

ВІМ и инженерные формализованные онтологии на цифровой железной дороге Европы в объединении EULYNX - Экономика данных

А.А. Климов, В.П.Куприяновский, А.В. Степаненко, О.Н. Покусаев, И.П.Петрунина, Д.В. Катцын, С.А.Синягов, Ю.П.Липунцов, Е.М. Чеботарев

Аннотация— Статья посвящена вопросам применения ВІМ и онтологий при проектировании и эксплуатации цифровой железной дороги. Прогнозируется, что глобальные железнодорожные перевозки удвоятся к 2050 году. Чтобы поддерживать этот рост, глобальный железнодорожный путь в километрах к 2050 году необходимо увеличить примерно на 30% к уровню 2010 года. Это открывает эпоху большой борьбы за грузопотоки и пассажиров между железными дорогами и создание фактически нового транспортного ландшафта. И решающую роль в этом процессе начинают играть онтологии и удобства формализованных онтологических и семантических языков для обеспечения интероперабельности проектирования и эксплуатации железнодорожных систем. В работе рассматривается система EULYNX - европейская инициатива в области железнодорожной сигнализации с целью снижения стоимости и времени установки оборудования цифровой сигнализации. EULYNX использует формальные онтологические методы, которые тесно связаны сегодня с IFC buildibgSmart и их расширениями. Сегодня стандарт инфраструктуры IFC Rail, разработанный и принятый в Китае как национальный имеет все шансы стать международным. В статье также рассматриваются онтологии, построенные на базе SysML, которые завоевали популярность во многих областях критически важных систем безопасности, таких как военные или аэрокосмические. Некоторые компании в секторах железных дорог начинают использовать SysML для своей критически важной сигнализации железной дороги.

Ключевые слова—цифровая экономика, онтологии, ВІМ.

I. ВВЕДЕНИЕ

В середине 1990-х годов было много инновационных и новых приложений в области ИКТ архитектуры, инженерии и строительства (сокращенно - АЕС). Результатом стали сложные САД-системы, где можно было обогатить, в основном, графическую информацию, 3D-модели зданий и сооружений и, в дополнение к векторным данным, получить новые информационные возможности, такие, как вычисление физических характеристик, удельных затрат и т. д. Эта методология стала известна как информационное моделирование зданий (ВІМ). Однако только в отрасли АЕС фокус интеграции ВІМ в основном зависит от предварительных фаз строительства. Интеграция методов работы ВІМ в фазах после завершения стройки не является очень распространенной, как в мире, так и в российской отрасли АЕС. Таким образом, в то время как процессы ВІМ хорошо устанавливаются для новых зданий и сооружений, большинство существующих зданий и сооружений не обслуживаются, не ремонтируются и не перестраиваются с ВІМ информацией в настоящее время, а для создания новых свойств железных дорог в России строительство на действующих линиях типовая практика.

Когда речь идет о денежных средствах, эти последующие операции и обслуживание затраты на строительство по его жизненному циклу могут быть во много раз больше, чем расходы на строительство. Эти пропорции и схема затрат, представленная на рисунке 1. Кроме того, с типичным промежутком времени 30, 50 или более лет - это также самая длинная и характерная для транспортных инфраструктур фаза. Поэтому растет интерес к использованию ВІМ на этапе эксплуатации для согласованного, последовательного и вычислимого для зданий и сооружений управления информацией / знаниями на протяжении всего жизненного цикла. Особенно это важно для инфраструктур железных дорог, так как там, в силу указанных причин, крайне существенен именно весь жизненный цикл.

Статья получена 21 июня 2018.

А.А. Климов - Российский университет транспорта (МИИТ) (email: aaklimov1961@gmail.com)

В.П.Куприяновский - Национальный центр компетенций в области цифровой экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (e-mail: vpkupriyanovsky@gmail.com).

А.В. Степаненко - Союз строителей железных дорог (email:stepanenkovinfo@gmail.com)

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

И.П.Петрунина - УИС (МСЖД) (email: petrunina1212@gmail.com)

Д.В. Катцын - ОАО РЖД (email: kattzyn@center.rzd.ru)

С.А.Синягов - Национальный центр компетенций в области цифровой экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (email: ssinyagov@gmail.com)

Ю.П.Липунцов - МГУ имени М.В. Ломоносова (email: lipuntsov@econ.msu.ru)

Е.М. Чеботарев - АСЭ ГК Росатом; buildingSmart Россия (email: Chebotarev_EM@aep.ru)

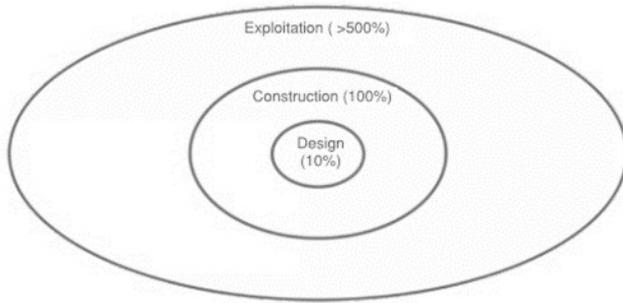


Рис. 1. Схематическое изображение затрат на жизненный цикл здания [37]

Однако отсутствие интероперабельности (совместимости), как между программными приложениями, так и данными затрудняет интеграцию BIM в течение всего жизненного цикла всего здания. Классы отраслевого фонда (IFC) являются все более и более воспринимаемыми отраслью АЕС как совместимый формат файлов нужной информации из-за продолжающихся усилий BuildingSMART [37]. Использование IFC и других стандартных формализованных онтологий (далее – онтологии) на всех этапах жизненного цикла здания может предотвратить потерю информации и облегчить передачу процесса обслуживания от одного участника жизненного цикла сооружения к другому.

Семантическое и онтологическое обогащение этих моделей зданий может способствовать более оптимальному построению процессов хранения и доступа к данным, предоставляя средства для структурирования, сохранения и визуализации релевантной информации.

В то время как модели BIM разрабатываются на высоком уровне при проектировании и строительстве сооружений, они же должны представлять «сложившуюся» ситуацию. Фактически построенное сооружение может существенно отличаться от его дизайна, а используемые в нем условия могут сильно изменяться на протяжении всего жизненного его цикла. Следовательно, «как-спроектировано» BIM модели должны быть скорректированы для создания «построенных» моделей. Кроме того, многие внешние данные становятся доступными после строительства, так как относятся только к конкретному сооружению и зданию в конкретном месте и обладающие законченными свойствами (FM–управление свойствами это отдельная дисциплина). Отсутствующая, устаревшая или неструктурированная информация о сооружении и здании может привести к неэффективному управлению проектами, результатам процесса и потерям времени или увеличением затрат на техническое обслуживание, модернизацию или восстановление процессов и свойств. Управление данными о сооружении и здании является ключом к оптимизации эксплуатации и поддержанию/созданию заданных свойств (FM).

Семантическая модель - это модель, в которую включена семантическая информация, описывающая

смысл ее конкретных физических экземпляров. Как обсуждалось в [12,13], модели IFC можно рассматривать как семантические модели. Как правило, на железных дорогах доступны разнообразные модели или представления о сооружениях и зданиях с огромным количеством внешних данных, что приводит к необходимости управления распределенными данными (рисунок 2). Кроме того, наборы данных распределены по различным местам и имеют различные заинтересованные стороны и делают задачу управления ими только более сложной. Следовательно, развитие к Интернету данных и далее к семантическому интернету становится более актуальным для железнодорожной отрасли.

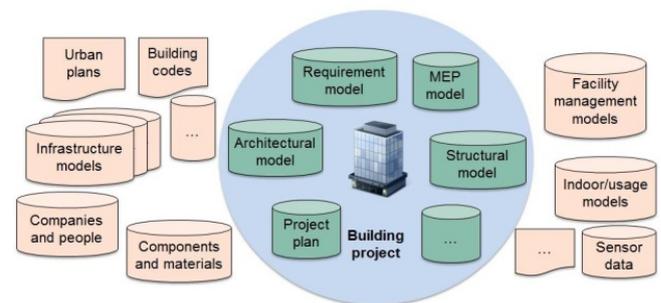


Рис. 2. Управление распределенными данными BIM [37]

Так появился проект IfcOWL. Как обсуждалось в [12,13], стандартный IFC позволяет обмен и представление данных об объектах железных дорог сделать более функционально. Однако отсутствие механизмов для расширения семантики модели идентифицируется как одно из основных ограничений. BuildingSMART начал разработку онтологий для сектора строительства и инфраструктур на базе IFC. Посредством внедрения семантических веб-технологий, информация о модели IFC на основе EXPRESS предлагается преобразовать в семантически расширенную модель, закодированную в OWL (это онтологический язык от W3C или законодателей современного Интернета). Версия OWL схемы IFC с именем ifcOWL позволяет использовать семантические веб-технологии для моделей BIM. Среди прочего, преимущества перехода на семантические веб-технологии и ifcOWL это возможность связывать различные типы наборов данных и приложений одной и той же концепции или элементами, запросами на данные, публикацией данных и обоснованиями и спецификациями данных. В виде сравнения, рисунок 3 иллюстрирует разницу в подходах в терминах «Старая школа» и «Новая школа» управления данными. Подход «старой школы» основан на многих технологиях (STEP, XML и т. д.), где выбрана и применена одна структура данных. Этот центральный подход является относительно негибким и статическим. Напротив, онтологический подход «Новой школы» имеет основы в одной логической технологии, которая является семантической сетью. Таким образом, появляется способность, чтобы связать многие структуры данных

и приложения [37]. Этот децентрализованный подход может быть охарактеризован как более гибкий и динамичный. Фактически, он сегодня или в ближайшее завтра и есть единственно возможный.

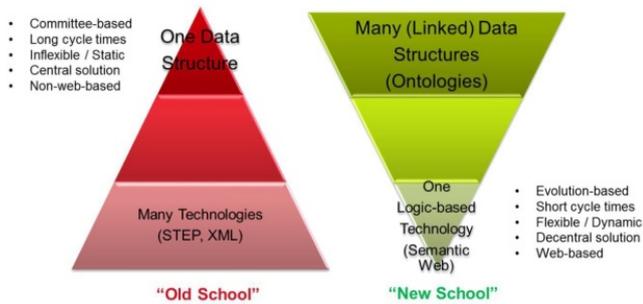


Рис. 3. Оппозиция между традиционными методами и новыми онтологическими методами [37]

Учитывая особенности различных профилей OWL, имеются возможности разных вариантов построения отношений с IFC. С одной стороны, можно было бы онтологию ifcOWL использовать с максимально возможной информацией о типе данных (высокая выразительность). Но с другой стороны, можно было бы стремиться к онтологии ifcOWL, которая находится в одном из менее выразительных профилей, но более эффективен во время выполнения конкретных задач в виде приложений.

Для стандартизации правил трансформации развитие ifcOWL управляется органом стандартизации. Рабочая группа BuildingSMART по таким семантически связанным данным отвечает за создание и поддержание онтологии ifcOWL. Группа встречается через равные промежутки времени, как в виртуальном, так и в живом формате, отслеживая и обсуждая возможные усовершенствования онтологии ifcOWL. Рабочая группа по связанным данным является частью технической комнаты BuildingSMART и тесно взаимодействует с другими рабочими группами в организации BuildingSMART. Результатом этой работы стал проект онтологий на базе ifcOWL. Сегодня во многих проектах связанных с расширением BIM на весь жизненный цикл именно OWL рассматривается и применяется как интегратор всех необходимых онтологий и единый исполнительный механизм создания приложений в интернете (подход «Новой школы»). Именно так сегодня развивается EULYNX, которому и посвящена настоящая статья.

В работах [1-13] и [97-102] были изложены сегодняшние статусы и методы создания цифровых железных дорог разных стран Европы, Китая, Австралии и США, а так же ход реализации создания общеевропейских синхромодальных транспортных коридоров. Однако изменения в технологиях и стремление оптимизировать экономические показатели, намерения сократить сроки этих огромных инфраструктурных проектов, определило несколько принципиально новых тенденций. Они, на наш взгляд, выражаются в следующем:

1. Появились очень быстро развивающиеся новые

технологические железнодорожные объединения, такие как EULYNX или китайские железные дороги.

2. Вошли в фазу готовности внедрения такие принципиально важные технологии цифровой экономики, такие, как транспарентные онтологические методы, которые существенно улучшили возможности точных расчетов KPI в жизненном цикле, как собственно инфраструктур, так и подвижного состава железных дорог.

3. Стало невозможным не учитывать прогресс в кибер-физических системах и их возможности на транспорте.

4. Появилась насущная необходимость прогнозирования развития железных дорог, включающего экономические, политические и технические аспекты развития.

Прогнозируется, что глобальные железнодорожные перевозки удвоятся к 2050 году. Чтобы поддерживать этот рост, глобальный железнодорожный путь в километрах надо увеличить примерно на 30% больше уровня 2010 г. к 2050 году [14, 15]. Это открывает уже сегодня эпоху большой борьбы за грузопотоки и пассажиров между железными дорогами и создание фактически нового транспортного ландшафта, связанного, в том числе, и с появлением мобильной промышленности и другими факторами [6,7,9,11,16]. Однако решающую роль в этом процессе начинают играть онтологии и удобства формализованных онтологических и семантических языков для обеспечения интероперабельности проектирования и эксплуатации железнодорожных систем.

II. ЕВРОПЕЙСКОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ EULYNX

EULYNX является европейской инициативой в области железнодорожной сигнализации с целью снижения стоимости и времени установки оборудования цифровой сигнализации. В настоящее время в Северной и Центральной Европе в нем участвуют 11 членов, причем базовый уровень 1 опубликован и базовый уровень 2 должен был представлен в декабре 2017 года (рисунок 4). В проектных документах описывается системная архитектура для систем взаимоблокировки, включая стандартные интерфейсы для отдельных компонентов блокировки, которые могут использоваться в любых странах-участницах. Цель состоит в том, чтобы превратить блокировки в модульные системы, где различные части одной блокировки могут поставляться разными производителями, при этом сохраняя высокий уровень безопасности и надежности, необходимый для критической системы безопасности на железнодорожном транспорте.

EULYNX был начат в 2014 году менеджерами железнодорожной инфраструктуры шести европейских стран: Германии, Нидерландов, Бельгии, Франции, Люксембурга и Великобритании [17]. Это число увеличилось со временем до 11, включая менеджеров инфраструктуры из Финляндии, Норвегии, Швеции, Словении и Швейцарии. Проект предназначен для

стандартизации интерфейсов сигнализации и управления железнодорожным транспортом с целью сокращения затрат и времени установки оборудования сигнализации.

EULYNX исходит из более короткого срока службы новых технологий оборудования сигнализации, особенно для блокировок, которые лежат в основе системы безопасности на железнодорожном транспорте [1,5,18]. Ожидается, что система блокировки с использованием механической технологии прослужит до 80 лет, но электронное блокирующее оборудование сократит срок службы от 15 до 20 лет [19].

Высокая стоимость оборудования для железнодорожной сигнализации и тот факт, что до недавнего времени поставщики, работающие в основном внутри национальных границ, предполагали, что существует значительное количество технологического разнообразия, а элементы эксплуатируются много десятилетий [25]. Когда необходимо установить новое ядро системы блокировки, это может быть несовместимо со старыми полевыми элементами, такими как сигналы и системы защиты железнодорожных переездов, заставляя осуществлять замену элементов, которые все еще находятся на десятилетия от ожидаемого конца жизненного цикла. Слияния и поглощения в отрасли снабжения также означают меньшую конкуренцию, которая может стать еще одним фактором, стимулирующим затраты [19].

Стандартизируя архитектуру системы и интерфейсы оборудования для железнодорожной сигнализации [20], жизненный цикл блокирующего ядра может быть отделен от элементов поля, которые имеют более длительные жизненные циклы [21], изменяя традиционную бизнес-логику использования полной системы от одного производителя. Кроме того, права на интеллектуальную собственность (IP) спецификаций принадлежат партнерам по проекту [20], вопреки тому, что они покупают продукты с полки. Использование этого подхода позволяет производителям участвовать в торгах только за конкретный компонент, тем самым снижая затраты на вход в рынок и увеличивая возможности для конкуренции. Кроме того, когда компонент должен быть заменен, любая компания может поставлять этот конкретный продукт.

EULYNX использует результаты предыдущих проектов европейских инициатив, таких как Eugo Interlocking или INESS в качестве основного базиса (о других составляющих ниже). Результатом проекта являются требования в форме документов. Из-за исторических различий в системах сигнализации среди мгновенных сообщений документы EULYNX включают как общности, так и различия в функциональных требованиях. Технические документы публикуются EULYNX поэтапно с базовым уровнем 1, охватывающим фазы 1 - 4/5 CENELEC, опубликованные 31 марта 2017 года, и базовый уровень 2, запланированный на декабрь 2017 года, включая официальные формальные модели [22].

Vane NOR Норвежский менеджер по инфраструктуре железной дороги представил требования EULYNX в

своей программе расширения ERTMS, включая оснащение подвижного состава и установку всей своей сети с помощью системы сигнализации уровня 2 ETCS. Теперь как система сигнализации, так и система управления трафиком должны иметь интерфейсы EULYNX [23]. SŽ-Infrastructure также объявила о выпуске оборудования, совместимого с EULYNX, в Словении после 2020 года [24]. DB Netz находится в фазе предварительного цикла до 2019 года, используя требования EULYNX в текущих проектах сигнализации, в то время как спецификации завершены. Фаза производства будет следовать [25].

