

# Технологии BIM, онтологий и управления активами на автомобильных дорогах Европы

О.Н.Покусаев, В.П.Куприяновский, А.А.Климов, Д.Е.Намиот, Ю.В.Куприяновская,  
Е.Ю.Заречкин

**Аннотация**—В работе рассматриваются различные европейские проекты по управлению активами на автомобильных дорогах. Предметом рассмотрения является BIM и онтологии при создании и сопровождении проектов в области строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Сети дорожной инфраструктуры являются значительными активами, которые часто принадлежат и управляются национальными дорожными властями (NRA). Безопасная и эффективная эксплуатация этих сетей основана на системе различных типов активов, от дорожного покрытия и конструкций до систем связи, знаков и дорожной разметки. Эти активы доставляются, используются, эксплуатируются и обслуживаются в течение долгого времени с изменяющимися функциональными требованиями. Большое внимание в статье уделяется проекту CEDR INTERLINK, который поддерживает онтологические основы управления активами автомобильных дорог Европы. Этот проект также поддерживает создание цифровых двойников для управляемых активов.

**Ключевые слова**—BIM, онтологии, автомобильные дороги.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В Европе существует много различных профессиональных объединений. Можно считать, что это традиция, восходящая к средневековым цехам. Организованы эти объединения по-разному и работают по-разному, но самые продвинутые находятся в орбите деятельности Европейского Союза и активно сотрудничают в его программах, отстаивая и поддерживая профессиональные разработки и решения. Автотрассы Европы объединяются в организацию под названием CEDR.

Конференция европейских директоров автомобильных дорог (CEDR) или Conférence Européenne des Directeurs des Routes (на французском языке) была создана в 2003 году [1] из бывших западноевропейских директоров

автомобильных дорог (WERD). Это некоммерческая организация [1], созданная в качестве платформы для директоров национальных дорожных органов. Она дополняет работу Всемирной дорожной ассоциации PIARC [1]. Деятельность CEDR осуществляется открытым и прозрачным образом в соответствии с собственным кодексом поведения CEDR и кодексом поведения институтов ЕС. CEDR включен в Реестр прозрачности ЕС [1]. По количеству членов и участвующих стран CEDR не совсем совпадает с границами ЕС и проводит свои собственные исследования, участвуя, впрочем, и в исследованиях Союза. Поэтому исследования CEDR зачастую опережают бюрократические решения ЕС и они широко признаны, например в США, а эта страна далеко не последняя в дорожных разработках. Члены CEDR далее называются NRAs или NRA, что расшифровывается как национальные дорожные власти.

Относительно технологий BIM еще в 2016 году CEDR опубликовал программное заявление декларацию – Открытый информационный обмен (BIM) для национальных уполномоченных по дорогам жизненная необходимость в управлении активами [2]. В следующем 2017 году уже было обнародовано развернутое представление CEDR об использовании BIM дорожными властями [3].

В центре внимания целевой группы CEDR S3 (Information) которая готовила [3] находится информация о строительстве, развитии и обслуживании инфраструктуры для дорог (и их окрестностей). Открытый BIM, по мнению [3], состоит из открытой информации в структурированных наборах данных, открытых стандартов обмена и программного обеспечения для их использования (инструменты BIM). Важным аспектом является их открытый характер. Открытые стандарты необходимы, чтобы избежать риска так называемого отказа поставщика, которое может произойти по разным причинам, иногда не зависящим от самого поставщика (например – банкротство или поглощение другой компанией).

Цели, заданные для целевой группы CEDR S3 Информация были следующими [3]:

+ Обмен знаниями об открытом BIM; создание устойчивого международного (социального и информационного) сообщества

Статья получена 9 апреля 2020.

О.Н.Покусаев – РУТ (МИИТ); buildingSmart Россия (email: o.pokusaev@rut.digital)

В.П.Куприяновский – РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)

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

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

Ю.В.Куприяновская – независимый исследователь (email: piccola@yandex.ru)

Е.Ю.Заречкин – РУТ (МИИТ) (e-mail: e.zarech@gmail.com)

+ (Более эффективное) влияние на принятие решений ЕС в отношении разработки, обслуживания и использования информационных стандартов Open BIM

+ Общие инвестиции в разработку и использование открытых стандартов BIM в большей степени.

Преимущества BIM огромны [3]: большая эффективность, которая приводит к снижению затрат, лучшая и более высокого качества информация в течение жизненного цикла инфраструктуры. Это касается как новых инвестиционных проектов, так и управления активами. Это улучшает производительность отрасли построенной среды в целом. Для достижения преимуществ использования BIM важно выбрать поэтапный подход к закупке BIM. NRAs должны следить за тем, чтобы выбранные ими шаги координировались внутри и вне организации в секторе строительства. В различных NRAs имеется много хорошего опыта, как начать и обеспечить BIM эффективно в крупных инфраструктурных проектах [3].

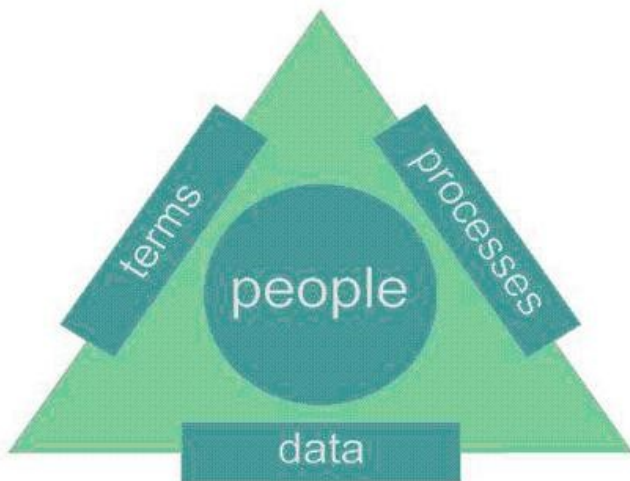


Рис.1 Треугольник интероперабельности (взаимодействия) BuildingSmart [3]

### Estimated % cost savings in design & construct orderportfolio via BIM

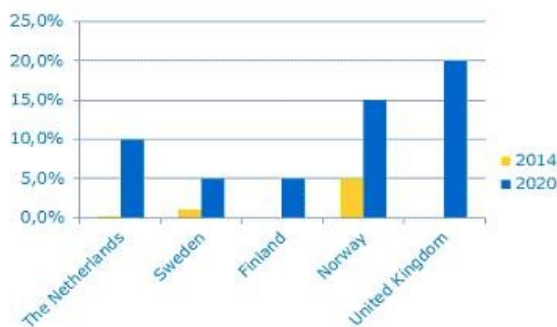


Рис. 2. Расчетный процент снижения затрат на проектирование и строительство в 2014 и 2020 годах [3].

### Estimated savings by BIM in design&construct for NRA in 2020

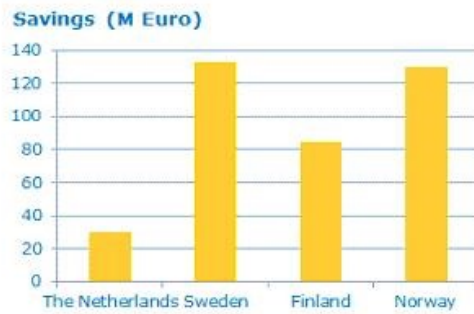


Рис. 3. Расчетная экономия затрат в случае использования BIM при проектировании и строительстве для NRA в 2020 г. [3].

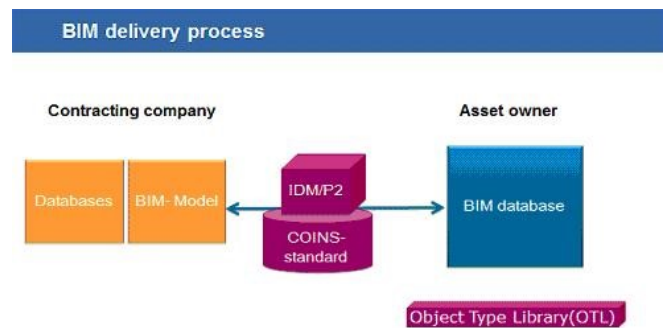


Рис. 4. Голландский пример процесса доставки BIM со стандартным открытым обменом информацией COINS в инфраструктуре [3]

Издание [3], как мы полагаем, очень наглядно продемонстрировало принципы внедрения открытого BIM (рисунок 1), экономические преимущества BIM при использовании в дорожном хозяйстве (рисунки 2 и 3) и уже имеющиеся успешные реализации в NRA (рисунок 4).

В еще одной публикации [4] 2017 года признано, что сети дорожной инфраструктуры являются значительными активами, которые часто принадлежат и управляются национальными дорожными властями (NRA). Безопасная и эффективная эксплуатация этих сетей основана на системе различных типов активов, от дорожного покрытия и конструкций до систем связи, знаков и дорожной разметки. Эти активы доставляются, используются, эксплуатируются и обслуживаются в течение долгого времени с изменяющимися функциональными требованиями. Многие участники цепочки поставок участвуют в этом цикле взаимодействующих процессов.

Со времени определения стратегической потребности в новой дороге посредством проектирования, строительства и эксплуатации, создается большой объем информации, относящейся к дорожным активам. Набор информации об этих физических активах также является активом, и европейские NRA признают, что

неадекватный или неточный информационный актив ведет к увеличению капитальных и эксплуатационных расходов на физические активы. Аналогичным образом, NRA знают, что эффективное получение и управление информацией сопряжено со значительными затратами. Эти затраты, преимущественно транзакционные, усугубляются недостаточной совместимостью между системами управления информацией заинтересованных сторон [4].

В совокупности эти выводы и промежуточные результаты позволили CEDR запустить масштабные исследования BIM, общих онтологий и систем управления активами, о которых мы расскажем далее.

## II. ПРОЕКТ CEDR INTERLINK – ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВАМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЕВРОПЫ И BIM

В рамках своей Программы исследований транснациональных дорог CEDR поручил консорциуму INTERLINK спроектировать и протестировать открытую, масштабируемую, ориентированную на будущее, базовую библиотеку типов объектов (OTL) для улучшения взаимодействия. Термин OTL описывает структуру данных, которые должны совместно использоваться в определенной области, в этом исследовании европейских дорог. Основными целями исследования INTERLINK, судя по опубликованным результатам [5-16] (это полный список, так как проект завершен), являются:

- изучить возможность получения информации о дорожных активах NRA для лучшего управления активами;
- исследовать подходящие структуры данных для информации об активах;
- разработать общие принципы для Европейской дорожной OTL;
- разработать и протестировать базовую европейскую дорожную OTL, связанную с существующими открытыми стандартами.

Добившись этого, INTERLINK будет поддерживать владельцев активов и менеджеров в создании так называемых цифровых двойников своих активов. Термин «цифровой двойник» существует с 2002 года и имеет много определений. В целом, цифровой двойник - это виртуальная модель процесса, продукта или услуги [17]. Для строительной отрасли цифровой двойник призван быть современной и точной копией свойств и состояний актива, включая форму, положение, статус и движение. Цифровой двойник можно использовать для мониторинга, диагностики и прогнозирования для оптимизации производительности и работы активов (Википедия, цифровой двойник – [18]).

