

Цифровая железная дорога Европы - от ERTMS до искусственного интеллекта

О.Н. Покусаев, А.А. Климов, В.П. Куприяновский, П.М. Морхат, Д.Е. Намиот

Аннотация— Настоящая статья посвящена обсуждению проектов цифровой железной дороги в Европе. Правила ЕС требуют, чтобы европейская железнодорожная система работала как единая система систем. Коммерческими драйверами в отрасли являются круглосуточная работа, высокая доступность, низкая стоимость, безопасность, повышенная пропускная способность, упрощенное восстановление после сбоев, низкий уровень выбросов углерода и удовлетворенность клиентов. В ЕС насчитывается около 30 национальных систем железнодорожной сигнализации, что может вызвать технические или эксплуатационные проблемы на границах. Чтобы преодолеть этот недостаток, ЕС решил разработать, принять и внедрить единый стандарт управления, командования, сигнализации и связи, ERTMS, устанавливающий совместимую железнодорожную структуру на всей территории ЕС. Установленный как на путевой системе, так и на борту, он состоит из европейской системы управления поездом (ETCS), обеспечивающей, чтобы поезд не превышал безопасную скорость и расстояние от других поездов, и глобальной системы мобильной связи на железных дорогах (GSM-R), представляющей стандарт радиосвязи для железнодорожных перевозок. С внедрением ERTMS очень многое меняется: увеличивается скорость поездов и их плотность на железнодорожной сети. Все это определяет очень существенные требования, как к путевой инфраструктуре, так и к подвижному составу.

Ключевые слова— железнодорожная сигнализация, ERTMS, GSM-R.

I. ВВЕДЕНИЕ

Европейская железнодорожная инфраструктура, очень сложная система систем, сталкивается с растущей загруженностью из-за беспрецедентного числа пассажиров, которым требуются инновационные способы увеличения пропускной способности существующей инфраструктуры (более быстрое планирование потоков пассажиров на станциях и более короткое время остановки на станциях) и

требовательные уровни пунктуальности. Никогда раньше железнодорожный мир не видел больше людей и требований улучшенного времени в пути. Здесь системы систем управления, контроля и социологические аспекты должны рассматриваться в унисон.

Правила ЕС требуют, чтобы европейская железнодорожная система работала как единая система систем. Коммерческими драйверами в отрасли являются круглосуточная работа, высокая доступность, низкая стоимость, безопасность, повышенная пропускная способность, упрощенное восстановление после сбоев, низкий уровень выбросов углерода и удовлетворенность клиентов. Поезда в ЕС уже давно ходят по всему европейскому континенту, и Комиссия ЕС требует ровного игрового поля без барьеров для конкуренции. Ранее основными конкурентами сети железных дорог являлись другие виды транспорта, и для того, чтобы железная дорога была предпочтительным видом транспорта, отрасль должна предлагать гарантированное обслуживание от двери до двери или от фабрики до пункта продажи в режиме 24/7. Теперь наряду с этим железная дорога Европы призвана выступить интегратором синхромодальных транспортно-логистических схем. Для достижения этой цели уже существуют решения цифровой сигнализации и связи, ведущие к автоматическому управлению поездом и автоматизированному техническому обслуживанию, чтобы увеличить пропускную способность и сократить расходы до такой степени, что железнодорожные операции не потребуют субсидий от правительства. Пропускная способность в настоящее время строго ограничена из-за управления движением поездов через систему блоков (участки «зарезервированного» пути, на котором не могут работать два поезда). Движущиеся блоки улучшают это, но автономная связь между поездами и новые компоненты инфраструктуры могут увеличить пропускную способность более чем на 100% при стоимости активов в миллиарды евро.

Экологические и энергетические соображения требуют, чтобы большинство поездок на средние и большие расстояния (грузовые и пассажирские) осуществлялись по железной дороге. Это обусловлено заторами (потери от них составляют 1,5% ВВП ЕС) и необходимостью значительного сокращения транспортных выбросов вредных веществ. На рисунке 1 приведены непрямые затраты на разных видах транспорта, которые в конечном счете становятся общественными тратами и это так же один из мощных

Статья получена 30 мая 2019.

О.Н. Покусаев - Центр цифровых высокоскоростных транспортных систем РУТ (МИИТ) (email: o.pokusaev@rut.digital)

А.А. Климов – РУТ (МИИТ) (email: aaklimov1961@gmail.com)

В.П. Куприяновский - МГУ имени М.В. Ломоносова; Центр цифровых высокоскоростных транспортных систем РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)

П.М. Морхат - Арбитражный суд Московской области (email: pmorhat@mail.ru)

Д.Е. Намиот - МГУ имени М.В. Ломоносова; РУТ (МИИТ) (e-mail: dnamiot@gmail.com).

стимулов развития железных дорог. Поэтому развитие железных дорог в ЕС рассматривается как общественное развитие и сопровождается большим вниманием, как властей, так и разных групп населения.

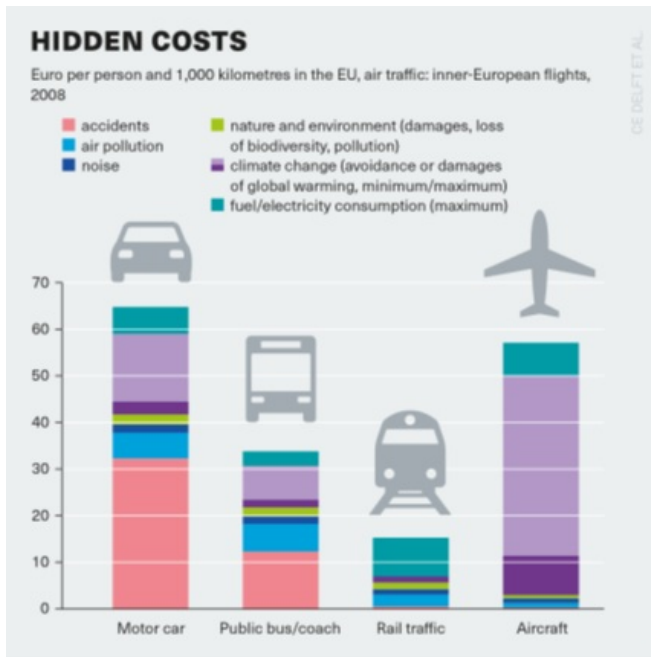


Рис. 1. Скрытые затраты рассчитанные на 1 перевозимого на расстояние 1000 км человека (в евро). На рисунке: розовый - аварии; синий – загрязнение воздуха; темно синий – шум; зеленый – ущерб окружающей среде; фиолетовый – изменение климата; бирюзовый – топливные возмещения (Источник -UIC Railway Asset Management Global Conference 2019)

Приоритеты развития устанавливаются и на национальном уровне, а в Великобритании, например, финансирование Network Rail выделяется с использованием пятилетних контрольных периодов, которые устанавливают конкретные целевые показатели с точки зрения состояния инфраструктуры, обновлений и удовлетворенности клиентов. ЕС, следуя принятым решениям, требует перехода железнодорожной отрасли к единой системе через требования совместимости, реализуемое через ERTMS.

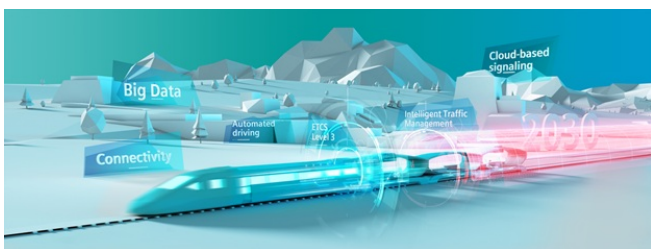


Рис. 2. Системы управления (ERTMS и ATO), совместно с ИКТ становятся определяющим фактором перехода к цифровым железным дорогам (источник – Siemens)

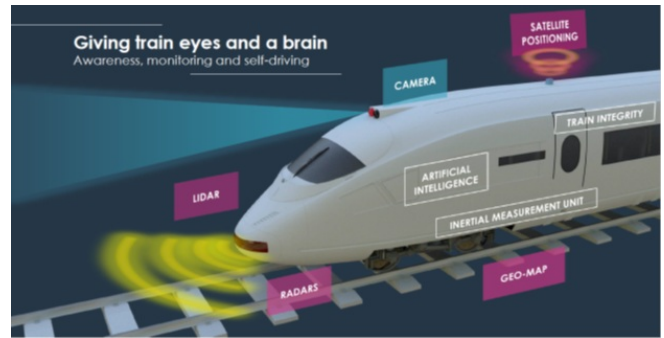


Рис. 3. Дайте поезду глаза и ум: ИИ, определение точно позиции на цифровой карте с помощью спутниковых технологий, внутренние измерительные устройства, целостность поезда, лидары, радары и камеры (источник – Thales)



Рисунок 4. 4 апреля 2019 года - на площадке Alstom Le Creusot был представлен сварочный робот с самой высокой производительностью в железнодорожном секторе, разработанный и изготовленный его поставщиком Farman, дочерней компанией группы Galilé, которая специализируется на роботизированных установках (источник – Alstom).

С внедрением ERTMS очень многое меняется: увеличивается скорость поездов и их плотность на железнодорожной сети. Все это определяет очень существенные требования, как к путевой инфраструктуре, так и к подвижному составу. Свои требования к инфраструктуре и подвижному составу накладывают цифровые транспортные коридоры TEN-T. Поэтому железнодорожная промышленность также стремится к созданию более устойчивой инфраструктуры, и некоторая часть этой устойчивости может быть получена лучшими системами систем для оптимальной маршрутизации трафика. Системы систем должны иметь лучший обзор всей системы, а не более локализованный обзор отдельных центров управления или сигнальных блоков. Это улучшит пропускную способность и операции, сократив затраты на топливо при одновременном увеличении доходов за счет перевозки большего количества пассажиров и грузов в той же или уменьшенной инфраструктуре. Мы приводим на рисунках 2 и 3 то, как видят поезд будущего ведущие производители Европы, и как готовится третий производитель к самому ближайшему будущему (рисунок 4), предполагая быструю роботизированную сборку элементов поездов, аналогичную известной

роботизированной картине в автомобильной промышленности.

Искусственный интеллект меняет транспортный сектор. От помощи автомобилям, поездам, судам и самолетам в автономном функционировании до плавности транспортных потоков - он уже применяется во многих областях транспорта. Помимо облегчения нашей жизни, он может помочь сделать все виды транспорта безопаснее, чище, умнее и эффективнее. Автономный транспорт под управлением искусственного интеллекта может, например, помочь уменьшить человеческие ошибки, которые происходят во многих дорожно-транспортных происшествиях. Однако с этими возможностями возникают реальные проблемы, включая непреднамеренные последствия и неправильное использование, такие как кибератаки и предвзятые решения о транспорте. Существуют также последствия для трудоустройства и этические вопросы, касающиеся ответственности за решения, принимаемые искусственным интеллектом вместо людей.

ЕС предпринимает шаги по адаптации своей нормативно-правовой базы к этим событиям, чтобы он поддерживал инновации и в то же время обеспечивал уважение фундаментальных ценностей и прав. Уже принятые меры включают общие стратегии в области искусственного интеллекта и правила, поддерживающие технологии, позволяющие применять искусственный интеллект на транспорте. Конечно, далеко не только ИИ нужен для модернизации железных дорог, и мы собрали публикации на эту тему в [1-27].

II. ЦИФРОВИЗАЦИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК РЫЧАГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ЭТАП ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

С 1990-х годов цифровизация развивается быстрыми темпами во всех промышленных секторах, государственных организациях и обществе в целом; и железные дороги не являются исключением. Цифровые технологии уже регулируют ожидания железнодорожных клиентов, привычки бронирования билетов и покупки, информационные и платежные системы операторов, но эксперты считают, что эти технологии могут предложить гораздо больше в этом секторе.

Европейская комиссия определяет цифровую трансформацию как «объединение передовых технологий и интеграцию физических и цифровых систем, преобладание инновационных бизнес-моделей и новых процессов, а также создание интеллектуальных продуктов и услуг» [28]. На наш взгляд в этом определении не хватает только огромного семантического и онтологического значений цифровых данных [27], и тогда его можно считать более полным и ясным. Все это вместе и формирует сегодня понятие цифровизация для железных дорог.

Цифровизация является ключом к конкурентоспособности отрасли и поэтому стала

приоритетом ЕС. ЕС разрабатывает междисциплинарный подход и программы для обеспечения надежной политической основы, финансирования исследований и инфраструктуры, разработки стандартов и возможности подключения и эффективного использования данных. Это должно позволить железнодорожным операторам раскрыть потенциал цифровизации, повысить их эффективность и лучше обслуживать своих клиентов.

Железнодорожные компании во всем мире (и в России этот процесс также происходит) уже внедрили широкий спектр новых услуг и приложений с использованием цифровых технологий, будь то для предоставления большего количества информационных и развлекательных услуг на борту, улучшения мониторинга своих активов или автоматизации большего числа операций. Изменения, вызванные цифровизацией в железнодорожном транспорте, воспринимаются многими заинтересованными сторонами как возможность - благодаря преимуществам, которые она может предложить, - но также и как проблему. Действительно, это потребует изменения мышления и бизнес-моделей. Железнодорожная цифровизация также потребует финансовых вложений и стратегии борьбы с киберугрозами. Решение этих проблем позволит цифровизации повысить эффективность и конкурентоспособность железнодорожного сектора.

Цифровизация началась в 1990-х годах, прежде всего, затронув отрасли, основанные на предоставлении информации, такие как энциклопедия или издатели бизнес-справочников. Впоследствии это коснулось сетевых отраслей, например, в энергетическом, почтовом и транспортном секторах, и продолжала развиваться непредвиденными темпами: теперь это касается всех областей бизнеса и общества в целом. Цифровизация включает процессы, с помощью которых цифровые технологии и информация используются деловыми секторами и государственными администрациями для изменения своих организационных моделей, повышения эффективности и создания новых ценностей. По данным Всемирного экономического форума, к 2025 году совокупная стоимость цифровых технологий для промышленности и общества может превысить 100 триллионов долларов США [29]. От компаний цифровизация требует бизнес-стратегии, ориентированной на клиента, и серьезных организационных изменений.

На основе исследований, проведенных в ключевых секторах экономики Германии и Европы, консультант по стратегии компания Роланд Бергер [30] определил четыре рычага цифрового преобразования для железнодорожной отрасли:

- цифровые данные, которые после сбора и анализа обеспечивают лучшие прогнозы и решения;
- системы автоматизации, которые увеличивают скорость, снижают частоту появления ошибок и эксплуатационные расходы;

- связность, которая синхронизирует цепочки поставок и сокращает инновационные циклы; а также
- цифровой доступ клиентов, который позволяет компаниям предлагать клиентам прозрачность и новые услуги.

Цифровизация и ее возможности расширяются благодаря появлению и развитию ключевых технологий. С 1990-х годов основной движущей силой цифровизации стало развитие Интернета. Отчеты Global Digital за 2018 год показывают, что более 4 миллиардов человек во всем мире пользуются Интернетом, что составляет примерно 53% мирового населения, и более 3 миллиардов человек используют социальные сети для обмена информацией. В целом, мобильные устройства (смартфоны или планшеты) генерируют примерно 60% объема интернет-трафика.

Интернет вещей (IoT) начал свою жизнь примерно в 2009 году, когда количество физических устройств, таких как датчики и исполнительные механизмы, подключенные к Интернету и вычислительным системам, превысило численность мирового населения. Интернет вещей - это система взаимосвязанных вычислительных устройств, механических или цифровых машин, объектов или людей, способных обмениваться данными по сети с использованием интеллектуальных интерфейсов. IoT быстро развивался, и в начале 2018 года к нему каждую секунду подключалось около 127 новых устройств. Ожидается, что к 2020 году к Интернету будет подключено до 50 миллиардов устройств. Согласно Глобальному институту McKinsey, IoT будет иметь наибольшее экономическое влияние среди всех прорывных цифровых технологий, опережая мобильный интернет, облачные вычисления или передовую робототехнику. Исследование Европейской комиссии считает, что к 2020 году рыночная стоимость IoT превысит 1 триллион евро.

Развитие интернета и цифровизация два очень связанных явления и облик грядущего нового интернета [17,31,32] может существенно изменить известный сегодня набор цифровых технологий.

Облачные вычисления - это модель для предоставления или получения услуг информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) по сети, доступная в любой момент и облегчающая обработку данных. Предоставляемые услуги могут включать в себя серверы, программное обеспечение, операционные системы, хранилище и приложения. Облачные вычисления позволяют клиентам оплачивать только те услуги, которые они используют в соответствии со своими потребностями, и избегать крупных инвестиций в собственную ИТ-инфраструктуру. Такие варианты уже рассматриваются на железных дорогах в практическом плане

Аналитика больших данных: большие данные - это большие объемы данных, создаваемых широким спектром источников, таких как машины, датчики, спутники и сигналы GPS. Они охватывают многие

области, такие как энергетика, транспорт и здравоохранение. Улучшенная обработка и анализ больших данных позволяют промышленности предлагать инновационные продукты и услуги, а также повышать производительность и эффективность, в том числе в более традиционных секторах, таких как транспорт. Читатель может посмотреть, как исследуется эта тема в применении к железнодорожной части TEN-T (цифровые железнодорожные коридоры ЕС и о них речь пойдет ниже) в проекте ЕС SAFE-10-T [33-35] и для ВСМ в проекте ЕС Transforming Transport [36,37].

Совместное взаимодействие многих технологий привело к созданию концепций «Индустрия 4.0» и «Индустриальный Интернет вещей (IIoT)». Это относится к автоматизированному производству на основе обмена данными в режиме реального времени, что может снизить эксплуатационные расходы, повысить производительность и расширить спектр предлагаемых продуктов и услуг. Железнодорожный производственный сектор ЕС активный участник этого процесса (как мы отмечали выше) и возможно именно в этом секторе уже сегодня происходит практическая цифровая связь между подвижными средствами и дорогой [1-7,11,13]

Сегодня многие эксперты считают такую цифровизацию необходимым шагом в развитии железнодорожного транспорта. Поскольку это может улучшить производство, эксплуатацию и техническое обслуживание, железнодорожные компании и управляющие инфраструктурой рассматривают цифровизацию как рычаг для повышения эффективности и управления, снижения эксплуатационных расходов и повышения конкурентоспособности с другими видами транспорта. Железнодорожные компании ЕС и их поставщики уже запустили инвестиции, запустили инкубаторы и провели исследования для разработки новых цифровых решений для управления своим бизнесом. Более чем вероятно, что цифровизация предоставит новые возможности для участников железнодорожного транспорта, например, в управлении активами, операциях или роли пользователей, и будет способствовать появлению новых игроков на рынке железнодорожных перевозок. Цифровизация является новым элементом конкурентоспособности для компаний во всех секторах и важным условием для эффективной работы экономики. Вот почему это стало одним из главных приоритетов ЕС.