EULYNX использует формальные онтологические методы, которые необходимы в других высокотехнологичных отраслях, но не широко используются менеджерами инфраструктуры железной дороги. Внедрение распределенной системы безопасности также является новаторским в этом секторе, что лидирует в других проектах, которые должны пройти аналогичный процесс сертификации [21].

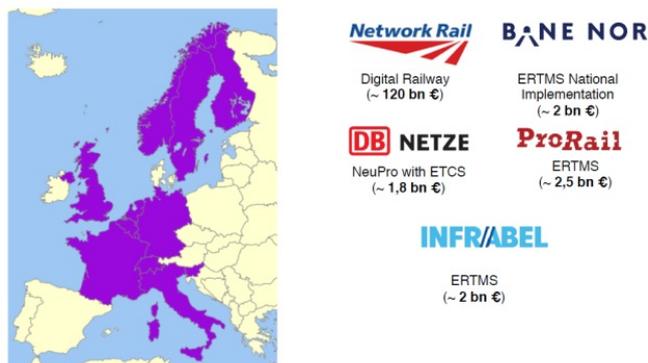


Рис. 4. В EULYNX участвуют 12 европейских менеджеров железнодорожной инфраструктуры (ИМ), которые закрашены на карте (источник – EULYNX состояние на конец 2017 года)

В EULYNX участвуют 12 европейских менеджеров инфраструктуры (ИМ), и финансовые вложения в течение следующих нескольких лет оцениваются суммарно в 3 Триллиона € (рисунок 4). На конец 2017 года безусловным лидером по планируемому ближайшим инвестициям в цифровую железную дорогу является Великобритания в размере 120 млрд. € (рисунок 4).

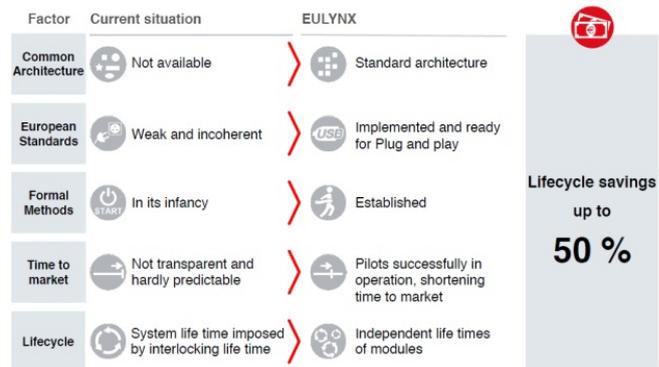


Рис. 5. Сравнительные факторы текущего развития и развития проектов в EULYNX (источник – EULYNX)

Как показано на рисунке 5. объединение участников

EULYNX не только способствует новому видению цифровой железной дороги и развитию автономных систем железнодорожного транспорта (ATO), но и предполагает колоссальную экономию на всем жизненном цикле железнодорожных активов в 50%. Методы EULYNX предполагают уже сегодня ежегодные сбережения бюджетов ИМ в 300 млн. €

III. ОНТОЛОГИИ ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

A. Общие онтологии транспорта

Для понимания того, как предполагается получить такие результаты на цифровых железных дорогах наряду с уже подтвержденными и планируемыми эффектами [1, 5], необходимо обратиться к исследованиям по онтологии железнодорожного транспорта [26-33]. Такие исследования, проведенные, например, на железных дорогах Великобритании [26], показали, что: «...эффективность информационных систем в отрасли тормозится набором устаревших систем, они не могут общаться с новыми технологиями и поощрять пользователей разрабатывать широкий спектр заказных локальных систем для преодоления ограничений. Многие устаревшие системы были созданы и управляются в силосах компании, и только несколько систем пересекают границы отрасли». В результате работ [26-31] и других был подготовлено технико-экономическое обоснование. «Это технико-экономическое обоснование, которое является частью Универсальной задачи передачи данных FuTRO, призвано показать, как общие, открытые онтологии доступа и связанные данные могут помочь железнодорожной отрасли Великобритании реализовать видение представленных в RTS (технической стратегии), облегчая доступ к информационным ресурсам и обеспечивая их легкую интеграцию / комбинированное использование при формировании ответов на операционные запросы. В исследовании показано, как онтология будет позволять отрасли применять подход «строить один раз» к разработке приложений, защищая программное обеспечение от изменений физических систем в реальном мире» [26].

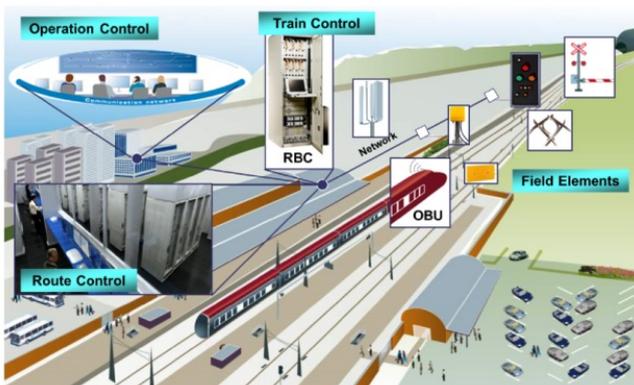


Рис. 6. Железнодорожные системы и физический мир их использования (источник - конференция RSSRail, Pistoia Italy, Nov. 14-16, 2017)

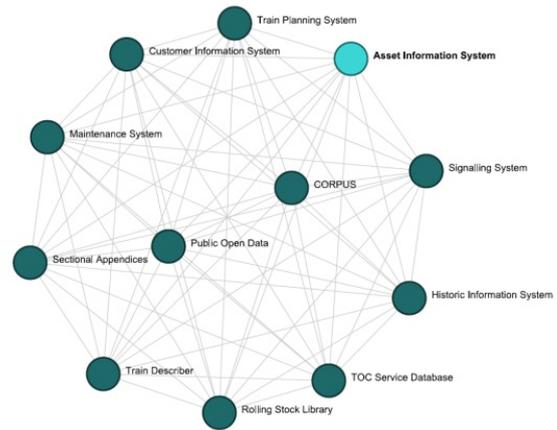


Рис. 7. Интегрированные информационные системы железных дорог [26]

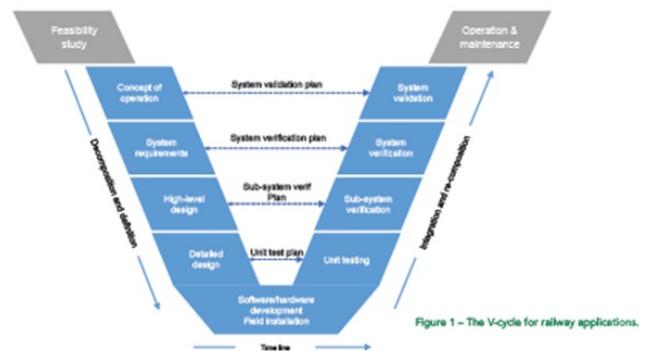


Рис. 8. V-цикл для железнодорожных применений, нужный, чтобы сделать правильно с первого раза [83].

Мы попробовали показать трансформацию представлений физического мира железных дорог (рисунок 6) в информационный (рисунок 7) и далее в онтологический в части системной инженерии (рисунок 8). Так, построенная система представляет собой комбинацию взаимодействующих и интегрированных элементов, подсистем или сборок, которые выполняют определенные задачи. Эти элементы включают продукты, процессы, людей, свойства, услуги и другие вспомогательные функции. Все это позволяет сделать правильно с первого раза и хорошо работает в промышленности.

Системная инженерия (SE) является междисциплинарным подходом к реализации успешных систем путем разработки конечного продукта, который отвечает потребностям, целям и задачам клиента в этой идеологии.

Благодаря своей природе проект повторной сигнализации (re-signalling project) ERTMS является идеальным примером развития критически важной системы безопасности, чья реализация, от концепции к операциям, может управляться, следуя строгому подходу, определенному в «V-модели» подходе для железнодорожных применений [83], в том числе, он взят на вооружение в EULYNX.

Онтология транспорта, в целом, имеет общие части [13]. В нее входят как его инфраструктура, так и движущиеся средства, и в целом это представляет

систему – систем (SoS). Развитие цифровой экономики в транспорте все больше преобразует транспорт в кибер-физические системы [13], привлекая для практической работы инженерные, программные и BIM онтологии. На рисунке 9 мы показываем эту связь на примере автомобиля, но, заменяя на рисунке 6 умный автомобиль на умный поезд, мы можем получить принципиально ту же онтологию верхнего уровня для железных дорог. Именно возможность работать с ограниченным набором формализованных понятий и безграничным набором формализованных отношений между ними позволяет человечеству сегодня накапливать знания и использовать их на практике для получения лучших результатов, например, таких, о которых мы говорили выше в разделе о EULYNX.

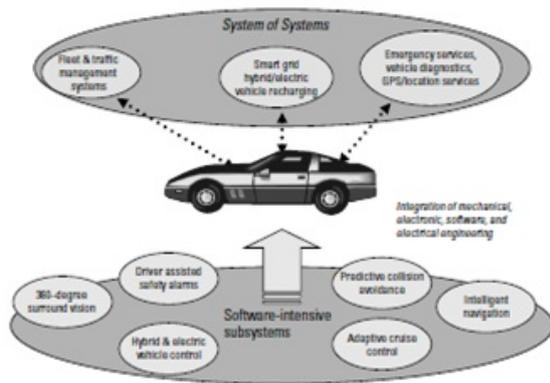


Рис. 9. Умный автомобиль представляет собой систему систем в более крупной экосистеме [34]

Полезно знать, что в онтологиях различные части системы моделируются с использованием разных вычислительных моделей. Отдельные модели вычислений могут быть интегрированы в единую структуру. Модели расчета могут потенциально включать конечные автоматы (FSM), передачи конечных автоматов (CFSM), непрерывное время, непрерывное временные пространственные измерения (PDE), системы дискретных событий, модели потоков данных и сигнальные модели. Онтологически проблемы обычно смоделированы как семантические сети физически связанные на уровне компонентов, которые будут собраны в сети объектов на системном уровне [97 – 99, 101, 102]. Численные процедуры будут вычислять состояние системы (например, распределения массовых потоков и давления), а также поведение времени-истории в ответ на ежедневные изменения, например, температуры.

Последний абзац приведен из [35]. Эта диссертация посвящена в основном онтологическим и семантическим описаниям того, как оптимально построить работу HVAC (вентиляция, отопления и кондиционирование) в здании при взаимодействии с онтологическими моделями, описанными на IFC (buildingSmart, открытый BIM и т.п. [13]). Взаимодействие трех расчетных моделей в определенных точках онтологической модели показано на рисунке 10.

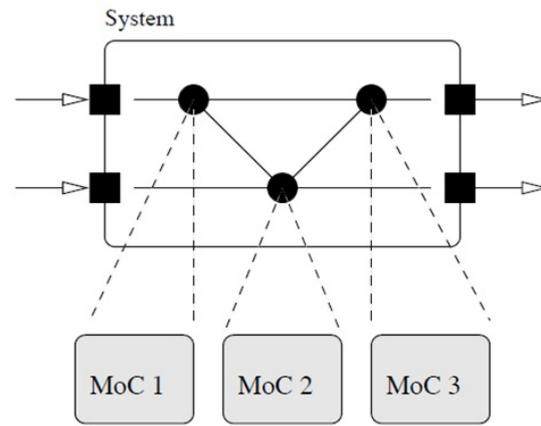


Рис. 10. Взаимодействие трех расчетных моделей в определенных точках онтологической модели [35]

В. Онтологии инфраструктур транспорта

Из-за изменения того, что требуют ведущие клиенты из отрасли архитектуры, инженерии и строительства (АЕС), отрасль АЕС должна работать более эффективно. Возможным решением является применение управления знаниями (КМ) внутри организации [58]. Однако проблема с традиционными методами КМ, используемыми в отрасли АЕС, заключается в том, что они требуют слишком большого обслуживания, и они хранят, но не обмениваются информацией внутри организации. С развитием онтологий Building Information Modeling (BIM) появилась новая возможность создания системы управления знаниями. Онтологический BIM предоставляет уникальный источник информации, поскольку он генерирует и управляет данными, созданными в течение жизненного цикла здания. Этот уникальный источник информации может быть преобразован в знания посредством интеллектуального анализа данных через, например, data mining.

Онтологии инфраструктур транспорта и железной дороги тесно связаны сегодня с IFC buildibgSmart и их расширениями [13]. Сегодня стандарт инфраструктуры IFC Rail, разработанный и принятый в Китае как национальный имеет все шансы стать международным [13]. Необходимо только учитывать, что он не включает железнодорожные мосты и туннели (это в онтологии отдельная разработка или область, домен) и вокзалы и депо (это по классификации buildibgSmart домен здания). Технологически часть этого домена и его связи с другими доменами на наш взгляд изложены в [35] и мы попробовали это максимально использовать.

Объем строительных систем большой; взаимодействующие домены охватывают различные области от структуры здания и топологии, до условий внутренней и внешней среды, полезности, жителей и механического оборудования. Недавние исследования, таких как [35], изучили использование формальных онтологий в качестве способа указания конкретизирующих соглашения о совместном использовании и повторном использовании знаний.

Симуляционные системы современного здания, не имеют возможности использовать знания о здании и его окружающие домены. Это знание может быть явным и представлять факты, или возможно, и подразумевается путем рассуждения посредством фактов должно быть использовано для получения новой информации. Это объясняет необходимость формальных информационных моделей и структур знаний, которые представляют основополагающие базы знаний здания и сооружения (например, железной дороги).

Современные стратегии управления зданием принимают решения на основе численных значений, полученные из физических областей. Они склонны игнорировать семантические знания и важной информации для энергоснабжения такого здания как вокзал, такую как пассажиропоток, погода, полезность, оборудование и геометрия здания. Окружающий интеллект (англ. Ambient intelligence, AmI — термин для обозначения окружающей среды, насыщенной электронными устройствами, которые реагируют на присутствие людей) — это область, которая привлекает внимание при применении интеллектуальных систем а, с появлением так называемых «вездесущих вычислений» (сегодня так же устоялся и термин краевые вычисления), было предложено что компьютерные и электрические системы должны быть интегрированы в физическую среду и вести себя разумно и понятно, основываясь на их понимании домена [35]. В этом контексте современные системы автоматизации и моделирования зданий должны использовать интерфейс, чтобы понять семантику, стоящую за статичной информацией о здании и динамических и изменяющихся характеристик, а также предварительные решения на их основе [4].

Часто справедливо предполагается, что технологии Semantic Web будут действовать как слой абстракции в представлении семантического подкрепления знаниями из окружающих доменов для зданий. В этой программной инфраструктуре онтологии являются частью семантических моделей, которые представляют ключевые концепции каждого домена, наряду с их свойствами и их взаимосвязями. Кроме того, определенные правила, основанные на выводах из этих концепций и возможностях рассуждения, предоставляют механизмы для получения новой информации на основе существующих данных, хранящихся в онтологиях. Это положительное свойство часто называют мутацией.

На рисунке 11 показано, как использование доменных онтологий использует определенные понятия в фундаментальном мета- домене, онтологиях времени и пространства, а также пространственных и временных рассуждениях.

Параметрическое моделирование, используемое при разработке кибер-физических систем, облегчает полуавтоматическую адаптацию модели. Благодаря полуавтоматическим адаптациям модели параметры модели могут быть изменены в отношении производительности, надежности или устойчивости, что улучшает дизайн кибер-физической системы, тем самым усиливая качества и свойства кибер-физической

системы. Используя стандартное программное обеспечение для проектирования кросс-программного обмена параметризованной и непараметрической информацией о здании (например, непараметрическая геометрия, материал или стоимость), возможно поддерживать этот процесс открытым BIM, таким, как стандарт формата IFC.

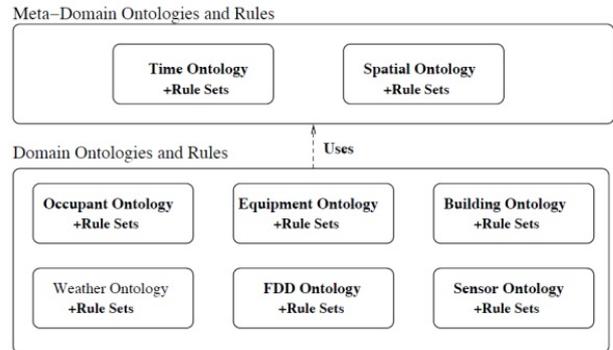


Рис. 11. Мета-домейновые онтологии доменными онтологиями в использовании открытого BIM и их взаимосвязи [35]

Однако кросс-программный обмен параметризованной и параметрической информацией (например, параметрические геометрические ограничения) по-прежнему представляет собой открытую исследовательскую проблему. Хотя стандарт IFC обеспечивает открытый, параметризованный формат данных для обмена информацией о здании, описание параметрической информации с помощью схемы IFC ограничено. В диссертации [35] автор очень подробно и полно изложил ту часть, которая позволяет понять связь решений на онтологических форматах и языках открытого BIM или IFC с инженерной онтологией, описанной в терминах SysML, что важно, так как EULYNX использует язык моделирования системы SysML для моделирования функциональных требований.

Корпоративное видение BIM для крупных инженеринговых компаний в инфраструктурном секторе включает в себя глубокое понимание BIM и социально-технических разработок. В 2030 году [61] BIM как метод сотрудничества и коммуникации будет полностью принят; информация может быть обменена, и анализ может быть выполнен с использованием этой информации; а BIM фокусируется на управлении активами и максимизирует эффективность.

