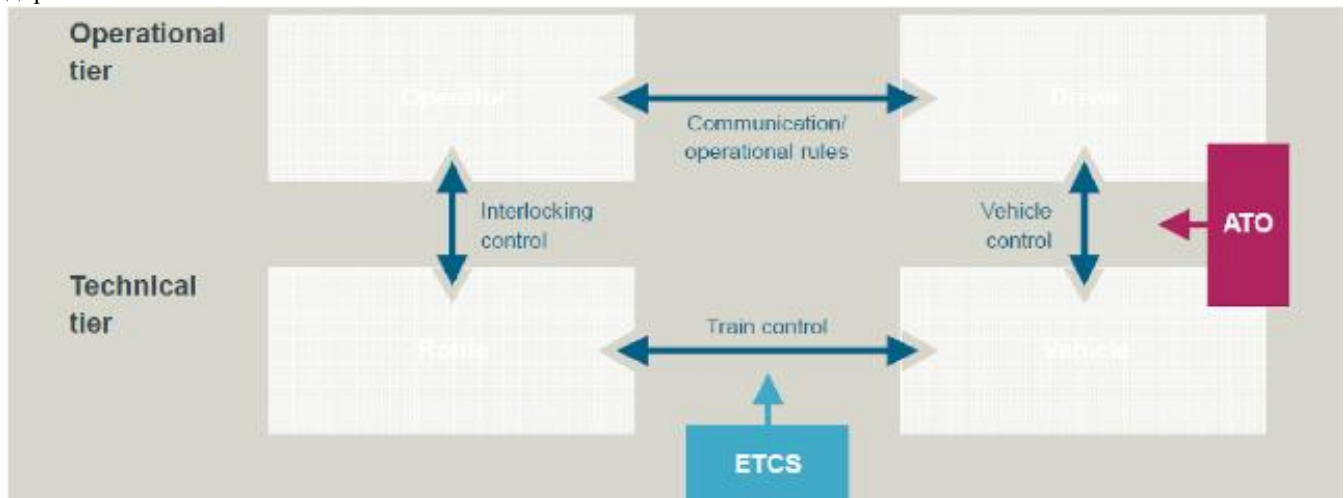


Рис. 12. Общая схема взаимодействия систем

Преимуществом такого подхода является централизованная информация об инфраструктуре и транспортных средствах для управления текущими и

Новое руководство проекта цифровой железной дороги в январе 2017 года провело отдельную конференцию [31], где были обсуждены, как результаты исследований и расчетов, так и практические достижения. Было отмечено, что по сути ETCS это набор инструментов, который может быть использован различными способами в общей схеме взаимодействия (рисунок 12).

Специалистами Великобритании [31] был использован метод референсного проектирования (Reference Design), ставшим описанием того, как ETCS будет использоваться в Великобритании. Это стало набором из 31 документов, написанных оператором инфраструктуры (NR) с обширным вкладом заинтересованных в проекте сторон.

будущими потребностями, как общий источник для всех проектов. Оперативная согласованность через эту базу возможных поставок позволяет поставщикам идентифицировать и получать изменения сферы применения, в которых требуются их системы, что

обеспечивает обоснованные и реализуемые наборы требований (этот подход, по сути, есть развитие примененного им в BIM проекте). Это позволило

достоверно рассчитать экономические и иные аспекты проекта и организовать его исполнение оптимальным способом (рисунок 13).