III. ПОЛИТИКА И ПРОГРАММЫ ЕС, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЦИФРОВИЗАЦИЮ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

С середины 1990-х годов ЕС работает над созданием более интегрированной европейской цифровой экономики и обеспечением необходимых гарантий. Вместо того чтобы выдвигать законодательство или программы, касающиеся исключительно железнодорожной цифровизации, он принял более

широкие межполитические инициативы и проекты, которые могут способствовать этому процессу на железнодорожном транспорте. В 2010 году Европейская комиссия представила цифровую повестку дня в качестве одного из семи столпов стратегии Европа-2020. Стремясь более эффективно использовать информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) для обеспечения роста, он подчеркнул их потенциал для содействия созданию более эффективных и устойчивых интеллектуальных транспортных систем. В 2010 году ЕС предоставил одну из первых мер по цифровизации, применяемых к транспорту. Созаконотатели приняли структуру для развертывания инновационных технологий, известных как интеллектуальные транспортные системы (ИТС), в автомобильном транспорте, а также в ее интерфейсах с другими видами транспорта, и определили приоритеты, такие как мультимодальная информация о путешествиях по всему ЕС.

Единый цифровой рынок является одним из 10 приоритетов Комиссии Юнкера и направлен на обеспечение доступа к онлайн-активностям для предприятий и частных лиц при соблюдении принципов добросовестной конкуренции, защиты потребителей и личных данных. Стратегия единого цифрового рынка для Европы, принятая в мае 2015 года, основана на трех основных принципах: улучшение доступа клиентов к цифровым товарам и услугам, создание равных условий для цифровых сетей и услуг и максимизация потенциала роста цифровой экономики. Чтобы полностью использовать потенциал больших данных, облачных вычислений и IoT, стратегия предлагает устранить технические и законодательные барьеры.

Одним из самых действенных направлений является единая научно-практическая постоянно действующая программа-предприятие Shift2Rail (S2R): инновация для железных дорог, которую в 2014 году ЕС учредил как совместное государственно-частное предприятие Shift2Rail, чтобы обеспечить платформу, координирующую и развивающую исследовательскую и инновационную деятельность для интеграции в передовые железнодорожные решения. Финансируемая Horizon 2020, она направлена на повышение конкурентоспособности железных дорог и получение определенных преимуществ, таких, как снижение стоимости жизненного цикла железных дорог на 50%, удвоение их пропускной способности и повышение пунктуальности на 50%. Хотя Shift2Rail не определяет цифровизацию своей целью как таковую, он выполняет действия, связанные с ней, в некоторых из своих пяти инновационных программ (IP). Например, первая программа (IP1) предназначена для усиления оцифровки железнодорожных подсистем и оборудования (тяга, тормоза и двери). IP2 целиком ориентирован на поддержку европейской системы управления железнодорожным движением (ERTMS) в качестве решения для систем сигнализации и контроля по всему миру. IP4 представляет инновации в цифровых услугах для пассажиров (продажа билетов, отслеживание поездок и т. д.), А IP5 фокусируется на новых цифровых

функциях, повышающих пунктуальность железнодорожных перевозок. Графическое представление о направлениях исследований S2R можно увидеть на рисунках 5 и 6.

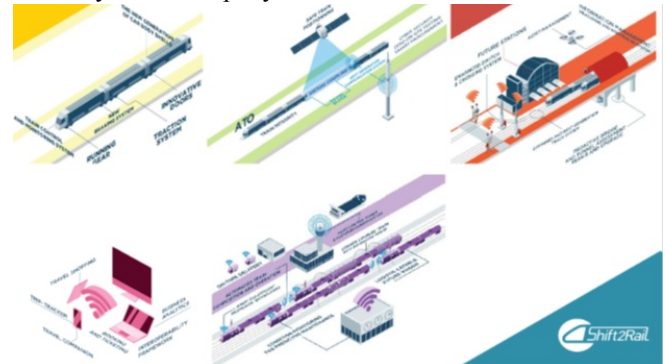


Рис. 5. Графическое представление содержания всех IP Shift2Rail (источник – презентация работ [41] 2019 года IP Shift2Rail)

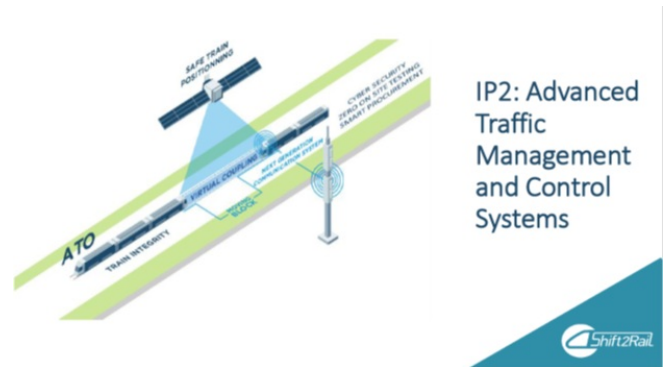


Рис. 6. Графическое представление содержания IP2 Shift2Rail (источник – презентация работ [41] 2019 года IP Shift2Rail)

Среднесрочный обзор единого цифрового рынка определил данные в качестве одного из главных приоритетов, и в сентябре 2017 года ЕС предложил новое положение о структуре свободного потока данных неличного характера, принятое в ноябре 2018 года. Свободное распространение этих данных по системам ЕС и ИТ и устанавливает принцип доступности данных для компетентных органов.

Что касается более технических аспектов, чтобы улучшить совместимость цифровых технологий и стимулировать инновации, Европейская комиссия опубликовала сообщение о приоритетах стандартизации в области ИКТ в апреле 2016 года. Она посчитала, что цифровые технологии уже являются ключевым элементом железнодорожного транспорта и что последние могут принести пользу из предложенной стандартизации ИКТ. В том же месяце, чтобы усилить индустриальные и инновационные аспекты стратегии цифрового рынка, Комиссия приняла сообщение «Оцифровка европейской промышленности - пожинать все преимущества единого цифрового рынка», основной целью которого является обеспечение того, чтобы отрасль, между секторами и территории, в полной мере выгоды от цифровых инноваций.

В этом сообщении очень кратко упоминается

транспортный сектор, ограничиваясь автоматическим вождением. В нем также подчеркивается важность развертывания и развертывания высокопроизводительных интернет-сетей во всех секторах экономики, в частности на транспорте. В связи с этой темой Европейская комиссия представила новую стратегию подключения в сообщении от сентября 2016 года «Возможность подключения к конкурентному единому цифровому рынку - на пути к европейскому гигабитному обществу». Что касается транспорта, стратегия устанавливает цель гигабитного подключения на 2025 год для всех основных транспортных узлов, чтобы упростить использование интермодальных перевозок на основе инновационных приложений. Кроме того, он предлагает поддержать скоординированное развитие сетей мобильной связи (5G) пятого поколения и ставит задачу охватить все основные наземные транспортные пути (железные дороги, автомагистрали и дороги) и городские районы 5G.

В 2015 году Европейская комиссия учредила экспертную группу, форум по цифровому транспорту и логистике (DTLF), с целью улучшения взаимодействия в грузовых перевозках между видами транспорта и секторами. Состоящий из экспертов из государств-членов, государственных учреждений и организаций, которые делятся опытом и координируют рекомендации в отношении оцифровки транспорта, он подготовил материалы для законодательного предложения 2018 года об электронной информации о грузовых перевозках и для создания цифровых информационных систем коридоров, которые предназначены содействовать обмену данными между заинтересованными сторонами в цепочке поставок. Предложение направлено на то, чтобы поощрять использование и принятие информации об электронных перевозках государственными органами и бизнес-операторами во всех видах транспорта, включая железнодорожные, и предлагать совместимые ИТ-решения для обмена этой информацией. Цифровизация приведет к сокращению использования бумажных документов, повышению надежности перевозки грузов что, по мнению Комиссии, даст экономии административных расходов.

Чтобы дать исчерпывающий ответ на вызовы оцифровки, в июне 2018 года Комиссия приняла предложение по программе «Цифровая Европа» на 2021–2027 годы, которая в настоящее время обсуждается со-законодателями ЕС в более широких рамках долгосрочного бюджета ЕС, предложение о многолетних финансовых рамках (MFF) на 2021–2027 годы. Новая программа представляет собой инструмент финансирования, который будет направлен на укрепление потенциала ЕС в ключевых секторах: высокопроизводительные вычисления, искусственный интеллект, кибербезопасность и цифровые навыки. Она включает в себя транспортный компонент, встроенный в цель развертывания цифровых мощностей в экономике и обществе.

IV. ЕВРОПЕЙСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (ERTMS): ОСНОВА ЦИФРОВЫХ ПОЕЗДОВ И РАЗВИТИЯ В НАПРАВЛЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В ЕС насчитывается около 30 национальных систем железнодорожной сигнализации, что может вызвать технические или эксплуатационные проблемы на границах. Чтобы преодолеть этот недостаток, ЕС решил разработать, принять и внедрить единый стандарт управления, командования, сигнализации и связи, ERTMS, устанавливающий совместимую железнодорожную структуру на всей территории ЕС. Установленный как на путевой системе, так и на борту, он состоит из европейской системы управления поездом (ETCS), обеспечивающей, чтобы поезд не превышал безопасную скорость и расстояние от других поездов, и глобальной системы мобильной связи на железных дорогах (GSM-R), представляющей стандарт радиосвязи для железнодорожных перевозок. Преимущества ERTMS разнообразны. В дополнение к функциональной совместимости, ERTMS повышает безопасность поездов, скорость (до 500 км/ч), пропускную способность на линиях - так как это уменьшает минимальный интервал (Интервал - это минимальное расстояние или время между коммерческими транспортными средствами) между поездами - и пунктуальность. Это позволяет железнодорожным компаниям устанавливать на борту только одну систему сигнализации, что снижает расходы и расходы на обучение машинистов. Наконец, это помогает повысить конкурентоспособность железных дорог и продвигать индустрию поставщиков в ЕС, поскольку система также используется на других континентах. Фактическое значение ERTMS совпадает с определением цифровизации и сутью цифровой экономики для железных дорог, так как устанавливает связи между физическим и цифровым мирами, подвижным составом и железнодорожными путями, приносит огромные экономические и иные результаты и служит основой для накопления данных и знаний необходимых ИИ. Чтобы прочитать детали и ощутить динамику развития ERTMS можно посмотреть следующие публикации [1,3,4,11,13,14,19,21,22,26].

Первоначально запланированный на 2020 год в шести коридорах с наибольшим грузопотоком, план развертывания ERTMS был пересмотрен в 2017 году с более реалистичными сроками: в соответствии с трансъвропейской транспортной сетью (TEN-T) и требованиями к европейской железнодорожной сети для конкурентоспособности. К 2023 году ERTMS должна оборудовать 50% из девяти основных грузовых коридоров, а остальные - к 2030 году. Агентство железных дорог Европейского Союза, определено как орган по внедрению и стандартам [38]. Для детализации мы вынесли эту тему в отдельный раздел.

Технически системы управления движением поездов представляют собой механизмы, обеспечивающие

остановку поездов там, где это необходимо, и движение с безопасной скоростью для линии. Исторически это было просто обязанностью машиниста следить за сигналами, но со временем были разработаны автоматические системы, обеспечивающие автоматическую остановку поездов, когда сигнал красный. Эти системы были различными в каждой национальной железнодорожной сети и, таким образом, были основным препятствием для трансграничных операций. ERTMS - это очень крупная промышленная программа, направленная на гармонизацию системы автоматического управления и связи поездов и обеспечение совместимости всей железнодорожной системы в Европе. Поскольку различия между большим разнообразием национальных систем управления движением поездов представляют собой весьма существенный барьер для взаимодействия европейской железнодорожной системы, развертывание ERTMS обеспечит основу для цифровой единой европейской железнодорожной зоны.

ERTMS состоит из:

- ETCS (Европейская система управления поездом), стандарт управления поездом, основанный на оборудовании в кабине, бортовое устройство, способное контролировать движение поездов и останавливать его в соответствии с разрешенной скоростью на каждом участке линии, наряду с расчетами и постоянный контроль максимальной скорости поезда. Информация поступает от оборудования ETCS рядом с трассой. Реакция машиниста постоянно контролируется, и в случае необходимости аварийные тормоза будут взяты под контроль.

- GSM-R (Глобальная система мобильной связи - железные дороги) - это вторая система ERTMS, европейский стандарт радиосвязи для железнодорожных перевозок. Основанная на технологии радиосвязи GSM, GSM-R использует эксклюзивные полосы частот для связи поезда с центрами управления движением и устройствами, расположенными рядом с рельсом.

Базовая линия ERTMS соответствует версии технических спецификаций, разработанных и утвержденных для данного проекта. Большинство работающих систем сегодня основаны на спецификации Baseline 2 (версия 2.3.0d1). Спецификация Baseline 3 была разработана для того, чтобы включить в себя возврат опыта из Baseline 2, включить новые функции и внедрить механизм (Управление версиями системы), чтобы позволить будущим дополнениям сохранять совместимость. Комиссия приняла в 2016 году новую Техническую спецификацию по функциональной совместимости, относящуюся к командам управления и сигнализации (CCI TSI), которая придает юридический статус спецификации ERTMS и считается функционально завершенной.

Уровень ETCS определяет оснащенный путь и способ передачи информации между путем и транспортным средством:

- Уровень 1: информация передается через Eurobalise, которые являются транспондерами, установленными на

путях и подключенными к сигнальному оборудованию. Необходима система обнаружения поездов.

- Уровень 2: информация передается через GSM-R. Транспортное средство автоматически сообщает о своем местоположении и направлении движения в центр управления и получает разрешения на движение. Это позволяет полностью удалить сигнальную часть с линии путей, но необходима система обнаружения поездов.

- Уровень 3: информация передается через GSM-R. Транспортное средство автоматически сообщает о своем местоположении, направлении движения и целостности в центр управления и получает разрешения на движение. Это позволяет полностью удалить сигнальную часть на боковой части путей, и система обнаружения поездов не требуется.

Необходимые шаги для заинтересованных сторон для устранения выявленных барьеров на пути внедрения ERTMS и для обеспечения совместимости ERTMS и

основные группы заинтересованных сторон, по мнению железнодорожных властей ЕС, включают:

- Государства-члены (MS): MS отвечают за транспортную политику и инвестиции, осуществляемые на национальном уровне. Учитывая значительные затраты на развертывание ERTMS и последствия для железнодорожной сети, приверженность MS имеет решающее значение для успешного развертывания ERTMS.

- Менеджеры инфраструктуры (IM): IM важны для успеха развертывания ERTMS, так как они отвечают за планирование и внедрение системы на национальном уровне, и, кроме того, должны сотрудничать для управления трансграничными операциями и преодоления барьеров функциональной совместимости инфраструктуры.

- Предприятия железной дороги (RU) и владельцы поездов: RU (как грузовые, так и пассажирские) и владельцы поездов являются сторонами, ответственными за своевременную установку бортовых агрегатов ERTMS. Для работы системы требуются элементы ERTMS, как дорожные, так и бортовые.

В зависимости от типа железной дороги в ЕС применяются Решение Комиссии от 23 апреля 2008 г., изменяющее Приложение А к Решению 2006/679 / ЕС относительно технической спецификации для взаимодействия, относящейся к подсистеме управления и сигнализации трансъвропейской системы обычных железных дорог, и Приложение А к Решению 2006/860 / ЕС относительно технической спецификации для взаимодействия, относящейся к подсистеме командного управления и сигнализации трансъвропейской высокоскоростной железнодорожной системы а так же Регламент Комиссии (ЕС) 2016/919 от 27 мая 2016 года о технической спецификации для взаимодействия, связанной с управляющей командой и сигнальные подсистемы железнодорожной системы в Европейском Союзе.

Есть следующие участники процесса внедрения ERTMS в ЕС :

- Поставщики. Поставщиками являются компании, отвечающие за производство и установку систем

ERTMS, как на борту, так и на путевом пути.

- Железнодорожное агентство Европейского Союза (ERA): ERA было создано для оказания государствам-членам ЕС и Комиссии технической помощи в области безопасности и функциональной совместимости железных дорог.

- Европейская комиссия (ЕК): Комиссия отвечает за законодательную базу и общеевропейское направление политики для развертывания ERTMS. Он также оказывает значительную финансовую поддержку развертыванию ERTMS через механизм «Соединяющаяся Европа» (CEF) и фонды регионального развития.

- Национальные органы по безопасности (NSA): органы, на которые возложена ответственность за безопасность на железнодорожной сети, включая авторизацию инфраструктуры и подвижного состава.

- Уполномоченные органы: органы, уполномоченные оценивать совместимость работ или оборудования с Техническими спецификациями совместимости (TSI) как частью системы, чтобы эффективно и безопасно разрешать совместимость железнодорожных услуг в пределах Европейского Союза.

Коридоры базовой сети и железнодорожные грузовые коридоры, в состав которых входят определенные группы заинтересованных сторон, указанных выше, также должны эффективно использоваться для поддержки развертывания ERTMS.

Также важны ассоциации и группы, представляющие различные заинтересованные стороны, в частности, для синтеза и координации действий отдельных заинтересованных сторон для поддержки развертывания ERTMS.

В конце 2017 года с ERTMS уже работала на почти 4.500 километров линий основных сетевых коридоров, и на сегодняшний день установлена в около 7000 транспортных средствах оборудованных или сданных в эксплуатацию ETCS в ЕС, значительная часть которых была поддержана финансированием ЕС. ERTMS контролирует и защищает почти все высокоскоростные сети в Италии и Испании; так же как в значительной части швейцарской, голландской и бельгийской железнодорожных сетей. Поезда работают в коммерческом режиме на скорости 320 км / ч с ETCS. ETCS контролирует грузовые поезда на обычных линиях и на определенных маршрутах (например, линия Betuwe). Самый длинный альпийский туннель работает исключительно с ERTMS. Система работает на пригородных линиях с пригородным движением (например, Мадрид). Ожидаемый прогресс в работе линий ERTMS к 2023 году приведен далее.

Несмотря на этот прогресс, по мнению экспертов еще предстоит проделать большую работу для развертывания интероперабельной системы в масштабах ЕС, поскольку развернутые системы ERTMS еще не представляют собой интероперабельную систему. Барьеры для достижения совместимости, как отмечается, включают в себя:

- Нескоординированное развертывание системы

ERTMS между государствами-членами и внутри них.

- Требования, предъявляемые к бортовым устройствам, например, в соответствии с национальными правилами, необходимость работы в различных инфраструктурах, взаимодействие с устаревшими системами в государствах-членах (класс В).

Директива (ЕС) 2016/797 ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА от 11 мая 2016 года о функциональной совместимости железнодорожной системы в рамках Сообщества определяет «функциональную совместимость» как способность железнодорожной системы обеспечивать безопасное и бесперебойное движение поездов, которые достичь требуемых уровней производительности для этих линий. Эта способность зависит от всех нормативных, технических и эксплуатационных условий, которые должны быть выполнены для удовлетворения основных требований.

Меморандум о взаимопонимании между Европейской комиссией, ERA и Европейскими ассоциациями железнодорожного сектора 2016 года устанавливает определение функциональной совместимости в отношении развертывания ERTMS, что означает достижение и поддержание совместимости, где совместимость - это юридическая и техническая уверенность в том, что бортовой модуль ERTMS соответствует базовому уровню 3 (Технический выпуск 1 и выпуск 2), при условии, что на нем установлены необходимые опции, может безопасно работать на любой линии ERTMS, совместимой с TSI, с приемлемым уровнем производительности.