Инженерные онтологии транспорта на основе моделей (MBSE) - обзор преимуществ моделирования или сделай все правильно с первого раза

Разработка систем на основе моделей (MBSE) - это методология системного проектирования, которая фокусируется на создании и использовании моделей доменов в качестве основного средства обмена информацией между инженерами, а не на обмене информацией на основе документов. Совсем недавно в центре внимания также были вовлечены в MBSE аспекты, связанные с выполнением модели в эксперименте по компьютерному моделированию, чтобы еще больше преодолеть разрыв между

спецификацией модели системы и соответствующим программным обеспечением для моделирования. Как следствие, вместе с MBSE стал использоваться термин «Моделирование и симулирование систем на основе моделей» (M & SBSE).

Подход MBSE популяризировался INCOSE с начала Инициативы MBSE в январе 2007 года. Цели инициативы включали повышение производительности, сводя к минимуму ненужную ручную транскрипцию концепций при координации работы крупных команд. Подход MBSE описан в «Концепции MBSE 2020» INCOSE [86] и [87-94] с методологией, ориентированной на распределенное, но интегрированное управление моделью.

Именно MBSE может повысить вероятность «получить правильное» в первый раз, так как вся информация подключена к единой модели данных (рисунок 12). Обратим внимание читателя на то, что рисунок 12 происходит из авиа-космической отрасли, и сегодня это большой тренд в транспорте – быстрая адаптация смежных транспортных опробованных решений. Как работает такое решение на базе интегрированных инженерных онтологий (SysML) и интернет онтологий (OWL / RDF) показано на рисунке 13 (тоже из авиа-космической отрасли, как и 12).

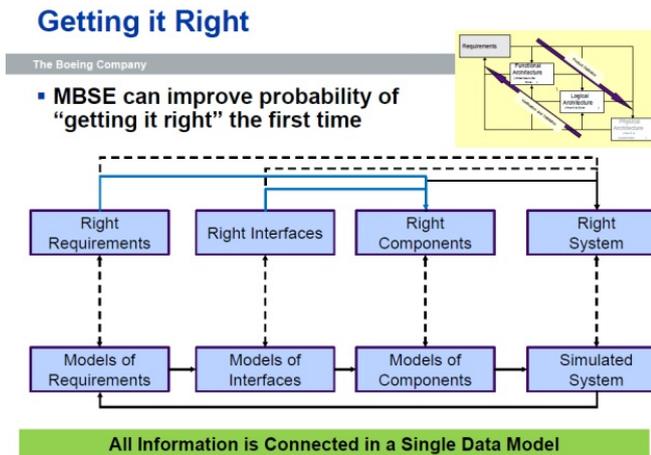


Рис. 12. Сделайте все правильно с первого раза (источник – Boeing)

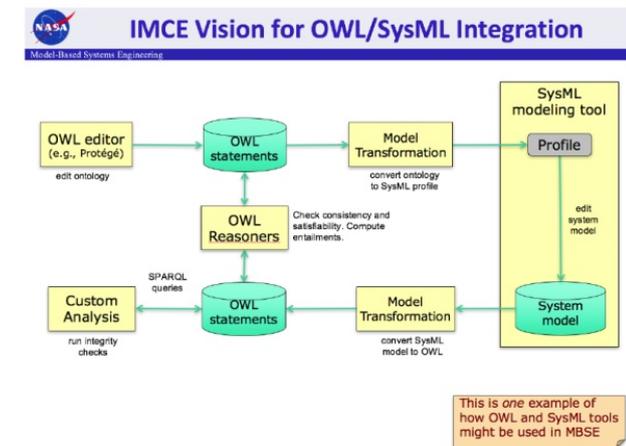


Рис. 13. Из онтологий в профили SysML и обратно в анализируемый OWL / RDF (источник – NASA)

Такая организация рабочих инженерных процессов позволяет:

1. Использовать контекст системной инженерии для выявления проблемных областей (рисунок 14).
2. По выявленным проблемам строить конструкция модели поддержки принятия решений (рисунок 15).
3. Использовать инструменты и модели SysML [12] как интеграционную информационно-управляющую структуру в специфических инженерных доменах (областях), что показано на рисунке 17.
4. За счет Интеграция междоменной модели время разработки системы существенно сокращается (рисунок 16).

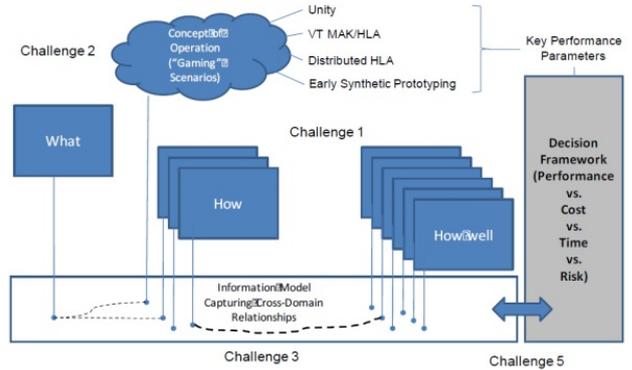


Рис. 14. Контекст системной инженерии для выявления проблемных областей [86].

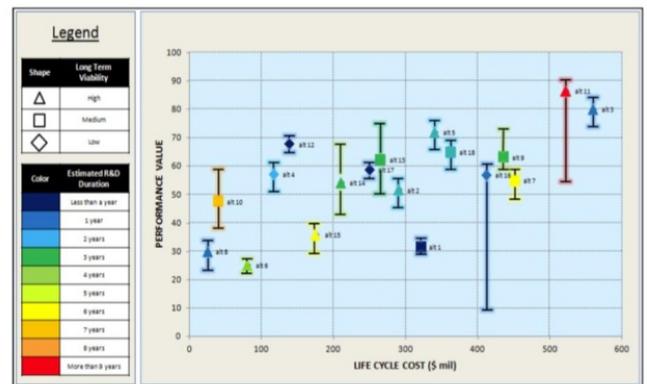


Рис. 15. Конструкция модели поддержки принятия решений [89].

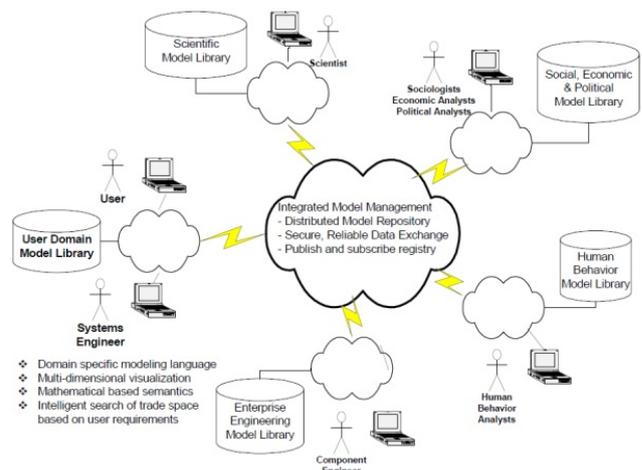


Рис. 16. Интеграция междоменной модели. Время

разработки системы существенно сократится [86]

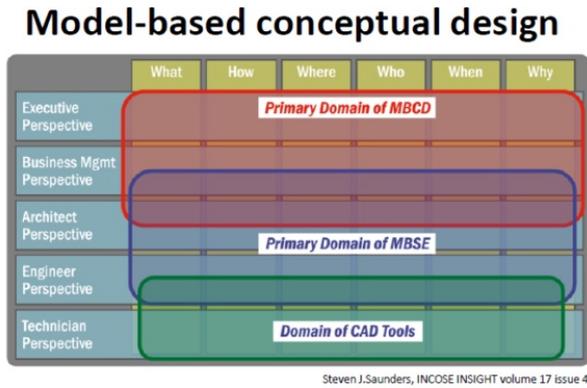


Рис. 17. Использование модели SysML как интеграционной структуры (источник - INCOSE IW January 20, 2018 Sanford Friedenthal)

С. Развитие SysML на 2018 год

Онтологии, построенные на базе SysML, завоевали популярность во многих областях критически важных систем безопасности, таких как военные или аэрокосмические. Некоторые компании в секторах железных дорог начинают использовать SysML для своей критически важной сигнализации железной дороги [41]. В этом разделе обсуждаются некоторые основные преимущества моделирования SysML в системной инженерии железнодорожной отрасли.

Основными плюсами такого моделирования является то, что оно может действовать как визуальный способ описания системы. Это создает различные взгляды системы более структурированным и формальным образом. Можно сказать, что моделирование помогает улучшить охват знаний системы, но SysML намного сильнее, чем визуальный язык. С его стандартизованными правилами SysML создает уникальный способ понимания и интерпретации системы, который отличается от текстовых документов. Таким образом, SysML может также использоваться в качестве метода связи проектировщика системы с различными заинтересованными сторонами [35].

Модели в сочетании с методологией системной инженерии могут помочь в управлении системой, потому что легче изобразить взаимосвязь между различными компонентами и этапами работы системы. Модели помогают на всех этапах жизненного цикла системы от сбора требований и дизайн до тестирования и проверки:

- Моделирование показывает преимущества для сбора требований к системе. Сбор требований очень важная часть в любой системе. При сборе требований могут быть обнаружены многие проблемы, такие как:

- Требования неверны, но они не обнаружены.
- Требования правильные, но не понятны пользователю.
- Требования указаны правильно, но на неформальном языке, что затрудняет их толкование и понимание.

SysML может решить эти проблемы, предоставив четкий и иерархичный способ организации требований через типы отношений, такие как «удовлетворять» или «выводить». Более того, это помогает для ранней и постоянной проверки и тестирования полноты требований. Отношения, созданные в требованиях, повышают прослеживаемость требований среди других элементов модели.

- Еще одно преимущество моделирования заключается в улучшении качества дизайна, поскольку оно устраняет двусмысленность, облегчает более глубокое понимание системы и создает отношения между компонентами системы. Поэтому оно уменьшает ошибки проектирования.

- Различные инструменты разработки SysML, такие как PTC и Enterprise Architecture, позволяют разработать свои собственные вспомогательные инструменты для дальнейшей проверки и валидации моделей (например: моделирование, создание документов из моделей). Некоторые из преимуществ состоят в том, что симуляция может быть организована так, чтобы эффективно общаться с заинтересованными сторонами по поводу поведения системы, генерировать тестовые примеры или находить ошибки системы. Это еще больше усиливает преимущества таких моделей для разработки их на базе SysML.

Подробное преимущество моделирования будет проанализировано и продемонстрировано далее в следующих разделах.

SysML v1 был принят в 2006 году и стал основной инженерной онтологией на многих крупных многопрофильных компаниях и не только американских, но и европейских (Siemens, Alstom и другие). Более десятилетия было успешное продолжение эволюции для удовлетворения потребностей пользователей и поставщиков. Сегодня SysML v1.5 это текущая версия, а SysML v1.6 - в процессе официального принятия [85].

Но уже текущие версии позволяют получать облегченную осведомленность и принятие работающего MBSE, так сегодня очень многое извлечено онтологических строительных блоков из приложений MBSE с использованием SysML.

Ближайшей целью OMG является разработка нового поколения SysML для поддержки MBSE в течение следующих 10+ лет (рисунок 17). Планируется, что это будет SysML v2, который будет предназначен для улучшения поддержки внедрения и использования MBSE в течение следующих 10 лет.

Эта версия будет учитывать: новые механизмы MBSE; сильные стороны и ограничения, понятные и основа для будущих улучшений; точность, выразительность и интеграцию онтологических понятий; взаимодействие между инженерными моделями и инструментами удобство использования для разнообразной пользовательской базы.

Для реализации этого в OMG созданы SysML v2 RFP и подчиненные группы, в декабре 2017 года и ожидается, что SysML v2 API и Segments RFP будут выпущены в июне 2018 года. Как предполагается,

исходная версия SysML v2, будет выпущена в декабре 2019 года.

Так как инженерные онтологии и не только они часто описываются языком UML, который также разрабатывается в виде стандартов, как и SysM в OMG, то мы привели перечень полезной литературы в [86-95].

D. RailML и инженерные онтологии

Блокирующая система образует жизненно важную часть железнодорожной сигнализации, поскольку она обеспечивает безопасное перемещение поездов. Для одного путем управления подвижными элементами железной дороги, такими как переключатели, и для другого посредством управления сигналами.

Инженерный дизайн систем блокировки создает проблемы для направлений онтологий инженерии, например - вызовы возникают из-за сложного, трудоемкого, консервативного, двусмысленного и безотказного характера процессов блокировки инженерного проектирования.

Лучшие практики в системах бережливого производства повышают интерес к бережливому инженерному подходу, т. е. к тем, что сокращают «отходы», которые не вносят вклад в конечный продукт железной дороги. Разработка RailML [74], инструментария с открытым исходным кодом, целью которого является стандартизация обмена данными в различных железнодорожных процессах, может оказаться одна скудным катализатором. Однако философия бережливости редко применялась в процессах проектирования. Комплексные онтологические драйверы в цепи инженерного проектирования, которые уменьшают время разработки, повышают надежность данных и делают приложение более гибким, обеспечивая при этом (отказобезопасные) системы безопасности это путь для выявления потенциала RailML [74]. Для этой цели в диссертации [74] рассматривается следующий вопрос: в какой степени RailML потенциально может обеспечить более компактный инженерный дизайн систем блокировки рельсового транспорта?

В исследовании [74] основное внимание уделяется голландской сети железных дорог. Кроме того, там рассматриваются только процессы инженерного проектирования и RailML в качестве инструмента обмена данными.

Лучшие практики в области бережливых преобразований приводят к методологии, которая начинается с определения сложности в стандартизованных и различных требованиях конечного дизайна. Будущая бережливая структура следует за целью смягчения «отходов» и достижением бережливого направления трансформации, например, в цифровую железную дорогу. Чем более стандартизованы требования, тем выше потенциал для ИТ-инструмента, такого как RailML, для снижения объема «отходов». К конкретным направлениям трансформации относятся приоритетность «отходов», стандартизация процессов,

ИТ-инструменты с открытым исходным кодом, модульный процесс и обмен информацией. Модельное исследование позволяет количественно оценивать совершенствование стратегии, например RailML, в текущем статус-кво железнодорожной системы может дать скудный эффект. Четыре критерия важны в этом смысле: затраты, время, взаимозависимости и двусмысленности.

Статус-кво будущего сложного инженерного проекта содержит двадцать процессов, которые борются с недобавленной стоимостью, в процессе работы, большое число неавтоматизированных передач данных, неоднозначный дизайн блокировки с нуля, высокие фиксированные затраты, многочисленные процессы проверок и низкие показатели производительности [74]. Процесс бережливого инженерного проектирования смягчает большую часть этих «отходов», концентрируясь на пяти основных процессах: определение проекта, подготовка данных, проектирование взаимоблокировки, технология блокировки и сухое испытание. Но пока реально, различные требования и совершенно новые блокирующие зоны предотвращают полную автоматизацию цепочки инженерного проектирования, если использовать только RailML.

Структура RailML содержит два основных элемента: сигналы и сегменты. Элемент сигнала фиксирует аспекты зависимостей на основе профилей входной скорости, аспект сигнала и комбинаций целевого сигнала. Элемент сегментов охватывает маршруты, соответствующие элементам. В случае 3-го уровня ETCS блокировка формализации может в конечном итоге стать излишней. Так подход RailML меняет цепочку взаимосвязанных инженерных проектов при внедрении в качестве инструмента обмена железнодорожных данных для железнодорожных систем сигнализации.

RailML в основном улучшает этап проектирования машиностычиваемыми передачами, устраняет конструкцию взаимоблокировки с нуля и автоматизирует разработку протокола тестирования. На этапе проектирования RailML устраняет процесс подготовки данных и часть взаимосвязанной ИТ-инженерии. Однако эти усовершенствования предполагают существование единственного источника данных в цепи, например – ГИС или BIM. RailML в основном не обладает способностью создавать модульную инженерную конструкцию, непрерывный поток процессов, улучшенное управление проектами и бережливый перфекционизм / эффект обучения и это задача других интегрированных в EULYNX систем.

Какая польза от применения формализации RailML во время инженерного проектирования взаимосвязанной области над традиционной и скудной структурой процесса? RailML снижает затраты, например, Siemens от 17% до 27% и покрывает 21%-35% от снижения себестоимости, в зависимости от комплекса проектов. RailML повышает производительность на 26% -47%, хотя это только покрывает 6% -14% от бережливого

улучшения [74]. RailML относительно улучшает транзакционные издержки, но для достижения этого требуется большой средний результат без добавленной стоимости. RailML снижает уровень отклонения до уровня на 47% -77%, что на 50% -81% меньше чем обычно. RailML усугубляет работу, не связанную с добавленной стоимостью, для проектов с высокой степенью сложности. RailML показывает отклонение производительности: сокращение на 2% -25%, что на 2% -64% меньше. RailML уменьшает текущее количество правил проектирования на 55%, что на 85% меньше чем обычно [74]. В целом, RailML улучшает производительность цепочки взаимозависимых инженерных проектов почти по каждому показателю производительности для каждой сложности проекта. RailML охватывает около 43% состояния для зоны взаимозависимости средней сложности как в проекте Santpoort Noord [74]. В академическом плане предлагаемая взаимосвязанная формализация отличается тем, что включает в себя зависимые аспекты сигнала, минимальный объем данных (едва ли избыточность) и выравнивание с менеджерами отрасли и инфраструктуры.

Конечно, есть и недостатки. RailML, имеет скудный перформанс [74] и методология нуждается в значительном объеме данных что, по-видимому, есть причина того, что этот подход не работает для проектов с высокой степенью сложности так эффективно, как на более простых. Для эффективности применения RailML необходимо увеличить степень стандартизации областей взаимозависимости[74]. С научной точки зрения следует изучить, работает ли механизм блокировки для разных систем сигнализации, менеджеров инфраструктуры и инженеров - для количественной оценки воздействия на то, чтобы исследовать эффекты более подробных данных, найти техники моделирования дизайна, которые работают на микроуровне и проверить гипотезу о том, что проекты с высокой степенью сложности меньше подходят для бережливой трансформации.