Проект CEDR INTERLINK определил Европейскую дорожную OTL с тремя опорными опорами для оптимизации успеха последующей реализации:

- Качественная техническая онтологическая

спецификация или как описать структуру данных цифрового двойника;

- Подходящий и устойчивый орган по стандартизации с планом развития, выходящим за рамки этого проекта; и
- Признание на практике отраслью посредством вовлечения и распространения.

Проект INTERLINK стартовал в сентябре 2017 года и длился два года. На основе трех столпов - технической спецификации, органа по стандартизации, принятия на практике – в этом проекте строится глубокое понимание типичных потребностей NRA в управлении и использовании информации об активах с точки зрения бизнеса и данных. Потребности бизнеса и данных были исследованы с помощью обзора литературы, интервью с заинтересованными сторонами и отраслевого опроса. Результатом этого процесса стал набор требований к управлению информацией о дорожных активах, представленный в виде 36 заявлений о потребностях. Эти требования будут использоваться для информирования и управления разработкой и валидацией базовой Европейской дорожной OTL.

INTERLINK получил в результате четкое представление о текущем состоянии в Европе для управления информацией о дорожных активах. Две перспективы были изучены параллельно; (i) деловые потребности в информации и (ii) данные должны соответствовать этим деловым потребностям. Был применен многогранный онтологический подход для выявления потребностей отрасли в сфере бизнеса и данных, в том числе: использование опыта специалистов консорциума INTERLINK; обзор разнообразной литературы по этому вопросу; проведение полу структурированных интервью с более чем 60 руководителями из NRA, с подрядчиками, консультантами и компаниями-разработчиков программного обеспечения по всей Европе, каждый из которых с энтузиазмом работал; а затем тестирование набора заявлений о потребностях с помощью онлайн-опроса отдельных представителей отрасли.

Анализ выявил типичное состояние с управлением активами как есть среди европейских NRA. Оно основано (на период работы проекта), преимущественно, на обмене документами с изолированными базами данных и противоречивыми требованиями к информации. Некоторые NRA имеют хорошо отлаженные системы для прогнозного обслуживания конструкций (мостов, туннелей, порталов) и тротуарных активов, то есть типов активов, которые могут принести наибольшую ответственность, если не будут правильно управляться. Однако в большинстве случаев NRA полагаются на разрозненные системы управления активами, которые были разработаны в течение многих лет для удовлетворения потребностей отдельных групп, ответственных за каждый тип активов. Даже в тех случаях, когда NRA вкладывают средства в

однопрограммные системы в масштабах предприятия для управления активами, данные между типами активов не связаны между собой, а системы не основаны на открытых стандартах, что ставит под угрозу их будущую ценность. Системы редко интегрируются с внутренними и внешними проектными и операционными системами. Из-за этих проблем используемые данные часто являются неполными, устаревшими, непоследовательными, неоднородными и не могут использоваться напрямую, что представляет большой риск для всех NRA.

Использование BIM для проектирования и строительства дорог хорошо развито, как показали исследования проекта [5-16], в различных странах, включая Нидерланды, Германию, Швецию, Норвегию и Финляндию. Многие другие страны стремительно увеличивают свою зрелость в управлении информацией на этапе доставки капитала по дорожным активам. Однако значительное количество времени и денег затрачивается на получение актуальной информации в системы управления активами [5-16].

Тем не менее, NRA и их партнеры все больше осознают ценность данных как актива, а также то, что качество и удобство использования данных имеют решающее значение для успеха их операций. Многочисленные хорошие примеры улучшения управления информацией об активах были обнаружены в различных европейских странах. Эти примеры формируют важный источник опыта, которому должны учиться другие страны, и становятся основой для улучшения управления информацией об активах.

Процесс исследования, описанный выше, облегчил разработку двух наборов заявлений о потребностях, представляющих бизнес-потребности NRA для управления информацией об активах, и потребности в данных, необходимые для удовлетворения этих бизнес-потребностей. Полный список заявлений о потребностях представлен в общедоступных отчетах [5-16]:

- Информационные системы для дорожных активов должны основываться на открытых стандартах управления информацией.
- В начале проекта владельцы / менеджеры активов должны определить свои информационные требования для каждого типа активов, используя, по возможности, установленные стандарты.
- Информационные системы активов должны обеспечивать доступ к информации через ГИС.
- Соответствующая информация об активе должна собираться и систематически обновляться в течение жизненного цикла актива, от его создания до проектирования, строительства, проверки, обслуживания и обновления.
- От подрядчиков следует требовать передачи владельцу актива набора графической и неграфической

информации гарантированного качества, заверенной в качестве встроенной.

- Неграфическая информация (например, спецификации, результаты испытаний материалов) должна быть связана с определенными объектами.
- Информация об активах должна основываться на одних и тех же интегрированных информационных стандартах для всех этапов жизненного цикла, от стратегического планирования до эксплуатации и технического обслуживания.

В [5-16] описываются решения, которое консорциум INTERLINK предлагает NRA, центральным из которых является библиотека типов объектов Европейской дороги (OTL). Библиотека объектных типов (OTL) является ключевым понятием в INTERLINK. Как и термин «цифровой близнец», у него много определений. В общем, OTL - это абстрактный, общий онтологический и семантический взгляды на часть реальности, которая должна быть представлена для какой-то конкретной цели. На практике OTL - это набор объявленных или определенных типов объектов, атрибутов, отношений и ограничений. OTL может использоваться в качестве структуры данных цифрового близнеца для управления фактическими данными активов, которые обрабатываются в приложениях, совместно используются в процессах управления активами и управляются владельцами активов. Эти данные имеют типы объектов как их тип и значения, а также ссылки для определенных свойств и отношений. Ограничения могут использоваться для проверки данных, то есть определения, соответствуют ли они OTL.

На рисунке 5 ниже показан основной вид структуры EUROTL или OTL

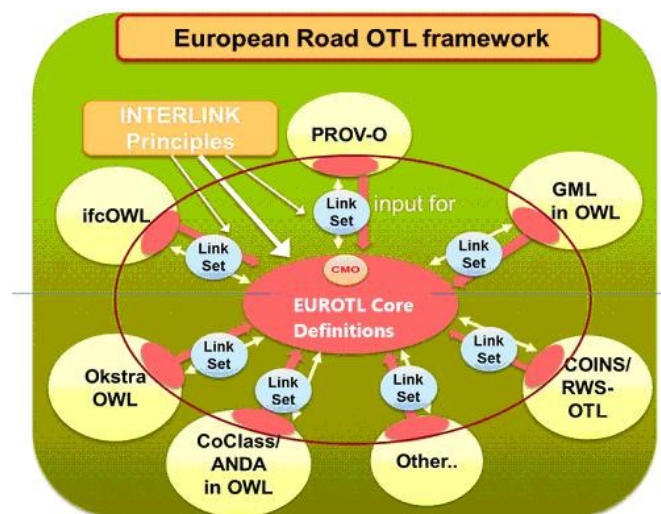


Рис. 5. Основной вид структуры EUROTL или OTL (источник - INTERLINK)

Каркас онтологии EUROTL или общеевропейская OTL по существу состоит из следующих частей:

Основные определения европейских дорожных OTL

Это онтология, которая служит концентратором, с которым могут быть связаны более специфичные доменные онтологии. Эта онтология охватывает многократно используемые определения, такие как происхождение, количества и единицы, временные и пространственные местоположения, транспортные сети, базовая поддержка жизненного цикла активов, а также основные типы активов и свойства, необходимые для совместного использования данных жизненного цикла активов.

Небольшой пример проясняет эти абстрактные понятия. Подрядчик заключил с NRA контракт на техническое обслуживание, основанный на характеристиках, для проверки определенных дорог, дорожных барьеров и систем освещения. Когда подрядчик выявляет проблемы (например, поломки дорожного покрытия), он уведомляет об этом NRA. Каждое уведомление моделируется в соответствии со структурой данных, совместно используемой подрядчиком и NRA, например OTL с «проблемой» в качестве основного типа объекта, имеющей несколько атрибутов, таких как тип проблемы, уровень серьезности и запланированная дата ремонта. Проблема также включает ссылку на затронутый объект, например, участок дороги в сети. Ограничением может быть то, что для каждой проблемы определена только одна ответственная сторона.

Таким образом, OTL - это библиотека со стандартизованными типами объектов, свойствами и отношениями. Объект описывается его данными типа объекта, данными геометрии и метаданными. Метаданные - это данные (или информация) о данных объектов, например, кто создал данные, когда и с какой целью. Используя OTL, активы описываются стандартным языком, синтаксисом и семантикой, которые необходимы для надежного обмена информацией.

В этом исследовании [5-16] доменом являются дороги, поэтому OTL будут содержать типы объектов, связанных с дорогой, такие как дорога, отрезок дороги, ось дороги, виадук, знак и портал. Дорожная OTL может использоваться для полного определения вида активов, связанных с дорогами.

Как объяснялось выше, следуя результатам INTERLINK, несколько NRA уже совершенствуют управление информацией об активах, каждое из которых имеет свою направленность и внедрено в свою национальную практику. Некоторые уже используют специализированные дорожные OTL, другие фокусируются на BIM и национальных системах классификации. Было отмечено, что многие спецификации OTL существуют как частичные решения на международном, европейском, национальном и корпоративном уровне, которые решают или пытаются решить часть проблем, упомянутых выше. Они могут рассматриваться как части головоломки данных, которые должны быть согласованы и выровнены,

прежде чем они смогут соответствовать общим требованиям. Например, стандарты BIM, такие как отраслевые базовые классы (IFC) и словарь данных BuildingSmart (bSDD) от buildingSmart International (bSI), и стандарты ГИС, такие как (City) GML, из открытого геопространственного консорциума (OGC, как правило, фокусируются на данных геометрии, что привело к необходимости разработки более значимых объектных OTL в нескольких странах, таких как COINS / CB-NL в Нидерландах, OKSTRA в Германии и CoClass в Швеции. Примерами специфичных для компании OTL [5-16] являются RWS-OTL для голландского NRA и ANDA для шведского NRA. Эти OTL, к сожалению, используют разные базовые системы, включая разные форматы моделирования, языки и стили моделирования, и, как правило, пересекаются в их предполагаемом значении (о состоянии этой проблемы мы расскажем в заключении).

Чтобы улучшить управление информацией об активах с экономической точки зрения, решение для NRA заключается в расширении и согласовании использования дорожных OTL на уровне компании, на национальном и европейском уровнях. Обязательным условием для NRA и отрасли является дальнейшее использование существующих открытых стандартов и систем классификации, характерных для конкретной компании или страны. Каждый из этих стандартов можно рассматривать как часть структуры OTL, описывающей структуру данных части домена. Когда такой стандарт является общедоступным, его можно считать «открытым стандартом».