Выпуск 2 Baseline 3 функционально завершен и должен оставаться стабильным в ближайшие годы (включая исправление ошибок), поэтому он является законным ориентиром для развертывания системы - эти изменения могут привести к созданию бортовых модулей, которые могут работать в одном государстве-члене, но не в другом, и могут увеличить расходы за счет настройки вызванной :

- Различными инженерными правилами в государствах-членах и между ними, с большим разнообразием конфигураций путей, влияющих на процедуры тестирования и приводящих к более высоким затратам.

- Неэффективностью в оценках соответствия и авторизации, например, в различных оценках НГБ относительно того, являются ли модификации незначительными или существенными (с необходимостью повторной авторизации для крупных модификаций).

- Рыночной неэффективностью, когда краткосрочные экономические стимулы для поставщиков и потребителей могут работать против цели взаимодействия.

- Различными интерпретациями спецификаций ERTMS во время развертывания проектов, которые могут привести к ошибкам и несовместимости между подсистемами ETCS.

Преимущества в преодолении этих барьеров -

снижение затрат и повышение эффективности развертывания - для создания совместимой системы сигнализации и управления значительны, что делает железнодорожный транспорт более конкурентоспособным видом транспорта. Аналогичным образом, затраты и риски, связанные с устранением этих барьеров и развертыванием фрагментарно, велики.

В конечном счете, все вовлеченные стороны, как считают в ЕС, должны конструктивно работать, чтобы достичь в бизнес-временном горизонте желаемой цели взаимодействия.

В последние годы были предприняты значительные шаги для решения основных проблем, связанных с созданием интероперабельной железнодорожной системы.

V. ИТОГИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ERTMS В ПРОЕКТАХ TEN-T ЗА 2007-2013 ГОДЫ

Основным заказчиком на европейском уровне ERTMS является система транспортных коридоров общеевропейского значения TEN-T [11,13,15,16] и в 2018 году был опубликован материал ЕС, подводящий итоги развертывания ERTMS за 2007-2013 годы [38]. В нем отмечается, что Европейская система управления железнодорожным движением (ERTMS) является крупным горизонтальным железнодорожным проектом, который направлен на повышение безопасности и функциональной совместимости железнодорожных перевозок и, следовательно, на конкурентоспособность железных дорог на транспортном рынке ЕС. ERTMS [38], с точки зрения TEN-T, - это система командования и управления, состоящая из Европейской системы управления поездом (ETCS, для непрерывного контроля скорости транспортного средства) и системы радиосвязи GSM-R (для передачи голоса и данных, прежде всего для уровней 2 и 3 системы).

Система была разработана европейской промышленностью с конца 20-го века. Усилия активизировались с вступлением в силу всеобъемлющего законодательства ЕС, а также с принятием общенациональной стратегии развертывания на сети TEN-T в начале XXI века.

В марте 2005 года Европейская комиссия подписала Меморандум о взаимопонимании (MoU) с представителями железнодорожного сектора и железнодорожной промышленности, в котором изложены основные принципы европейской стратегии развертывания ERTMS. Основная цель этого MoU заключалась в определении вклада заинтересованных сторон в обеспечение постепенного внедрения сети, оборудованной ERTMS, в течение ближайших 10-12 лет на сети TEN-T. Продвигаемый подход был основан на скоординированном развертывании ERTMS вдоль шести важных грузовых коридоров (обозначенных от А до F) и ключевых высокоскоростных линий. Шесть коридоров TEN-T представляли 6% всей европейской железнодорожной сети, но перевозили около 20% грузопотока на момент подписания MoU.

В течение финансового периода 2007-2013 гг. Были подписаны два последующих MoU. Со вторым (2008) и третьим (2012) MoU сотрудничество заинтересованных сторон ERTMS и общее управление системой были усилены под руководством Европейского железнодорожного агентства (ERA). Было обеспечено развертывание в соответствии с согласованными в рамках ЕС стандартными спецификациями (базовый уровень 2, принятый в апреле 2008 года, и базовый уровень 3, принятый в ноябре 2012 года). В целях обеспечения функциональной совместимости железнодорожной системы ЕС поощрялся последовательный подход к спецификациям ERTMS и их техническому обслуживанию и не поощрялось включение национальных функций в дополнение к стандартным спецификациям ЕС.

Директива о совместимости 2008/57 / ЕС Европейского парламента и Совета от 17 июня 2008 года о функциональной совместимости железнодорожной системы в Сообществе с соответствующими Техническими спецификациями для функциональной совместимости, относящимися к подсистемам управления и сигнализации (TSI CCS) правовая основа для внедрения ERTMS в ЕС.

Кроме того, Европейский план развертывания ERTMS (EDP) был принят в 2009 году и послужил основой для постепенного развертывания ERTMS вдоль основных европейских железнодорожных маршрутов TEN-T в период 2015–2020 годов. Вышеупомянутые документы включили ERTMS в транспортную стратегию ЕС, прокладывая путь для ее последующего развертывания.

На момент закрытия финансовых рамок на 2007-2013 гг. [38] действия по внедрению ERTMS получили вклад ЕС от Программы TEN-T. Окончательное финансирование TEN-T, поглощенное этим портфелем ERTMS, составляет 248,6 млн. евро. Как определено в TEN-T [38] ERTMS, профинансированы следующие три приоритета ERTMS:

1. Развертывание на железнодорожных путях ERTMS. Секции могут быть модифицированы с помощью системы (секция линии уже работает и ранее не оснащалась системой) или модернизированы, если уже оснащены версиями системы до 2.3.0d Baseline;

2. Бортовое развертывание ERTMS (локомотивы, вагоны, техническое обслуживание «желтые» машины). Новые транспортные средства были «оснащены» ERTMS, тогда как существующие могли быть либо «модифицированы», если еще не оснащены ETCS, либо «модернизированы», если они были оснащены версиями ETCS до 2.3.0d Baseline;

3. Меморандум о взаимопонимании (MoU), способствующий выполнению положений MoU. Связанные действия охватывали, в частности, такие элементы, как тестовые кампании (как в полевых условиях, так и в лаборатории), помощь ERA в разработке и поддержке спецификаций ERTMS и т. д.

Приведенная ниже диаграмма показывает, что из 52 действий 20 способствовали развертыванию на трассе, 24 - развертыванию на борту и 13 - по крайней мере частично участвуют в мероприятиях, связанных с MoU

(пять действий охватывают более одного компонента). Большая часть финансирования TEN-T, 136,7 млн. Евро (55%), была выделена на развертывание на путях, в то время как финансирование для бортового развертывания составило 78,2 млн. Евро (31%). В рамках мероприятий, связанных с Меморандумом о взаимопонимании, было получено 33,7 млн. Евро (14%) от окончательных средств TEN-T, поглощенных в рамках действий ERTMS (рисунок 7).

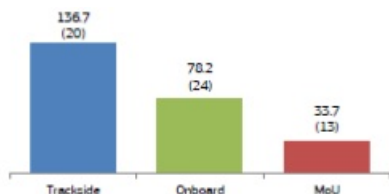


Рис. 7. Окончательное финансирование TEN-T для действий ERTMS на компонент, млн. Евро и количество действий [38].

На рисунке 8 показано окончательное распределение грантов TEN-T на уровне государств-членов. Можно наблюдать разницу в стратегии финансирования между участвующими государствами-членами. В то время как Бельгия, Австрия, Словения, Республика Чехия, Франция и Польша сконцентрировали поддержку TEN-T на развертывании на путях, Нидерланды, Италия, Германия, Люксембург и Швеция сосредоточили внимание на развертывании на борту подвижного состава. Стоит отметить, что значительная часть мероприятий MoU была реализована в рамках действий с участием многих бенефициаров, осуществляемых многонациональными организациями (например, EFIG), собирающими заинтересованные стороны из разных государств-членов.

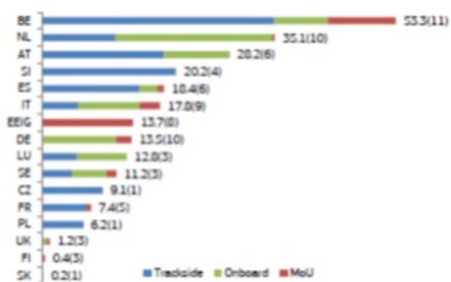


Рис. 8. Окончательное финансирование TEN-T для действий ERTMS для государства-члена и компонента, млн. евро и количество действий [38].

Что касается компонентов на путях, 20 действующих лиц (Actions) развернули ERTMS (первое развертывание и обновление) на общей сложности 3096 км двухпутной (линии (или эквивалент двухпутной)) со следующей разбивкой между первым развертыванием и обновлением [38]:

1. Первое развертывание вдоль линий (1 999 км - включая 144 км пилотной линии, 65%)
2. Модернизация уже оборудованных линий (1 098 км, 35%)

На рисунке 9 показано географическое распределение по типам развертывания и уровню ERTMS в соответствующих 11 государствах-членах. Можно отметить, что Бельгия, Словения, Австрия, Польша, Чехия и Люксембург сосредоточились на первом развертывании системы. Для всего портфеля ERTMS распределение двойных путей (в км) на уровень почти поровну разделено между уровнем 1 (1397 км) и уровнем 2 (1568 км), а для шести стран уровень 2 является доминирующим. Действия по ERTMS в рамках TEN-T по типу установки показаны на рисунке 9, а действия по ERTMS в рамках TEN-T по уровню установки на рисунке 10.



Рис. 9. Действия по ERTMS в рамках TEN-T по типу установки (Карта 1, источник – [38])



Рис. 10. Действия по ERTMS в рамках TEN-T по уровню установки (Карта 2, источник – [38])

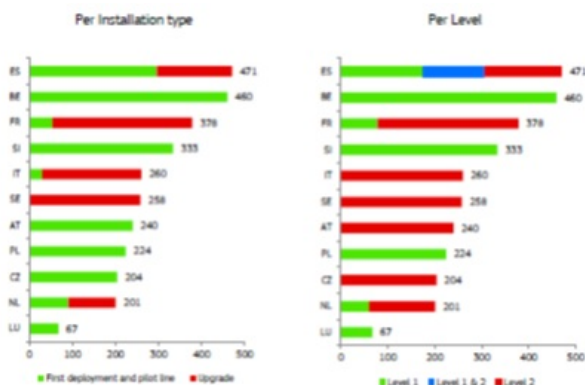


Рис. 11. Двойной путь (км) для каждого государства-члена выполненной с ERTMS в рамках TEN-T [38].

Из 3 096 км двухпутных линий (в км), на которых была развернута ERTMS, 64% (или 1 979 км) были в коридорах ERTMS, что свидетельствует о важности этих коридоров для всей Программы. Они послужили основой для создания и в целом соответствуют железнодорожным грузовым коридорам (Регламент ЕС 913/2010) и Коридорам базовой сети следующим образом:

- Коридор А - RFC 1 - CNC Рейн Альпийский
- Коридор В - RFC 3 - CNC Скандинавско Средиземноморский
- Коридор С - RFC 2 - CNC Северное море, Средиземное море
- Коридор D - RFC 6 - CNC Средиземноморье

- Коридор Е - RFC 7 - CNC Orient East Med
- Коридор F - RFC 8 - CNC Северное море Балтика

На рисунке 9 показано разделение линий, в которых ERTMS была реализована для каждого коридора, причем коридоры С и D адресованы самым длинным участкам. Следует отметить, что ERTMS также была внедрена на значительной части не коридорных железнодорожных линий (1118 км).

В таблице 1 показана длина каждого коридора и длина оборудованных двухпутных линий. При измерении влияния финансирования TEN-T на ход первого развертывания ERTMS (включая пилотные линии) и модернизацию коридоров, Коридор С является основным получателем с почти 33% длины коридора. С другой стороны, очень незначительная поддержка была окончательно выделена для развертывания ERTMS в Коридорах А, В и Е, и ни одной для Коридора F. Последняя была вызвана отсутствием соответствующих приложений или прекращением поддерживаемых Мероприятий.

Таблица 1: Портфель действий ERTMS - Окончательный охват коридора ERTMS * [38]

Corridor	Length (km) (European Deployment Plan)	First deployment and pilot lines (km)	Upgrade (km)	Current TEN-T coverage
A	2,200	91	110,0	9%
B	3,900	160	230,0	10%
C	1,700	565	-	33%
D	2,700	494	44,5	20%
E	2,600	294	-	11%
F	1,900	-	-	0%
Total	15,000	1,594	384,5	14%

* Показатели развертывания ERTMS на путях относятся к километрам оборудованного двухпутного пути, что в большинстве случаев соответствует длине участка. Исключения незначительны.

Базовая линия 2, выпуск 2.3.0d, была, безусловно, самой распространенной базовой линией системы, реализуемой действиями, поддерживаемыми TEN-T, с общей длиной 3000 км, эквивалентной двухпутной линии.

Весьма примечательна будущая схема железнодорожных коридоров TEN-T на базе ERTMS (Рисунок 12), которая уже больше напоминает схему городского метро, чем железнодорожных линий. Именно в метро были внедрены цифровые системы управления и развитие АТО раньше, чем на железной дороге [11], а так же это уже произошло на горнорудных предприятиях [5]. Психологически рисунок 10 показывает гражданину ЕС, что единая железнодорожная система Европы становится чем-то вроде удобного метрополитена европейского континента. В 2019 году также вышла примечательная работа [39] по инновационным способам (коммерческим, в том числе) финансирования ERTMS.



Рис. 12. Будущая схема железнодорожных коридоров TEN-T на базе ERTMS [37]

VI. ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ВЕЛИКОБРИТАНИИ

Из многих уже реализуемых в странах ЕС собственных проектов ERTMS, как правило уже называющихся цифровыми железными дорогами, и они объявлены и развиваются в Великобритании, Германии и Норвегии или в объединении нескольких стран [4], мы выбрали Великобританию так как по нашему мнению железные дороги этой страны в наибольшей степени продвинуты в этом направлении и близки к успеху. Кроме того очень многие аспекты цифровой железной дороги Великобритании уже имеют основу в виде национальных стандартов и в том числе ERTMS, либо хорошо описаны в обязательных документах, которые мы назвали предстандартами [1]. Великобритания один из самых активных участников S2R и все материалы его британцы активно применяют при создании своей цифровой железной дороги. Они также активный участник EULYNX и результаты этого объединения также улучшают развитие проекта цифровой железной дороги GB [4,43]. Поэтому приведем цели и задачи реализации цифровой железной дороги с точки зрения EULYNX (рисунок 13), которые дополняют то, что было ранее сказано про S2R.

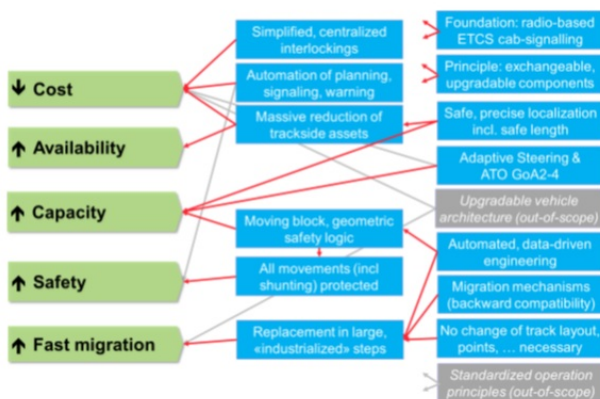


Рис. 13. Цели и задачи реализации цифровой железной дороги с точки зрения EULYNX [43].

Вместе с тем, Программа цифровых железных дорог (DRP) намерена развернуть набор цифровых технологий в национальной железнодорожной сети Великобритании (GB), которая имеет свою регламентацию [1] и особенности построения и железнодорожники и все британское общество активно ищет наилучшие решения. Существует множество потенциальных решений для внедрения цифровых технологий. Однако, если оставить их полностью неограниченными, существует риск того, что различные проекты развертывания могут независимо генерировать решения, которые были достаточно разными, чтобы создавать проблемы технической или эксплуатационной совместимости на интерфейсах железнодорожной системы. Подобные проблемы совместимости будут препятствовать способности железной дороги Великобритании выполнять свои задачи, и поэтому их следует избегать. Поэтому в DRP разрабатывается набор общих спецификаций требований клиентов (CRS), которые будут применяться при развертывании цифровых технологий в национальной железнодорожной сети Великобритании [40].

Общие CRS предназначены для содействия разработке технически, эксплуатационно и экологически совместимых решений, которые являются надежными и безопасными и которые могут быть развернуты в железнодорожной сети GB, чтобы максимизировать выгоды, которые отрасль может получить от внедрения цифровых технологий. Они также предназначены в качестве основы для обеспечения того, чтобы системные решения, принятые в любом отдельном Проекте, были интегрированы и были совместимы между интерфейсами железнодорожного транспорта и инфраструктуры и через границы маршрутов, как указано в Документе определения системы Системы (SoS) [1].

Программа цифровых железных дорог (DRP) намерена развернуть набор цифровых технологий в национальной железнодорожной сети Великобритании.

Существует множество потенциальных решений для внедрения цифровых технологий. Однако если оставить их полностью неограниченными, существует риск того, что различные проекты развертывания могут независимо генерировать решения, которые были достаточно разными, чтобы создавать проблемы технической или эксплуатационной совместимости на интерфейсах железнодорожной системы. Подобные проблемы совместимости будут препятствовать способности железной дороги Великобритании выполнять свои задачи, и поэтому их следует избегать. Поэтому в DRP разрабатывается набор общих спецификаций требований клиентов (CRS), которые будут применяться при развертывании цифровых технологий в национальной железнодорожной сети Великобритании.

Общие CRS предназначены для содействия разработке технически, эксплуатационно и экологически совместимых решений, которые являются надежными и

безопасными, и которые могут быть развернуты в железнодорожной сети GB, чтобы максимизировать выгоды, которые отрасль может получить от внедрения цифровых технологий. Они также предназначены в качестве основы для обеспечения того, чтобы системные решения, принятые в любом отдельном Проекте, были интегрированы и были совместимы между интерфейсами железнодорожного транспорта и инфраструктуры и через границы маршрутов, как указано в Документе определения системы Системы (SoS) [1].

Иерархическая структура универсального набора CRS включает в себя CRS SoS [1] и следующие CRS системного уровня:

- Европейская система управления движением (ETCS) – на стороне путей и на борту подвижного состава
- Система управления движением (TMS)
- Подключенная система оповещения водителя (C-DAS)
- Интерфейсы [1]
- Эксплуатацию и техническое обслуживание.

Ожидается, что команды проекта развертывания будут использовать соответствующие документы из набора CRS и DRR для определения различий между их предлагаемыми архитектурами систем, а затем выбирать требования, необходимые для формирования их собственных спецификаций требований. Более подробная информация об этом подходе будет представлена в Справочнике по основам интеграции, Техническом примечании, Введение в структуру требований и в общей Системной архитектуре систем, как описано в Документе определения системы SoS [1].