Стратегия такого моделирования направлена на определение того, в какой степени RailML достигает идеальной структуры взаимозависимой инженерной конструкции (рисунок 19). Как созвездие RailML, ГИС и наиболее релевантных продуктов и приложений данных, разделены на потенциально надежную цепочку инженерного проектирования блокировки и достигает этого показано на рисунок 18.

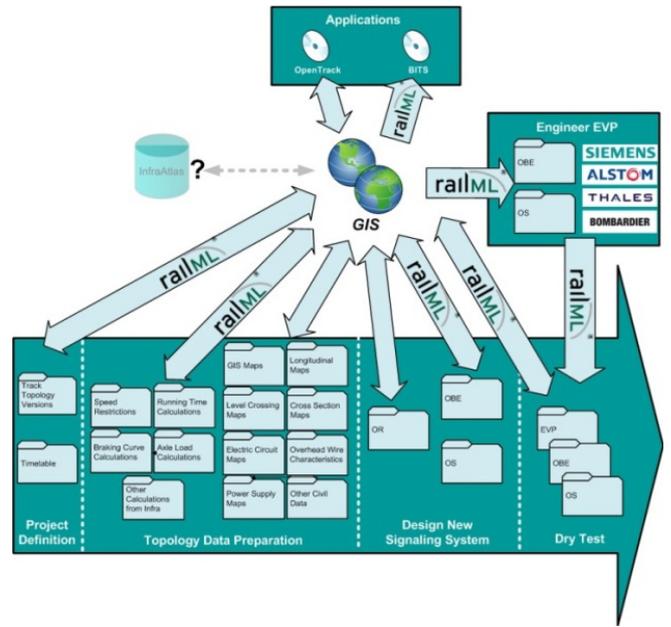


Рис. 18. Созвездие RailML, ГИС и наиболее релевантных продуктов и приложений данных, разделенных на потенциально надежную цепочку инженерного проектирования блокировки [74]

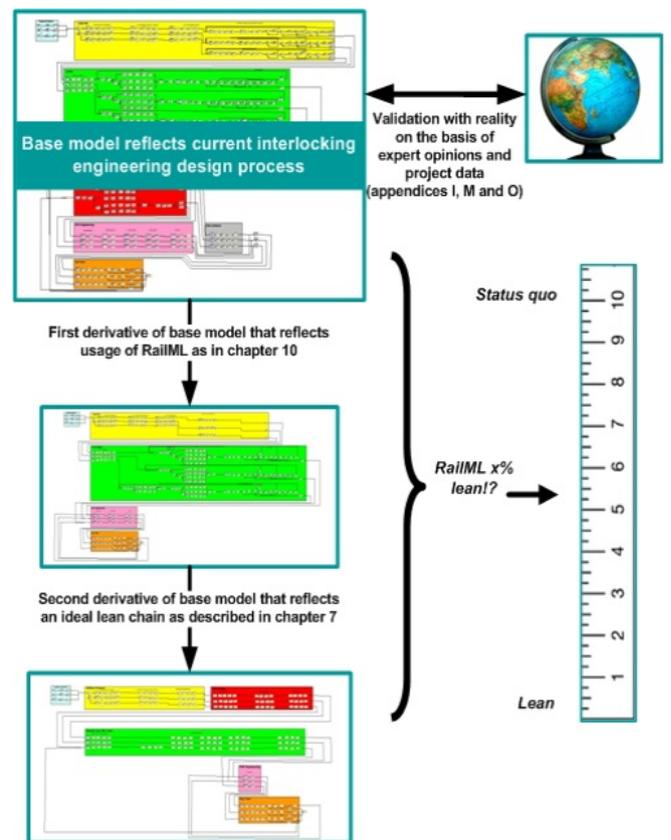


Рис. 19. Стратегия моделирования направлена на определение того, в какой степени RailML достигает идеальной структуры взаимозависимой инженерной конструкции [74]

IV. ОБЗОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДЕЛОВ, НОРМАТИВОВ И ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ EULYNX

Надо сказать, что целью применения онтологий является создания набора цифровых инструментов для

улучшения базовых показателей железных дорог EULYNX таких, как, например, их емкость [40], интеграция с поездами и всеми другими элементами инженерно-технического обеспечения. В очень короткие сроки в EULYNX выпущено большое число нормативных документов и разъяснений к ним, которые мы свели в отдельный перечень [43-51]. Нормативные документы продолжают непрерывно выпускаться EULYNX, и их можно получить с сайта <https://eulynx.eu/>. Так, например, только 26 апреля 2018 года на этом сайте были опубликованы документы: EULYNX Glossary и EULYNX Baseline Set 2 Cover document 1B.

Так как SysML - это одно из основ решений EULYNX, мы собрали публикации о нем в литературе [52-56]. Научные исследования в виде диссертаций, в основном, выполненные в странах, чьи железнодорожные компании входят в EULYNX по тематике управления железными дорогами, онтологиям и BIM собраны в [57-84].

Строительство и реконструкция железных дорог преследует ясные политические и экономические цели. Сегодня этот процесс состоит во введении очень больших изменений в существующие системы. Значительное число исследований посвящено именно этому. Мы ограничились диссертациями на эту сложную и объемную тему, так как именно в этом научном формате отражаются наиболее объемно решаемые задачи, да и сами диссертации тщательно рассматриваются ведущими учеными и экспертами при их защитах. Приведем немного примеров.

Возможности безопасного введения новой технологии в существующую железнодорожную систему рассмотрены в [38]. Но эти преобразования имеют цели расширения возможностей транспорта и в работе [40] отражены вопросы измерения и управления емкостью железных дорог. Диссертация [64] посвящена исследованию железнодорожных операций с наиболее развитой европейской системой контроля и сигнализации, путем анализа конкретного тематического исследования. Начиная с описания уровня техники, второй и третий уровни ETCS / ERTMS и спутниковая система Galileo применяются для исследования в качестве основы для реализации полунепрерывного отслеживания. Сначала исследование направлено на оценку того, что может быть достигнуто на теоретическом уровне, увеличения пропускной способности на линиях, обеспечиваемых непрерывным отслеживанием поездов, применяется к функции ядра межпоездного интервала.

В [63] исследует переход норвежской железнодорожной сигнализации от механической к цифровым системам, вникая в переводы Европейского стандарта ERTMS на норвежские железные дороги. Через цифровую, техническую и бюрократическую информацию, в этом исследовании исследуются приготовления и практики того, что обещает стать одной из самых больших революций в технологии на сегодняшний день. ERTMS является железнодорожной сигнализацией, политические технологии ЕС и

примером оцифрованной европейской инфраструктуры, известной многими именами, такими как умные города или интеллектуальные сервисы [63]. В Норвегии цифровая железная дорога - это самый большой по размерам проект страны.

Указанные выше работы, как и многие другие, подготовили научно-техническую часть EULYNX, которая сама уже стала объектом научных исследований [36]. Эти и многие другие исследования, которые продолжаются в ЕС по железнодорожной тематике проводятся в рамках инициативы ЕС Shift2Rail.

A. Инициатива ЕС Shift2Rail и EULYNX

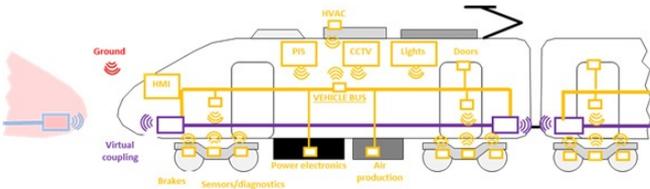
Shift2Rail - первая европейская железнодорожная инициатива по поиску ориентированных исследований и инноваций (R&I) и рыночных решений, ускоряя интеграцию новых и передовых технологий в инновационные решения для железнодорожных продуктов. Shift2Rail способствует повышению конкурентоспособности европейской железнодорожной отрасли и отвечает меняющимся потребностям транспорта ЕС. R&I, проведенная в рамках этой инициативы Horizon 2020, разрабатывает необходимую технологию для завершения Единого европейского железнодорожного района (SERA).

Более того, Shift2Rail имеет амбициозные цели и надежную основу для их удовлетворения. В частности, эта инициатива направлена на удвоение пропускной способности европейской железнодорожной системы и повышение ее надежности и качества обслуживания на 50%, при этом вдвое сокращаются затраты на жизненный цикл.

В текущих планах Shift2Rail EULYNX уделяется значительное плановое внимание [96]. Так Shift2Rail имеет отличную публичную цифровую организацию инициативы в виде связанных веб-сайтов, то мы приводим названия проектов внутри программ, по которым читатель легко найдет нужную информацию. Подробнее об этом можно посмотреть в работах [97,101]. В текущем Shift2Rail пять инновационных программ и одна по перекрестной деятельности.

Инновационная программа № 1 или IP1 - это экономичные и надежные поезда, включая высокопроизводительные поезда и высокоскоростные поезда. В эту инициативу входят проекты: CONNECTA, Mat4Rail (2017), PINTA, PIVOT (2017), RUN2RAIL (2017), SAFE4RAIL.

Например, проект CONNECTA стремится внести вклад в следующее поколение архитектур и компонентов TCMS Shift2Rail с беспроводными возможностями, а также для следующего поколения электронных тормозных систем. Так как это часть инженерных онтологий.



© 2016 — Shift2Rail

Рис. 20. Элементы поезда, с которыми работают исследователи в проекте CONNECTA (источник – CONNECTA).

Инновационная программа № 2 или IP2 - это расширенные системы управления движением и контролем, о которых много говорилось выше. Системы контроля, управления и связи должны выходить за рамки простого обеспечения контроля и безопасного разделения поездов и стать гибкой системой управления движением и принятия решений в режиме реального времени. Исследовательские и инновационные отношения IP2 показаны на рисунке 21. IP2 - это в широком смысле цифровые технологии и мы уделим этому направлению несколько больше внимания.

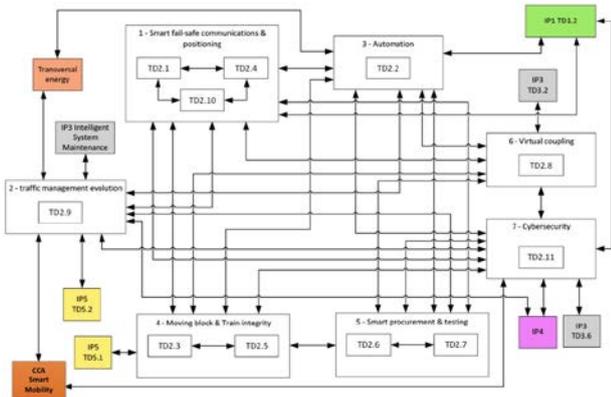
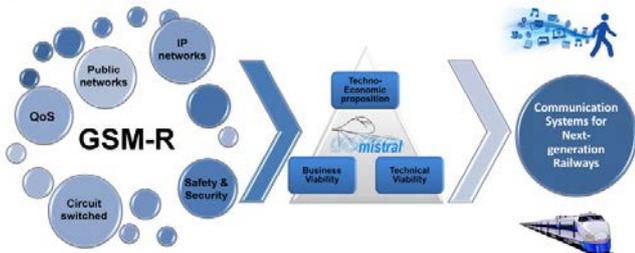


Рис. 21. Исследовательские и инновационные отношения IP2 (источник – IP2 Shift2Rail)

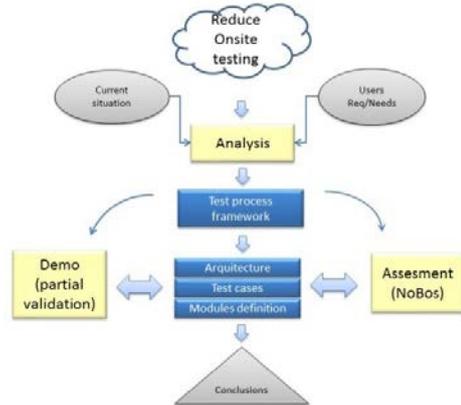
Это направление состоит из следующих проектов: ASTRAIL (2017), CYRail, ETALON (2017), MISTRAL, VITE, X2Rail-1, X2Rail-2 (2017). Валидированные технико-экономические предложения будут основным выходом MISTRAL, т. е. сферой «Технической спецификации» этой темы. Одна из основных тем в проекте это переход от GSM-R к следующему поколению цифровых коммуникаций железных дорог (рисунок 22а и [101])



© 2016 — Shift2Rail

Рис. 22а. Переход от GSM-R к следующему поколению цифровых коммуникаций железных дорог (источник – MISTRAL)

Основной целью проекта VITE является снижение на месте тестирования систем сигнализации, что приводит к снижению общих затрат на тестирование. Ожидаемое влияние проекта - существенный вклад в разработку среды тестирования Zero Onsite (0 тестирований и испытаний на месте). Это направление показано на рисунке 22b.



© 2016 — Shift2Rail

Рис. 22b. Снижение тестирований и испытаний на месте и перевод их в цифровое пространство цель проекта VITE (источник – VITE)

Принимая во внимание характер систем сигнализации и автоматизации, другой проект IP2 - X2Rail-2 стремится улучшить производительность на уровне железнодорожной системы, внедряя новые функции на уровне подсистем, а также на архитектурном уровне, который должен революционизировать концепцию сигнализации и автоматизации для будущего (см. рис. 23).

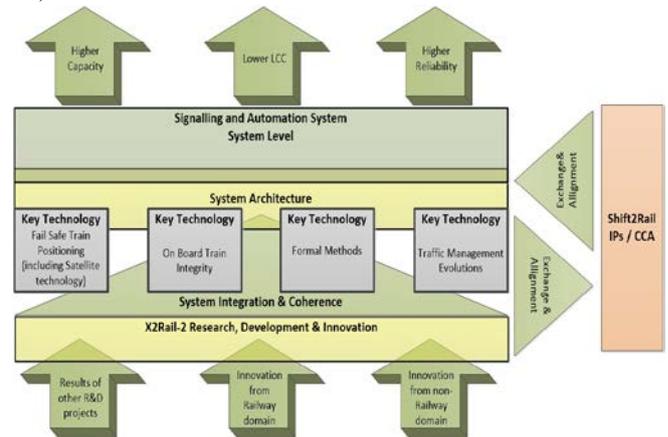


Рис. 23. Общая концепция проекта X2Rail-2 (источник - X2Rail-2)

Инновационная программа № 3 или IP3 - это темы экономической и надежной инфраструктуры с высокой пропускной способностью. В IP4 входят следующие проекты: Fair Stations (2017), IN2DREAMS (2017), IN2SMART, In2Stempo (2017), In2Track, MOMIT (2017), S-CODE. Общая схема IP3 приведена на рисунке 24.

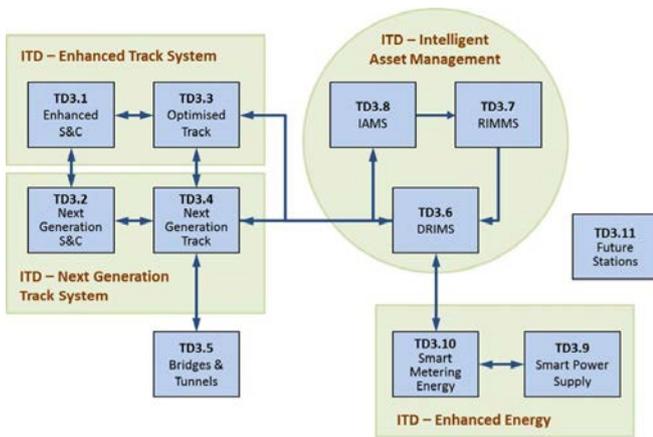


Рис. 24. Общая схема IP3 (источник – IP3)

Иновационная программа № 4 или IP4 это ИТ-решения для повышения привлекательных железнодорожных услуг (рисунок 25).

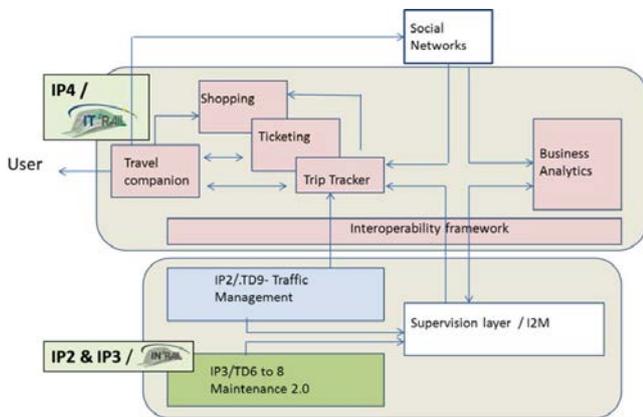


Рис. 25. Общая схема IP4 (источник – IP4)

IP4 состоит из проектов: ATTRACKTIVE, CO-ACTIVE, Cohesive (2017), CONNECTIVE (2017), GoF4R, My-TRAC (2017), ST4RT.

Иновационная программа № 5 или IP5 - это технологии для устойчивого и привлекательного европейского железнодорожного фрахта. В 5-М направлении проходит активность по следующим проектам: ARCC, DYNAFREIGHT, FFL4E, FR8HUB (2017), FR8RAIL, INNOWAG, OptiYard (2017), SMART.

Перекрестная деятельность или CCA's (Cross-Cutting Activities). На рисунке 26 ниже представлен обзор различных областей работы в CCA .