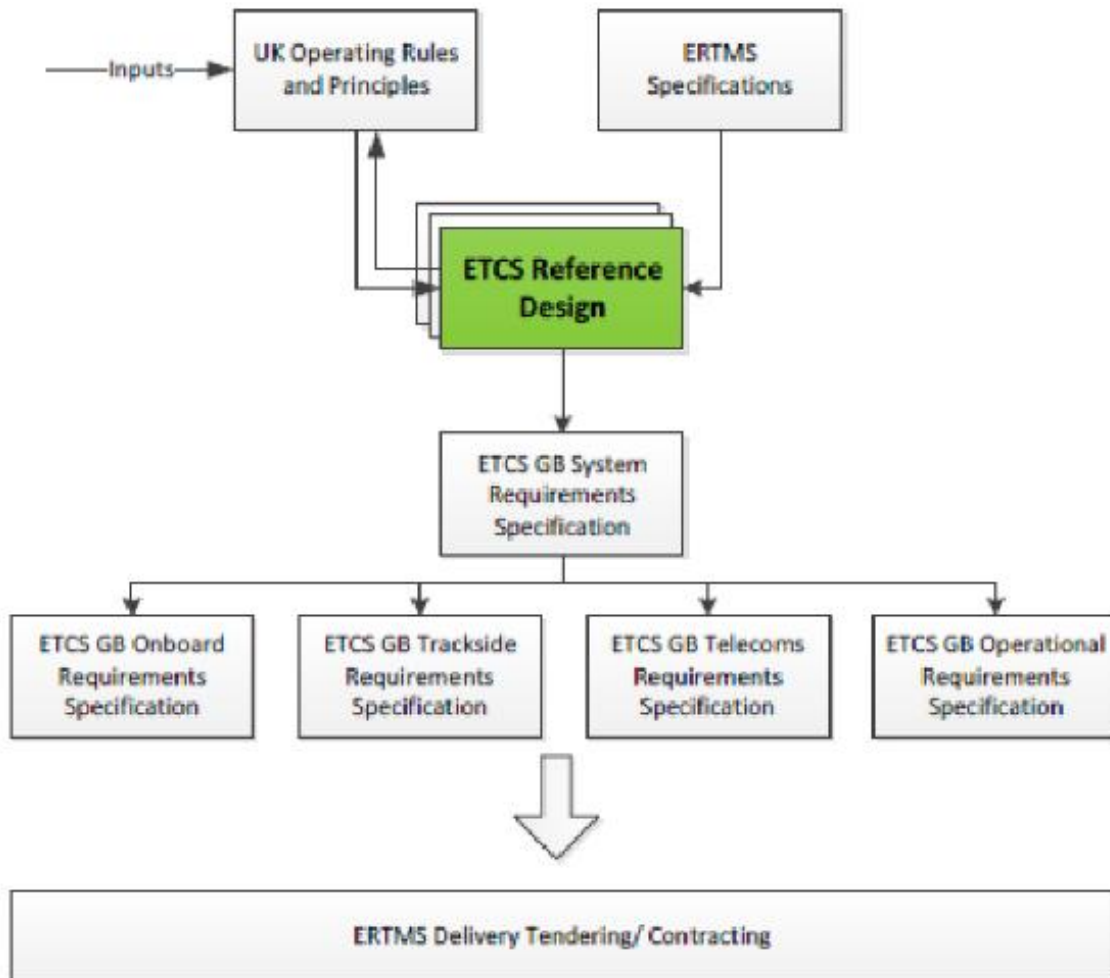


Рис. 13. Референсное проектирование для цифровой железной дороги [31]

С помощью инструмента референсного проектирования и других методов был проведен анализ достижения основной цели проекта. Целью проекта в ближайшее время является максимальная пропускная способность железных дорог с ETCS L2 и оптимизация операций на путях. Было показано, что ETCS L2, используемый с текущей сигнализацией на железной дороге, может обеспечить улучшенную емкость для поездов оснащенных ETCS. Это достигается разделением обычных блок-секций в блок секции ETCS

и получением разрешений поездам, оснащенным ETCS, продолжить движение дальше через обычные блок-секции ETCS L2 без взаимодействия с сигнальной системой. Он представляет реальные преимущества через систему в кабине машиниста в сочетании с ТМ, обеспечивает увеличение железнодорожной сети от 10% до 20% своей возможной емкости. Предполагается, что еще от 5% до 10% дополнительной емкости может быть получено с введением АТО. Оценки экономических эффектов в зависимости от применяемых технологий приведены на рисунке 14.