Стратегия управления требованиями будет следовать адаптации стандартной диаграммы «V» (или инженерной онтологии [4]), которая представлена на рисунке 11. Эта стратегия и дисциплина работы предполагает:

1. Что некоторые проектные группы развертывания, намеревающиеся внедрить технологии DR, будут добавлять CRS и DRR в процесс разработки, который уже был выполнен для обычного решения. По возможности, существующая документация и процессы должны пересматриваться, а не создаваться, при условии, что пересмотренная документация и процессы следуют принципам, содержащимся в Справочнике по основам интеграции [40].

2. Во всех работах по инфраструктуре железнодорожной сети необходимо применять принципы, содержащиеся в документе о требованиях к NR и руководстве по требованиям [1,40].

3. Конкретная группа проекта развертывания должна будет составить или включить свои потребности в документ о требованиях к развертыванию; это будет заключать в себе высочайший уровень потребностей клиентов и внедренную систему, которая, когда цифровые железнодорожные технологии будут приняты и введены в эксплуатацию, будет использоваться для проверки этих требований.

4. Концепция развертывания операций (ConOps) предполагает, что интегрированные разработки DR будут адаптированы командой проекта развертывания для создания или пересмотра операций развертывания. В этих развертываниях будет подробно описано, каким должен быть маршрут, и введенная в эксплуатацию система будет использоваться для проверки концепций, содержащихся в этих документах развертывания.

5. Документ с требованиями клиента для развертывания (CRD), бизнес-требования и ConOps для развертывания будут использоваться для создания или пересмотра требований высокого уровня для развертывания, которые будут включены в CRD развертывания.

6. DR SoS будет адаптирован с использованием принципов фильтрации для предоставления пакета Deployment CRS. В этих документах будет подробно описано, что требуется для разработки системы, и итоговая интегрированная система будет использоваться для проверки того, что эти требования были выполнены.

7. Развертывание CRS будет использоваться для заполнения Документа о требованиях к маршруту (RRD). Системные CRS и DRR будут выбраны для поддержки требований подсистемы развертывания. Выбор этих СРБ CRS и отдельных разделов, где это применимо, будет определять требования, которые должны быть выполнены.

8. Подробный документ с требованиями к маршруту развертывания (DRRD) необходим.

9. Сценарии эксплуатационных испытаний и выходные данные из RRD и DRRD будут преобразованы в набор сценариев эксплуатационных испытаний, которые затем можно будет использовать либо путем физического тестирования, либо путем моделирования для проверки и проверки установленных компонентов, Интегрированной системы и Интегрированной SoS. Создание и использование сценариев тестирования должны быть определены в плане тестирования развертывания.

10. Спецификации системных требований поставщика (SRS) так же включается в процесс. Предполагается, что группа (и) поставщика может быть вовлечена в рамках совместной работы, чтобы помочь группе проекта развертывания получить документацию с описанием требований к развертыванию и сценариями эксплуатационных испытаний, которые фактически становятся поставщиком SRS (ы).

SRS (ы) Поставщика будут включать RRD, DRRD и сценарии эксплуатационных испытаний, дополненные любыми дополнительными требованиями, необходимыми на уровне Поставщика для проектирования и построения их производственной системы.

Хотя это и не показано на рисунке 14, документ определения системы развертывания является еще одним ключевым документом, который потребуется для поддержки действий по управлению безопасностью развертывания.

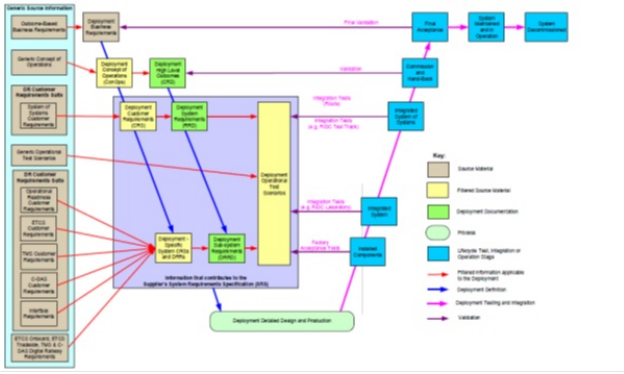


Рис. 14. Упрощенная адаптация стандартной диаграммы «V» [40]

На сайте предприятия цифровая железная дорога (<https://digitalrailway.co.uk/resources/>) содержатся актуальные стандарты, планы и презентационные материалы для уже развернутого обучения сотрудников железной дороги и мы будем помечать эти материалы как DR. Надо сказать что ЕС и Европейская федерация транспортников (ETW), которая представляет более 5 миллионов транспортников в 41 стране, начали готовить работников железных дорог к внедрению ERTMS и искать оптимальные решения, начиная с 2005 года. Читатель может найти на сайте ETW (<https://www.etf-europe.org>) весьма объемный труд на эту тему с множеством приложений [44]. Так как объективно нагрузка на людей при цифровой трансформации растет то и такое внимание к работникам DR вполне закономерно в чем, впрочем, можно убедиться далее.

На рисунке 15 мы приводим внешний вид предстандарта цифровой железной дороги Великобритании. Заметим что тут дело не во внешнем виде, а в совсем новой форме работ и составления контрактов, которой, на самом деле, например, уже не работает схема генерального подряда или нет разбиения дороги на строительные пикеты. Изменения закупочных механизмов цифровой железной дороги мы приводим на рисунке 16.



Рис. 15. Внешний вид предстандарта цифровой железной дороги – отчет по общим наборам интерфейсов (источник - DR)

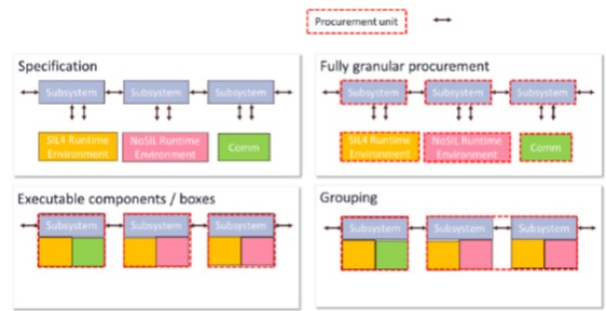


Рис. 16. Изменения закупочных механизмов цифровой железной дороги [43]

В обучающих документах цифровой железной дороги очень наглядно показано, как меняется путевое оборудование и оборудования кабины машиниста при переходе от текущего состояния к цифровой железной дороге (рисунок 17 и рисунок 18)

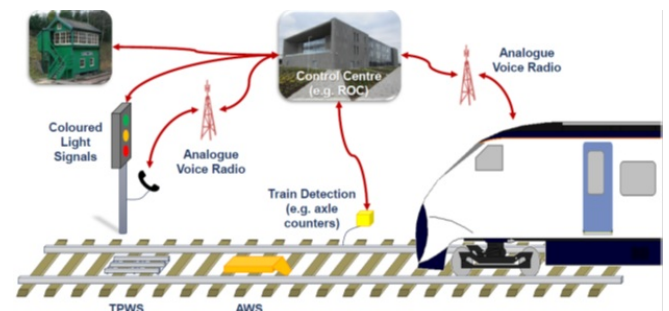


Рис. 17. Упрощенное текущее состояние путевого оборудования и кабины машиниста - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник – Network Rail, DR)

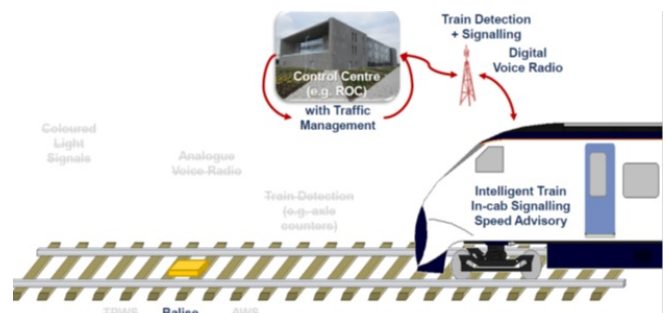


Рис. 18. Что изменяет переход на цифровую систему для путевого оборудования и кабины машиниста - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник – Network Rail, DR)

Составляющие цифровой железной дороги: люди, процессы, нормативы безопасности, системы, стандарты, стоимости, бизнес изменения, выгоды и т.д. показаны на рисунке 19 и суммарно новые технологии, составляющие костяк цифровой железной дороги Великобритании можно посмотреть на рисунке 20.

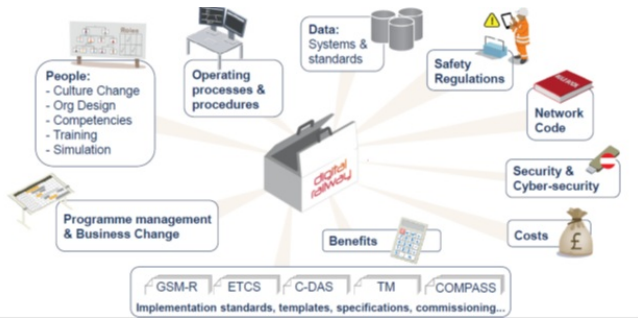


Рис. 19. Составляющие цифровой железной дороги: люди, процессы, нормативы безопасности, системы, стандарты, стоимости, бизнес изменения, выгоды и т.д. (источник – DR)



Рис. 20. Суммарно новые технологии, составляющие костяк цифровой железной дороги Великобритании (источник - DR)

Без системы мобильной связи удовлетворяющей всем функциональным требованиям и требованиям безопасности построение цифровой железной дороги просто невозможно [23]. На сегодняшний день только GSM-R поддерживает безопасную и надежную связь водитель-сигнализатор, объединяя наиболее эффективную комбинацию технологий, процессов и людей. Конечно, ведутся подробные исследования по новому поколению мобильной связи для железных дорог, но все технические решения должны быть согласованы с ERTMS и сертифицированы по высшим категориям европейской системы безопасности.

Network Rail уже вложил в GSM-R 1,86 млрд. фунтов стерлингов и эта цифровая технология мобильной связи прокладывает путь к более эффективным цифровым системам сигнализации и управления.

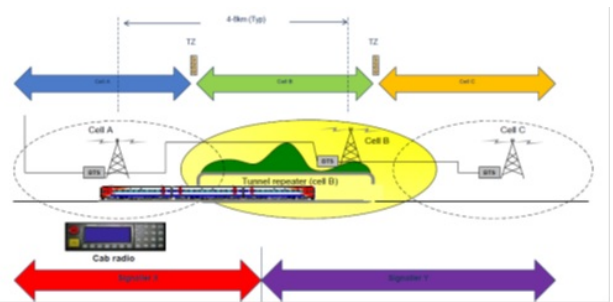


Рис. 21. Планирование размещения сот сети GSM-R - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

Глобальная система мобильной связи - железная дорога (GSM-R) обеспечивает цифровую, безопасную и надежную связь между водителями и сигнализаторами. Это помогает повысить безопасность, сократить задержки и повысить производительность, обеспечивая лучшее обслуживание пассажиров. Планирование размещения сот сети GSM-R мы приводим на рисунке 21. Используя настраиваемую сеть фиксированной связи наряду с мобильной технологией, ее процессы включают в себя регистрацию поездки, оперативный обмен сообщениями и установление приоритетов связи между машинистами и сотрудниками служб управления и сигнализации. В число участников входят машинист и сотрудники служб, менеджеры, контролеры и обслуживающий персонал.

Существовали два ключевых фактора внедрения GSM-R: требование соответствовать общеевропейскому стандарту цифровой передачи данных и голосовой связи в железнодорожных приложениях и следовать рекомендациям по расследованию крупных инцидентов. Как показывает статистика, это дает значительное улучшение безопасности, так как GSM-R обеспечивает прямую надежную радиосвязь между участниками процесса организации движения. Это включает в себя такие области, как туннели и глубокие земляные выемки, где радиосвязь ранее была невозможна. Поэтому система повышает безопасность для машинистов, ремонтных бригад и пассажиров, обеспечивает более быстрое и эффективное реагирование на потенциальные опасности с помощью таких приложений, как экстренный вызов на железной дороге, который устраняет необходимость для машинистов выходить из поезда в случае возникновения проблем.

GSM-R так же способствует сокращению эксплуатационных расходов. Заменив собой все более неэффективные и дорогие устаревшие системы, GSM-R снижает текущие расходы на техническое обслуживание, повышает надежность и обеспечивает основу для цифровой железнодорожной сети. Предыдущая связь между машинистами и службами основывалась на аналоговых радиосетях. Они имели ограниченную функциональность и становились все более дорогими в обслуживании. Новые цифровые технологии на базе GSM-R также означают, что они согласуются с отраслевыми разработками, такими как ERTMS (Европейская система управления

железнодорожным движением) и ETCS (Европейская система управления поездом).

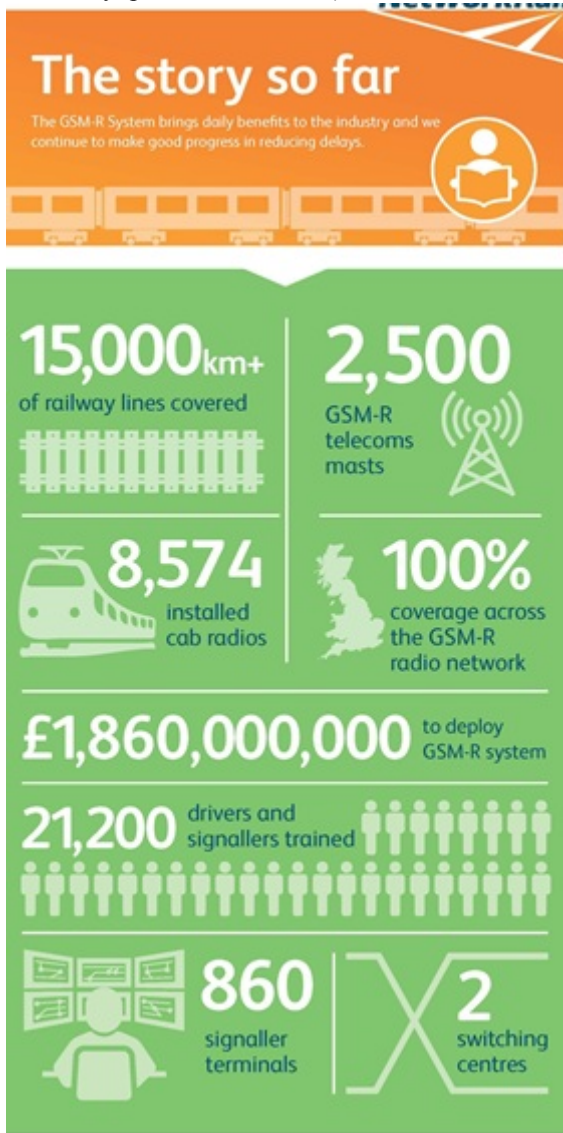


Рис. 22. Итоги развертывания GSM-R в Великобритании (источник – Network Rail, DR)

Поскольку этап создания сети GSM-R был первым этапом цифровой железной дороги Великобритании, и он в значительной мере уже завершен, то на рисунке 22 можно увидеть его итоги.

Так как железнодорожная система любой страны в мире практически функционирует много лет то ее цифровое преобразование это разумное изменение того что есть и в первую очередь снижение сложности взаимодействия с через интерфейсы. Они должны быть максимально простыми и понятными работникам цифровой железной дороги. Текущие интерфейсы и связи в интерфейсах железнодорожной системы управления приведены на рисунке 23, а гармонизированные через архитектуру RSA [43] на рисунке 24. Человеко-машинный интерфейс с машинистом или HMI (он один из основных) также формализуется [1], и его внешний вид мы приводим на рисунке 25. В варианте пред-стандартов GB это называется общим набором интерфейсов данных [46].

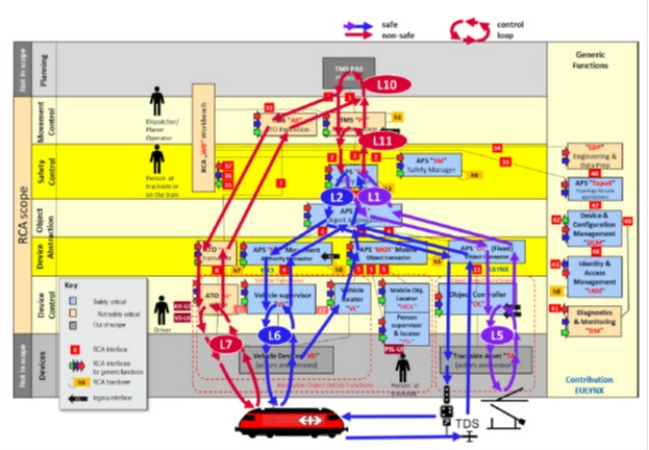


Рис. 23. Текущие интерфейсы и связи в интерфейсах железнодорожной системы управления [43]

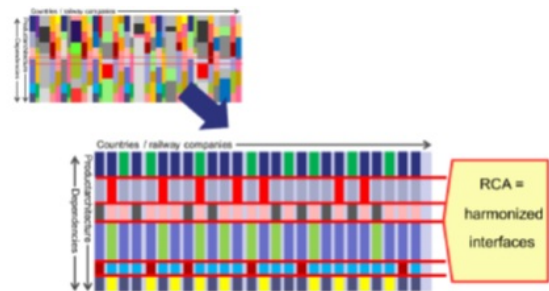


Рис. 24. Гармонизированные интерфейсы цифровой железной дороги [43]



Рис. 25. Человеко-машинный интерфейс с машинистом или HMI - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

Что необходимо иметь на поезде и на путях в варианте цифровой железной дороги Великобритании наглядно изображено в обучающих материалах цифровой железной дороге Великобритании на рисунках 26 -32.