В идеале, как считают INTERLINK, OTL компаний, национальные и международные образуют гармонизированную структуру OTL, позволяющую обмениваться передовым опытом и оптимизировать усилия по моделированию и внедрению. Те концепции, которые совместно используются несколькими OTL на определенном уровне, являются кандидатами для общего OTL на более высоком уровне. Например, когда несколько национальных OTL описывают геометрию в дорожных конструкциях, OTL с общей геометрией может быть размещен на международном уровне. Иногда такой общий OTL уже существует, например, в стандарте IFC с его геометрическим описанием 3D дорожных трасс. Поскольку IFC является открытым стандартом, широко поддерживаемым поставщиками программного обеспечения для проектирования дорог, NRA хотели бы использовать его как часть своей инфраструктуры OTL, а не разрабатывать собственный стандарт геометрических данных. Другое значение гармонизированной структуры OTL состоит в том, что один NRA хочет повторно использовать (часть) OTL другого, более продвинутого NRA. Этот подход обеспечивает максимальное повторное использование частей OTL, с которыми согласны NRA или которые уже хорошо зарекомендовали себя в секторе.

Как правило, NRA стремится к национальному

стандартизованному ОТЛ, предписывающему информацию об активах, с которой отрасль должна иметь дело, максимизируя повторное использование существующих и устоявшихся национальных и международных стандартов. Чтобы позволить членам CEDR и их партнерам по цепочке поставок поделиться передовым опытом и оптимизировать усилия по моделированию и внедрению, INTERLINK предлагает создать общую европейскую дорожную ОТЛ - Европейскую дорожную ОТЛ (EUROTL), которая содержит ту часть ОТЛ для дорожных активов, по которой NRA в Европе согласны. European Road OTL, с органом по стандартизации для управления им, можно оперативно использовать в управлении активами на дорогах, используя стандартизированные определения дорожных активов со стандартизованными спецификациями. Эти стандартизованные спецификации активов делают возможным «бережливое», эффективное и результативное сотрудничество, что приводит к улучшению результатов управления дорожными активами. Кроме того, Европейские дорожные ОТЛ могут функционировать в качестве образца для других стран, с которых они должны начать работу (что дает им преимущество), или для существующих национальных ОТЛ для согласования своих взглядов.

Первое преобладающее ожидаемое преимущество этого подхода - снижение операционных издержек на протяжении всего жизненного цикла информации об активах. Последующие преимущества будут получены в результате применения цифрового близнеца для оптимизации производительности активов, особенно технического обслуживания и эксплуатации. Третье преимущество заключается в том, что оно стимулирует европейский открытый строительный рынок.

Первая базовая версия INTERLINK European Road OTL направлена на выявленные потребности и проблемы управления информацией об активах NRA. Из обсуждения в предыдущих разделах уже можно сделать вывод, что для некоторой части реальности не существует только одного ОТЛ. Есть много целей, каждая из которых требует своего собственного взгляда на реальность, имея свой собственный ОТЛ. В INTERLINK часть реальности, представляющей интерес, - это дорожные сети, три основных аспекта которых наблюдаются при анализе потребностей:

- Жизненный цикл актива: планирование, проектирование, строительство и эксплуатация (включая реализацию, обслуживание, обновление и перепрофилирование);
- Цепочка поставок для актива: среда, сеть, объект, система / подсистема, компонент и материал; и
- Перспективы данных актива различными заинтересованными сторонами: социальные, деловые, функциональные, пространственные и физические аспекты.

Первые два измерения изображены на рисунке 6, который основан на хорошо зарекомендовавшей себя V-диаграмме управления активами.

Общая информационная потребность заключается в том, что данные активов NRA по этим параметрам должны быть (i) более точными: лучше структурированными, более полными, более точными, менее двусмысленными, актуальными, последовательными, единообразно представленными и (ii) лучше переданными и повторно используемыми, Это должно применяться на протяжении всего жизненного цикла актива и цепочки поставок. Лучшее общение здесь означает «делиться с другими посредством связывания», а не «обмениваться с другими путем преобразования», сохраняя данные близко к их исходному источнику и избегая громоздких и подверженных ошибкам преобразований данных.

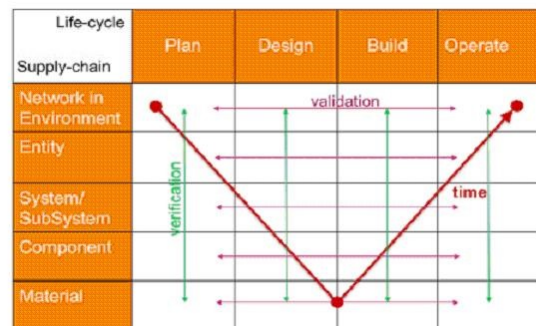


Рис. 6. Жизненный цикл и аспекты цепочки поставок управления активами (источник - INTERLINK)

Подход INTERLINK заключается в создании Европейской дорожной ОТЛ на технологиях связанных данных и семантической сети, предоставляемой W3C - консорциумом всемирной паутины. Этот выбор стал основным выводом предыдущего европейского исследовательского проекта V-Con и соответствует разработкам в области связанных данных в главном отраслевом органе стандартизации дорожного BIM - buildingSmart International или Bsi. Эти технологии W3C позволят CEDR и его членам NRA внедрить управляемую данными и открытую (независимую от поставщика) систему, которая применима ко всему жизненному циклу дорожных активов и учитывает различные существующие и будущие стандарты открытых данных. Таким образом, европейская дорожная ОТЛ будет способствовать гибриднему подходу, связывающему семантически богатые данные с более традиционной информацией на основе документов. В конечном итоге INTERLINK предполагает, что данные о дорожных активах будут оставаться в их источнике, передаваться через Интернет через систему гармонизированных ОТЛ с сильными сторонами на международном, национальном и корпоративном уровнях и опрашиваться с помощью гибких приложений программного обеспечения как услуги. Подход INTERLINK фокусируется на общности

национальных подходов и позволяет проводить национальную дифференциацию, когда это необходимо.

Объединение имеющихся ОТЛ в гармонизированную структуру требует набора принципов моделирования и реализации для повторного использования и соединения этих ОТЛ. В соответствии с европейским проектом V-Cop и рабочей группой по связанным данным bSI компания INTERLINK определила следующие типы руководств:

- Многие языки / форматы, стили и значения потенциально важны для работы с дорожными данными. Следовательно, INTERLINK предлагает так называемый гибридный подход, связанный с гибридными форматами («несколько языков»), гибридными стилями («несколько способов моделирования») и гибридными спецификациями («несколько видов»).

- Технология связанных данных / семантической сети W3C позволяет реализовать этот гибридный подход с использованием:

- о Структур описания ресурсов (RDF) в качестве базового языка или «модели данных» и словаря;
- о RDFS / OWL / SHACL как стандартных словарей для определения библиотек типов объектов; и
- о SPARQL как языка запросов для доступа к связанным данным.

- Рекомендации по стилям моделирования со связанными данными состоят в следующем:

- о Как моделировать атрибуты, перечисляемые типы данных, списки кодов, количества и единицы измерения; и

- о Определен простой и мощный стиль моделирования.

- Подробное руководство по техническому моделированию и внедрению, касающееся соглашения об именах, управление версиями и точные связанные форматы данных, которые будут использоваться (рисунок 8).

- Рекомендации по связыванию наборов данных и ОТЛ, делающие возможным обмен данными помимо традиционного преобразования данных, что приводит к нежелательным дубликатам данных с неясным владением (рисунок 7).

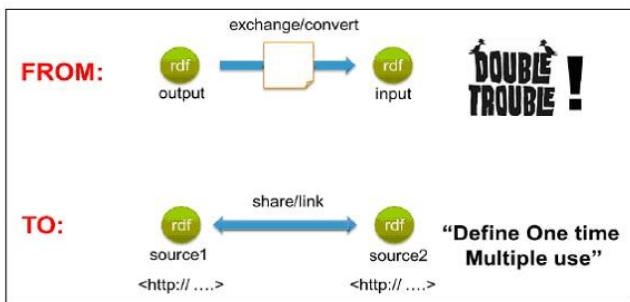


Рис. 7. На пути к обмену данными без дубликатов (источник - INTERLINK )

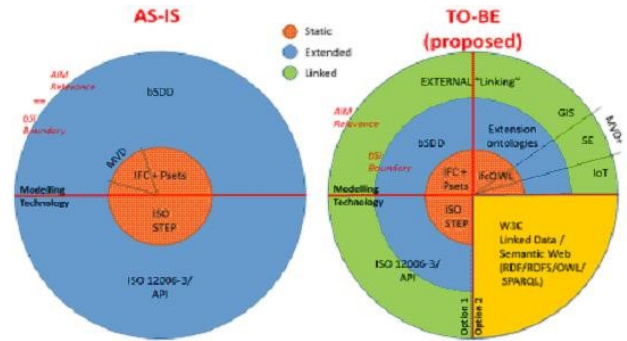


Рис. 8. Предлагаемое применение подхода Linked Data в bSI (источник - INTERLINK)

В дорожной карте по разработке и внедрению Европейской дорожной ОТЛ, предложенной INTERLINK, выделяются три периода:

- Краткосрочный: в течение срока действия проекта INTERLINK будет разработано подтверждение концепции подхода, начав использовать некоторые из выбранных ОТЛ в трех тестовых случаях. Исходя из опыта этих случаев, будет предложена базовая европейская дорожная ОТЛ в виде комбинации (частей) использованных ОТЛ (рисунок 5).

- Среднесрочный период: после реализации проекта NRA могут сами начать работу на национальном уровне с использованием подхода связанных данных и предложенных базовых Европейских дорожных ПЗБ, адаптируя его к своим собственным потребностям и обмениваясь опытом с другими NRA. Со временем, когда общие черты станут очевидными, они будут переведены на европейский путь ОТЛ. Европейская дорожная ОТЛ также является синонимом для стран, начинающих развивать национальную ОТЛ.

- Долгосрочные: NRA используют свое влияние в соответствующих органах по стандартизации (например, ISO, CEN, W3C, bSI) для продвижения подхода и, в частности, Европейской дорожной ОТЛ.