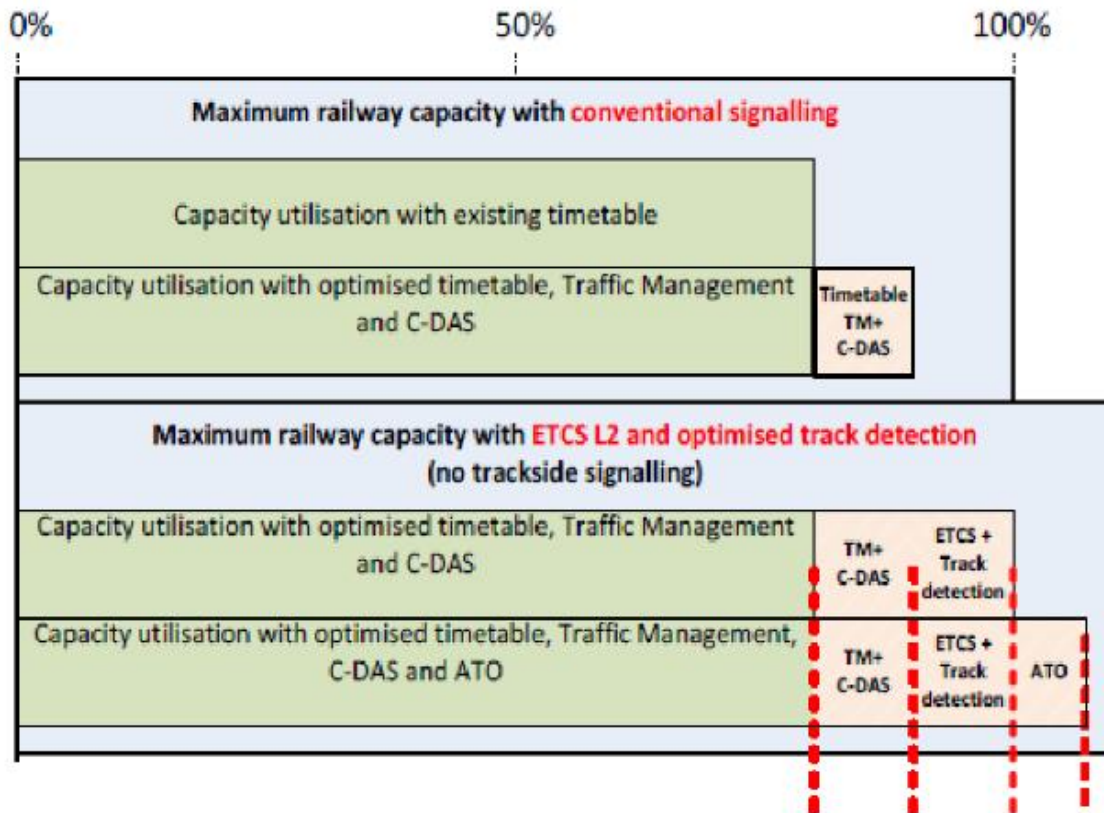


Рис. 14. Максимальные возможные увеличения пропускной способности при разных сценариях реализации проекта [31]

На конференции [31] были представлены практически все крупные компании производители железнодорожных решений и системные интеграторы реализованных проектов. Их практические результаты

сведены в таблицу 1 и позволяют получить конкретные представления о тех или иных конкретных проектах и их экономических результатах.

Таблица 1. Результаты разных компаний по увеличению пропускной способности

Компания	Проект	Решение
Alstom	Banedanmark worked in collaboration with Alstom targeting specific network areas that suffered with poor capacity. Conventional trackside modifications created a potential for additional capacity improvements. In certain areas of the network the target is to achieve a capacity improvement of 30% with the introduction of the Alstom ICONIS TM and ATLAS ETCS Level 2 (no signals). Bologna Railways –Tirano railway station (RFI) In operation since 2006/07, a significant performance improvement, which can be quantified as up to 30% capacity increase	TM + ETCS L2 (No Signals) 30% Capacity Improvement
Hitachi	Lab Simulation applied to Rome’s Railway Node. includes data that detailed track works modifications (e.g. rail alignments, curvature reductions), change in Operational rules, Signalling rearrangement (e.g.	Level 2 between +8% and 13% Capacity Improvement Level 3 between 18% and 22% Capacity

	track sections length), and Timetables optimisation	Improvement
Indra	Spanish Railway Network, managed and controlled by Indra's TM technologies TMS alone does not create new capacity on the railway network, but delivers optimum use of existing capacity and improved timetable reliability.	TM (only) Improved Timetable fulfilment
Siemens	Thameslink, UK System requirements of increasing service from 20 tph to 24 tph (20% increase). However, the system is designed to support 30 trains per hour, hence further capacity improvement is possible. Erfurt –Leipzig line A reduction in journey time of approximately 40% as the enhanced safety	TM + ETCS L2 (with Signals) + ATO 20% Capacity Increase
Thales	Munich, Stuttgart and Frankfurt lines Improved flighting at bottleneck junctions can result in 7% improvement and major stations see significant improvements over 15% Austrian rail network TM with ETCS with L2 has been seen to improve capacity at Austria by 30% on specific lines.	TM+ C - DAS or ATO +15% Capacity Increase 30% Capacity Increase