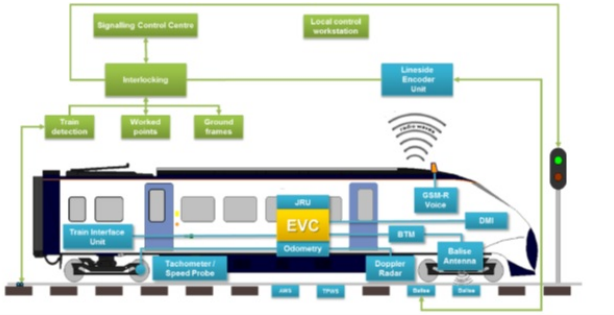


Рис. 26. 1 уровень обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

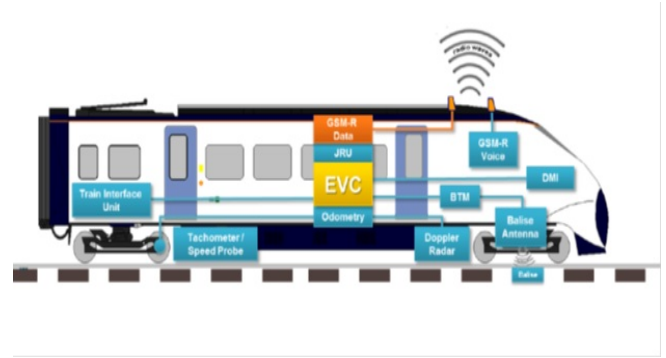


Рис. 30. Продвинутый 3 уровень - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

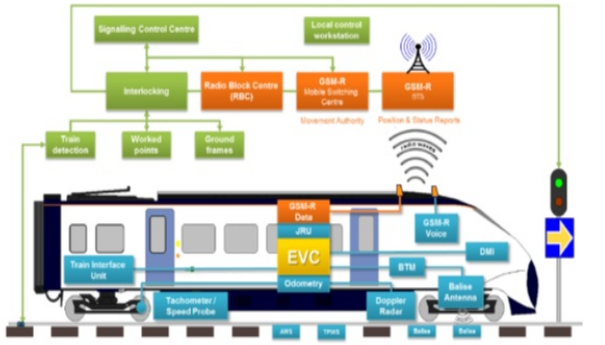


Рис. 27. 2 уровень, перекрывающийся с 1 м обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

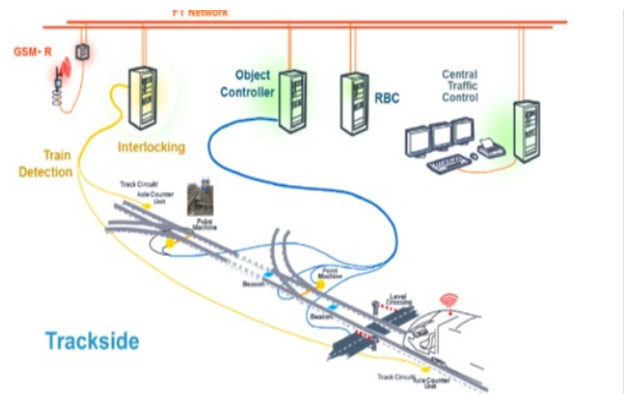


Рис. 31. Что необходимо иметь со стороны пути в части интегрированных систем - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

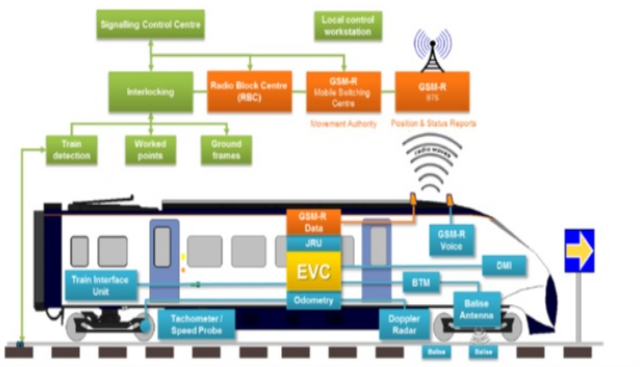


Рис. 28. 2 уровень обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

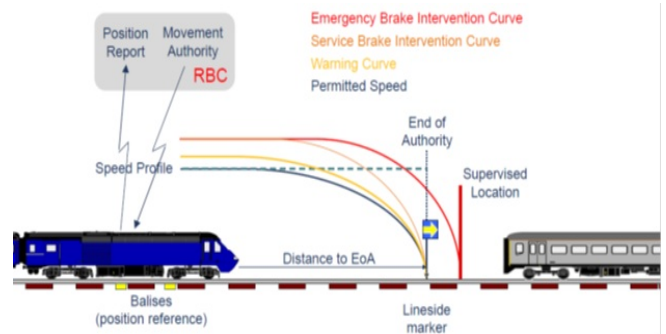


Рис. 32. Как работает ETCS - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

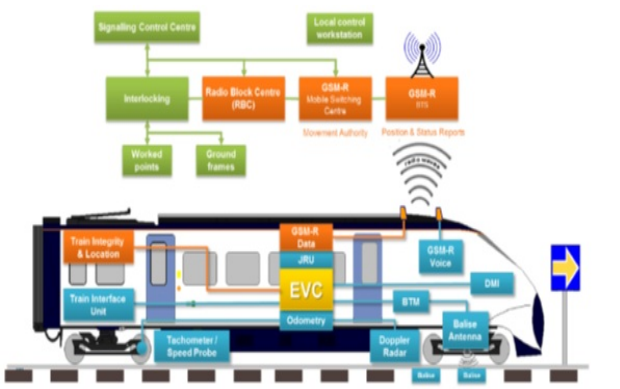


Рис. 29. Начальный 3 уровень обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

Обучение управлению движением на цифровой железной дороге Великобритании требует иных более углубленных навыков и осуществляется уже почти так же как управление воздушным движением. Управление движением (TM) - это технология Digital Railway (DR), которая предлагает значительные улучшения в надежности обслуживания поездов благодаря лучшему ежедневному планированию и регулированию. TM может принести пользу в изоляции («Изолированная TM») от традиционных систем управления сигнализацией и автоматической настройки маршрута (в общем, упоминается здесь как «Системы настройки маршрута»). Тем не менее, большие выгоды возможны там, где TM взаимодействует напрямую с этими

системами настройки маршрутов («Interfaced TM»). Для того чтобы TM осуществлялось эффективно нужна уже иная система интеграции и иные наборы интерфейсов (рисунок 33). Требования TM быстро к тому же изменяются, и тут начинают работать системы управления требованиями и изменениями (рисунок 34). В этом развитии вполне применимы предстандарты DR [47,48].

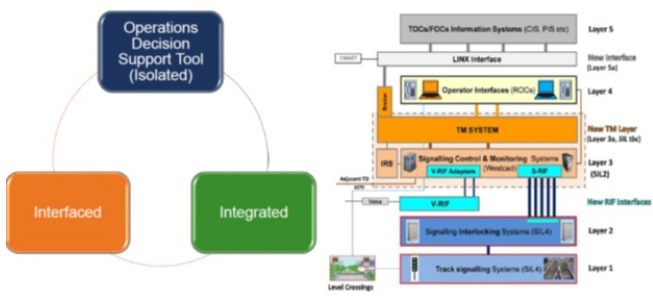


Рис. 33. Как интегрируется информация для управления - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

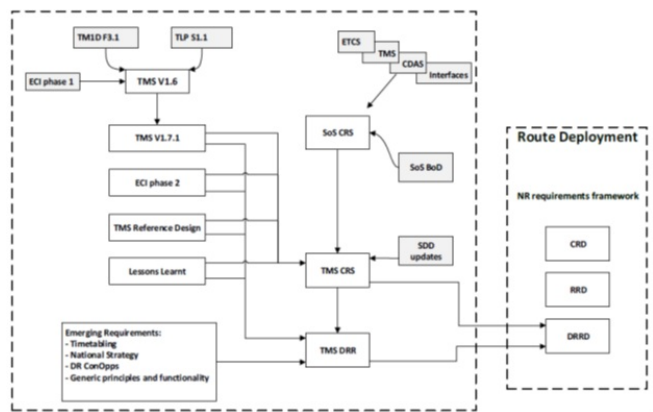


Рис. 34. Эволюция требований TMS (источник - [45])

В целях экономии места и наглядности, мы приводим рисунки 35-38, на которых показан новый функционал цифровой железной дороги Великобритании. А на рисунке 39 для обучающихся британцы привели свод выгод от цифровых технологий новой железной дороги.

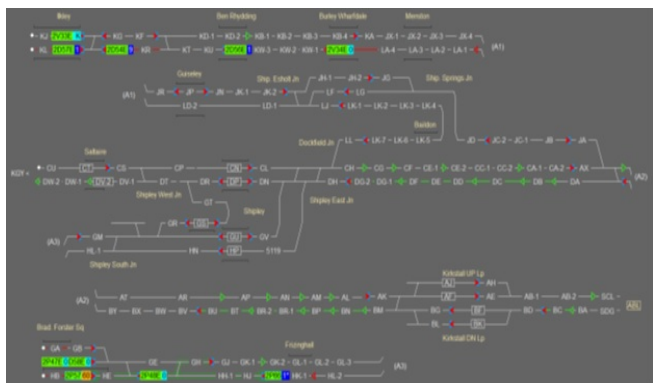


Рис. 35. Графическое изображение состояния маршрутов чрезвычайно полезно для управления - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

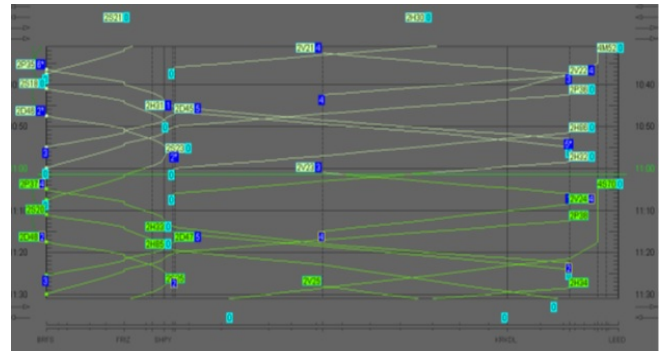


Рис. 36. Граф поездов (граф времени и расстояний)- обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

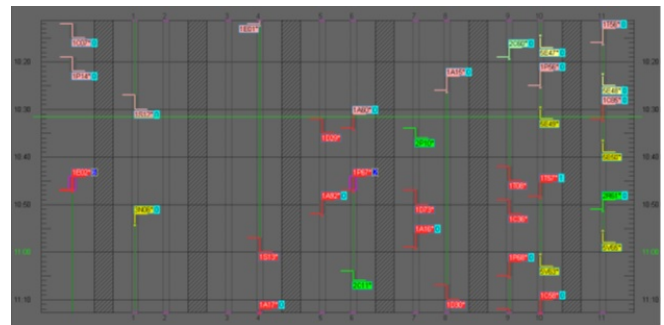


Рис. 37. Использование графа поездов для отслеживания конфликтов и решения конфликтов между пользователями - обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

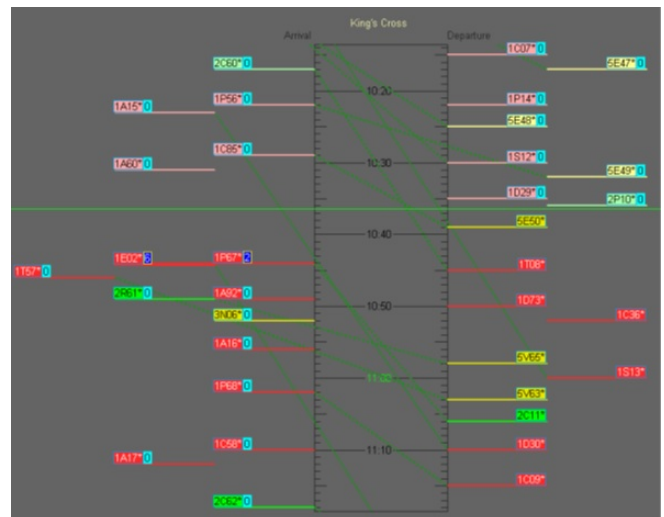


Рис. 38. Отображение связей между ресурсами обучающие материалы по цифровой железной дороге Великобритании (источник - DR)

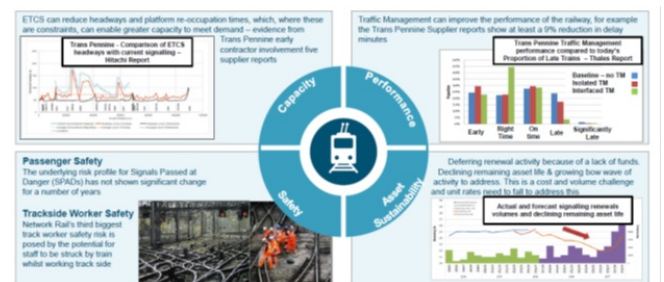


Рис. 39. Эффекты DR обучающие материалы по

цифровой железной дороге Великобритании(источник - DR)

VII. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Когда железные дороги были созданы и развиты в 19 веке, они были одним из самых инновационных секторов экономики и основным участником промышленной революции. С последующим быстрым ростом автомобильного и воздушного транспорта железная дорога утратила лидирующие позиции в инновациях. С 1990-х годов возникновение и развитие ERTNS, Интернета, Интернета вещей и больших данных предоставили железнодорожному сектору возможность приступить к новому этапу технологических инноваций. Действительно, огромное количество данных, генерируемых этими цифровыми технологиями, может быть полезным инструментом, позволяющим железнодорожным компаниям изменять свою организационную структуру, повышать производительность и создавать новую добавленную стоимость. Чтобы воспользоваться всеми преимуществами цифровизации, железные дороги могут полагаться на ИИ.

Возникающие и перспективные прорывные технологии, такие как ИИ будут способствовать формированию того, как будет организована будущая автоматизация и техническое обслуживание железнодорожных путей, и последующим стратегическим промышленным разработкам в области подвижного состава и инфраструктуры. Более продвинутое аспекты этого подхода и технологий могут быть разработаны в качестве потенциального продолжения текущей деятельности S2R, о котором мы говорили выше. Rail - это сеть, система систем, она предсказуема, контролируется, и совместное предприятие Shift2Rail может стать испытательным полигоном для некоторых ИИ (AI) разработкам и именно так эта задача формулируется в виде отдельного проекта S2R , который должен начаться в 2019 году [41].

ИИ может стать, например, «дополнением» для существующих и будущих систем управления, предоставляя предложение / действие для решения проблем в реальном времени, чтобы соответствовать основным требованиям безопасности и производительности, а также оно может направлять процесс проектирования (например, подготовка данных и конфигурации) и стать активным помощником машиниста. Как отмечают два очень заметных бренда IBM и DHL [42] есть объективные границы возможностей человеческого зрения, слуха и скорости обработки полученных данных и ИИ начинает работать как продолжение человеческих возможностей и знаний. Видеть, говорить и думать с помощью ИИ начинают логистические и транспортные активы. То, что уже сегодня внедряется на железнодорожном транспорте на

базе ИИ показано на рисунке 40.

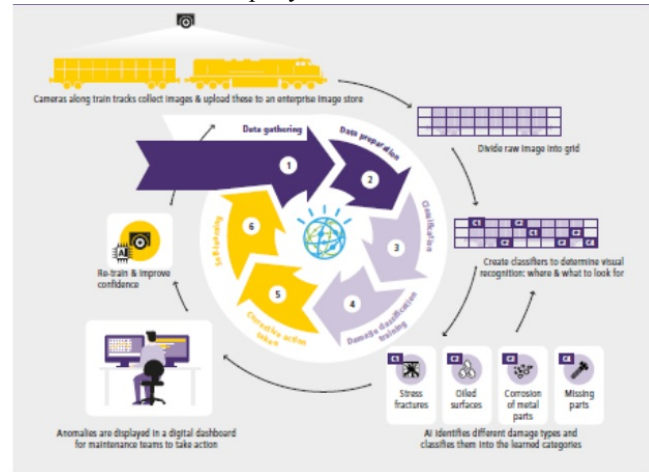


Рис. 40. Визуальное распознавание IBM Watson позволяет проводить техническое обслуживание с визуальным осмотром и ИИ [42].

ИИ может улучшить производство, эксплуатацию и техническое обслуживание железнодорожных операторов и менеджеров инфраструктуры. Следовательно, его можно воспринимать как рычаг для улучшения управления, снижения затрат и повышения конкурентоспособности по отношению к прямым конкурентам или другим видам транспорта.

В ЕС первым ключевым шагом на пути к внедрению решений АТО и AI на железнодорожном транспорте является развертывание европейской системы управления железнодорожным движением (ERTMS), которая обеспечивает поездам систему помощи водителю. Целью ERTMS является гармонизация железнодорожных транспортных систем ЕС путем внедрения единого стандарта управления, командования, сигнализации и связи. Он состоит из европейской системы управления поездом, которая позволяет маякам, установленным на пути, извлекать информацию и передавать инструкции по вождению на транспортное средство, и стандартной системе мобильной радиосвязи на железных дорогах. В дополнение к обеспечению технической совместимости между национальными рельсовыми системами, ERTMS в сочетании с АТО может снизить затраты железнодорожных операторов и энергопотребление, а также увеличить скорость (до 500 км / ч), пунктуальность, безопасность и пропускную способность линии.

Дальнейшее развитие, предполагающее обмен данными, создание довольно жесткой бизнес-модели железных дорог в сторону более динамичной сети, объединяющей технологические платформы, поставщиков услуг мобильной связи и клиентов, является сложной задачей. Это может оказаться более сложным, чем переключение с электрических на цифровые приборы и устройства или внедрение автономных или автоматизированных систем.

Одним из наиболее ярких примеров использования ИИ в железнодорожных технологиях является его вклад в автоматизацию работы поездов (АТО). АТО передает

ответственность за управление операциями от машиниста к системе управления поездом с различной степенью автономии. Международная электротехническая комиссия установила четыре стандартных класса автоматизации поездов: третий класс соответствует операциям без водителя (с членами экипажа на борту), а четвертый - автономным и необслуживаемым поездам.

В АТО события были заметны в густонаселенных городских районах с метро без водителя и легко рельсовым транспортом (городские или региональные службы). В 2018 году около 1 000 км действующих автоматизированных линий метро обслуживали так с помощью АТО 41 город в 19 странах мира, и, согласно прогнозам, к 2025 году будет насчитываться более 2 300 км автоматизированных линий.

Shift2Rail, совместное предприятие по исследованиям и инновациям, созданное ЕС в рамках инициативы Horizon 2020, разрабатывает и проверяет стандарт АТО для всех железнодорожных сегментов (магистральные / скоростные, городские / пригородные, региональные и грузовые линии).

Железнодорожные операторы также начали деятельность, связанную с АТО и ИИ. В 2018 году Институт технологических исследований Railenium, национальная компания Société nationale des chemins de fer (SNCF) и группа технологических и промышленных компаний создали два консорциума для разработки двух прототипов поездов без водителей: первый консорциум занимается проектированием автономного грузового поезда, а второй - автономного экспресса, регионального пассажирского поезда. Для последнего будет необходимо интегрировать датчики, камеры и радары, чтобы создать «глаза поезда», то есть инструменты, позволяющие обнаруживать сигналы и препятствия на рельсовых путях. Проект также включает в себя другие разработки ИИ (AI). Один заключается в передаче сенсорных и интеллектуальных возможностей машинистов поездов в автоматизированный модуль вождения, готовый реагировать на возможные опасности. Второй направлен на разработку модуля, который понимает и учитывает поведение пассажиров на железнодорожных платформах и позволяет автоматически закрывать двери поезда без опасности. SNCF хочет развернуть полуавтономные поезда к 2023 году и полностью автономные поезда к 2025 году.

Немецкий национальный оператор Deutsche Bundesbahn (DB) также начал деятельность, связанную с АТО и AI. В 2016 году компания заявила, что все больше внимания уделяет операциям без водителя, которые могут стать реальностью в период с 2021 по 2023 год, когда уже проводятся первые пилотные испытания. В то время, DB начал обсуждения с персоналом и профсоюзами о влиянии этого потенциального изменения и об эволюции роли машиниста поезда.