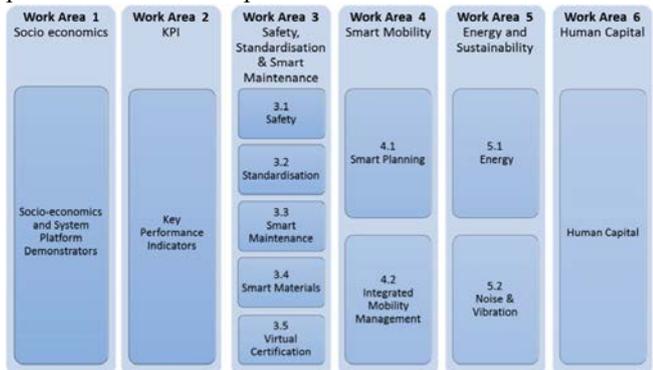


Рис. 26. Обзор различных областей работы в CCA (источник – CCA)

В разделе перекрестная деятельность есть следующие проекты: DESTINATE, FINE1, GoSAFE RAIL, IMPACT-1, IMPACT-2 (2017), NEAR2050, OPEUS, PLASA, SMaRTE (2017). Именно CCA в своей работе опирается на внешние онтологии, зачастую сильно отличающиеся от инженерных и строительных.

Стоит сказать, что в соответствии с текущими планами Shift2Rail уже публикуются работы прямо указывающие на EULYNX. Так в [103] SmartRail 4.0 от 30.4.2018 сказано:

«Существующие SBB-блокировки должны работать до 2024. Это либо реле (например, Do67), либо электронные блокировки (например, ELEKTRA-2 или SIMIS-W). В дальнейшем они называются «Legacy Interlockings» (LI).

LI должны быть заменены новым поколением блокировки, а именно ETCS Interlocking (EI).

В зависимости от архитектурного сценария проекта Smart Rail 4.0 (SR40) предполагается, что 30 000-70 000 активов (ТА) из текущих 115 000 будет оставаться в эксплуатации. Каждый из оставшихся должен контролироваться EI в будущем.

EI будет взаимодействовать с ТА-элементами с помощью общего протокола. Дополнительно к физическому соединению, каждой ТА потребуются функция перевода, которая переводит этот общий протокол в сигналы управления существующей ТП и, наоборот, сообщает сообщения ТА и сенсорную информацию в ЭИ как общую информацию о состоянии.

Для быстрой миграции из устаревших блокировок (LI) в EI, LI больше не должны заменяться один за другим в конце их жизненного цикла путем комплексного ввода в эксплуатацию.

Чтобы включить этот процесс строительства и ввода в эксплуатацию, управление ТА необходимо переключать между LI и EI. Таким образом процессы подготовки к вводу в эксплуатацию могут быть выполнены с минимальными усилиями: регулярная работа с LI в течение дня, и переход на EI для тестирования в ночное время (например, интеграция и тесты вождения, которые будут определены). Требуется ли «теневой режим» в базовом концептуальном дизайне (который потребует безотлагательного мониторинга ТА на отключенной стороне ТА Yswitch) могут быть реализованы с использованием внешнего выключателя ОС.

Основой для критически важных для безопасности приложений в SR40 является актуальная и правильная топология.

ОС должен знать только топологию, необходимую для описания собственного профиля конфигурации. Подход, в котором ОС ТОРО выборочно дополняет или подтверждает, что ТОРО4 больше не преследует команда ТОРО. Данные ОС-топологии проверяется при регистрации ОС на EI (= сравнение с безопасными данными EI-топологии). Таким образом, используются данные ОС-топологии для проверки самих ОС, но не для проверки данных ТОРО4.

ОС должен убедиться, что его собственная топология ОС является безошибочной.

ОС должен всегда предоставлять истинный статус своих ТА.

Общий процесс того, что должно быть обнаружено / настроено, кем, когда, и будет ли оно автоматически или вручную определено в EI-программе к середине 2018 года.

Для удовлетворения вышеуказанных требований требуется новое поколение объектных контроллеров (ОС).

Поскольку EI и ОС могут быть переработаны в программе SR40, есть уникальная возможность создать новую общую блокировку ↔ архитектура ОС (функциональная, система)».

Железнодорожная тематика входит и в другие исследования помимо Shift2Rail. Это работы CIPSEC Consortium [104- 107] по безопасности, имеющие целью сделать их дешевле и полнее. Один из проектов CIPSEC Consortium проводится с немецкими железными дорогами (DB) и планируется к использованию EULYNX.

V. ОБЗОР РЕШЕНИЙ EULYNX

A. Система обнаружения поездов (TDS) в EULYNX

Железнодорожные пути разделены на секции (или блоки) различной длины. TDS используется для определения того, что участок железной дороги занят или нет. Это необходимо по соображениям безопасности. Если секция занята, она указывает на состояние безопасности, так что следующий поезд не может быть направлен в этот раздел. Есть два основных метода для TDS:

- **Трек цепи:** он широко используется в железных дорогах Нидерландов. Когда поезд входит в секцию, он замыкает ток в рельсе, а реле обесточивается и сообщает, что раздел занят. Рисунок 2.3 объясняет эту основную концепцию. На левой стороне рисунка 27 незанятое состояние, когда нет поезда. В этом случае ток течет так, что реле активировано. На правой стороне рисунка находится занятое состояние, когда поезд там есть в настоящее время. В этом случае поток тока замыкается шлейфом, поэтому он открывается. Следовательно, реле обесточено. Это основной и наиболее распространенный способ обнаружения поезда. Система обнаружения поездов для железных дорог показана на рисунке 27.

- **Axle Counter:** использует устройства, расположенные в начале и конце каждого блока, для подсчета количество осей поезда, которые входят и выходят из блока. Предполагается, что блок очищается, если два числа равны. Кроме того, Axle Counter можно использовать для определения направления поезда. Этот метод будет использоваться чаще в будущих системах железной дороги. Рисунок 28 объясняет основную концепцию счетчика осей.

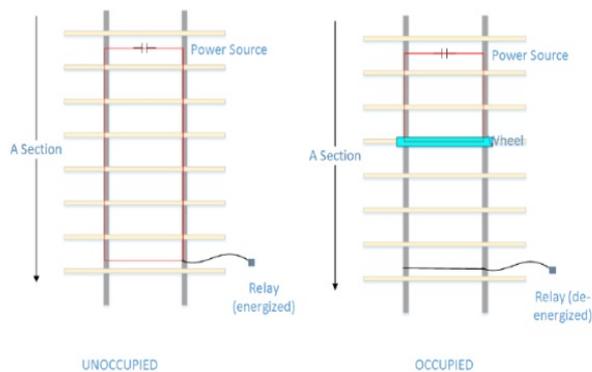


Рис. 27. Система обнаружения поездов железных дорог [36]

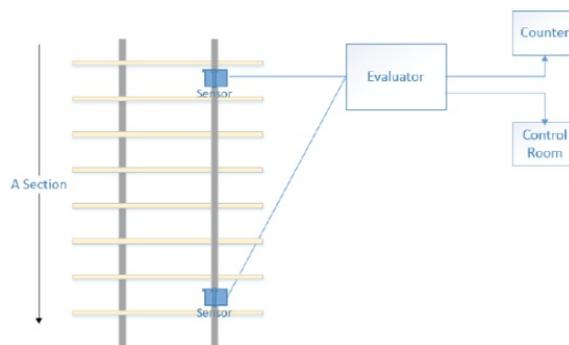


Рис. 28. Система обнаружения поездов - счетчик осей [36].

На рисунке 28 два датчика на двух сторонах блока используются для обнаружения проходящих мимо колес. Они связаны с оценщиком, который на самом деле является процессором. Оценщик несет ответственность за подсчеты.

B. Блокировка в системе сигнализации EULYNX

Блокировка (IXL) - это система, которая предотвращает конфликты движения поездов. Только если это сделано позволяя поездам получать полномочия на прогресс, когда маршруты были установлены, заблокированы и обнаружены в безопасных комбинациях. Установка маршрута означает, что запрос от контроллера повернет каждый переключатель в нужное положение, закрепит его и будет удерживать там до тех пор, пока поезд не пройдет затронутый маршрут. Путем установки и блокировки маршрутов, связанных с каждым поездом в зоне его действия, блокировка обеспечивает безопасное перемещение по железной дороге. Блокировка связана с точками, системами обнаружения поездов, сигналами и другими подсистемами. Блокировка связывается с оборудованием для отслеживания, чтобы получить его статус, а также отправить команды к нему. Блокировка также связывается со смежной системой блокировки с авторизацией обмена и данных о состоянии. Таким образом, она обеспечивает плавный ход между областями, контролируемые различными системами блокировки.

Блокировка может быть разделена на три типа:

- Механическая блокировка
- Блокировка реле
- Электронная блокировка

В Нидерландах [36] наиболее распространенным типом блокировки является блокировка реле. Электронная блокировка, на которую в настоящее время приходится около 30% типов блокировки, ожидает замены более надежной системой ретрансляции блокировки в будущем.

EULYNX разработан, во многом, на базе проекта DB Netz AG NeuPro. NeuPro стремится к созданию стандартизированной спецификации интерфейса и в немецких приложениях EULYNX все еще использует результат NeuPro как основной вклад в его разработку, добавив больше функциональных возможностей для поддержки требования всех участвующих IM [45].

В железнодорожной сигнальной системе каждая из ее компонентов называется подсистемой. EULYNX-х область состоит из световой сигнализации, системы обнаружения поездов, точек, общего ввода-вывода, обслуживания и данных. Подсистемы управления и блокировки EULYNX предоставляет общую ссылочную архитектуру с упором на интерфейсы между блокировкой и другими подсистемами. Рисунок 29 показывает эталонную архитектуру управления и блокировки EULYNX [46].

В этой архитектуре определены несколько типов интерфейсов. Большинство подсистем имеют тип интерфейса обработки данных (называемый SCI) с электронной блокировкой, такой как TDS, Point, generic IO или световой сигнал. Существует тип диагностического интерфейса (называемый SDI) и интерфейс системных данных тип (называемый SMI) между блокирующими подсистемами и обслуживанием и подсистемой управления данными.

EULYNX нацелен на предоставление стандартных спецификаций для промышленности. Концепция EULYNX заключается в том, что модель является основным контейнером требований.

EULYNX определяет набор связанных документов для каждой подсистемы. Каждый документ создается, следуя структуре и правилам документа. Он рассматривается внутренними участниками - экспертами проекта. Для спецификаций требований интерфейса модели SysML являются центральными элементами.

С точки зрения управления каждая подсистема в EULYNX называется кластером и управляется диспетчером кластеров. Процесс создания документов требований в подсистеме отражен на рис. 30.

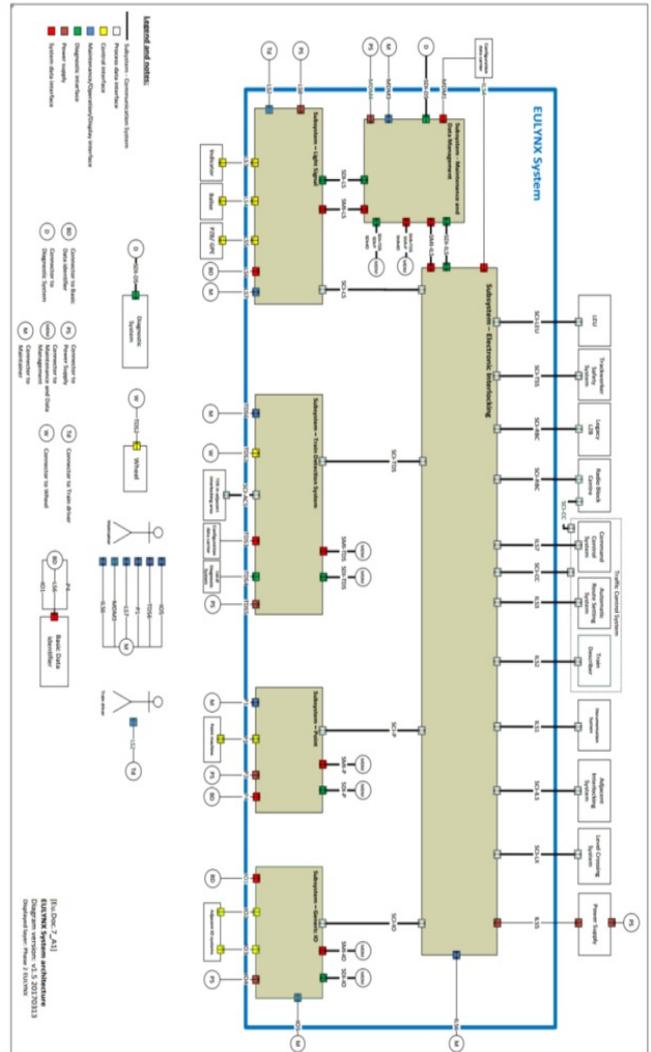


Рис. 29. Архитектура управления и блокировки EULYNX [36].

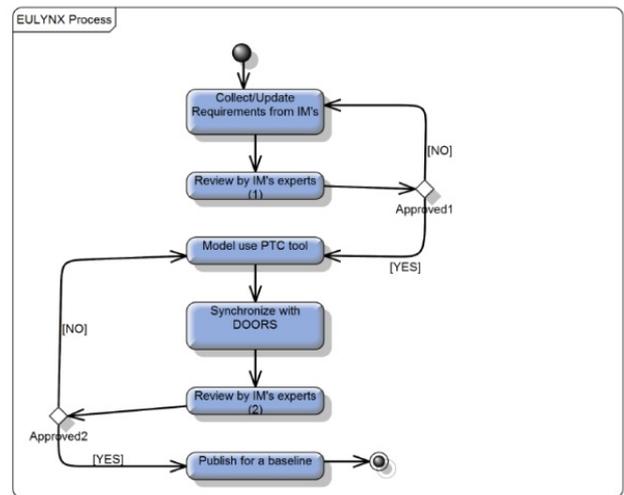


Рис. 30. Процесс EULYNX для создания документа подсистемы [36].

Для каждой подсистемы все ее функции, связанные с интерфейсом, собираются участником IM в виде файлов Excel (называемых списками функций). После этого они неоднократно пересматриваются IM, чтобы убедиться, что они верны и содержат все функции IM. Как только

они будут одобрены, создаются документы спецификации требований. В центре этих документов находятся модели SysML, которые учитывают требования пользователей и требования к системе. Эти модели SysML реализованы на инструменте PTC. Требования и модели хранятся в системе под названием DOORS (Система управления требованиями IBM) и экспортируется в файлы PDF. Основные этапы выпуска новых версий документов согласовывается в каждом кластере. Тот же процесс рассмотрения проходит, когда документ обновляется до тех пор, пока документ не будет одобрен для публикации на базовый уровень.

Документы для внутреннего просмотра среди мгновенных сообщений хранятся в репозитории Alfresco. Это интерфейс веб-сайта, позволяющий пользователям получать доступ ко всем кластерным документам, справочным документам, расписанию встреч и презентаций.

EULYNX определил некоторые этапы доставки документов, которые называются базовыми. В каждой базовой линии, некоторые документы публикуются на веб-сайте проекта EULYNX для обратной связи с общественностью. Первая базовая линия была нацелена на середину марта 2017 года. Вторая базовая линия запланирована на осень 2017. Документы EULYNX, используемые в проекте, относятся к первой базовой линии.

5.3. Моделирование в EULYNX как процесс MBSE

Цель моделирования EULYNX и кластер моделирования и тестирования EULYNX реализует процесс MBSE, где требования основаны на модели. В соответствии с EULYNX, модель используется для того чтобы [47]:

- Включить совместимость с фазами CENELEC
- Описать требования к работе подсистемы и быть пригодными для тестирования с использованием моделирования
 - Поддержка достижения согласованности и недвусмысленности и полноты требований
 - Разрешить раннее тестирование и раннюю обработку ошибок функциональных требований с помощью моделирования
 - автоматически генерировать тесты из спецификации требований.

Это означает предоставление EULYNX сильной базы для любых своих действий.

Поскольку моделирование играет важную роль в проекте, EULYNX сформировал кластер под названием Моделирование и Тестирование для этого. Этот кластер отвечает за создание и тестирование моделей SysML для каждой подсистемы. Он также отвечает за создание документов процесса моделирования, которые направляют пользователей, чтобы создавать модели или помогать интерпретировать созданные модели. Некоторые документы:

- Стандарт моделирования: обеспечивает руководство для MBSE в проекте
- Правила интерпретации для требований, основанных на модели: Объясняет, как основанные на модели

требования реализуются в проекте

- Процесс системной инженерии. Описывает на высоком уровне абстракции процесс системной инженерии для проекта EULYNX

- Управление изменчивостью и конфигурацией: описывает шаги, которые необходимо выполнить в инструменте моделирования для обработки разницы в спецификациях между странами.

Эти документы регулярно обновляются. Как и в других кластерах, в этом активны только некоторые IM кластеры.

C. Структура спецификации подсистем EULYNX

Для каждой подсистемы в EULYNX из списков функций, которые вводятся из разных IM, создается спецификация требований. EULYNX создает три типа стандартных документов:

документ определения интерфейса для каждого типа интерфейса (SCI, SDI), документ спецификации интерфейса и документ спецификации требований. Единственный тип документа, который содержит Модели - это спецификация требований.

Каждый тип документа следует уникальной структуре документа. Поскольку интерфейс SDI ориентирован для базовой линии 2 в следующей части описывается ключевая информация, содержащаяся в каждом документе только для типа интерфейса SCI.