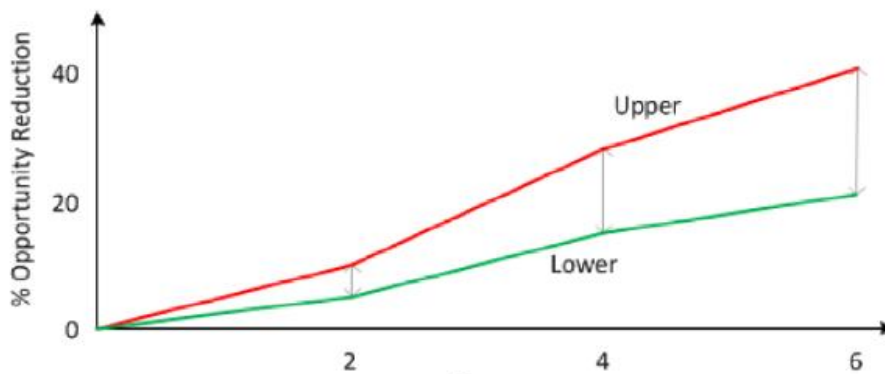


Рис. 15. Потенциальные графики снижения стоимости перевозок за 6 лет [31]

В результате обработки всех данных и учета рисков проектов и возможных погрешностей была представлена таблица 2. На ней изображены двумя линиями два прогноза развития процесса увеличения пропускной способности железной дороги наилучший и наихудший.

VIII ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы полагаем, что представленных материалов в настоящей статье вполне достаточно для ответа нашим читателям. Но для практического применения, на наш взгляд, крайне необходимо привлечь к проекту цифровая железная дорога России не только специалистов отраслевых, но и из фундаментальных научных направлений. Необходимы расчеты для конкретных железнодорожных линий. Следовательно,