Проект INTERLINK предлагает, как мы полагаем, новый подход к стандартизации обмена и обмена информацией в дорожной отрасли и стремится доказать эту концепцию в тестовых примерах на основе реальных случаев использования. Применяя связанные данные, семантические веб-технологии дают NRA возможность направлять инициативы по стандартизации в направлении эволюционного, модульного и восходящего подхода. Большинство усилий по стандартизации сегодня основаны на нисходящем, монолитном подходе, при котором всеобъемлющая структура данных (так называемые исходные структуры данных) определяется и навязывается всему сектору. Подход INTERLINK позволяет NRA шаг за шагом создавать свои собственные национальные модульные ОТЛ, когда возможно повторное использование существующих международно определенных и внедренных ОТЛ. Эти повторно использованные ОТЛ могут быть частью

существующих инициатив по стандартизации или просто быть передовым опытом в секторе. Эти ОТЛ предпочтительно ориентированы только на ограниченный объем и определяются и тестируются другими NRA. Те части ОТЛ, которые используются повторно чаще, являются кандидатами на участие в ОТL European Road, и, таким образом, будут определены как предпочтительные ОТЛ. Для NRA эти предпочтительные ОТЛ будут тогда представлять интерес для внутреннего принятия и для включения в спецификации жизненного цикла и цепочки поставок, потому что обслуживание и внедрение ОТЛ делятся с другими NRA и с индустрией программного обеспечения. Это также снижает вероятность морального износа решений. Следовательно, это приведет к разработке программного обеспечения, ориентированного на спрос, которое отвечает потребностям NRA в управлении информацией об активах. Европейская платформа ОТЛ как динамическая «Семантическая экосистема» схематически показана на рисунке 9

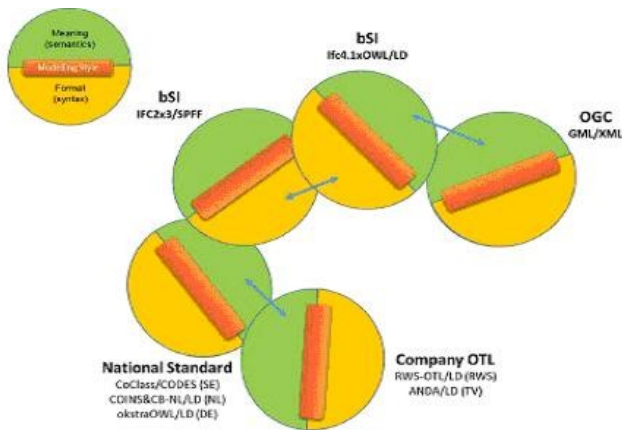


Рис. 9: Европейская платформа ОТЛ как динамическая «Семантическая экосистема» (источник - INTERLINK)

В заключение этого раздела авторы хотели бы сообщить что проект INTERLINK был награжден Bsi в 2018 году как лучший проект года (<https://www.buildingsmart.org/awards/bsi-awards-2018/>) и что все документы проекта INTERLINK доступны на его сайте <https://www.roadotl.eu/publications/>.

### III. AM4INFRA ПРОЕКТ ИНТЕГРАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ АКТИВАМИ ЕС ЧЕРЕЗ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ BIM В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ

Проект AM4INFRA, как и проект INTERLINK, развивался в сфере интересов CEDR, примерно в тот-же период времени, и также уже завершен. Эти два проекта имеют очень гармоничные результаты, которые стали практической основой развития технологий BIM на автодорогах Европы. Результаты AM4INFRA мы приводим в [19-28] и далее их используем.

История появления этого проекта изложена в этих документах следующим образом:

"С ростом населения изменения в технологии, транспортировке и путешествиях возникли в связи с необходимостью консолидации существующих транспортных режимов и создания новых транспортных моделей в Европе. Согласно исследованиям, проведенным Федерацией дорожного движения Европейского союза (ERF) в 2011 году, более 70% внутренних грузовых перевозок в Европейском союзе (ЕС) осуществляется для всего или части поездки по дорогам; с другими видами транспорта, вносящими почти 30% (железнодорожные перевозки более 17%, внутренние водные пути ~ 6%) (Федерация дорожного движения Европейского союза, 2011 год). Это подчеркивает необходимость улучшения и обеспечения аналогичного уровня обслуживания, проектирования, строительства и технического обслуживания на всех европейских дорожных сетях.

Общая протяженность дорожной сети в 28 европейских государствах в настоящее время составляет 5 миллионов км, из которых 66 700 км относятся к автомагистрали, есть более 215 000 км железнодорожных линий и 41 000 км судоходных внутренних водных путей. Из этого 136 706 км дорог, 138 072 км железнодорожных линий и 23 506 км судоходных внутренних водных путей являются частью сети TEN-T (Европейская комиссия, 2017 год)».

Основной целью TEN-T является преобразование существующего лоскутного покрытия европейских дорог, железных дорог, аэропортов и каналов в единую транспортную сеть. Мультимодальная схема сетевых транспортных коридоров TEN-T приведена на рисунке 10.

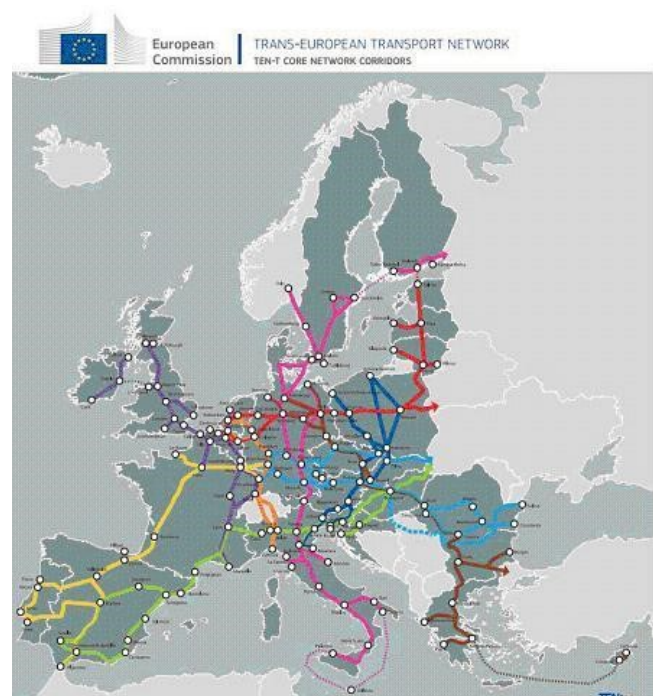


Рис. 10. Сетевые транспортные коридоры TEN-T (источник – ЕС)



Основываясь на текущих мероприятиях и концепции распространения инноваций снизу вверх, передовой практике и современном опыте четырех национальных агентств инфраструктуры, которые считаются лидерами в разработке и применении управления активами в управлении их сетями, AM4INFRA предоставляет первый в истории общий европейский подход к

управлению активами, который разработал согласованные подходы к кросс-активам, кросс-модальным и трансграничным решениям. Общая концепция, основные концептуальные элементы и целевые результаты проекта представлены на рисунке 11 ниже.

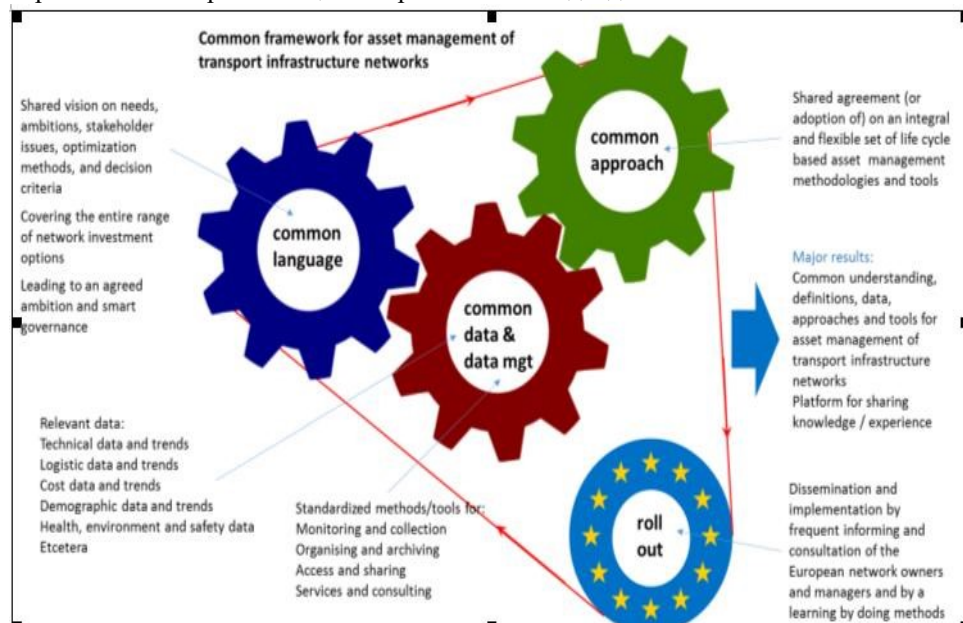


Рис. 11. Общая концепция, основные концептуальные элементы и целевые результаты проекта (источник - AM4INFRA)

Предусмотренная общая структура AM4INFRA включает в себя 3 основных элемента: общий язык, общие данные и управление данными, а общий подход представлен тремя отдельными зубчатыми колесами на рисунке 11. Эти три элемента зубчатых колес должны быть выровнены и установлены, чтобы обеспечить работу рамок и обеспечить возможность развертывания сетевых владельцев и помочь менеджерам в Европе.

**Общий язык.** Заинтересованным сторонам (владельцам, менеджерам и поставщикам услуг) будет предоставлен общий набор принципов, определений и ключевых показателей эффективности (например, по надежности, доступности, ремонтпригодности и безопасности), чтобы поддержать их в их усилиях по оптимизации их транспортных сетей. Общий язык позволяет им постоянно взаимодействовать, учиться и координировать и максимизировать эффективность и эффективность инвестиций и принятие соответствующих решений. Общий язык обеспечивает руководство для определения соответствия целям стратегической политики, соглашениям об уровне обслуживания сети и уровням эффективности активов.

**Общие данные и управление данными.** Заинтересованным сторонам (владельцам, менеджерам и поставщикам услуг) будут предоставлены осмысленные стандарты для кросс-европейского управления информацией (какие данные, как их

использовать и как перевести в требуемую информацию). Это позволяет им получить европейскую модель управления информацией, поддерживающую выполнение своих задач, совместимых между различными режимами и через границы.

**Общий подход.** Заинтересованным сторонам (владельцам, менеджерам и поставщикам услуг) будут предоставлены осмысленные критерии для количественной оценки затрат на производительность, риск и жизненный цикл на основе согласованного набора общих методологий для обеспечения баланса жизненного цикла, риска и стоимости на уровне сети и активов. Это, в свою очередь, позволит им управлять своими сложными сетевыми системами в соответствии с изменяющимися требованиями и требованиями.

Вместе эти три элемента образуют (гибкую) общую структуру, которая может быть реализована национальными органами инфраструктуры (NIA) в их выбранных действиях. В целях поддержки «Развертывания общих рамок» в организациях NIA будет развернуто распространение необходимой информации.

Общая цель проекта AM4INFRA заключается в создании жизненного цикла и основанного на риске подхода к управлению активами, позволяющего эффективно управлять сетями транспортной инфраструктуры по всей Европе. Рамочный подход будет поддерживаться инструментами управления данными (основанными на информации BIM), которые обеспечивают прозрачность и совместимость действий по оптимизации и совместной работе властей

инфраструктуры в рамках режимов, в режимах и по всей Европе.

Инновации AM4INFRA состоят в том чтобы:

Предоставлять национальным учреждениям инфраструктуры (NIA) понимание того, как методы управления активами будут поддерживать разработку стратегии сетевого управления, принятие процессов принятия решений, эксплуатационные требования и то, как знания активов могут быть устранены;

Предоставлять NIA общие практические рамки для жизненного цикла и подхода к управлению активами на основе риска, способного управлять на самом высоком уровне агрегации (кросс-модальных) сетевых соображений;

Позволить NIA получать значимые данные и делиться знаниями и передовыми методами для достижения «обучения путем» и постоянного совершенствования операций

Соединить NIA разных видов транспорта с точки зрения систем AM, методологий, практик, чтобы облегчить комплексное Мультимодальное управление потребностями и ожиданиями мобильности (в этом проекте активно участвовала компания Prorail, отвечающая за железнодорожную сеть в Нидерландах);

Предоставлять NIA средства для тиражирования и более широкого внедрения разработанных решений, что имеет решающее значение для создания эффекта, выходящего за рамки этого проекта.