Определение EULYNX для интерфейса SCI описывает интерфейс уровня протокола для безопасной связи между блокировкой и подсистемой. Рисунок 31 показывает протокол уровня связи интерфейса. Он состоит из приложения (PDI), безопасности / повторной передачи и уровня резервирования (RaSTA), и транспортного уровня (UDP). Документ концентрируется на описании всех необходимых параметров для RaSTA.

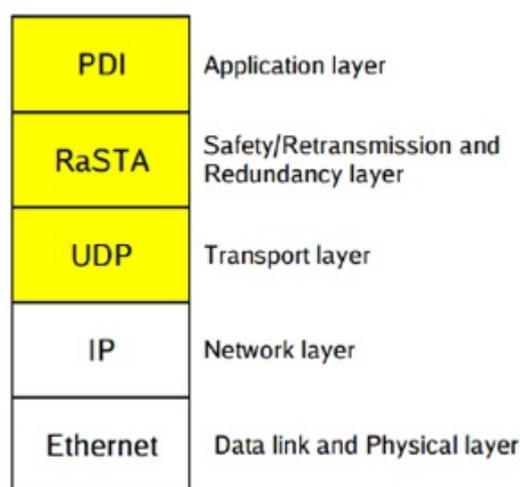


Рис. 31. Протокол EULYNX SCI [50]

Спецификация интерфейса EULYNX - для интерфейса SCI определяет прикладной уровень (PDI) из интерфейса протокола (верхний слой на рисунке 31). Связь между блокирующей подсистемой и другими подсистемами представлены в виде телеграммы.

Телеграмма могут быть классифицированы как команда или тип сообщения. Этот документ содержит технические требования телеграммы. Он также содержит подробное описание каждой команды и сообщение, которое должно быть отправлено через интерфейс между блокировкой и одной конкретной подсистемой.

D. EULYNX Спецификация требований

Как упоминалось ранее, это единственный документ типа. Основная информация, представленная в этом документе, является функциональными техническими требованиями. Некоторая другая информация также указана, но не в форме, такой как RAMSS (наджность, доступность, ремонтпригодность, безопасность, секретность) требования, которые описываются как «определенные национальными спецификациями» или другие технические требования, связанные с интерфейсами, которые не относятся к указанным выше элементам.

На рисунке 32 представлены основные действия, которые EULYNX имеет для функциональных требований, их порядка и типа диаграмм SysML. Основными видами деятельности являются круглые прямоугольники. Используемые модели SysML имеют красный цвет.

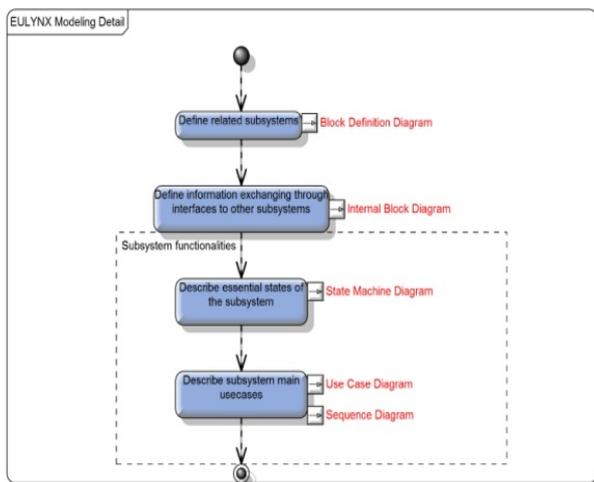


Рис. 32 Информация о спецификации EULYNX Functional Requirements Specification [36]

Прежде всего (рисунок 32), в EULYNX определяется структура каждой подсистемы и связанной с ней среды то есть:

- Определяет связанные подсистемы: дает информацию о факторах окружающей среды, которые взаимодействуют с подсистемой. В ней также описывается, какая информация передается в интерфейсы подсистемы. Для этого используется диаграмма определения блока - BDD.

- Определяет обмен информацией через интерфейс с другими подсистемами: Описывается направление (вход, выход) данных, поступающих на интерфейс подсистемы. Для этого используется внутренняя блок-схема-IBD.

После этого в EULYNX определяется поведение подсистемы, относящейся к ее интерфейсу:

- Описываются существенные состояния подсистемы: Описывает основные состояния подсистемы о его интерфейсе и переходах между состояниями. Некоторые состояния описаны как NO_OPERATING_VOLTAGE, INITIALISING, BOOTING, OPERATIONAL, FALLBACK_MODE. Триггерные события (из других подсистем) и события времени (после периода времени) используются для описания перехода из одного состояния в другое. Для этого используется основная машинная диаграмма (State Machine Diagram) .которая :

- Описывает набор действий (называемых прецедентами), включая инициализацию, работу и управление шероховатостями, с помощью которых подсистема взаимодействует с другими подсистемами. Для этого используется диаграмма использования (Use Case Diagram).

- Для каждого варианта использования в ней описан набор сценариев. Каждый сценарий описывает последовательность действий, которые приводят к успеху или неудаче использования. Для этого используется схема последовательности (Sequence Diagram).

Один пример диаграммы использования и последовательности описан ниже. Вариант использования: «Статус секции TVPS, чтобы очистить команду FC-C». Основной сценарий успеха - это где команда блокировки FC-C (условная команда для того, чтобы принудительно очистить состояние секции) успешна и статус занятости изменен на альтернативный сценарий - это тот, где команда FC-C блокировки команды отклоняется, и статус занятости не изменяется.

С помощью моделей вы можете увидеть подробную информацию о:

(а) Командах и сообщениях, обменных между подсистемой и другими подсистемами, такими как блокировка или обслуживание

(б) Когда инициализируется подсистема

(с) Когда подсистема находится в рабочем состоянии и запускается другими подсистемами или когда она достигает ограничения времени для работы (тайм-аут)

(д) При возникновении ошибки.

Информация о безопасности в документе должна определяться страной.

E. Анализ текущей ситуации EULYNX

DB Netz играет важную роль в EULYNX, а его основные понятия используются в EULYNX. DB Netz уже создал рабочий процесс для проекта NeuPro, а EULYNX - его расширение. Поэтому у DB Netz есть преимущества, которые он может легко адаптировать к процессу EULYNX, и он также первый основной пользователь этих документов. Однако это также означает, что другие IM могут изменить свой рабочий процесс в соответствии с EULYNX, если EULYNX не вносит эту проблему в том чтобы минимизировать изменения.

Обратная связь с EULYNX с помощью IM-

сообщений в основном связана с определенной точкой домена, например рассмотрение требований подсистем или архитектуры. EULYNX определяет рабочий процесс, но имеет не явным образом возможность собирать отзывы о своем текущем рабочем процессе и ситуации. В настоящее время ProRail - единственный ИМ, анализирующий ситуацию EULYNX с точки зрения моделирования.

Некоторые ИМ очень активны при просмотре документов, а другие - нет. Когда один член (такой как ProRail) хочет быть более активным в создании стандарта EULYNX, все еще недостаточно руководства от EULYNX, чтобы они быстро догоняли процесс рассмотрения документов. Это приводит к тому, что ProRail, например, трудно найти задачи, в которых он должен участвовать, чтобы сделать это более выгодно для EULYNX и ProRail. Это отчасти потому, что EULYNX не фокусировался на разработке такого руководства.

В рамках кластера моделирования и тестирования решение о том, какие типы диаграмм должны быть созданы изменение, например, переход от создания диаграмм последовательности к диаграммам конечных автоматов. Одной из причин этого является то, что кластер сначала создает модели и получает обратную связь от поставщиков, когда он заканчивает моделирование. Это потребует больше усилий для модификации моделей, если обратная связь не является положительной. Более того, цель для документов, созданных кластером, не были четко определены, например, используются ли они в кластере или внешними сторонами, такими как ИМ или поставщиками. Если он предназначен для внешнего кластера, информационные потоки находятся только внутри кластера, то не следует представлять, например, как соотносить требования к DOORS (например, «Изменчивость и управление конфигурацией»). Предстоит определить, как существующие модели в EULYNX могут быть полезны для поставщиков оборудования.

Прежде чем достичь одной базовой линии, будет создан только один кластер моделирования, который содержит только один инженерный офис, отвечает за создание моделей. Обзор моделей выполняется в основном в рамках кластера. Эксперты подсистем не накапливают знания по моделированию, так что они не могут подробно просмотреть созданные модели.

Процесс проверки и проверки моделей не является прозрачным для других ИМ и непонятным, из-за вышеуказанных причин. План этого процесса находится в стадии разработки кластером моделирования и тестирования.

В настоящее время в документах EULYNX есть «Требования к системным требованиям» в которых содержатся только общий и слишком специфический уровень детализации. Схемы определения блоков и внутренние блок-диаграммы содержат очень общую информацию о подсистеме, такую как подсистемы относятся к подсистемам. Схемы последовательности

включают очень подробную информацию о поведении подсистемы в конкретных ситуациях. В нем отсутствует переход от одного уровня к другому, чтобы увидеть общее поведение подсистемы.

VI. ЭКОНОМИКА ДАННЫХ В EULYNX

Во время «взрыва данных» последних десятилетий возможности информационных систем быстро расширялись. В результате цифровая вселенная и физическая вселенная становятся все более и более выровненными. Процесс сбора данных обеспечивает подход к получению понимания и совершенствованию процессов во многих областях приложений. Целью разработки процесса является получение данных о событиях, извлечение связанной с процессом информации, хранящейся в журналах событий, и обнаружение модели процесса.

Процесс сбора информации - это все, что необходимо для эффективного использования данных событий, чтобы обеспечить понимание, выявить узкие места, предвидеть проблемы, зафиксировать нарушения правил, рекомендовать контрмеры и оптимизировать процессы [84].

На сегодняшний день наиболее распространенной тенденцией в секторе АЕС, так же как и во многих других отраслях, является цифровизация информации о проекте и знаний о доменах (т. е. данных). Многие международные, национальные и местные инициативы фокусируют свои исследовательские усилия на разработке рамок универсальных информационных систем. Дискуссии многослойны во многих и иногда перекрывающихся областях исследований [84]. BIM - это домен, который охватывает все эти исследовательские инновации и стремится их реализовать.

BIM - это, по сути, инновация в бизнес-процессах, а не технологическая инновация и выиграл бы от более представительного наименования [84]. BIM, безусловно, полагается на многие технологии, такие как CAD, CAM, инновации BIM, как обсуждалось выше, но эти нововведения предваряют понятие BIM, как это принято сегодня. Спецификации BIM на самом деле представляют собой набор ответов на социальные и корпоративные потребности, разработанные современными строительными процессами [84]. За последнее столетие существует явная тенденция к тому, что правительственные органы отказываются от своих позиций строителей, и скорее сосредотачиваются на их роли регулятора строительства и надзора [84]. Развитие государственно-частного партнерства (PPP) означало, что все больше и больше строительного бизнеса расширяют свои основные возможности бизнеса до новых ролей строительной области (т. е. дизайнера, менеджера активов, сертификации) [84].

В то же время из-за экономической нестабильности существует противоречивый эффект специализации, при котором строительные компании находят свое отражение в своих основных компетенциях, чтобы выдержать колебания строительной сферы. Эта

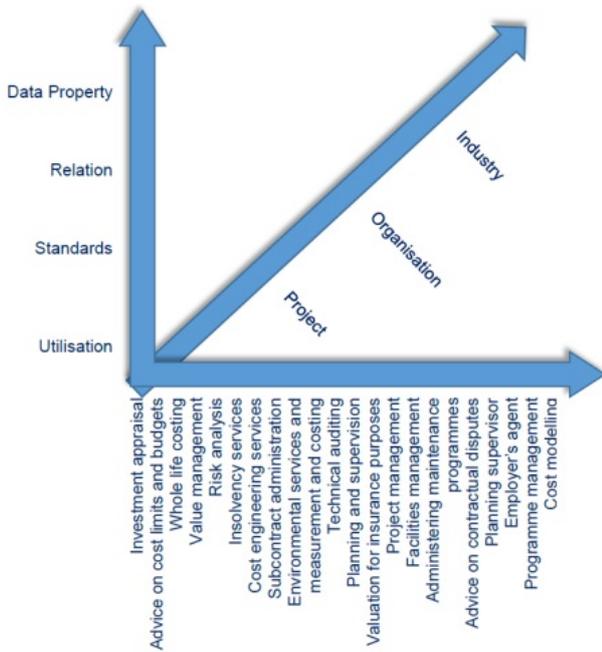


Рис. 35. Рамки для практической реализации организацией QS для BIM RAIL [66]

Перед принятием Network Rail (как и DB члена EULYNX) стратегического плана цифровой железной дороги Великобритании в 2018 году [109], проходили очень интересные обсуждения [110, 111]). Вот некоторые цитаты:

«В течение следующих 15 лет необходимо обновить более 63% оборудования сигнализации, что может быть поставлено только дешевыми решениями на весь жизненный цикл, которые цифровая железная дорога стремится облегчить. Группа доставки железных дорог и группа железных дорог совместно предложили правительству в октябре 2017 года, что системы цифрового управления поездом и управления движением могут быть развернуты по более низкой цене, чем обычные системы сигнализации, к 2025 году в рамках «отраслевой сделки» [110].

Уровень того, что охватывает цифровая железная дорога Великобритании, мы приводим на рисунке 36. Виденье будущей операционной модели цифровых железных дорог в непрерывном поиске знаний показано на рисунке 37.

Перед принятием документа [109] поиск знаний проводился от имени Network rail, чтобы определить, какие языки данных, архитектуры данных, алгоритмы и коммерческие платформы будут полезны для оптимизации работы модельеров и планировщиков инфраструктуры железнодорожной сети в экономике данных [112].

Операторы сети и инфраструктуры сети, модельеры и менеджеры сталкиваются с множеством проблем, связанных с прогнозированием задержки поездов и прогнозированием работы, обслуживанием, планированием расписаний и железнодорожной инфраструктурой.

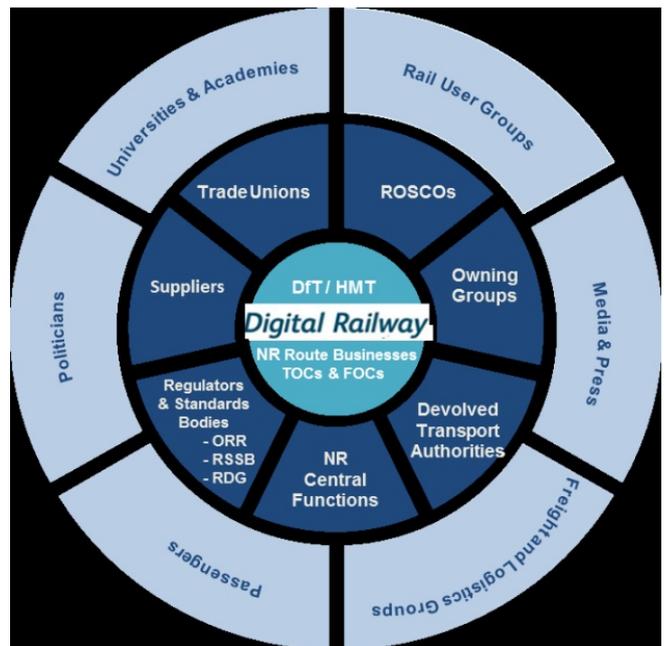


Рис. 36. Что охватывает цифровая железная дорога Великобритании [109].

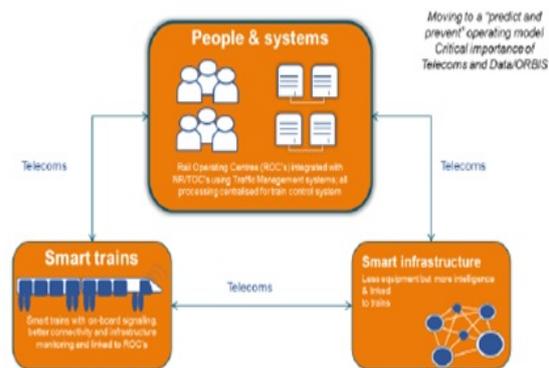


Рис. 37. Виденье будущей операционной модели цифровых железных дорог [109].

В последнее время разработано множество алгоритмов, математических моделей и других крупных методологий данных для решения или, по крайней мере, смягчения вышеупомянутых проблем [112]:

- Например, потенциальные сбои в железнодорожной сети были предсказаны с точностью 97%, используя нейронные сети и нечеткую логику.
- Аналогичным образом, чрезвычайно точные математические модели использовались для интеллектуального обслуживания с использованием методов машинного обучения.
- Успешно разработаны алгоритмы генерации и иерархические сетевые модели для оптимизации расписания.
- Системы управления поездом выиграли от использования комбинации унифицированных языков моделирования (UML) и сетей Петри.
- Были разработаны байесовские сетевые модели для улучшения стратегий обслуживания железнодорожной инфраструктуры

Приводятся требования (с точки зрения

вычислительной мощности, времени и ресурсов), а также источники и методологии сбора данных.

Как правило, для этих расширенных аналитических систем требуются общие архитектуры данных, такие как распределенная файловая система Hadoop (HDFS) для хранения данных, высокоуровневые уровни сценариев для управления / извлечения / преобразования данных (например, Pig and Hive) и интеллектуального анализа данных / модули машинного обучения (Mahout, Rapid Miner или Weka) [112].

Полностью интегрированные решения существуют в виде коммерческих или готовых платформ [112]:

- Платформа анализа мобильности Xerox (MAP) использует большую аналитику данных для управления и прогнозирования потоков пассажиров.
- Fujitsu разработали SPATIOWL, которая использует технологию искусственного интеллекта (AI) для прогнозирования задержки поездов и была развернута для японской железнодорожной сети.
- MDS Siemens использует методы машинного обучения для прогнозирования содержания подвижного состава и, в свою очередь, повышения пунктуальности.
- Система планирования поездов Hason (TPS) использует различные алгоритмы для создания и адаптации оптимальных графиков поездов
- Qognify использует прогнозирование тенденций для быстрого распространения информации для управления инцидентами.