Технологии АТО и AI также используются для повышения производительности и конкурентоспособности железнодорожных грузовых

перевозок. Shift2rail осуществляет деятельность, связанную с АТО, для оптимизации использования ресурсов. Поскольку ожидается рост интермодальных перевозок контейнеров, реализуются проекты, направленные на лучшую синхронизацию движения контейнерных поездов в сети, улучшение обмена информацией и данными в режиме реального времени. АТО был успешно испытан в 2018 году на специальном грузовом маршруте Betuwe, соединяющем порт Роттердам с Германией.

Для железнодорожных операторов и управляющих инфраструктурой очень важно знать о возможных сбоях до того, как они произойдут, чтобы избежать прерывания предоставляемых ими услуг. Сегодня ИИ может использовать мощь данных, предоставляемых датчиками, размещенными на критических поездах или компонентах инфраструктуры, для извлечения информации в нужное время и рекомендации действий по техническому обслуживанию. Преимущества разнообразны, такие как «прогнозирование текущей погоды» и прогнозирование инфраструктуры или состояния подвижного состава, более быстрый и менее комплексный ремонт, снижение затрат на техническое обслуживание и повышение удовлетворенности клиентов. Операторы поездов могут также сократить резервы парка, которые они должны хранить в случае поломок, и ИИ помогает им повысить их надежность и эффективность.

Для того чтобы это реализовать конечно нужны данные о состоянии инфраструктуры. Они могут быть получены из цифровых двойников инфраструктуры, базово сформированных при строительстве с использованием технологий BIM [2,4,9,13], либо за счет ГИС (GIS) и железнодорожной геодезии (пример - рисунок 41). Железнодорожные ГИС-данные, как правило, уже дополняются измерениями непосредственно с железнодорожных путей (рисунок 42).

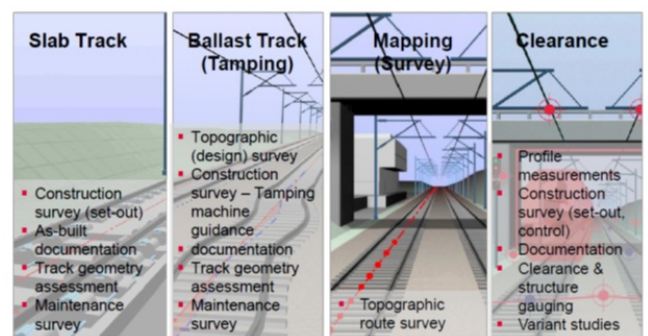


Рис. 41. Железнодорожная геодезия. Различные потребности точных, надежных и эффективных методов обследования для получения данных методами объективных измерений (источник - Amberg Group Companies).

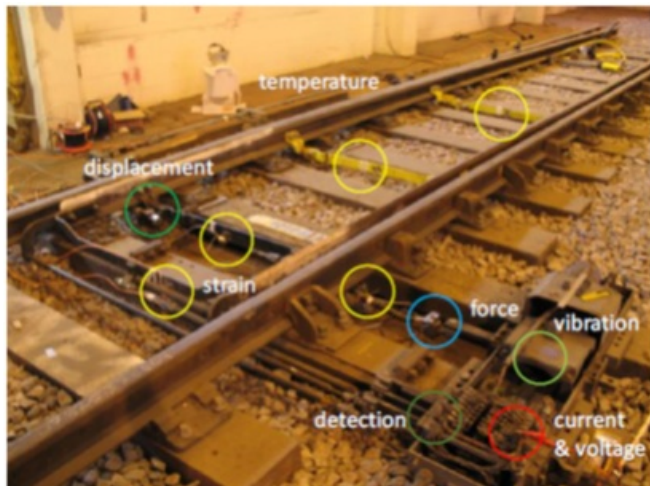


Рис. 42. Пример измерительных входов в системы мониторинга на путях [49].

В настоящее время используется ряд систем для мониторинга на путях. Пожалуй, самая комплексная система из них VAE ROADMASTER 2000. В ней используется большое количество различных датчиков как показано на рисунке 43 ниже. Однако это довольно дорогая система.

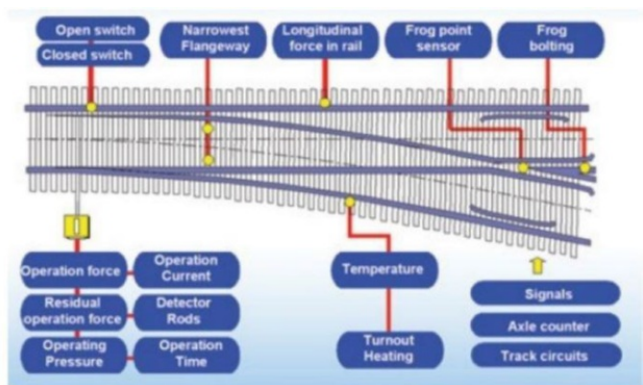


Рис. 43. Возможности мониторинга переключателей Voestalpine (источник - [49])

Еще одна система POSS, которая контролирует точку машины. Компания Votrok производит мультисенсорную систему, которая также может быть использована для S & C, и их решение способно измерять силу, ускорение и температуру. По умолчанию Votrok установлен на многих железнодорожных сетях. Другие системы мониторинга, скорее всего, будут основаны на оптических принципах. Будущие системы мониторинга динамических воздействий должны быть небольшими, недорогими и, в первую очередь, должны отслеживать динамические эффекты и, несмотря на их изменение, должны иметь возможность информировать, требуется ли техническое обслуживание, и какого рода.

Эпоха таких систем уже приходит. Покажем это на примере компании KONUX (<https://www.konux.com>), которая несомненно пример успешного европейского единорога. Поскольку инфраструктура, по их мнению, постоянно растет, а также стареет, мониторинг состояния активов необходим для повышения эффективности (оптимизация обслуживания) и снижения риска отказа инфраструктуры в долгосрочной

перспективе. Поскольку на обновления и обслуживание приходится почти половина расходов менеджеров инфраструктуры, разумное планирование и расходы на обслуживание стали первостепенными. Недавний обвал моста в Великобритании выдвинул на первый план проблему, когда все прямые рейсы между Лондон-Сент-Панкрас и всеми станциями к северу от Лестера, включая крупные города Шеффилд и Ноттингем, должны были быть приостановлены (<https://www.konux.com>). Крах привел к серьезным сбоям и основным проблемам для операторов, не говоря уже о головной боли для тысяч пассажиров.

Современная сенсорная технология позволяет нам (<https://www.konux.com>), заменять ручные измерения и обеспечивать непрерывный мониторинг для выявления аномалий и предотвращения сбоев, вызывающих задержки. В сочетании с расширенными аналитическими возможностями, основанными на машинном обучении, сенсорные системы предоставляют менеджерам по обслуживанию инфраструктуры ценную информацию о состоянии инфраструктуры коммутаторов, помогая прокладывать путь к инфраструктуре 4.0.

Deutsche Bahn - одна из самых передовых железнодорожных сетей в мире - использует технологию интеллектуальных датчиков KONUX, чтобы помочь им сократить расходы на техническое обслуживание и вызвать сбои, вызывающие задержки (<https://www.konux.com/>).

Немецкий оператор адаптировал решение KONUX для замены ручных измерений системой измерения положения на основе изготовленных на заказ MEMS (микроэлектромеханических) сенсорных кластеров. Это обеспечивает автономный и непрерывный мониторинг с беспроводной передачей данных. Данные предварительно обрабатываются датчиками, а алгоритмы машинного обучения в облаке обнаруживают критический износ.

Преимущества включают снижение затрат на 25%, что достигается за счет минимизации времени простоя и максимальной производительности (<https://www.konux.com>).

Решение KONUX состоит в том, чтобы с помощью мониторинга в режиме реального времени можно отслеживать состояние всех критических точек в режиме реального времени с помощью программного обеспечения KONUX. Этот переход к профилактическому обслуживанию позволяет радикально улучшить понимание важнейших компонентов и технического обслуживания на основе потребностей.

KONUX - мюнхенская компания IoT (Internet of Things), сочетающая в себе лучшее из немецкого инженерного качества, скорость и инновации из Силиконовой долины. Их технология объединяет датчики и интеллектуальную аналитику для решения сложных технических задач и помогает клиентам стать промышленными компаниями, управляемыми данными.

В настоящее время KONUX оцифровывает высокоскоростную железнодорожную сеть Deutsche

Bahn посредством мониторинга состояния коммутаторов и переездов, которые являются важной частью железнодорожной инфраструктуры. Это помогает DB значительно сократить расходы на осмотр и техническое обслуживание, уменьшить задержки в поездах и повысить безопасность работников.

Сенсорная система Konux постоянно показывает железнодорожным операторам состояние их линий. Датчики устанавливаются на железнодорожных путях или в точках. Они измеряют и собирают данные о температуре и вибрации и предоставляют обновления в режиме реального времени. Благодаря искусственному интеллекту, отклонения или сбои выявляются и оцениваются путем сравнения данных с исправным переключателем. Таким образом, можно прогнозировать возможные сбои и планировать работы по техническому обслуживанию. Это позволяет предотвращать некоторые сбои, экономя затраты и снижая простои системы.



Рис. 44. Внешний вид и характеристики устройств устанавливаемых на путях для сбора данных (источник – KONUX)

Внешний вид и характеристики устройств устанавливаемых на путях для сбора данных KONUX удивительно напоминает баллисты для ERTMS, но это уже другое поколение – IoT, IIoT. Система ИИ от KONUX, позволяющая совместную работу с решениями с решениями IBM и SAP давно нашедшими свое место на железных дорогах показана на рисунке 44-1.

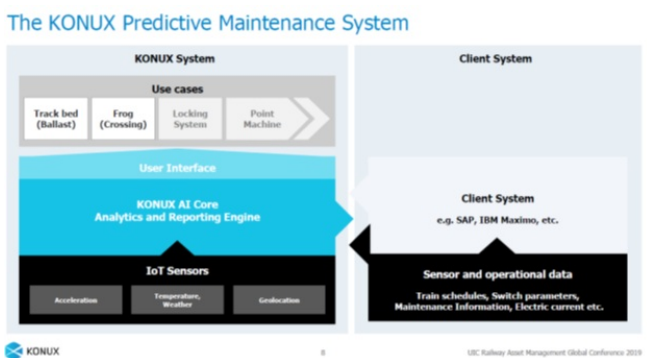


Рис. 44-1. Система ИИ от KONUX, позволяющая совместную работу с решениями IBM и SAP (источник – KONUX)

VIII. АВТОНОМНЫЙ ИЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ – ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ ИИ

Для того чтобы получить квалифицированную оценку практика по правовым вопросам внедрения ИИ на железных дорогах мы обратились к мнению Vaibhav Puri руководителю технического и правового регулирования организации отвечающей за создание железнодорожных стандартов Великобритании - RSSB (Head of Technical and Regulatory Policy, RSSB) [54].

Первая проблема, как он отмечает, с которой люди сталкиваются при обсуждении автономной системы, заключается в том, что этот термин используется взаимозаменяемо с терминами «автоматизация» или «автоматизированные системы». Все автономные системы являются автоматизированными системами, однако не все автоматизированные системы действительно автономны! [54].

На базовом уровне действительно «автономная система» может сама решать, что и когда делать, без вмешательства человека. Чтобы достичь истинной автономии, система в большинстве случаев развивается через этапы от человека до полностью автономного. Учитывая сложность железнодорожных систем и их среды, вполне вероятно, что любые автономные системы необходимо будет интегрировать с другими системами, находящимися на разных этапах в масштабе автоматизации.

По данным Международной ассоциации общественного транспорта (UITP), существует пять степеней автоматизации (GoA) поездов (рисунок 45):

GoA 0 - это поезд на месте, похожий на трамвай в уличном движении.

GoA 1 - это поезд с ручным управлением, в котором машинист управляет пуском и остановкой, работой дверей и аварийными ситуациями или внезапными отклонениями.

GoA 2 - это полуавтоматическое управление поездом (STO), в котором запуск и остановка автоматизированы, но водитель управляет дверьми, при необходимости приводит в движение поезд и обрабатывает аварийные ситуации. Многие системы АТО являются GoA 2.

GoA 3 - это поезд без водителя (DTO), в котором запуск и остановка автоматизированы, но стюардесса управляет дверями и ведет поезд в случае чрезвычайных ситуаций.

GoA 4 - это поезд без посторонней помощи (UTO), в котором запуск и остановка, управление дверьми и управление аварийными ситуациями полностью автоматизированы без участия персонала.

Grade of Automation	Type of train operation	Setting the train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of disruption
GoA 1	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2	Semi-Automated Train Operation	Automatic	Automatic	Driver	Driver
GoA 3	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
GoA 4	Fully automated / Unattended Train Operation (UTO)	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

Automatic Train Protection (ATP) is the system and all equipment responsible for basic safety; it avoids collisions, red signal overrunning and exceeding speed limits by applying brakes automatically. A line equipped with ATP corresponds (at least) to a GoA 1.

Рис. 45. Степень автоматизации (источник - UITP, 2012)

Из этой системы оценок можно утверждать, что только на уровне GoA 4 поезд как система становится полностью автономным ... но так ли это?

Все сводится к границам и определению рассматриваемой системы. Например, у поезда может быть определенная функция - его функция торможения может полностью автономно управляться искусственным интеллектом (AI), но у поезда все еще есть машинист для других функций, поэтому поезд как система не является полностью автономным (может быть только на GoA 2). Точно так же, даже если утверждается, что GoA 4 достигнут, возможно, что поезд находится под удаленным наблюдением и, вероятно, представляет собой смешанную инициативу ИИ поезда и человеческого руководителя, работающих вместе [54].

На вопрос: «Закон заботится о том, является ли система автономной или нет?». Vaibhav Puri отвечает:

«Нет. По крайней мере, пока. Закон возлагает обязательства на людей и организации и, в конечном счете, не заинтересован в природе этих систем как таковых - самовосприятия или иным образом. Он заботится только о том, как отдельные лица и организации управляют последствиями (безопасностью или иным образом) для себя, своих сотрудников и других, принимая разумные меры для минимизации негативных последствий».

Вопросы, рассматриваемые Vaibhav Puri о том могут ли быть юридические обязательства сторон, ответственных за:

- 1.Поставку, включая проектирование и изготовление активов;
- 2.Эксплуатацию и обслуживание активов и выполнение связанных функций / мероприятий;
- 3.Регулирование и контроль поставок и эксплуатации активов.

Трактуются им следующим образом:

«В законе часто указывается, «к чему» относятся эти обязательства, что начинает определять системную границу этих правовых обязательств. Важно понимать, как они пересекаются с «границей автономной инженерной системы». Если автономная система выходит за рамки текущих юридических обязательств организации, как показано в левой части рисунка 46, то для ее развертывания потребуется более одной стороны. Таким образом, уделяя больше внимания сотрудничеству и координации для успешной

реализации».

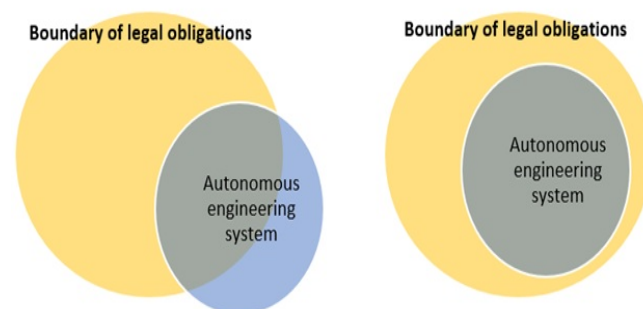


Рис. 46. Выходит ли автономная система за пределы обязательств одного юридического лица? [54].

Границы правовых обязательств как он отмечает для подсистемы железной дороги определены в Директиве о совместимости железных дорог, а обязательства, связанные с этими подсистемами, содержатся в соответствующих нормативных актах, таких как Регламент железнодорожных перевозок (RIR) 2011 года, Технические спецификации для функциональной совместимости (TSI) и т. д. Железнодорожные подсистемы являются либо структурными (активы), либо функциональными (вокруг эксплуатации и управления активами). На рисунке 47 показано, что, когда функция становится все более автономной, она превращается из чисто функциональной системы в часть актива (она все чаще помещается в черный ящик). Это передает юридические обязательства от оператора (с точки зрения условий использования) разработчику / производителю актива (который теперь включает ранее выполняемые человеком функции) и увеличивает потребность в более сложной системе более высокого уровня, которая контролирует и контролирует другие системы (некоторые автономные, другие менее).

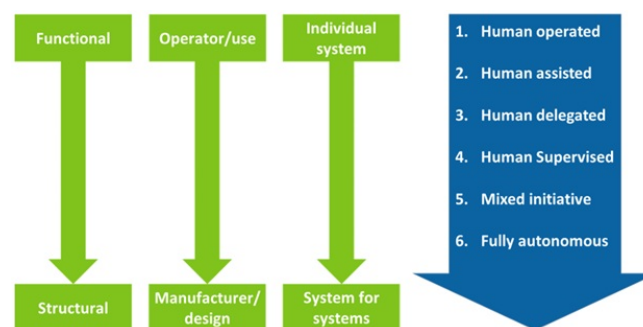


Рис. 47. Изменение характеристик системы, обязательств и механизмов контроля при переходе к автономии [54].

Кроме того, когда происходит этот переход от функциональных к структурным подсистемам, требования к координации и интеграции с другими неавтономными системами возрастают, как показано на рисунке 48. Следовательно, переход от функции человека к автономной функции не обязательно означает меньшую сложность с точки зрения управления всей системой и требует большей ясности и

прозрачности управления всей системой. Это цикл, который повторяется по мере того, как стремятся к большей автономии, через цикл проходит больше функциональных областей, что усложняет управление и мониторинг.

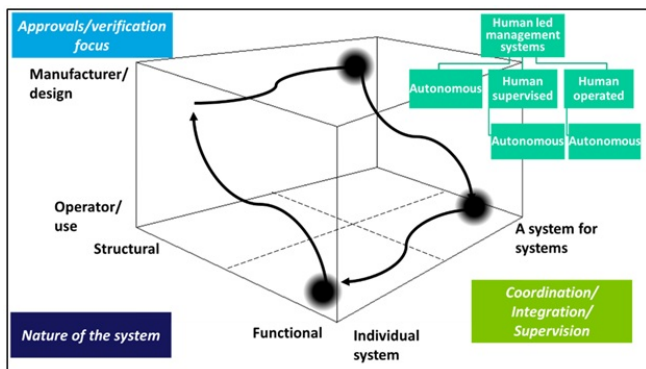


Рис. 48. Цикл перехода от функциональных к структурным системам, приводящий к растущему спросу на координацию, интеграцию и контроль [54].

Изменение характеристик системы, обязательств и механизмов контроля при переходе к автономии определяют уровень автономии, который не должен подрывать способность контролировать, контролировать и вмешиваться, и должен продолжать позволять дежурному легко отвечать на три основных вопроса, требуемых законом:

Является ли наша деятельность достаточно безопасной, или нам нужно внести изменения, и с кем нам нужно проконсультироваться об этом изменении?

Мы решили изменить что-то, влияющее на нашу работу: достаточно ли это изменение безопасно?

Как мы можем гарантировать, что автономные системы выполняют юридические обязательства?