Общая структура проложит путь к интегрированной повестке дня, которая позволит обеспечить бесперебойное функционирование европейских транспортных сетей, обеспечивая отличную ценность для заинтересованных сторон и клиентов.

Проект AM4INFRA направлен на определение структурных блоков, которые должны быть созданы, как часть более крупной системы управления активами. Признавая изменчивость в зрелости и существующих подходах в Европе, а также необходимость обеспечить определенную гибкость, этот подход не предусматривает или не рекомендует подробные процессы, которые следует соблюдать.

В проекте AM4INFRA описано шесть строительных блоков:

□ Надлежащее управление и процессы. Они могут включать в себя структуру для принятия стратегических решений и правильной работы, когда эти решения будут переведены на региональные или маршрутные программы и проекты. Следует также определить управление, включая ответственность и подотчетность.

□ Согласованные уровни обслуживания для активов и уровней вмешательства. Это основа управления активами, а способность связывать состояние активов с решениями по техническому обслуживанию является ключом к управлению рисками.

□ Подробные знания об активах. Эти знания могут включать инвентаризацию, данные о строительстве,

данные о состоянии и производительности, риски и проблемы безопасности, связанные с активами, данные обслуживания, финансовые данные и эксплуатационные данные, как описано в проекте «Словарь данных по активам» [25].

□ Детерминированные и основанные на рисках вероятностные инструменты. Краткосрочные (от 0 до 5 лет) программы обычно детерминированы, основываясь на знаниях и доказательствах; среднесрочные программы (от 5 до 10 лет) должны также включать вероятностные модели с использованием ожидаемой продолжительности жизни, а также основанные на доказательствах детерминированные решения; долгосрочные программы, вероятно, будут основываться исключительно на вероятностных моделях.

□ Расчет стоимости всего жизненного цикла актива. Обеспечение всех потенциальных затрат на протяжении всего жизненного цикла актива считается средством принятия решений о первоначальных инвестициях, будь то для определения приоритетности или выбора решения.

□ Обновление и техническое обслуживание на основе маршрутов. Чтобы обеспечить плавный поток в сети TEN-T, техническое обслуживание и обновление могут быть выполнены для целых маршрутов или коридоров. Это потребует трансграничной коммуникации и сотрудничества.

Строительные блоки подчеркивают суть сложившейся передовой практики для управления рисками в рамках управления активами. Следует надеяться, что простой набросок будет стимулировать базовый уровень инвестиций и согласованности в сети TEN-T с целью согласования управления активами на разных видах транспорта в Европе.

Основой проекта AM4INFRA являются связанные данные в онтологических форматах. Данные, поступающие из нескольких корпоративных систем, связанных с управлением активами, должны быть интегрированы, объединены и уточнены чтобы предоставлять согласованную информацию для процессов принятия решений.

В рабочем пакете 3 проекта AM4INFRA «Управление информацией и данными» в [25] («Разработка словаря данных об активах») представлен первый блок для построения общего подхода к управлению данными об активах среди NIA. В [26] (BBP Business Blue Print) относящегося к базовой системе управления информацией об активах (AIMCS), она была определена в качестве второго столпа развития общего подхода к управлению информацией об активах.

BBP - это подробный документ о масштабах, спецификациях и полноте ИТ-решения (подробности, компоненты, процессы, пользователи, функции, программы, улучшения и т. д.), чтобы получить желаемые результаты и выгоды.

В рамках BBP были определены следующие цели для базовой системы управления информацией об активах

(AIMCS):

- интегрировать в одном репозитории основные данные, относящиеся к активам каждого NIA;
- улучшить управление данными об активах и контролировать процесс публикации информации об активах;
- стандартизировать распространение информации об активах среди заинтересованных сторон или между национальными организациями;

AIMCS имеет следующие входы / выходы:

- Входные данные для AIMCS: источниками данных являются базы данных ИТ-систем NIA (Система обслуживания, Система инвентаризации активов, Финансовая Система и т. д.), где данные об активах обычно разбросаны;
- Результаты AIMCS: информация (например, KPI, отчеты и т. д.), Полученные из загруженных данных, опубликованных заинтересованными сторонами;

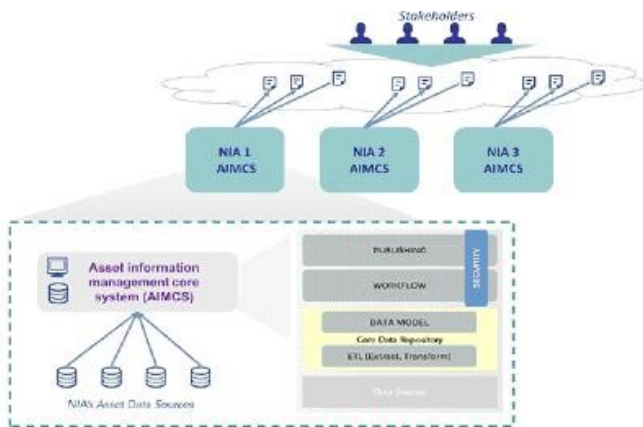


Рис. 12. Организационная схема AIMCS (источник - AM4INFRA)

Основные функции AIMCS сводятся к следующему:

- извлекать данные об активах, присутствующие в нескольких ИТ-системах (источники данных);
- объединять и преобразовывать их в соответствии со стандартной моделью данных (полученной из схемы ADD) и делать их соответствующими правилам публикации;
- сделать из надежными чтобы обеспечить достоверность, целостность и уникальность данных;
- управлять процессами проверки и утверждения через веб-интерфейс;
- публиковать информацию, которая может быть передана различным заинтересованным сторонам;
- хранить в хранилище все прошедшие одобренные и опубликованные данные;
- разрешить профилирование и доступ к внешнему приложению.

Идентификация компонентов архитектуры AIMCS была определена с учетом следующих драйверов:

- Централизация, интеграция и стандартизация

данных, поступающих из разнородных источников;

- Управление метаданными процессов сбора, трансформации и загрузки;
- Разделение между процессами приобретения и публикации, позволяющее использовать разные технологии источников системы / целевые публикационные системы.

Организационная схема AIMCS приведена на рисунке 12, а архитектурная схема AIMCS приведена на рисунке 13.

Для реализации AIMCS каждый NIA может определить свой путь развития в соответствии с собственным уровнем зрелости ИТ-технологий.

Однако при разработке AIMCS были учтены возможные различия между NIA; по этой причине при разработке AIMCS можно использовать модульный подход, начиная с основного блока компонентов / функций, а затем осуществлять добавление модулей с «гибким» подходом.

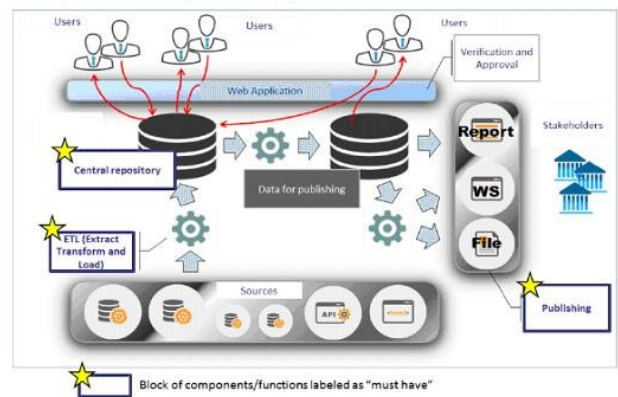


Рис. 13. Архитектурная схема AIMCS (источник - AM4INFRA)

Основным блоком компонентов / функций, помеченных как «должен иметь», являются следующие:

- Центральный репозиторий: это основа AIMCS и отправная точка для построения системы;
- ETL (Извлечение, преобразование и загрузка): чтобы иметь возможность получать данные из исходных систем (или из файла) и создавать выходы;
- Публикация: способность предоставлять как минимум файлы, содержащие информацию для заинтересованных сторон.

Карту Онтологии AIMCS мы приводим на рисунке 14.

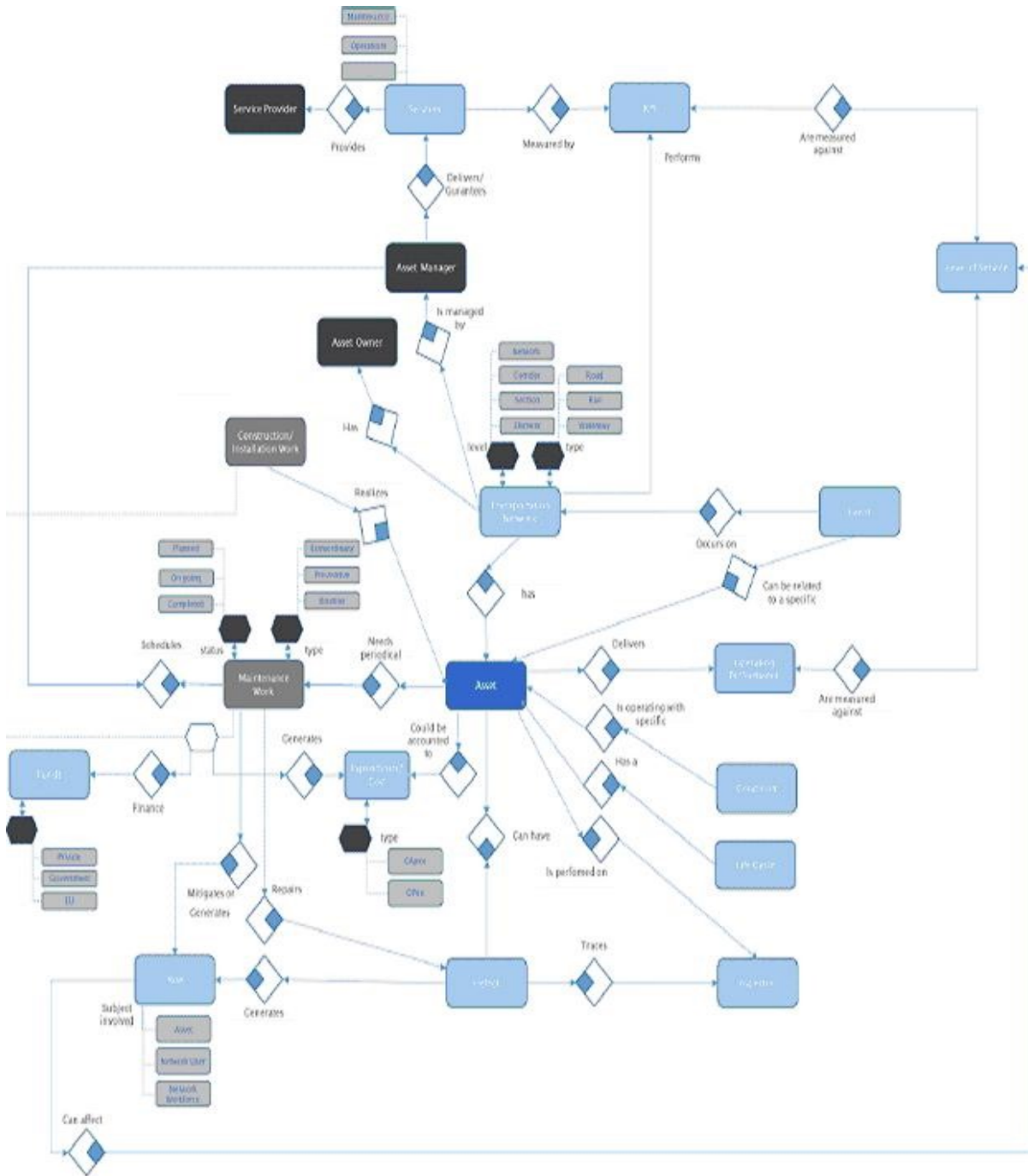


Рис. 14. Карта Онтологии AIMCS (источник - AM4INFRA)

Еще одним блоком построения системы в проекте названа общая среда данных. Общая среда данных (CDE) должна строиться в соответствии со стандартом PAS 1192 или с ISO 19650 стандартом и она позволяет иметь уникальный источник информации для любого данного объекта, используемый для сбора, управления и распространения всех соответствующих утвержденных файлов, документов и данных для multidisciplinary groups в управляемом процесс.