нужно их определить. Это могут быть коридоры между Китаем и Европой идущие через Россию или любые иные конкретные трассы. Должно быть одновременно организовано очень детальное изучение европейских и страновых решений, и привлечены профессиональные союзы российских производителей железнодорожной техники и строители железнодорожных инфраструктур. Тогда можно будет очень обосновано организовать выполнение решений руководства страны [36] и получить правильные и реальные планы и экономические расчеты. Надо помнить, что только правильно организованная цифровая трансформация приносит практические результаты [42].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Шнепс-Шнеппе М. А. О перспективах сети GSM-R для цифровой железной дороги //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С.47-52
- [2] Куприяновский В. П. и др. Цифровая трансформация экономики, железных дорог и умных городов. Планы и опыт Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С.22-31.
- [3] Куприяновский В. П. и др. Цифровая железная дорога-целостная информационная модель, как основа цифровой трансформации //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С.32-42.
- [4] Снягов С. А. и др. Цифровая железная дорога-издание цифровых активов. По материалам проекта модернизации системы управления активами Network Rail (UK) //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С.43-54.
- [5] Николаев Д. Е. и др. Цифровая железная дорога-инновационные стандарты и их роль на примере Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С.55-61.
- [6] Куприяновский В. П. и др. Цифровая железная дорога-прогнозы, инновации, проекты //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 9. – С.34-43.
- [7] Куприяновский В. П. и др. Интернет цифровой железной дороги //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С.53-68.
- [8] Шнепс-Шнеппе М. А. и др. ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА И ПЕРЕХОД ОТ СЕТИ GSM-R К LTE-R И 5G-R-СОСТОИТСЯ ЛИ ОН? //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 1. – С.71-80.
- [9] IRS 30100:2016. МЕЖДУНАРОДНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ РЕШЕНИЕ. RailTopoModel – топологическая модель железнодорожной инфраструктуры. 1 издание, Международный союз железных дорог 2016
- [10] The ERTMS/ETCS signaling system. An overview on the Standard European interoperable signaling and train control system 2014
- [11] ERTMS/ETCS FRS v 5.00. ERTMS/ETCS Functional Requirements Specification FRS. Version 5.00 Dated 21 June 2007 Filing number ERA/ERTMS/003204. European Railway Agency
- [12] ERTMS — Making the railway system work better for society. European Union Agency for Railways 2016
- [13] EIRENE - EUROPEAN INTEGRATED RAILWAY RADIO ENHANCED NETWORK. System Requirements Specification. Version 15.3.0.UIC CODE 951. International Union of Railways (UIC) - Paris, 2012
- [14] ERTMS/ETCS DMI National Requirements GERT8402 Issue Two Date June 2016. RSSB
- [15] Supporting the railway of the future: Changes to RSSB's operational framework. August 2016 RSSB
- [16] SHIFT2RAIL STRATEGIC MASTER PLAN. Version 1.0 .31 March 2015
- [17] Advanced Train Control Systems. WIT Press 2010
- [18] Railway System Report Pilot Phase Findings. European Union Agency for Railways, 2016
- [19] Final report for the European Railway Agency Survey on operational communications (study for the evolution of the railway communications system) 25 February 2014 David Taylor, Nils Lofmark, Maria McKavanagh Ref: 37760-496v04 European Union Agency for Railways, 2014
- [20] ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS ISSUE 1.7 Page 1 of 35 EUG Reference: 13E137 Distribution date: 20/12/2016 Document version: 1.7. The European Union Agency for Railways 2016
- [21] ERTMS UNIT ASSIGNMENT OF VALUES TO ETCS VARIABLES Reference: ERA_ERTMS_040001 Document type: Technical Version : 1.21 Date : 18/10/16 .European Union Agency for Railways, 2016
- [22] The European Union Agency for Railways Project on the evolution of the radio communication system for railways. European Union Agency for Railways, 2016 <http://www.era.europa.eu/Core-Activities/ERTMS/Pages/The-Project-Evolution-of-Railway-Radio.aspx>
- [23] Integrating Human Factors in European Railways Safety Management Systems. European Union Agency for Railways, 2016
- [24] Integrating Human Factors in European Railways. Incident and accident investigation. European Union Agency for Railways, 2016
- [25] Integrating Human Factors in European Railways. Information for workers. European Union Agency for Railways, 2016
- [26] European Union Agency for Railways Fees and Charges Study - Final Report European Union Agency for Railways Report October 2016 Our ref: 22890301 Client ref: ERA 2015 12C. European Union Agency for Railways, 2016
- [27] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/6 of 5 January 2017 on the European Rail Traffic Management System European deployment plan. Official Journal of the European Union 6.1.2017
- [28] (Non-legislative acts) REGULATIONS COMMISSION REGULATION (EU) 2016/919 of 27 May 2016 on the technical specification for interoperability relating to the 'control-command and signaling' subsystems of the rail system in the European Union (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 15.6.2016
- [29] Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W; Harmonized Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU. ETSI EN 302 208 V3.1.1 (2016-11)
- [30] Crossrail Train Protection (Plan B) - Railway Safety Regulations 1999 Exemption Application Report. Network Rail 2015
- [31] Digital Railway Early Contractor Involvement Report. <http://www.raildeliverygroup.com/media-centre/press-releases/2016/469771175-digital-railway-rdg-welcomes-early-contractor-involvement-report.html>
- [32] Замолотчиков Д.Г. и др. Комфортная среда и ресурсосбережение на пассажирских станциях и вокзалах в жизненном цикле активов цифровых железных дорог //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.
- [33] Куприяновский В.П. и др. Экономика инноваций цифровой железной дороги. Опыт Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.
- [34] Kupriyanovsky V. et al. The new paradigm of the digital railway—assets life cycle standardization //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 64-84.
- [35] Куприяновский В. П. и др. Информационные технологии в системе университетов, науки и инновации в цифровой экономике на примере Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 4. – С.30-39.
- [36] Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 1 декабря 2016 года № 642
- [37] Куприяновский В. П. и др. Оптимизация использования ресурсов в цифровой экономике //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С. 86-96.
- [38] Куприяновский В. П. и др. Экономические выгоды применения комбинированных моделей BIM-ГИС в строительной отрасли. Обзор состояния в мире //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 5. – С.14-25.
- [39] В.П. Куприяновский, С.А. Снягов, А.П. Добрынин BIM - Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 1. Подходы и основные преимущества BIM // International Journal of Open Information Technologies. 2016. – Т. 4. – №3. - С.1-8.
- [40] Куприяновский В. П., Снягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 2. Цифровая экономика //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3. - С. 9-20.
- [41] Куприяновский В.П. и др. Новая пятилетка BIM - инфраструктура и умные города.// International Journal of Open Information Technologies – 2016 --Т. 4. -- № 8. - С. 20-35.
- [42] Куприяновский В. П. и др. Целостная модель трансформации в цифровой экономике-как стать цифровыми лидерами //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 1. - С. 26-33.
- [43] Trainguard Full interoperability for rail traffic. Siemens 2014 Trainguard Full interoperability for rail traffic

Bandwidth and economy of the digital railway in the transformation of signaling and train control

Vasily Kupriyanovsky, German Sukonnikov, Oleg Dunaev, Natalia Fedorova, Pavel Kupriyanovsky,
Dmitry Namiot

Abstract— This article continues the cycle of papers devoted to asset management for the digital economy and digital railway. The paper discusses the issues related to signaling and train control in the project of the digital railroad. The project of the digital railway in Europe began with the acceptance of common standards on control systems and alarms. In this paper, authors discuss the important role of the GSM-R standard. It is a radio standard which plays today a basic role in digital railways. GSM-R is used for data transfer and for voice communication too.

Keywords— digital railways, digital economy, signaling.