Должно быть четкое обоснование того, почему автономная система является подходящим решением. Не потому ли, что нынешний уровень участия человека стал слишком неэффективным или ненадежным, чтобы разумно решать задачи и проблемы (например, связанные с безопасностью и надежностью) до приемлемого уровня? Или есть повышение производительности, которое будет иметься?

Если автономия считается разумным шагом вперед держателем обязанностей, то, как ее можно реализовать таким образом, чтобы она достигала ожиданий и отвечала всем юридическим обязательствам? Общее руководство RSSB по принятию безопасных решений и анализу рисков обеспечивает основу для надежной и адекватной оценки.

Это должно включать требование изучить, что делает введение «автономии» для более широкой железнодорожной системы, затронутой изменением, о котором идет речь. Более широкая железнодорожная система НЕ ограничена границей правового обязательства одной стороны или границей автономной инженерной системы. Это граница измененной системы

в результате введения автономии. Это может простирается за пределы правового обязательства заявителя и может потребовать от других сторон сделать что-то по-другому, чтобы поддержать безопасную эксплуатацию и внедрение изменений в железнодорожной системе (рисунок 49).

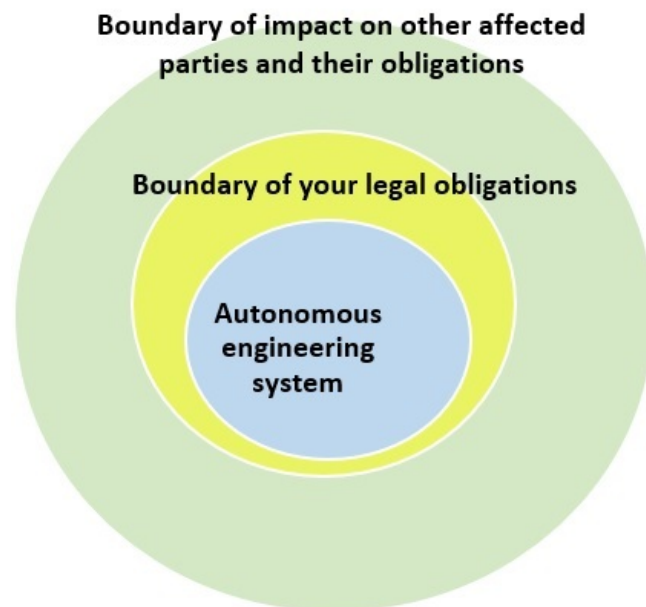


Рис. 49. Более широкая граница измененной железнодорожной системы [54].

Конкретные отраслевые стандарты и рекомендации, согласованные в рамках отраслевого управления, будут иметь большое значение для решения этих проблем. Разработка рамок, позволяющих четко классифицировать критические параметры автономной системы, которые отличают одну автономную систему от другой на основе их преимуществ и рисков, также будет иметь большое значение для разработки общего языка того, как бороться с быстрым прогрессом в этой области. Помогают и стандарты, которые все чаще разрабатываются с учетом функций и ожидаемой и приемлемой производительности, а не жестких решений или предположений и ограничений оператора.

Очевидно, что достигается быстрый технический прогресс, и когда дело доходит до автономных транспортных средств, законодательство также развивается. Например, в Великобритании в настоящее время проходит через парламент законопроект, в котором определяется, когда страховые компании выплачивают в случае аварии.

В железнодорожном транспорте у нас пока нет общепринятых и принятых нормативно-правовых баз, стандартов и руководств, способствующих их внедрению. Это реальная проблема, и технология может быть легкой задачей. Если эта проблема не будет решена, то, как всегда, технологии будут лидировать, и нормативно-правовая база должна будет следовать и реагировать, потенциально вызывая задержку или выступая в качестве барьера для прогресса. Поэтому

крайне важно, чтобы железнодорожная отрасль начала решать эту проблему сейчас [54]. Нам представляется, что этот вывод в случае развития принятой в ОАО РЖД концепции «цифровой железной дороги» является крайне важным и для России.

IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы попробовали создать для читателя картину развития цифровой железной дороги Европы и в качестве заключения хотели бы попробовать понять ход дальнейших событий.

1. Безусловно, будет развиваться применение ИИ. В планируемом проекте S2R [41], о котором говорилось выше, планируется рассмотреть применение ИИ для:

- повышения безопасности в транспортных средствах с самостоятельным вождением (например, обучая машину от обнаружения препятствий до вывода состояния инфраструктуры, связанной с несколькими переменными);
- разработки приложений больших данных на железных дорогах (например, прогнозное обслуживание, BIM и процессы оптимизации);
- обнаружения вторжения в кибербезопасность (например, на основе обменов с множеством интеллектуальных объектов, подключенных к IP);
- гибкого распределения пропускной способности (мощности) по сети;
- предоставления в реальном времени инновационных гибких услуг (например: для объединения полной пропускной способности, обеспечиваемой длинными маршрутными поездами вдоль грузовых маршрутов - начиная с железнодорожных грузовых коридоров - с гибкими услугами - остановка и движение в автоматизированных терминалах);
- управления расписанием экипажа для оптимизации использования имеющегося / подходящего подвижного состава и существующего экипажа в данной сети и в рамках данного сервисного предложения. (например, чтобы найти способ через А.И. минимизировать количество требуемых обязанностей и, следовательно, эксплуатационные расходы с автоматизацией планирования экипажа и составления списка экипажа - с учетом физических и эксплуатационных, юридических и любых других ограничений).

2. Онтологическое развитие цифровой железной дороги. Уже сегодня стоит сказать, что ИИ не может развиваться сам, и связан с другими технологиями (рисунок 50), и, на самом деле, связан с формализацией знаний через онтологии, в том числе. Так темам развития ERTMS посвящены научные работы [50,51] для разных применений, расширяющих использование данных этой ключевой части цифровой железной дороги.

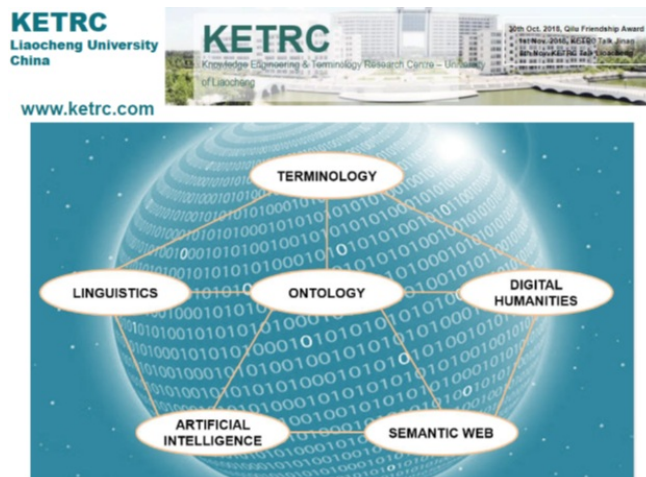


Рис. 50. Соотношения и связи онтологии терминологии лингвистики ИИ семантического веба и цифровых гуманитарных дисциплин (источник Университет Liaocheng (Китай))

Сегодня уже довольно много публикаций, активно использующих формальную онтологию для расширения возможностей применения ERTMS, и, продолжая тему о цене правильного расписания исполняемого точно во время, начатого в работе [2], сошлемся на работу [52]. В ней сообщается что в 2015/16 финансовом году Network Rail потратила 106 008 691,22 фунтов стерлингов [52] в качестве компенсации операционных расходов компаниям за незапланированные задержки. Каждую неделю много десятков тысяч минут задержек накапливаются на железной дороге [52]. Для решения этой проблемы были применены онтологические методы и построен демонстратор Compass.

В демонстраторах Compass [52] первостепенную роль онтологий играет роль основы для интеграции информации между различными источниками данных. Есть много источников данных для этой системы и одна из целей этого проекта - показать, что партнеры проекта могут работать с данными из множества разнородных источников, не ограничиваясь теми, которые включены в первоначальный проект. Онтология также используется для классификации в этом проекте, например, для классификации узлов, которые классифицируются по подтипу. Узлы могут быть любым из множества типов расположенных объектов на путях, такие как: простые узлы, точечные узлы или сигнальные точки. Наиболее значительно они могут быть сигнальные точки, которые отмечают начало области интереса; эта информация используется для определения, когда начать работу в ухудшенном режиме [52]. На рисунке 51 мы приводим системную архитектуру. И нам представляется, что это направление онтологизации на цифровой железной дороге будет сопровождать ее развитие в будущем вместе с ИИ.

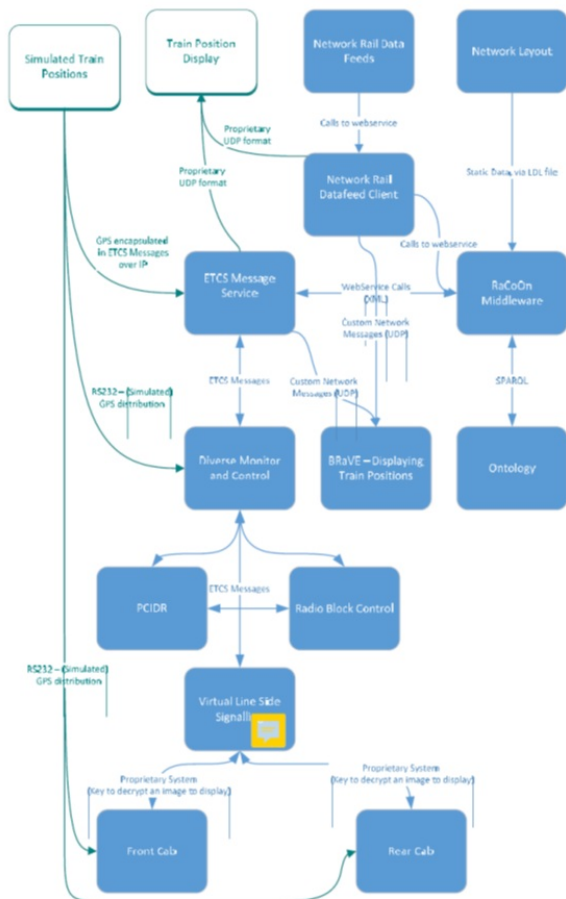


Рис. 51. Полная онтология системной архитектуры с использованием ERTMS [52].

3. Космические технологии и интернет вещей - путь к расширению и удешевлению создания цифровых железных дорог.

Еще одним направлением будущего развития цифровой железной дороги нам представляется совместное развитие ERTMS с космическими технологиями. В сущности для всех оптимизирующих расчетов движения поезда крайне важно иметь практически в реальном времени точную позицию поезда на земле, с сантиметровой точностью и точное время измерения аналогичное атомным часам.

Сегодня для этого используются радиомаяки или бализы (Balise французское слово английский эквивалент - beacon. Элемент системы определения места нахождения поездов в режиме реального времени. Другими словами, это датчик, расположенный на железнодорожном пути). Именно необходимость иметь множество таких бализ и определяет в значительной мере стоимость цифрового преобразования железных дорог.

Физический Balise - это физическое оборудование, установленное на железнодорожном пути (например, как на рисунке 44). На этапе проектирования подсистемы ERTMS проектировщик сигналов устанавливает местоположение пути, где должна быть установлена Eurobalise, и информацию, которую Eurobalise должен отправить на бортовую платформу.

Информация, отправленная с Eurobalise, содержится в бализовой телеграмме. Идентификация местоположения и информации должна выполняться в соответствии с национальными правилами сигнализации и правилами определения размеров и проектирования ERTMS / ETCS. Проектировщик сигнализации на этапе проектирования должен определить местоположение пути, где такой виртуальный бализ будет логически установлен (например, 13 + 212 км), и пользовательские биты (то есть информация), которые виртуальный бализ должен отправить на цифровую платформу, аналогично тому, что делает разработчик сигнализации для физического бализа.

Эта информация должна быть отправлена на бортовую платформу, когда предполагаемое местоположение на основе GNSS антенны GNSS, установленной на крыше поезда и спроецированной на колею (опорная отметка виртуальной антенны), совпадает с местоположением, установленным разработчиком сигнализации. Стоит отметить, что введение концепции Virtual Balise и связанных с ней примеров относится к идеализированному описанию, полезному для понимания предложенной функциональной архитектуры высокого уровня.

Инновационный проект ЕС ERSAT GGC (Galileo Game Changer <http://www.ersat-ggc.eu/home.aspx>), так же [56, 57, 58]) в рамках которого осуществляется разработка этой технологии представляет собой фундаментальный вклад в дорожную карту ERTMS для принятия спутниковой технологии EGNSS, которая уже была определена как одна из технологий изменения игры в эволюции ERTMS в ЕС. Особое внимание уделяется процессу сертификации спутниковых активов, чтобы позволить ERTMS беспрепятственно работать с виртуальными бализами, которые функционально эквивалентны физическим бализам, чтобы обеспечить сквозную совместимость с ERTMS. ERSAT GGC связан с предыдущими проектными достижениями по ERSAT EAV, NGTC, RHINOS и STARS, совместно финансируемые GSA и ЕС (о развитии цифровых транспортных технологий с использованием космоса [55, 3]). Цель состоит в том, чтобы создать уникальный поток информации, который принесет плоды о наилучшем использовании уже имеющихся инфраструктур EGNSS и о новых возможностях GALILEO, которые, как ожидается, будут полностью введены в действие к 2020 году. Собственно подготовка сертификации этого решения уже запланирована [53].

Так как об интернете вещей для цифровой железной дороги уже было много сказано ранее, то стоит обратить внимание читателя на общие тенденции развития, которые многое будут определять. На рисунке 53 приведен ожидаемый рост внедрения пяти технологий самых быстро развивающихся цифровых технологий в мире. На эти данные вполне можно ориентироваться и в плане развития цифровой железной дороги.

Мы предлагаем читателю посмотреть на рисунке 52, что развиваются не только цифровые технологии, вслед за ними люди и, в том числе, работники цифровой железной дороги, переезжают в цифровой мир и в нем выполняют свои производственные функции. Именно по объемам использования цифровых технологий и рассчитывается сегодня объем цифровой экономики в ВВП страны (см. работу [59]). По рисунку 52 можно сделать некоторые грубые оценки изменений и долей цифрового труда на железных дорогах. Как нам представляется это крайне важно для подготовки и переподготовки кадров.

Вместе с тем, технологии ИИ и его влияние на экономику и рынок труда в транспортной сфере (смотри [7,17,18]) будут определяющими факторами, и рост этих технологий показан на рисунке 54.

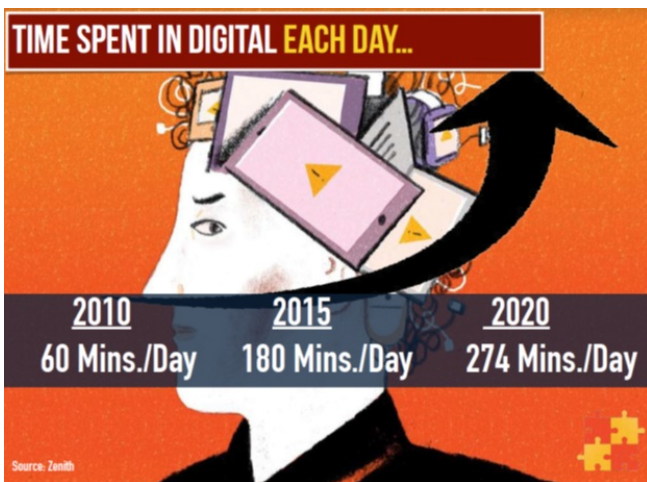


Рис. 52. Сколько человек тратит в день на цифровые технологии и сколько будет тратить в 2020 году (источник – компания Zenith)

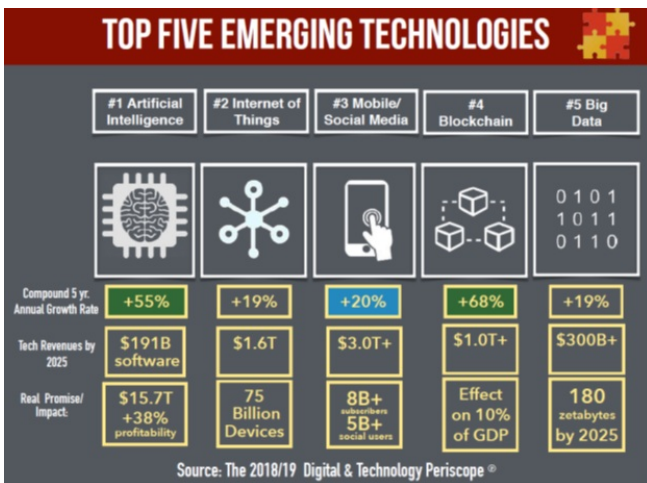


Рис. 53. Ожидаемый рост внедрения пяти технологий самых быстро развивающихся цифровых технологий в мире (источник – The 2018/2019 Digital & Technology Periscope)

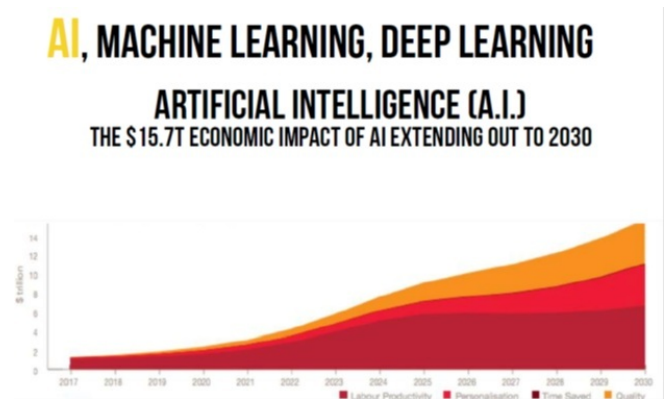


Рис. 54. График роста рынка AI,ML,DL (источник – PwC)

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Покусаев О. Н. и др. Онтологии системы систем в национальных стандартах цифровой железной дороги Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 11.
- [2] Lazutkina V. et al. Ontologies of big data, machine learning, and artificial intelligence on the digital railroad //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 5. – С. 75-88.
- [3] Соколов И. А. и др. Проекты цифрового транспорта с глобальными навигационными спутниковыми системами-путь к построению интегрированных систем цифрового транспорта //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 1.
- [4] Климов А. А. и др. BIM и инженерные формализованные онтологии на цифровой железной дороге Европы в объединении EULYNX-экономика данных //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 8.
- [5] Соколов И. А. и др. Цифровая экономика Западной Австралии-умные горнорудные и нефтегазовые предприятия, железные дороги, морские порты и формализованные онтологии //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 6.-С. 44-62.
- [6] Куприяновский В. П. и др. Формализованные онтологии и сервисы для высокоскоростных магистралей и цифровой железной дороги //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 6. – С. 69-86.
- [7] Соколов И. А. и др. Роботы, автономные робототехнические системы, искусственный интеллект и вопросы трансформации рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 4. – С. 92-108.
- [8] Куприяновская Ю. В. и др. Умный контейнер, умный порт, BIM, Интернет Вещей и блокчейн в цифровой системе мировой торговли //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 3. – С. 49-94.
- [9] Kupriyanovsky V. et al. On development of transport and logistics industries in the European Union: open BIM, Internet of Things and cyber-physical systems //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 54-100.
- [10] Pokusaev O. et al. Blockchain on the digital railway in Germany //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 43-53.
- [11] Соколов И. А. и др. Возможности развития цифровой железной дороги, как базы мультимодальной транспортной системы умных городов в условиях цифровой экономики //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12.- С. 6-76.
- [12] Namiot D. et al. Blockchain applications for transport industry //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12. – С. 130-134.
- [13] Куприяновский В. П. и др. Цифровая железная дорога-ertms, bim, GIS, PLM и цифровые двойники //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. – №. 3.-С.129-166.
- [14] Куприяновский В. П. и др. Соображения по проблемам создания цифровой железной дороги для нового шелкового пути трансконтинентального логистического партнерства в целях экономического развития стран входящих в ЕАЭС и России