Модель данных основных активов представляет собой первый шаг для создания CDE, разделяемого между заинтересованными сторонами активов; были идентифицированы следующие базовые элементы для управления активами, составляющими транспортную

сеть (например, автомобильная, железная дорога и т. д.), через их жизненный цикл (например, планирование, проектирование, строительство, техническое обслуживание, утилизация):

- определения местоположения и категории
- описание актива в транспортной сети (например, даты поставки, данные ввода в эксплуатацию и т. д.),
- данные, непосредственно связанные с темами риска и безопасности, связанными с инфраструктурными активами (например, оценки рисков, дефекты, проверки и т. д.): активов, происходящих на активах, временные ограничения, несчастные случаи и т. д.

Вышеуказанные категории зависят друг от друга, поскольку данные могут считаться существующими в более чем одной категории данных (например, дефект может рассматриваться как иллюстрация состояния активов или может указывать на аспект эффективности

актива и при исправлении, могут быть данными технического обслуживания).

Эффективное и действенное управление активами со стороны владельцев и операторов инфраструктуры должно основываться на надежном, действительном и полном наборе данных и информации об активах. К основным задачам, требующимся для данных об активах, относятся, например, описание актива и его характеристик, обеспечение основы для принятия обоснованных решений, облегчение связи с заинтересованными сторонами и т. д.

Поэтому основной задачей является обеспечение эффективного управления данными об активах путем создания Общей среды данных (CDE), которая, также в соответствии со стандартом PAS 1192 или с ISO 19650 стандартом, позволяет иметь для любого конкретного актива уникальный источник информации для распространения всей соответствующей информации об активах среди нескольких заинтересованных сторон. в управляемом процессе.

Для поддержки улучшения управления данными об активах среди заинтересованных сторон транспортной сети (владельцев, менеджеров и операторов) Рабочий пакет 3 AM4INFRA «Управление данными и информацией» определил структуру словаря данных об активах в качестве первого столпа общего подхода к данным об активах. Словарь данных активов (ADD) определяет, какая информация является релевантной, а также определяет набор связанных атрибутов, которые могут составлять общий словарь данных для управления данными активов.

Методологический подход заключался в проекте в том, чтобы начать с предварительного анализа управления данными об активах с целью сбора соответствующих результатов и наилучшей практики; для этой цели было организовано специальное обследование и распространено среди партнеров AM4INFRA. Затем на основе результатов, полученных в результате оценки, был разработан и составлен ряд документов AM4INFRA .В отношении уровня глубины для AM4INFRA был достигнут баланс между информационными потребностями заинтересованных сторон и фактическими данными активов, управляемыми ИТ-системами NIA. ADD, разработанный WP3, имеет следующую иерархическую структуру:

□ Группа данных («Домен»): логическая группа данных, связанных с конкретной областью / знаниями управления активами (например, процесс технического обслуживания, дорожная инфраструктура и т. д.)

□ Набор данных: набор данных соответствует содержанию одной таблицы, где каждая строка соответствует данному элементу данных рассматриваемого набора данных;

□ Элемент данных: базовый элемент с собственным описанием, соответствующий низшему объекту словаря активов;

Что касается функций ДОБАВИТЬ содержание, они могут быть обобщены следующим образом:

□ Две основные группы данных (ссылки на местоположение в сети, инвентаризация активов) для определения как топологической модели сети, так и реестра активов; в реестре активов типы активов следует характеризовать в соответствии с типом сети (например, автомобильный, железнодорожный или водный путь);

□ Шесть групп данных, информация о которых может быть общей для транспортных активов (Строительство, Состояние и Производительность, Риск и Безопасность, Техническое обслуживание, Финансы и Бухгалтерия, Операционные);

Схема основных данных показана на рисунке 15.

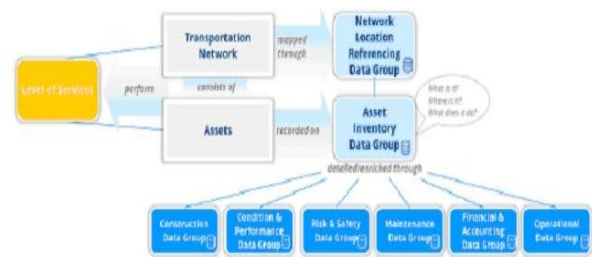


Рис. 15. Схема основных данных

Вся информация о результатах проекта AM4INFRA интеграции управления транспортными активами ЕС через внедрение технологий BIM в жизненном цикле доступна на двух сайтах <https://cordis.europa.eu/project/id/713793/results> и <https://am4infra.eu/>.

#### IV ПРОЕКТ INFRAMIX - ПОДГОТОВКА ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ СМЕШАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Проблемы внедрения автономных (беспилотных) автомобилей встают перед всеми странами. Дело даже не в том что прогресс неумолим, а в необычайных и разнообразных преимуществах, которые они приносят, особенно с переходом на электрические двигатели [30-35]. При этом меняются не только автомобили, но и инфраструктура, обеспечивающая их движение [30]. Инвентаризацией состояния дорожных структур и цифровых технологий для автономных (беспилотных) автомобилей занимается новый проект CEDR – DIRIZON [29].

Его работу во многом подготовил проект ЕС INFRAMIX - это трехлетний исследовательский проект, который начался в 2017 году и направлен на подготовку дорожной инфраструктуры для поддержки смешанных

транспортных потоков с использованием новых методов и инструментов [29]. С этой целью предлагается гибридная дорожная инфраструктура, чтобы облегчить переход от текущих условий движения, когда в дорожной инфраструктуре существуют только обычные и неподключенные транспортные средства, к развертыванию полностью подключенных и автоматизированных транспортных средств.

В рамках этого проекта будут рассмотрены три варианта использования: динамическое назначение полосы движения для автоматизированного вождения, дорожных работ, строительных площадок и узких мест. Ожидается, что смешанные условия движения вызовут ухудшение трафика в существующих потоках. Таким образом, проект INFRAMIX предлагает выделить выделенную полосу движения для автоматизированных транспортных средств, чтобы избежать потенциально опасных ситуаций с обычными транспортными средствами. Основная неопределенность, выявленная в рамках проекта, заключается в том, как поддерживать или улучшать условия движения и избегать проблем с безопасностью из-за присутствия автоматических транспортных средств. В рамках этого сценария следует учитывать ряд параметров, таких как скорость проникновения автоматических транспортных средств, пиковые условия движения, ограничения скорости на полосу движения и погодные условия. Все пилотные испытания будут проводиться на специализированных национальных автомагистралях. Потенциальными преимуществами являются оценка предлагаемого сценария, то есть выделение полосы движения для автоматизированного транспортного средства и дальнейшее исследование эффективности и безопасности движения [29].

Целью сценария дорожных работ и строительства является эффективная координация смешанных транспортных потоков на автомагистралях во время дорожных работ и это новое направление развития ВІМ в дорожных инфраструктурах. Это может быть реализовано путем предоставления ряда услуг по поддержке инфраструктуры для дорожных транспортных средств. Например, информация в реальном времени о временных желтых полосах движения, закрытии полос движения, идентификации препятствий на дорожных работах. Результатом этого теста является оценка влияния на безопасность и транспортный поток на основе связи V2X во время дорожных работ.

Несмотря на то, что в первом сценарии предлагается выделенная полоса движения для автоматизированных транспортных средств, при определенных обстоятельствах нельзя избежать условий смешанного движения на одной полосе. Таким образом, в рамках этого сценария будут рассмотрены различные контрольные тесты, такие как объединение на линии, закрытие полосы движения, объединение туннелей и

мостов. Деградация трафика будет измерена и оценена, и будут сделаны рекомендации.

В рамках проекта INFRAMIX были запланированы два пилотных испытания, одно в Испании и одно в Австрии. Австрийские испытания пройдут на автомагистрали А2, соединяющей Ласничхёэ и город Грац, и будут эксплуатироваться ASFINAG. Испанский тест будет проводиться в Средиземноморском коридоре между Барселоной и французской границей и будет проводиться Autopistas.

Проект INFRAMIX позволяет консорциуму DIRIZON исследовать современные тенденции в области автоматизированного вождения, а также освещать предстоящие критические проблемы в результате смешанных условий движения. Смешанные условия движения также являются основным барьером, как было указано в интервью. Следовательно, консорциум DIRIZON включил рассмотрение смешанных потоков трафика в сценарии использования для облегчения его развертывания.

INFRAMIX в ЕС имеет название « Дорожная инфраструктура готова к смешанным транспортным потокам (имитация и тестирование гибридного к AV состоянию автодорог и смешанному трафику автомобилей). Уже выполненные работы проекта [36 - 49] можно скачать с сайтов <https://www.inframix.eu/#> и <https://cordis.europa.eu/project/id/723016>. Проект завершается в мае 2020 года, но основная часть работ [36-40] уже выполнена.

Проект INFRAMIX, полностью согласованный с рабочей программой ЕС и CEDR внедрения автономных (беспилотных) автомобилей, готовит дорожную инфраструктуру для поддержки переходного периода и сосуществования обычных и автоматизированных транспортных средств. Его основная цель - проектировать, модернизировать, адаптировать и тестировать как физические, так и цифровые элементы дорожной инфраструктуры, обеспечивая бесперебойное, предсказуемое, безопасное и эффективное движение.

Для достижения этой цели высокого уровня INFRAMIX работает над различными технологиями. Он начинается с использования зрелых инструментов моделирования, адаптированных к особенностям автоматических транспортных средств, и разрабатывает новые методы моделирования транспортных потоков, чтобы изучить влияние уровня транспортных средств на различные уровни в разных уровнях проникновения. Он также реализует соответствующие алгоритмы оценки и управления трафиком, динамически адаптированные к текущей ситуации. Затем идет речь о том, чтобы предлагать минимальные, целевые и доступные варианты адаптации элементов дорожной инфраструктуры, как физической, так и цифровой, или их комбинации. Эта работа включает в себя способы

информирования всех типов транспортных средств о командах управления, выдаваемых дорожным оператором, и предложение нового типа визуальных и электронных сигналов для нужд смешанных сценариев.