VII. ВЫВОДЫ

Проект EULYNX реализуется с 2014 г. Членами инициативы являются операторы железнодорожной инфраструктуры, на которые приходится уже более половины протяженности европейских железных дорог, — DB Netz (Германия), SNCF Réseau (Франция), Network Rail (Великобритания) и др. Увеличение числа членов инициативы EULYNX способствует расширению рынка для поставщиков стандартизованных технических решений. Присоединившись к инициативе, SBB смогут использовать стандарты EULYNX при создании объектных цифровых контроллеров нового поколения.

Нам представляется, что уже достигнутые результаты и отлаженный механизм работы с инновациями уже имеет большее чем просто европейское значение buildingSMART приведем иллюстрации из выступления Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International в мае 2018, которые расширяют эту мысль наглядно.

Всемирный экономический форум в Программе действий по ускорению принятия BIM в 2018 [113, 114]

признал многолетние усилия онтологической стандартизации buildingSMART. В [113] написано: «Компании IU должны поддерживать похожие консорциумы снизу вверх, чтобы стандартизировать обмен данными BIM ... Один из таких консорциумов существует - buildingSMART, который разработал отраслевой промышленный класс (IFC), единственный открытый (непатентованный) стандарт обмена данными BIM, - но больше потребностей должно быть реализовано».



Рис. 38. Соглашения о совместной стандартизации онтологических подходов подписанные buildingSMART International (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMARTInternational May 2018)

Именно онтология помогает выстроить эффективную цифровую кооперацию и обеспечить цифровую непрерывность через онтологию стандартов. Неоднородные решения, несколько партнеров по совместному проекту становятся решаемой задачей. И когда становится необходимым строить стандарты цифровых железной дороги или двойников, то в мировой кооперации появляется EULYNX (рисунок 39). Конечно сегодня основа этого общая онтологическая BIM структурное описание или IFC Rail (рисунок 40).

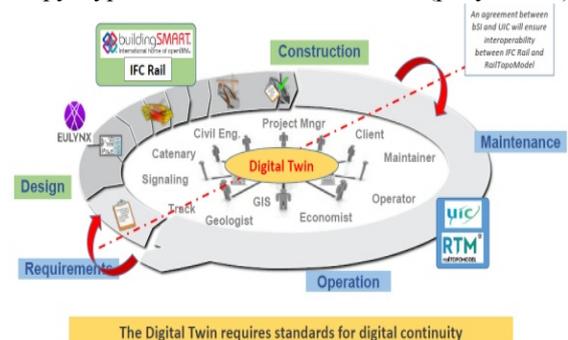


Рис. 39. Цифровым двойникам необходимы стандарты цифровой непрерывности. Неоднородные решения, несколько партнеров по совместному проекту (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMARTInternational May 2018)

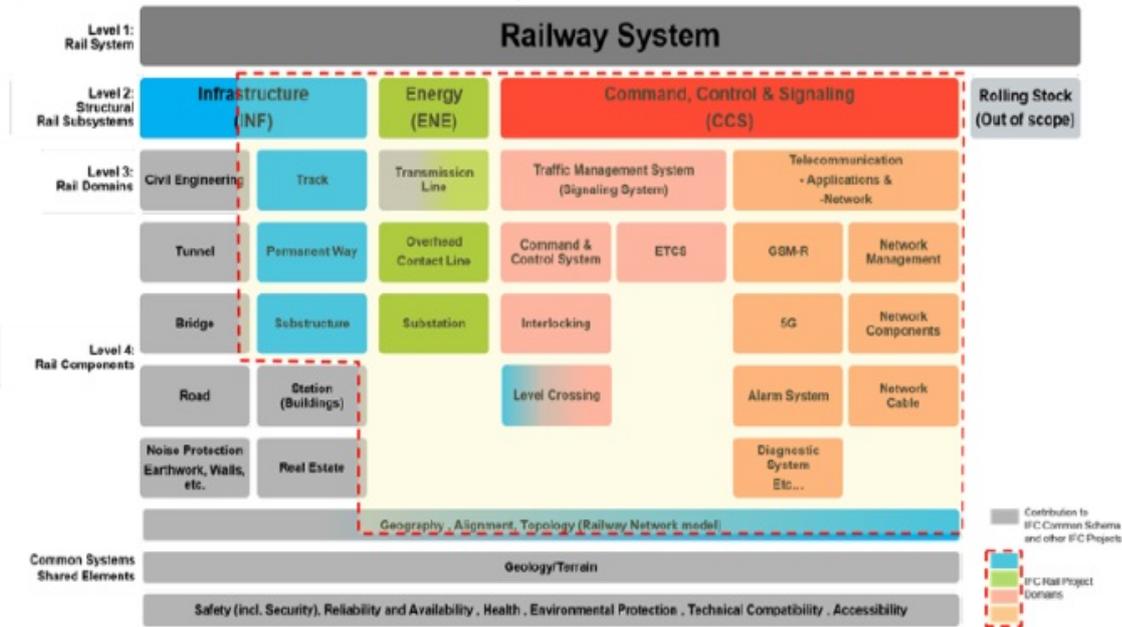


Рис. 40. Структура проекта IFC Rail (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International May 2018)

при разработке цифровые стандарты для железной дороги (рисунок 41), так и для определения состава железнодорожной цифровой модели удовлетворения потребности железнодорожной отрасли в стандартах, от проектирования до эксплуатации или в жизненном цикле (рисунок 42).

Если обратить внимание, то buildingSMART International планирует кооперацию с EULYNX, как

Digital Standards : Railway scope

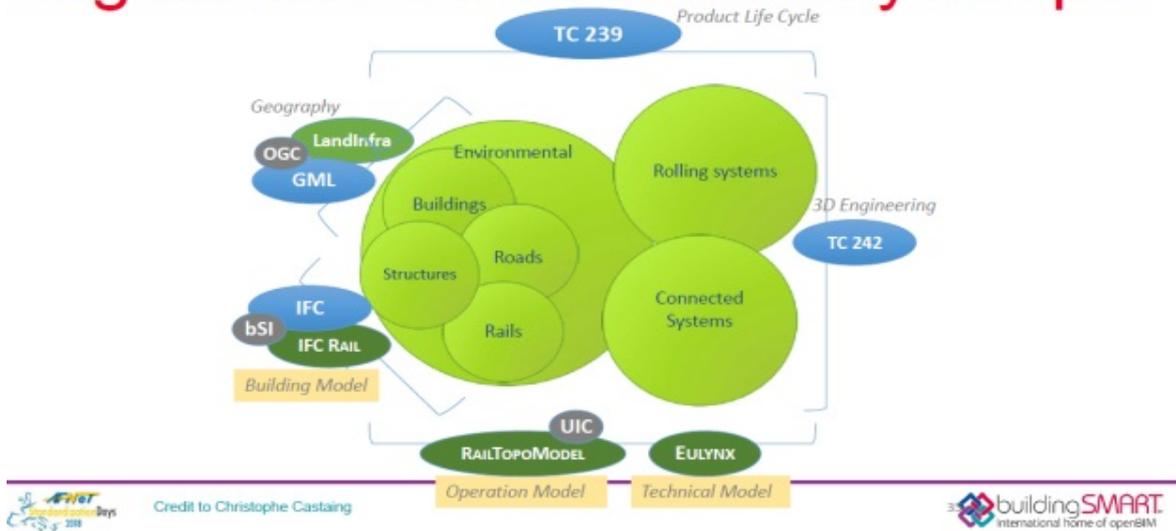


Рис. 41. Цифровые стандарты: Железнодорожный состав (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International May 2018)

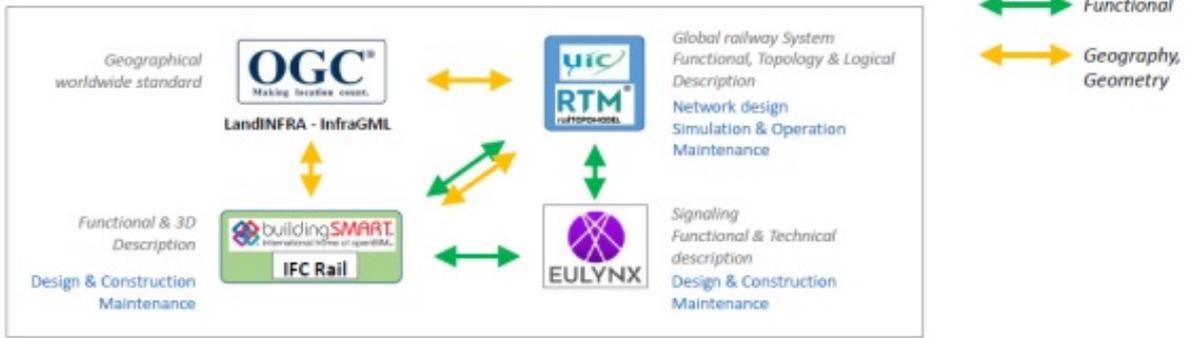


Рис. 42. Железнодорожная цифровая модель. Потребность в стандартах, от проектирования до эксплуатации (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International May 2018)

buildingSMART International анонсировал также появление словаря данных как интеллектуального интегрирующий словарь кооперации (рисунки 38 и 39). Он позволит целесообразно выполнить уникальные требования, позволяющие создать: открытую, нейтральную, международную, интеллектуальную, интегрирующую функциональность. Операционная модель и управление качеством Beta Service этого словаря данных показана на рисунке 44.

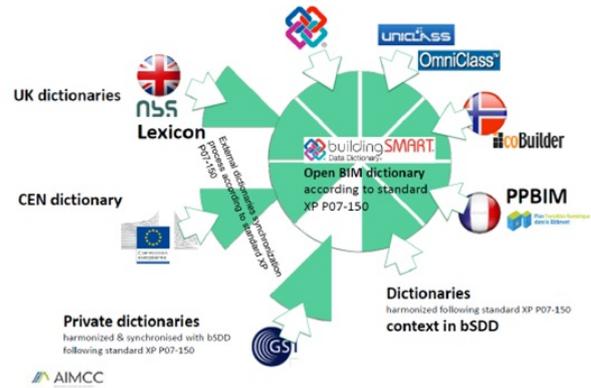


Рис. 43. Открытый и нейтральный словарь данных. Международная интеллектуальная интегрирующая функциональность (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International May 2018)

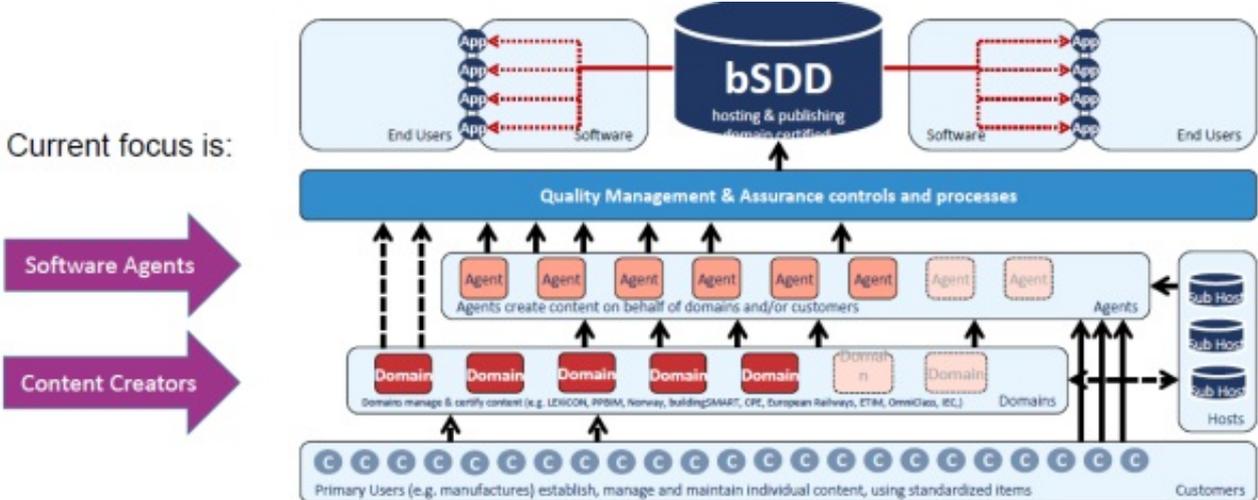


Рис. 44. Словарь данных - Beta Service . Операционная модель и управление качеством (источник - Richard Petrie Chief Executive buildingSMART International May 2018)

Завершая эту статью, мы хотели бы отметить, что в будущем данные и онтологические цифровые модели станут даже более важными, чем сегодня. У России есть шанс сегодня, не повторяя весь цифровой путь развития, сразу пойти по новым путям (рисунок 3) для максимального использования данных и цифровых моделей во всех процессах.

В [114] этот процесс описывается как неизбежный: «Компании начали использовать цифровые модели, и, в первую очередь, модели BIM. Однако большинство существующих приложений BIM охватывают только проектные, инженерные и строительные работы и существенно не изменили процессы работы и обслуживания.

Фактически, O & M приложения составляют всего 10 из 206 коммерческих приложений, перечисленных в отрасли базы данных приложений BIM с открытым исходным кодом. Точно так же, многие текущие

приложения BIM обращаются только к одной фазе жизни актива, а не функционирование как всеобъемлющие приложения на протяжении всей жизни актива. В результате, так как они спроектированы сегодня, модели BIM обычно нуждаются в значительной ревизии чтобы стать полезными моделями для того что построено. По всем трем показанным сценариям, цифровые модели, охватывающие сквозные процессы будут играть решающую роль в будущем. Такие модели являются основой для цифровых технологий, таких как 3D печать, автономное оборудование и сборные конструкции, которые могут работать, только если у них есть точная, последовательная информация от всех участников проекта по цепочке создания стоимости и если информация не теряется между шагами.

Из сценариев очевидно, что все заинтересованным сторонам IU нужен доступ к данным. Прикладные цифровые модели и другие новые технологии требуют и генерируют значительные объемы данных.

Необходимы данные от датчиков, встроенных в уже существующие активы и для оптимизации дизайна новых активов. Данные проекта помогают создавать более конкурентные заявки и прогнозировать потенциальные риски проекта.

Компании IU могут монетизировать данные, продавая их рынке по данным или с помощью аналитики данных, предлагающей расширенные сервисы».

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] 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.
- [2] Kupriyanovsky V. et al. The new paradigm of the digital railway-assets life cycle standardization //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 64-84.
- [3] Куприяновский В. П. и др. Правительство, промышленность, логистика, инновации и интеллектуальная мобильность в цифровой экономике //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. – №. 1.
- [4] Замолодчиков Д. Г. и др. Комфортная среда и ресурсосбережение на пассажирских станциях и вокзалах в жизненном цикле активов цифровых железных дорог //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Соколов И. А. и др. Прорывные инновационные технологии для инфраструктур. Евразийская цифровая железная дорога как основа логистического коридора нового Шелкового пути //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 9.
- [8] Куприяновский В. П. и др. Гигабитное общество и инновации в цифровой экономике //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. – №. 1
- [9] Куприяновский В. П. и др. Интеллектуальная мобильность и мобильность как услуга в Умных Городах //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12.
- [10] А.А. Климов, В.П. Куприяновский, П.В. Куренков, О.Н. Мадяр Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров. Вестник транспорта 10/2017, 11/2017, 12/2017
- [11] Kupriyanovsky V. et al. Digital sharing economy: technologies, platforms and libraries in industry, construction, transport, and logistics //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 6. – С. 56-75.
- [12] Куприяновский В. П. и др. Умная инфраструктура, физические и информационные активы, Smart Cities, BIM, GIS и IoT //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 10.
- [13] Куприяновский В. П. и др. Развитие транспортно-логистических отраслей Европейского Союза: открытый BIM, Интернет Вещей и кибер-физические системы //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 2.
- [14] Global Land Transport Infrastructure Requirements Estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050. © OECD/IEA 2013
- [15] Railway Handbook 2015 Energy Consumption and CO2 Emissions © OECD/IEA (UIC) , 2015
- [16] Kupriyanovsky V. et al. On mobile production based on a shared economy, digital technologies, and logistics //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 8. – С. 47-69.
- [17] Elsweler, Bernd (March 2014). "Beyond ETCS – Interoperable interfaces and more". IRSE news. Retrieved 30 July 2017.
- [18] "EULYNX webpage introduction". EULYNX. Retrieved 28 Jul 2017.
- [19] Briginshaw, David (29 Sep 2017). "Get ready for the next signalling revolution". International Railway Journal. Retrieved 28 Jun 2017.
- [20] Briginshaw, David (28 Jun 2017). "SBB joins Eulynx signalling initiative". International Railway Journal. Retrieved 28 Jul 2017.
- [21] "EULYNX: a route to standardization". Global Railway Review. 28 Jul 2017.
- [22] "Baseline 1 released". EULYNX webpage. Retrieved 30 July 2017.
- [23] "Bane NOR's ERTMS National Implementation program". EULYNX homepage. 30 July 2017.
- [24] "Slovenia sets a date for EULYNX rollout". EULYNX homepage. 30 July 2017.
- [25] Nicholson, David (February 2016). "IRSE Technical Visit to Braunschweig, Germany". IRSE news. Retrieved 30 July 2017.
- [26] Research Programme Engineering. Ontology-based data management for the GB rail industry Feasibility study. RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD. 2014
- [27] Background of Ontology for BDRA. University of Huddersfield. Institute of Railway Research (Client: RSSB). 2014
- [28] Towards BIM for Asset Management in Dutch road infrastructure projects .A study of the perspectives of the client and contractor for the municipality of Rotterdam/Netherlands. Master of Science Thesis For the degree of Master of Science in Construction Management and Engineering at Delft University of Technology.Jerald Suhendro Amatsari. September 26, 2016
- [29] Tutchter, J, Easton, J & Roberts, C 2017, 'Enabling Data Integration in the Rail Industry Using RDF and OWL - the RaCoOn Ontology' ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, vol 3, no. 2. DOI: 10.1061/AJRUA6.0000859
- [30] LOD BIM Element specification for Railway Turnout Systems Risk Mitigation using the Information Delivery Manual Angel Gigante-Barrera et al 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 245 042022
- [31] USING BIM MODELS FOR THE DESIGN OF LARGE RAIL INFRASTRUCTURE PROJECTS: KEY FACTORS FOR A SUCCESSFUL IMPLEMENTATION T. Nuttens, et al., Int. J. Sus. Dev. Plann. Vol. 13, No. 1 (2018) 73–83 © 2018 WIT Press, www.witpress.com ISSN: 1743-7601 (paper format), ISSN: 1743-761X (online), http://www.witpress.com/journals DOI: 10.2495/SDP-V13-N1-73-83
- [32] Crossrail project: the execution strategy for delivering London's Elizabeth line. William Tucker BSArch, March Principal Vice President, Bechtel Ltd, London, UK; Central Section Delivery Director, Crossrail Ltd, London, UK Proceedings of the Institution of Civil Engineers .Civil Engineering 170 May 2017 Issue CE5
- [33] T MU MD 00014 GU Multi-Discipline Rail Infrastructure Design Management Version 1.0 Issued date: 17 January 2018 © State of NSW through Transport for NSW 2018
- [34] Systems Engineering For Dummies,© IBM Limited Edition Copyright © 2011 by Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana
- [35] Parastoo Delgoshahi. SEMANTIC MODELS AND REASONING FOR BUILDING SYSTEM OPERATIONS: FOCUS ON