- //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 9.-С.119-140.
- [15] Климов А.А. и др., //Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров. Вестник транспорта - 2017.- N. 10. – С. 26-30.
- [16] Климов А.А. и др., //Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров. Вестник транспорта - 2017.- N. 11. – С. 15-28.
- [17] Sokolov I. et al. On artificial intelligence as a strategic tool for the economic development of the country and the improvement of its public administration. Part 1. The experience of the United Kingdom and the United States //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 9. – С. 57-75.
- [18] Sokolov I. et al. On artificial intelligence as a strategic tool for the economic development of the country and the improvement of its public administration. Part 2. On prospects for using artificial intelligence in Russia for public administration //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 9. – С. 76-101.
- [19] Sokolov I. et al. On breakthrough innovative technologies for infrastructures. The Eurasian digital railway as a basis of the logistic corridor of the new Silk Road //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 9. – С. 102-118.
- [20] Zamolodchikov D. et al. Comfortable environment and resources for passenger stations in the lifecycle of digital railways assets //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 100-116.
- [21] Kupriyanovsky V. et al. Bandwidth and economy of the digital railway in the transformation of signaling and train control //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 117-132.
- [22] Kupriyanovsky V. P. et al. Economics of innovations for digital railways. Experience in the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 79-99.
- [23] Шнепс-Шнеппе М. А., Куприяновский В. П. Мобильная сеть GSM-R—основа цифровой железной дороги //Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование». – 2016. – Т. 12. – №. 1. – С. 222-231.
- [24] Kupriyanovsky V. et al. On Internet of Digital Railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С. 53-68.
- [25] Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 43-54.
- [26] Nikolaev D. et al. Digital Railroad-an innovative standards and their role on the example of the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 55-61.
- [27] Гринько О. В. и др. Онтологизация данных Европейского союза как переход от экономики данных к экономике знаний //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 11.
- [28] Digital Transformation https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/digital-transformation_en
- [29] Digital dividend <https://www.weforum.org/press/2016/01/100-trillion-by-2025-the-digital-dividend-for-society-and-business/c>
- [30] Digital Transformation Industry <https://www.rolandberger.com/en/Publications/The-digital-transformation-industry.html>
- [31] Куприяновский В. П. и др. На пути к энергетическому Интернету: новые регуляции, бизнес модели, экономические и технические предпосылки //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 3.
- [32] Kupriyanovsky V. et al. On the way to the physical Internet: industry, logistics, and e-commerce 4.0. European option //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 5. – С. 89-104.
- [33] SAFE-10-T D5.2 Guideline Document on Resilience Assessment, SAFE-10-T 2018
- [34] SAFE-10-T D3.1 Report on Global Safety Framework, SAFE-10-T 2018
- [35] SAFE-10-T D1.1 Report on the Probabilistic Consideration of Resilience, SAFE-10-T 2018
- [36] Transforming Transport D6.1 – Proactive rail infrastructures pilots design , Transforming Transport 2017
- [37] Transforming Transport D6.3 – Proactive Rail Infrastructure Release 1, Transforming Transport 20[38] Brussels, 14.11.2017 SWD(2017) 375 final COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Delivering an effective and interoperable European Rail Traffic Management System (ERTMS) – the way ahead
- [38] ERTMS TEN-T funding 2007-2013 © European Union FEBRUARY 2018
- [39] Feasibility Study on Innovative Financing Options for ERTMS A critical review for an accelerated deployment of ERTMS and a new use of EU funding support. Report by Ernst & Young TAS Special Business Services SCRL (Belgium) for the European Commission following award of an open call for tenders Ref: MOVE/B4/2016-570 © European Union, 2019
- [40] Digital Railway Requirements – ETCS Onboard Reference 153821-NWR-SPE-ESE-000017 Issue/Ver: 1.0 Date: 20 March 2019
- [41] ANNEX to GB decision no 19/2018 ANNUAL WORK PLAN and BUDGET 2019 ADOPTED BY THE S2R JU GOVERNING BOARD ON 4 DEC 2018 http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/jtis/h2020-wp19-shift2rail_en.pdf
- [42] ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LOGISTICS A collaborative report by DHL and IBM on implications and use cases for the logistics industry DHL 2018
- [43] RCA Reference CCS Architecture ,An initiative of the ERTMS users group and the EULYNX consortium, RCA Alpha – Architecture Overview, Document id: RCA.Doc.2 Version: Alpha.1 Date: 15.2.2019 © EUG and EULYNX partners
- [44] ERTMS - a new technology for the railway sector Anticipating its Impact on Employment and Social Conditions., AIMESC PROJECT, FINAL REPORT AND GUIDELINES Period covered: from 01 November 2009 to January 2011 <https://www.etf-europe.org>
- [45] Digital Railway – Joint Development Group TMS-Digital-Railway-Requirements Copyright 2019 Group Digital Railway
- [46] Digital Railway – Joint Development Group Common Interface Dataset Copyright 2019 Group Digital Railway
- [47] Digital Railway – Joint Development Group Engineering Rules Gap Analysis and Impact Assessment Report Digital Railway 2018 Copyright 2018 Group Digital Railway
- [48] Digital Railway – Joint Development Group Managed Service TM – Report A feasible approach to Software as a Service (SaaS) to fit Railway Operations in the UK Copyright 2018 Group Digital Railway
- [49] S-CODE D3.1 Report – Next generation control: monitoring and sensor systems S-CODE 2019
- [50] Evangelos Krokos Centralized Vehicle License Management on ERTMS Key Database and Communication between Server and RBC Master's Thesis Stockholm, KTH Royal Institute of Technology Electrical Engineering Department Master in Network Services and Systems October 16, 2016
- [51] Raja Gopal Kalvakunta Reliability Modelling of ERTMS/ETCS Norwegian University of Science and Technology Submission date: June 2017
- [52] CHRISTOPHER MORRIS & JOHN EASTON USE OF ONTOLOGY FOR DATA INTEGRATION IN A DEGRADED MODE SIGNALLING SYSTEM Computers in Railways XVI WIT Transactions on The Built Environment, Vol 181, © 2019 WIT Press
- [53] Building the Future – Work Programme 2018-2019 ETSI's Vision of a Connected World ETSI Published in August 2018
- [54] Autonomous systems - facing up to the regulatory challenges <https://www.rsb.co.uk/pages/blog/autonomous-systems-facing-up-to-the-regulatory-challenges.aspx>
- [55] Куприяновский В. П. и др. Гигабитное общество и инновации в цифровой экономике //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. – №. 1.
- [56] ERSAT GGC D 3.2 GNSS Quantitative Analysis for ERSAT GGC Project , ERSAT GGC 2018
- [57] ERSAT GGC D3.1 Safety Analysis of ERSAT ERTMS Application over GNSS , ERSAT GGC 2018
- [58] ERSAT GGC D2.1 Enhanced Functional ERTMS Architecture Capable of using GNSS and Public Radio TLC Technologies, ERSAT GGC 2018
- [59] Соколов И. А. и др. Государство, инновации, наука и таланты в измерении цифровой экономики (на примере Великобритании) //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 6.- С.33-48.

Europe's digital railway - from ERTMS to artificial intelligence

Oleg Pokusaev, Alexander Klimov, Vasily Kupriyanovsky, Petr Morhat, Dmitry Namiot

Abstract— This article is devoted to a discussion of digital railway projects in Europe. EU rules require the European railway system to work as a single system of systems. Commercial drivers in the industry include round-the-clock operation, high availability, low cost, security, increased throughput, simplified disaster recovery, low carbon emissions, and customer satisfaction. There are about 30 national railway signaling systems in the EU, which may cause technical or operational problems at borders. To overcome this drawback, the EU decided to develop, adopt and implement a single standard for command, control, signaling and communication, ERTMS, establishing a compatible railway structure throughout the EU. Installed both on the track system and on board, it consists of the European Train Management System (ETCS), ensuring that the train does not exceed the safe speed and distance from other trains, and the global mobile communications system on railways (GSM-R), representing the radio standard for rail traffic. With the introduction of ERTMS, a lot is changing: the speed of trains and their density on the railway network increase. All this determines the very essential requirements, both to the track infrastructure and to the rolling stock.

Keywords— railway signaling, ERTMS, GSM-R

REFERENCES

- [1] Pokusaev O. N. i dr. Ontologii sistemy sistem v nacional'nyh standartah cifrovoj zheleznoj dorogi Velikobritanii //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 11.
- [2] Lazutkina V. et al. Ontologies of big data, machine learning, and artificial intelligence on the digital railroad //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 5. – S. 75-88.
- [3] Sokolov I. A. i dr. Proekty cifrovogo transporta s global'nymi navigacionnymi sputnikovymi sistemami-put' k postroeniju integrirovannyh sistem cifrovogo transporta //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 1.
- [4] Klimov A. A. i dr. BIM i inzhenernye formalizovannye ontologii na cifrovoj zheleznoj doroge Evropy v ob"edinenii EULYNX-jekonomika dannyh //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 8.
- [5] Sokolov I. A. i dr. Cifrovaja jekonomika Zapadnoj Avstralii-umnye gornorudnye i neftegazovye predpriyatija, zheleznye dorogi, morskije porty i formalizovannye ontologii //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 6.-S. 44-62.
- [6] Kupriyanovskij V. P. i dr. Formalizovannye ontologii i servisy dlja vysokoskorostnyh magistral'nyh i cifrovoj zheleznoj dorogi //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 6. – S. 69-86.
- [7] Sokolov I. A. i dr. Roboty, avtonomnye robototekhnicheskie sistemy, iskusstvennyj intellekt i voprosy transformacii rynka transportno-logisticheskijh uslug v uslovijah cifrovizacii jekonomiki //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 4. – S. 92-108.
- [8] Kupriyanovskaja Ju. V. i dr. Umnyj kontejner, umnyj port, BIM, Internet Veshhej i blokchejn v cifrovoj sisteme mirovoj trgovli //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 3. – S. 49-94.
- [9] Kupriyanovsky V. et al. On development of transport and logistics industries in the European Union: open BIM, Internet of Things and cyber-physical systems //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 2. – S. 54-100.
- [10] Pokusaev O. et al. Blockchain on the digital railway in Germany //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 2. – S. 43-53.
- [11] Sokolov I. A. i dr. Vozmozhnosti razvitija cifrovoj zheleznoj dorogi, kak bazy mul'timodal'noj transportnoj sistemy umnyh gorodov v uslovijah cifrovoj jekonomiki //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12.-S. 6-76.
- [12] Namiot D. et al. Blockchain applications for transport industry //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12. – S. 130-134.
- [13] Kupriyanovskij V. P. i dr. Cifrovaja zheleznaia doroga-ertms, bim, GIS, PLM i cifrovye dvojniki //Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2017. – T. 13. – #. 3.-S.129-166.
- [14] Kupriyanovskij V. P. i dr. Soobrazhenija po problemam sozdaniia cifrovoj zheleznoj dorogi dlja novogo shelkovogo puti transkontinental'nogo logisticheskogo partnerstva v celjah jekonomicheskogo razvitija stran vkhodjashchih v EAJeS i Rossii //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 9.-S.119-140.
- [15] Klimov A.A. i dr., //Cifrovye transportnye koridory dlja perevozok gruzov i passazhirov. Vestnik transporta - 2017.- N. 10. – C. 26-30.
- [16] Klimov A.A. i dr., //Cifrovye transportnye koridory dlja perevozok gruzov i passazhirov. Vestnik transporta - 2017.- N. 11. – C. 15-28.
- [17] Sokolov I. et al. On artificial intelligence as a strategic tool for the economic development of the country and the improvement of its public administration. Part 1. The experience of the United Kingdom and the United States //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 9. – S. 57-75.
- [18] Sokolov I. et al. On artificial intelligence as a strategic tool for the economic development of the country and the improvement of its public administration. Part 2. On prospects for using artificial intelligence in Russia for public administration //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 9. – S. 76-101.
- [19] Sokolov I. et al. On breakthrough innovative technologies for infrastructures. The Eurasian digital railway as a basis of the logistic corridor of the new Silk Road //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 9. – S. 102-118.
- [20] Zamolodchikov D. et al. Comfortable environment and resources for passenger stations in the lifecycle of digital railways assets //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 100-116.
- [21] Kupriyanovsky V. et al. Bandwidth and economy of the digital railway in the transformation of signaling and train control //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 117-132.
- [22] Kupriyanovsky V. P. et al. Economics of innovations for digital railways. Experience in the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 79-99.
- [23] Shneps-Shneppe M. A., Kupriyanovskij V. P. Mobil'naja set' GSM-R—osnova cifrovoj zheleznoj dorogi //Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie». – 2016. – T. 12. – #. 1. – S. 222-231.
- [24] Kupriyanovsky V. et al. On Internet of Digital Railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 12. – S. 53-68.
- [25] Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 10. – S. 43-54.
- [26] Nikolaev D. et al. Digital Railroad-an innovative standards and their role on the example of the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 10. – S. 55-61.

- [27] Grin'ko O. V. i dr. Ontologizacija danyh Evropejskogo sojuza kak perehod ot jekonomiki danyh k jekonomike znaniy //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 11.
- [28] Digital Transformation https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/digital-transformation_en
- [29] Digital dividend <https://www.weforum.org/press/2016/01/100-trillion-by-2025-the-digital-dividend-for-society-and-business/s>
- [30] Digital Transformation Industry <https://www.rolandberger.com/en/Publications/The-digital-transformation-industry.html>
- [31] Kuprijanovskij V. P. i dr. Na puti k jenergeticheskomu Internetu: novye reguljacii, biznes modeli, jekonomicheskie i tehnicieskie predposylki //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 3.
- [32] Kuprijanovsky V. et al. On the way to the physical Internet: industry, logistics, and e-commerce 4.0. European option //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 5. – S. 89-104.
- [33] SAFE-10-T D5.2 Guideline Document on Resilience Assessment, SAFE-10-T 2018
- [34] SAFE-10-T D3.1 Report on Global Safety Framework, SAFE-10-T 2018
- [35] SAFE-10-T D1.1 Report on the Probabilistic Consideration of Resilience, SAFE-10-T 2018
- [36] Transforming Transport D6.1 – Proactive rail infrastructures pilots design , Transforming Transport 2017
- [37] Transforming Transport D6.3 – Proactive Rail Infrastructure Release 1, Transforming Transport 20[38] Brussels, 14.11.2017 SWD(2017) 375 final COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Delivering an effective and interoperable European Rail Traffic Management System (ERTMS) – the way ahead
- [38] ERTMS TEN-T funding 2007-2013 © European Union FEBRUARY 2018
- [39] Feasibility Study on Innovative Financing Options for ERTMS A critical review for an accelerated deployment of ERTMS and a new use of EU funding support. Report by Ernst & Young TAS Special Business Services SCRL (Belgium) for the European Commission following award of an open call for tenders Ref: MOVE/B4/2016-570 © European Union, 2019
- [40] Digital Railway Requirements – ETCS Onboard Reference 153821-NWR-SPE-ESE-000017 Issue/Ver: 1.0 Date: 20 March 2019
- [41] ANNEX to GB decision no 19/2018 ANNUAL WORK PLAN and BUDGET 2019 ADOPTED BY THE S2R JU GOVERNING BOARD ON 4 DEC 2018 http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/jtis/h2020-wp19-shift2rail_en.pdf
- [42] ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LOGISTICS A collaborative report by DHL and IBM on implications and use cases for the logistics industry DHL 2018
- [43] RCA Reference CCS Architecture ,An initiative of the ERTMS users group and the EULYNX consortium, RCA Alpha – Architecture Overview, Document id: RCA.Doc.2 Version: Alpha.1 Date: 15.2.2019 © EUG and EULYNX partners
- [44] ERTMS - a new technology for the railway sector Anticipating its Impact on Employment and Social Conditions., AIMESC PROJECT, FINAL REPORT AND GUIDELINES Period covered: from 01 November 2009 to January 2011 <https://www.etf-europe.org>
- [45] Digital Railway – Joint Development Group TMS-Digital-Railway-Requirements Copyright 2019 Group Digital Railway
- [46] Digital Railway – Joint Development Group Common Interface Dataset Copyright 2019 Group Digital Railway
- [47] Digital Railway – Joint Development Group Engineering Rules Gap Analysis and Impact Assessment Report Digital Railway 2018 Copyright 2018 Group Digital Railway
- [48] Digital Railway – Joint Development Group Managed Service TM – Report A feasible approach to Software as a Service (SaaS) to fit Railway Operations in the UK Copyright 2018 Group Digital Railway
- [49] S-CODE D3.1 Report – Next generation control: monitoring and sensor systems S-CODE 2019
- [50] Evangelos Krokos Centralized Vehicle License Management on ERTMS Key Database and Communication between Server and RBC Master's Thesis Stockholm, KTH Royal Institute of Technology Electrical Engineering Department Master in Network Services and Systems October 16, 2016
- [51] Raja Gopal Kalvakunta Reliability Modelling of ERTMS/ETCS Norwegian University of Science and Technology Submission date: June 2017
- [52] CHRISTOPHER MORRIS & JOHN EASTON USE OF ONTOLOGY FOR DATA INTEGRATION IN A DEGRADED MODE SIGNALLING SYSTEM Computers in Railways XVI WIT Transactions on The Built Environment, Vol 181, © 2019 WIT Press
- [53] Building the Future – Work Programme 2018-2019 ETSI's Vision of a Connected World ETSI Published in August 2018
- [54] Autonomous systems - facing up to the regulatory challenges <https://www.rssb.co.uk/pages/blog/autonomous-systems-facing-up-to-the-regulatory-challenges.aspx>
- [55] Kuprijanovskij V. P. i dr. Gigabitnoe obshhestvo i innovacii v cifrovoj jekonomike //Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2017. – T. 13. – #. 1.
- [56] ERSAT GGC D 3.2 GNSS Quantitative Analysis for ERSAT GGC Project , ERSAT GGC 2018
- [57] ERSAT GGC D3.1 Safety Analysis of ERSAT ERTMS Application over GNSS , ERSAT GGC 2018
- [58] ERSAT GGC D2.1 Enhanced Functional ERTMS Architecture Capable of using GNSS and Public Radio TLC Technologies, ERSAT GGC 2018
- [59] Sokolov I. A. i dr. Gosudarstvo, innovacii, nauka i talanty v izmerenii cifrovoj jekonomiki (na primere Velikobritanii) //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 6.- C.33-48.