Результаты будут оцениваться с помощью моделирования и на реальных участках передовых магистралей. Ключевыми аспектами, рассмотренными на протяжении всего проекта, будет обеспечение того, чтобы предлагаемые адаптации не ставили под угрозу безопасность, качество обслуживания, эффективность и были оценены пользователями.

Для достижения своих целей INFRAMIX выбирает восходящий подход. Вместо того, чтобы работать в общих решениях с сомнительным воздействием, он основывается на трех конкретных (с точки зрения важности для эффективности и безопасности дорожного движения) сценариях дорожного движения, а именно: «динамическое назначение полосы движения», «зоны дорожных работ» и «узкие места». Несмотря на то, что INFRAMIX ориентирован в основном на автомагистрали (которые, как ожидается, будут первоначальными узлами такого смешанного движения), его ключевые результаты можно легко перенести на городские дороги.

INFRAMIX готовит дорожную инфраструктуру для поддержки переходного периода и сосуществования обычных и автоматизированных транспортных средств. Основной целью INFRAMIX является проектирование, обновление, адаптация и тестирование (в симуляции и в реальном мире) как физических, так и цифровых элементов дорожной инфраструктуры, чтобы обеспечить совместное использование автоматических и обычных транспортных средств в конкретных сценариях, обеспечивая бесперебойный, предсказуемый, безопасный и эффективный трафик; ключевым результатом будет «гибридная» дорожная инфраструктура, способная обрабатывать переходный период и стать основой для будущих автоматизированных транспортных систем.

Для достижения этой цели INFRAMIX использует новые передовые модели микроскопического трафика, передовые методы моделирования, инновационные стратегии управления, а также соответствующие новые и адаптированные существующие физические и цифровые элементы инфраструктуры. Все это будет перекрестно проверено на фоне повышения оценки и безопасности пользователей, что, среди прочего, приведет к новой схеме классификации инфраструктуры.

В рамках внедрения INFRAMIX и тестирования конкретных минимально доступных адаптаций на гибридной инфраструктуре (физической и цифровой) реальных автомагистралей, управляемых партнерами-консорциумами, а именно ASFiNAG и Autopistas, которые являются одними из наиболее технологически продвинутых и современных автомобильных инфраструктур в Европе и за ее пределами. Среди мероприятий, которые предстоит исследовать, будут

новые элементы сигнализации и визуализации для принятия мер и стратегий контроля движения, «читаемых» как автоматическими, так и обычными транспортными средствами. Кроме того, будут достигнуты успехи в отношении электронного горизонта для автоматизированных транспортных средств путем интеграции динамической информации с инфраструктурой, например, транспортный поток. Другие элементы, которые будут исследованы, включают физические и цифровые элементы сегрегации, новые стандарты для автоматической регистрации транспортных средств, стандартизированные сообщения V2I и т. д.

Основная цель INFRAMIX - подготовить дорожную инфраструктуру с конкретными доступными адаптациями для поддержки ее новыми моделями и инструментами, для обеспечения поэтапного внедрения автоматизированных транспортных средств. Для этого в рамках проекта осуществляется:

Разработка новых и модернизация существующих элементов физической и цифровой дорожной инфраструктуры

Создание элементов для новой цифровой дорожной инфраструктуры, включая информацию, полученную автоматическими транспортными средствами; в свою очередь, эта цифровая инфраструктура станет основой для усовершенствованного электронного горизонта для автоматизированных транспортных средств.

Адаптация и обновление элементов существующей физической инфраструктуры, чтобы обеспечить поэтапную установку автоматических транспортных средств. Последнее в наибольшей степени относится к теме BIM, которую мы рассматриваем.

INFRAMIX объединяет исследовательскую и инновационную деятельность в различных областях транспорта, таких как автоматизированное вождение, моделирование транспортных потоков, связь и дорожное проектирование. Способ проектирования и визуализации физической инфраструктуры сегодня основан на возможностях обычных транспортных средств и когнитивных способностях водителей-людей. INFRAMIX предложит адаптацию существующей дорожной инфраструктуры, резюмируя:

- Современные центры управления движением (TMC), включая все существующее и новое оборудование ITS, подключенное в режиме реального времени;
- Знаки переменных сообщений (VMS), подключенные к информационным системам, которые автоматически обрабатывают собранные данные и генерируют сообщения о дорожном движении или запускают меры по управлению движением, такие как ограничения скорости, предупреждения о дорожных работах и другую информацию о событиях.

Необходимое базовое оборудование для сбора

соответствующих данных о движении ТМС, на основе которых современный ТМС может идентифицировать инциденты, применять стратегии управления или осуществлять связь между инфраструктурой и транспортными средствами, можно суммировать:

- Видеокамеры, которые позволяют операторам получать HD-представление о реальной ситуации на дорогах.
- Сенсорные технологии, установленные на портале для сбора анонимных данных об одном автомобиле
- Группа реагирования на чрезвычайные ситуации (ECB)
- устройства Bluetooth, измеряющие время в пути
- Геолокационные транспортные средства для предоставления данных об автомобилях с нарушениями движения (FCD).

Средства для обеспечения связи V2X представляют :

- Волоконно-оптическая кольцевая сеть
- Придорожные блоки ITS-G5 для связи между транспортным средством и инфраструктурой (V2X)
- Сотовые устройства сотовой связи / антенны мобильной сети для связи между транспортным средством и инфраструктурой (V2X)

Чтобы удовлетворить все требования проекта INFRAMIX, на испытательном треке была установлена высокая плотность нового сенсорного оборудования для обнаружения свойства трафика, что позволяет предоставлять данные о трафике, в том числе:

- объем трафика на полосу
- скорость на полосу движения,
- обнаружение типов транспортных средств
- выявление временных разрывов
- обнаружение траекторий автомобиля (скорость, направление скорости)

Особенностью сенсорной инфраструктуры является разработка алгоритма слияния данных датчиков, который можно использовать для обнаружения траекторий транспортных средств в реальном движении или увеличения электронного горизонта транспортных средств и для использования в качестве своего рода виртуального датчика для транспортных средств на борту. Основываясь на комбинации подключенных данных от транспортных средств (I2V) и данных датчика инфраструктуры с различными этапами расширения датчика, инфраструктура способна получить представление динамической информации, чтобы сгенерировать общую картину потока трафика в качестве основы для рекомендации по скорости и полосе движения, а также информация о коллективном восприятии.

ASFINAG в течение многих лет прокладывает путь интеграции нескольких технологий на основе датчиков в

свою инфраструктуру на австрийских автомагистралях и предлагает актуальную информацию о дорожном движении для транспортных средств по нескольким каналам, будь то на VMS на портале, через информацию о дорожном движении по радио (с предоставленной информацией). от ASFINAG), в приложении для мобильных телефонов ASFINAG "Unterwegs" или по радио СВ. Это привело к значительному снижению количества инцидентов за последние годы.

Примером современного центра управления трафиком может служить недавняя программа ASFINAG VMIS 2.0. Включены несколько уровней управления трафиком:

- Сигнализация и управление движением на дороге;
- каналы информации о движении к клиенту / водителю; а также
- Связь между инфраструктурой и транспортным средством.

В недалеком прошлом все сенсорные устройства и устройства управления движением в сети автомагистралей ASFINAG были подключены к платформе. Это основа тщательной оцифровки управления трафиком.

Операторы в 9 региональных центрах управления дорожным движением в Австрии используют кабину управления в качестве нового инструмента для контроля и управления движением во всех регионах, включая экстренные вызовы и видео. Например, все туннели в сетях ASFINAG охвачены видеонаблюдением. В случае экстренного вызова из одной из этих областей соответствующий видеозащитный экран автоматически отображается в кабине оператора, чтобы обеспечить идеальное время реакции. В случае дорожных преград или заторов, альтернативные маршруты, включая второстепенные дороги (которые не являются частью сети ASFINAG), определяются и сообщаются вместе с местными властями, в VMS и через информацию о дорожном движении по радио. В случае инцидента высококачественные меры, которые координируют и информируют все аварийные целевые группы, являются ключом к увеличению доступности сети автомагистралей.

Современные рыночные тенденции в управлении трафиком, в значительной степени сосредоточенные на предоставлении возможностей мобильности, либо путем создания мобильных приложений для операторов на дороге, чтобы иметь возможность регистрировать инциденты, планировать работы и техобслуживания, либо через доступ к бэк-офису приложений управления трафиком либо на планшете, либо на мобильном телефоне. В частности, все больше и больше внедряется управленческий доступ к отчетности и последующим KPI.

В связи с темой «Умные данные» в настоящее время еще более важно иметь возможность интегрировать информацию из внешних источников информации,



таких как информация об автомобиле V2X, данные датчиков инфраструктуры, прогноз погоды, плавающие данные, а также встроенная интеграция с информацией, предоставляемой непосредственно пользователями. Огромное управление данными, необходимое для эффективного контроля операций, ресурсов и деятельности требует механизмов, которые позволяют компаниям извлекать выгоду из всего этого огромного количества данных и получать соответствующую информацию для операторов и пользователей. Это включает, например, интеллектуальную обработку в реальном времени для поддержки принятия решений, а также приложения, которые в большинстве предложений поставщика могут быть приобретены в облачном, локальном или в режимах Edge Computing.

Анализ и интеграция информации происходили из разных источников, чтобы предложить оператору точный взгляд на состояние сети. Это включает в себя выявление существующих проблем и соответствующие меры для их решения или смягчения, а также возможность визуализации различных будущих сценариев, которые могут возникнуть в результате принятых мер. В дополнение к расширенным возможностям управления движением, предлагаемым машинным обучением, есть и другие функции безопасности, которые стали возможными благодаря этому типу интеллекта, такие как системы обнаружения усталости, где схема движения путешественника сопоставляется с существующими данными для идентификации признаков усталости. Анализ сценариев трафика на основе Sensorfusion является одним из возможных вариантов в качестве отправной точки для алгоритма глубокого обучения и методов прогнозного предотвращения инцидентов.

Совместные интеллектуальные транспортные системы (C-ITS) заключаются в обмене информацией между транспортными средствами (V2V), между транспортными средствами (V2I), между транспортными средствами (V2I) и между инфраструктурой (I2I) с возможностью взаимодействия мультимодальная и трансграничная интеграция. Стандарты для этих технологий в настоящее время определяются в Европейском союзе, и цель состоит в том, чтобы иметь несколько коммуникационных платформ для оптимизации трафика, будь то связь V2X, датчики Интернета вещей (IoT) в инфраструктуре или информация, полученная с мобильных устройств водителя.

Подключенные системы вождения являются ключом к безопасному внедрению автономных транспортных средств в ежедневное движение по дороге. Предполагается, что автоматизированные транспортные средства третьего уровня («отведенные глаза») будут интегрированы в краткосрочной перспективе, что означает, что обмен информацией между транспортными средствами, пользователями и инфраструктурой необходим для обеспечения

безопасности этих новых сред и взаимодействия автономных транспортных средств. Системы ITS должны будут развиваться, чтобы интегрировать информацию, полученную с этих автомобилей, как это было бы сделано с помощью датчика.

Автоматизированный мониторинг трафика включает в себя использование камер для мониторинга объемов трафика, обычно с возможностью воздействия на информацию (например, перенаправление трафика или адаптация светофорных знаков для улучшения потока трафика). На рынке уже существует несколько функциональных возможностей, ведущих к такому типу будущих возможностей. Это также включает в себя использование данных смартфона через анализ сигналов Bluetooth или FCD, сбор информации для автоматического создания и осуществления действий через систему, в которой реализован набор правил.