- KNOWLEDGE-BASED CONTROL AND FAULT DETECTI FOR HVAC. Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy 2017
- [36] Bui, N.L. An analysis of the benefits of EULYNX-style requirements modeling for ProRail. Published: 28/09/2017 ProRail B.V. Eindhoven University of Technology. Copyright © 2017. Eindhoven University of Technology
- [37] M.H. (Matthijs) van de Riet SEMANTIC MODEL ENRICHMENT FOR BIM-ENABLED RISK-BASED OPERATION AND MAINTENANCE.A case study approach with Industry Foundation Classes. Eindhoven University of Technology (TU/e) , Arcadis Nederland February 18, 2016,
- [38] Peri Smith M.Sc. Safety Case for the Introduction of New Technology into an Existing Railway System, B.Eng, DIC 20th September 2016. Imperial College London. Department of Civil and Environmental Engineering Centre for Transport Studies. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy and the Diploma of Imperial College London
- [39] Maria Angeliki Zanni. Communication of Sustainability Information and Assessment within BIM-enabled Collaborative Environment. A Doctoral Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Award of Doctor of Philosophy of Loughborough University. September 2016
- [40] Melody Khadem Sameni. Railway Track Capacity: Measuring and Managing. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON. FACULTY OF ENGINEERING AND THE ENVIRONMENT. Transportation Research Group. October 2012
- [41] G. M. Alessio Ferrari. Adoption of SysML by a Railway Signaling Manufacturer, Aug 2014.
- [42] INCOSE. Introduction to Model-Based System Engineering (MBSE) and SysML, July 2015. <http://www.incose.org/docs/default-source/delaware-valley/mbse-overviewincose-30-july-2015.pdf?sfvrsn=0>.
- [43] E. Initiative. EULYNX Project Description, February 2014. <https://eulynx.eu/index.php/documents/project-description/14-project-description/file>.
- [44] E. Initiative. EULYNX Modeling Standard, ID Eu.ModSt.79, Mar 2017.
- [45] E. Initiative. EULYNX Report Industry Workshop Frankfurt, Jan 2017.
- [46] E. Initiative. EULYNX System Definition v1.4 (0.A) Appendix A1, Mar 2017.
- [47] E. Initiative. Interpretation rules for model-based requirements v1.1 (0.A), March 2017.
- [48] E. Initiative. System engineering process v1.0 (0.A), June 2017. 71, 72
- [49] E. Initiative. System engineering process v1.0 (0.A) - Item Eu.SEP.125, June 2017.
- [50] E. Initiative. Baseline1 - Point - Interface definition SCI-P v1.0 (0.A), Mar 2017.
- [51] E. Initiative. Baseline1 - Requirement Specification Axle Counter TDS, Mar 2017.
- [52] OMG. SysML 1.3 Specification, June 2012. <http://www.omg.org/spec/SysML/1.3/>.
- [53] J. F. Petin. Combining SysML and formal methods for safety requirements verification, Dec 2010.
- [54] ProRail. PRC00062-ProRail Procedure, April 2017.
- [55] PTC. Integrity Modeler SySim. <https://www.ptc.com/en/model-based-systemsengineering/integrity-modeler/sysim>.
- [56] S. Systems. Parametric Simulation using OpenModelica. http://www.sparxsystems.com/enterprise_architect_user_guide/13.0.
- [57] Akinade, O. O. (2017) BIM-based software for construction waste analytics using artificial intelligence hybrid models. PhD, University of the West of England. Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/31762>
- [58] Y. Rekveld. Eindhoven University of Technology. BIM Based Cost Estimation Knowledge Management The application of a Knowledge Management System by combining BIM models and the data mining process to estimate the costs of residential buildings. Master Construction Management and Engineering. May 2017
- [59] Ajayi, S. (2017) Design, procurement and construction strategies for minimizing waste in construction projects. PhD, University of the West of England. Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/30123>
- [60] Edwin Afreh Ampratwum. GREEN BIM: ADATATION OF GREEN BUILDING DESIGN CONCEPT WITH BIM INTO A NEW CONSTRUCTION MARKET – GHANA IN THE AEC/FM INDUSTRY. Master's Thesis Project Report Education: Masters of Science in Management in the Building Industry. Project Location: Department of Civil Engineering, Aalborg University. 9th January, 2017
- [61] Jan-Peter Ter Maaten. BIM's Horizon. BIM and its Envisioned Use in Engineering Infrastructure. Delft University of Technology. Faculty Civil Engineering and Geosciences. Master thesis. Master Track Construction Management and Engineering. September 2015
- [62] S. (Stijn) van Schaijk . Building Information Model (BIM) based process mining. Eindhoven University of Technology. Master thesis. Master Construction Management and Engineering. 2016
- [63] Lasse Gullvåg Sætre. Translating Train Management to Norway. Master thesis at the Center for Technology, Innovation and Culture Supervised by: Tone Druglitrø and Helge Ryggvik. University of Oslo .Norway, May 2017
- [64] Monica Magnarini. Evaluation of ETCS on railway capacity in congested areas. A case study within the network of Stockholm. Master Thesis. STOCKHOLM, October 2010 Division of Transportation and Logistics KTH Railway Group
- [65] Xi Sun. INVESTIGATING BUILDING INFORMATION MODEL TO BUILDING ENERGY MODEL DATA TRANSFER INTEGRITY AND SIMULATION RESULTS. MAsc. in Building Science, Ryerson University for the degree of Master of Applied Science in the Program of Building Science Toronto, Ontario, Canada, © (Xi Sun) 2016
- [66] DIANNE B MARSH. Doctoral Thesis. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) AND THE UK QUANTITY SURVEYING ORGANISATION: A FRAMEWORK FOR VALUE CREATION. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of Liverpool John Moores University for the degree of Doctor of Philosophy. February 2017
- [67] Cervenka, Jan. Implementation of the DMI Display for the ETCS On-Board Sub-System. Master's thesis. Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, 2017.
- [68] S. (Stijn) van Schaijk. Building Information Model (BIM) based process mining. Enabling knowledge reassurance and fact-based problem discovery within the Architecture, Engineering, Construction and Facility Management Industry. Eindhoven University of Technology Graduation program: Master Construction Management and Engineering 2016
- [69] Manlin Yu. A Linked Data approach for information integration between BIM and sensor data. TU/e Eindhoven University of Technology. Construction Management and Engineering 2016
- [70] Esper Achkar. A BIM-Integrated approach to construction quality management. Enabling information and knowledge management during the execution phase of a project life cycle. Eindhoven University of Technology Graduation program: Master of Construction Management and Engineering December 8th, 2016.
- [71] M.J.M. Oerlemans – Master Thesis Construction Management & Engineering Influencing the waiting location of railway passengers on the railway platform subconsciously. An improvement in railway platform safety and passenger flows. Construction Management & Engineering (CME) Faculty: Built Environment Eindhoven University of Technology & RoyalHaskoningDHV September 28, 2016
- [72] R.J. (Rob) Simons .The optimization of crane deployment by using BIM. Development of a tool, based on knowledge and experience within the field of residential construction projects. Master Program Construction Management and Engineering. Department of the Built Environment. Eindhoven University of Technology. September 2016
- [73] Sofia Tzouli. Travelers' Route Choice Decisions in the Context of Public Transport with Special attention to the role of Main and Side Train Stations. Master Thesis .In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Construction Management and Engineering. Department of the Built Environment. Eindhoven University of Technology. Eindhoven, August 2016
- [74] Mark Bosschaart. Lean Engineering Design of Rail Interlocking Systems with RailML. Thesis Report Master TIL – Siemens NL & Delft University of Technology October 1th 2013
- [75] MEI-CHENG SHIH .CAPACITY EVALUATION AND INFRASTRUCTURE PLANNING TECHNIQUES FOR HETEROGENEOUS RAILWAY TRAFFIC UNDER STRUCTURED, MIXED, AND FLEXIBLE OPERATION. DISSERTATION. Submitted in partial fulfillment of the requirements

- for the degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2017 Urbana, Illinois
- [76] Shahzad Ali Khan .Railway Interlocking Design Support Tools AutoCAD Plugin based approach. University of Oslo, Norway. Master's Thesis Informatics: Programming & Networks Department of Informatics, Oslo, November 2016
- [77] Linh Hong Vu. Formal Development and Verification of Railway Control Systems In the context of ERTMS/ETCS Level 2. Ph.D. Thesis Doctor of Philosophy. DTU Compute Department of Applied Mathematics and Computer Science Technical University of Denmark Kongens Lyngby 2015
- [78] Ze Wang The impact of Light Rail Transit-Oriented Development on Residential Property Value in Seattle, WA A thesis Master of Urban Planning. University of Washington 2016
- [79] Y. Rekveld. BIM Based Cost Estimation Knowledge Management. The application of a Knowledge Management System by combining BIM models and the data mining process to estimate the costs of residential buildings. Master Construction Management and Engineering. Eindhoven University of Technology May 2017
- [80] L.H.M. (Leon) Vergeldt Component Based Business Process Automation for Automating Task-Oriented Work Instructions for Construction Workers. Master Thesis Construction Management & Engineering Eindhoven University of Technology 2017
- [81] Xi Liu. DEVELOPING INTERACTIVE CONNECTIONS BETWEEN BIM AND FACILITIES INFORMATION SYSTEMS FOR END USER FUNCTIONALITIES. Master Thesis Aalto University. April, 2017
- [82] Sophia Theresa Vega Volk. Analysis of BIM-based Collaboration Processes in the Facility Management. Technische Universität München, TU München, TUM 2017
- [83] M. (Michiel) Jansen van Galen. Energy Efficient Train Control in the Netherlands Analysis of effects on a large scale network with distributed delays. Msc. Civil Engineering and Management specialization Transport Engineering and Management University of Twente. 2016
- [84] Benjamin Herinckx, Ontology Base Requirement Management For Project Standardization System Engineering For Infrastructure Using Semantic Web Technologies. Eindhoven University of Technology Department of the Built Environment. Eindhoven, April 11th, 2017
- [85] S. (Stijn) van Schaijk. Building Information Model (BIM) based process mining. Eindhoven University of Technology. Master thesis. Master Construction Management and Engineering. 2016
- [86] Transforming Systems Engineering through Model-Centric Engineering Technical Report SERC-2017-TR-110 Update: August 8, 2017
- [87] Мацяшек, Лешек, А. Анализ требований и проектирование систем. Разработка информационных систем с использованием UML: пер. с англ. / Лешек А. Мацяшек. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. - 432 с.
- [88] Нейбург, Эрик, Дж., Максимчук Роберт, А. Проектирование баз данных с помощью UML: пер. с англ. / Эрик Дж. Нейбург, Роберт А. Максимчук. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002.
- [89] Розенберг, Д. Применение объектного моделирования с использованием UML и анализ прецедентов: пер. с англ. / Дуг Розенберг, Кендалл Скотт. - М.: ДМК Пресс, 2002. - 160 с. - 288 с
- [90] Рамбо, Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка: пер. с англ. / Джеймс Рамбо, Майкл Блах. - СПб: Питер, 2007. - 544 с.
- [91] Мацяшек, Лешек, А. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0 (3-е издание): пер. с англ. / Лешек А. Мацяшек. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2008. - 816 с.
- [92] Новиков, Ф.А., Иванов, Д.Ю. Моделирование на UML. Теория, практика, видеокурс / Ф.А. Новиков, Д.Ю. Иванов - СПб.: Профессиональная литература, Наука и Техника, 2010. - 640 с.
- [93] Халл, Э., Джексон, К., Дик, Дж. Разработка и управление требованиями. Практическое руководство пользователя (2-е издание): пер. с англ. / Элизабет Халл, Кен Джексон, Джереми Дик. - Springer, 2005. - 240 с.
- [94] Буч, Гр. UML. Классика CS.: / Грейди Б., Дж. Рамбо, Айвар Джекобсон. - СПб.: Питер, 2006.- 736 с.
- [95] INCOSE Systems Engineering Vision 2020 .INCOSE-TP-2004-004-02 .September, 2007 .Copyright © 2007 International Council on Systems Engineering, subject to restrictions listed on inside cover.
- [96] Shift2Rail Joint Undertaking (S2R JU) Amendment n°2 to the Annual Work Plan 2017 & Budget Figures ANNEX to GB decision no 5/2017. HORIZON 2020 27 October 2017
- [97] Соколов И. А. и др. Современные исследовательские проекты ЕС и онтологии цифровой безопасности Европы //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 4.
- [98] 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.
- [99] Аленков В. В. и др. Использование структурированной информации BIM для охраны здоровья и безопасности работающих в строительстве //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 5.
- [100] 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.
- [101] 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.
- [102] Волокитин Ю. И. и др. Проблемы цифровой экономики и формализованные онтологии //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 6.
- [103] ES Object Controller OC Concept Umbrella Document (rev. 86972) SmartRail 4.0 Version 1.3_published, 30.4.2018
- [104] D3.1 Preliminary Pilot I Integration: Incident Discovery and Response for Railway use case. 31-October-2017 © CIPSEC Consortium
- [105] D2.3. CIPSEC products integration on the Unified Architecture. 27-February-2018 © CIPSEC Consortium
- [106] D1.3. Report on taxonomy of the CI environments. 27-02-2018 © CIPSEC Consortium
- [107] D1.2. Report on Functionality Building Blocks. 28-02-2018 © CIPSEC Consortium
- [108] Daron Acemoglu, Pascual Restrepo .Modeling Automation NBER Working Paper No. 24321 Issued in February 2018
- [109] Digital Railway Programme Strategic Plan 19 January 2018 – RF9 update Network Rail 2018
- [110] Summary of Digital Rail White Paper Industry Debate. IRSE & WSP 17 January 2018
- [111] IRSE White Paper: Making a success of the Digital Railway. (final - December 2017)
- [112] Data architectures and advanced analytics for transport operations modelling (S276). © RAIL SAFETY AND STANDARDS BOARD LTD. 2017
- [113] An Action Plan to Accelerate Building Information Modeling (BIM) Adoption. WEF Prepared in collaboration with The Boston Consulting Group ,2018
- [114] Shaping the Future of Construction Future Scenarios and Implications for the Industry WEF Prepared in collaboration with The Boston Consulting Group March 2018

BIM and engineering formalized ontologies on the European digital railway in the EULYNX - data economy

Alexander Klimov, Vasily Kupriyanovsky, Alexey Stepanenko, Oleg Pokusaev, Irina Petrunina, Dmitry Katzin, Sergey Sinyagov, Yuri Lipuntsov, Eugene Chebotarev

Abstract— The article is devoted to the application of BIM and ontologies in the design and operation of the digital railway. It is predicted that global rail transport will double by 2050. To support this growth, the global railway in kilometers by 2050 needs to be increased by about 30% to the level of 2010. This opens the era of a great struggle for the flow of goods and passengers between the railways and the creation of a virtually new transport landscape. And ontologies and conveniences of formalized ontological and semantic languages begin to play a decisive role in this process in order to ensure interoperability of design and operation of railway systems. The EULYNX system, a European initiative in the field of railway signaling, is being considered in order to reduce the cost and time of installation of digital signaling equipment. EULYNX uses formal ontological methods that are closely related to IFC buildibgSmart and their extensions. Today, the IFC Rail infrastructure standard developed and adopted in China as a national standard has every chance of becoming international. The article also discusses ontologies built on the basis of SysML, which have gained popularity in many areas of critical security systems, such as military or aerospace. Some companies in the rail sectors are starting to use SysML for their mission-critical railroad signaling.

Keywords— digital economy, ontology, BIM.