В настоящее время стратегии управления движением можно применять на открытых дорогах и в туннелях, установив на портале переменные знаки сообщений. Горячие точки Neuralgic оснащены плотной сетью VMS, чтобы предоставлять изменяющиеся ограничения скорости, предупреждения и информацию о погоде всем пользователям.

В настоящее время существует неопределенность в распознавании визуальных знаков как от водителя-человека, так и от современного автомобиля, способного распознавать знаки. INFRAMIX предложит адаптацию существующей дорожной инфраструктуры. Поскольку надежность распознавания визуальных знаков не гарантируется, новые / интеллектуальные знаки будут установлены и могут быть испытаны на испытательном полигоне. Эти интеллектуальные знаки могут быть проверены в рамках сценария динамического назначения полосы движения (предоставление информации о выделении полосы движения автоматизированным транспортным средствам) и в сценарии дорожных работ (предоставление информации о безопасности, касающейся текущих ограничений скорости и схемы дорожных работ).



Рис. 16. Физическая инфраструктура INFRAMIX на австрийской трассе, используемая для тестов INFRAMIX (источник – INFRAMIX)

Видеокамеры HD, датчики сбора данных о дорожном движении, наземные радиолокационные датчики и

метеостанции, показанные на рисунке 65, используются для автоматической генерации информации о скорости, местоположении, типе и движении отдельных транспортных средств и на отдельных полосах движения.

Данные анонимны для каждого проекта, и никакие персонализированные данные, такие как номерные знаки, не объединяются и не обнаруживаются вместе с данными, связанными с трафиком. Подобные, но не локализованные данные могут быть предоставлены через функцию широкоэвещательной передачи сообщений транспортного средства в ITS-G5 и для данных плавающего автомобиля, предоставляемых через подключенную облачную службу поставщику инфраструктуры. Усовершенствование в INFRAMIX охватывает специфичные для полосы движения данные, дифференциация на 8 различных типов транспортных средств и наблюдений за движением транспорта. Могут быть сгенерированы дополнительные новые сообщения C-ITS, чтобы поддержать автоматизированные транспортные средства в принятии ими решений на борту и более эффективном поведении в общем потоке трафика.

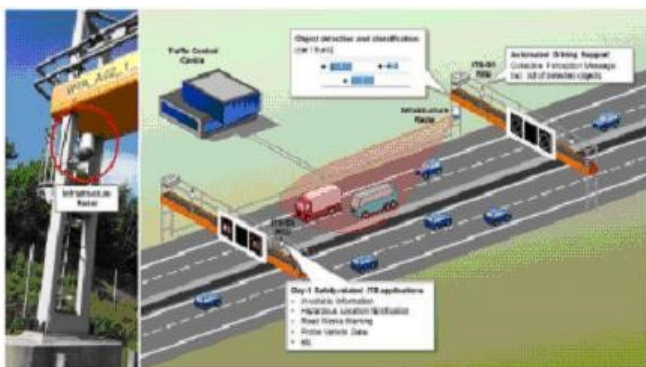


Рис. 17. Иллюстрация структуры физической инфраструктуры (источник – INFRAMIX)

Кроме проекта INFRAMIX аналогичной тематикой заняты еще несколько проектов в ЕС, такие как например CoEXist - транспортные модели «AV-Ready» и дорожная инфраструктура для сосуществования автоматических и обычных транспортных средств (<https://cordis.europa.eu/project/id/723201> и <https://www.h2020-coexist.eu/resources/>) и PANOPTIS - разработка системы поддержки принятия решений для повышения устойчивости транспортной инфраструктуры на основе комбинированного использования наземных и бортовых датчиков и передовых инструментов моделирования (<https://cordis.europa.eu/project/id/769129> и <http://www.panoptis.eu/>)

#### V ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВТОМАГИСТРАЛИ И BIM НА HIGHWAYS ENGLAND (HE)

Чтобы показать как новые решения по управлению дорожным движением созданные в том числе и рамках подготовки к автономным (беспилотным) автомобилям выглядят уже сегодня мы обратились к текущему

состоянию на шоссе Англии, которыми управляет член CEDR - Highways England.

Highways England (HE) является стратегическим оператором дорожной сети в Англии, который управляет, обслуживает и эксплуатирует их. У HE есть семь региональных центров управления и один национальный центр управления, которые управляют дорожными сетями с использованием технологии ITS, такой как, например, знаки с изменяющимися сообщениями и индикаторы с ограничением скорости. Это решение охватывает всего около 2% дорожной сети (основные дороги, автомагистрали и магистральные дороги), и обслуживает треть всего движения и две трети всех грузовых перевозок в английской дорожной сети [29]. Решение называется интеллектуальные автомагистрали (Smart Motorway, [50]). Интеллектуальная автомагистраль - это участок автомагистрали, в котором используются методы управления движением для увеличения пропускной способности и уменьшения пробок в особо загруженных районах [50].

Интеллектуальные автомагистрали нацелены на увеличение пропускной способности дорог, уменьшение заторов и разрушений при одновременном минимизации воздействия на окружающую среду, обычно связанного с улучшением дорог [50]. Карта ниже на рисунке 18 показывает текущее распространение интеллектуальных автомагистралей в Англии, а на рисунке 19 можно увидеть из чего состоят умные автомагистрали.

В Англии у HE существует много Информационных моделей зданий (BIM) и информации, связанной с местоположением и существующей технологией дорожной инфраструктуры, доступной по более новым схемам. Однако вопрос о том, как эта информация может поддержать автономное транспортное средство на дороге, требует ответа, а также их роль в этом процессе. Важная информация о безопасности дорожного движения записывается с более или менее 100% -ным покрытием по сети, причем сеть оснащена знаками сообщений, камерами видеонаблюдения, индуктивными петлями и метеостанциями, где все записывается в среду ГИС. Однако некоторая информация, такая как данные метеостанции, не так хорошо записана, а доступная информация пока фрагментирована [29].

Одним из основных способов оцифровки сети автомобильных дорог является использование лазерных съемок (лидаров) съемок. HE имеет много аэрофотоснимков и наземных данных от лидаров, и ожидается, что сбор данных такого типа будет продолжаться в течение следующих трех лет. Это постоянная стратегия по обновлению и виртуализации Стратегической дорожной сети (СРН) для ее участников. Например, это поможет OEM-производителям, если они хотят протестировать новую технологию в виртуальной среде [29].

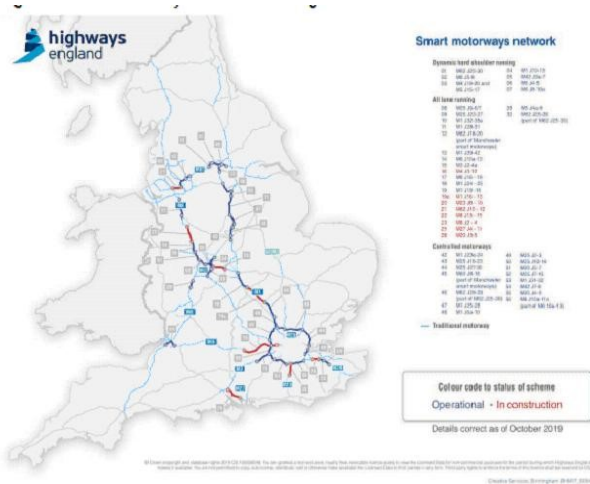


Рис. 18. - Умные автомагистрали на стратегической дорожной сети [50]

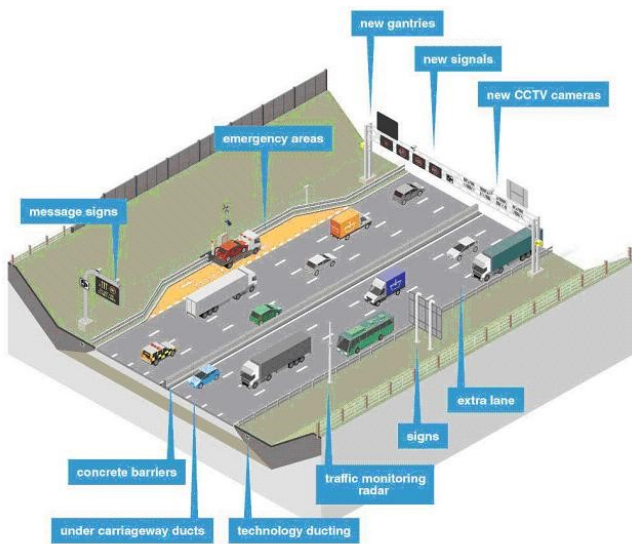


Рис. 19. Из чего состоят умные автомагистрали стратегической дорожной сети [50]

Возвращаясь к тематике BIM на HE стоит напомнить, что применение этой технологии стало обязательной для государственных закупок в Великобритании с 2016 года и как это было сделано достаточно подробно изложено в [51,52]. Так в России также запланирован такой этап развития BIM, то мы приводим на рисунке 20 карту европейских стран, которые сделали использование BIM в контрактах на государственные закупки обязательным ([53] опубликован в издательстве Европейского союза в конце 2019 года). Понятно, что NRA этих стран (рисунке 20) обязаны применять BIM.



Рис. 20. Европейские страны, которые сделали использование BIM в контрактах на государственные закупки обязательным [53]

К обязательному применению BIM в государственных контрактах Highways England начала готовиться заранее, заказав британским и европейским исследователям серию работ по различным аспектам применения BIM для автодорог. Эти работы до сих пор во многом актуальны и видимо поэтому доступны на сайте НА по адресу <https://highwaysengland.co.uk/knowledge-compendium/knowledge/publications/lean-collaborative-research-with-academia-2015-16-final-reports/index.html>.

На всякий случай мы отобрали некоторые из них, показавшиеся нам наиболее актуальными для развития этой технологии в автодорожном хозяйстве России [54-60]. Кроме этого, понимая что размещенные на сайте НА отчеты, это только верхняя часть обоснований тех или иных рекомендаций, мы приводим некоторые незамысловатые рисунки, которые представляются нам актуальными для обсуждения по вопросам применений BIM на автодорогах России.

Соответствие BIM для проектирования, строительства и обслуживания шоссе (рисунке 21) крайне важная позиция для снятия информационных и организационных препятствий между этапами жизненного цикла автодорожных проектов, и последовательное применение BIM помогает это сделать.

Project stages		
Design	Construction	Maintenance
Drawings creation	Indicating differences	Better data availability
Clash detection	Better management	Asset lifecycle monitoring
Time and Cost plans	Quick overview of changes	Asset condition management
Simulations and analysis	Progress monitoring	Traffic and diversion simulations

Рис. 21. Соответствие BIM для проектирования, строительства и обслуживания шоссе [59].

Если последовательно применять на этапах жизненного цикла BIM, то вполне достижимо снижение потери данных на этапах их передачи с использованием

стандартизированных рабочих потоков (рисунок 22). Все это возможно если делать ключевые шаги для обеспечения потока информации о жизненном цикле (рисунок 23).

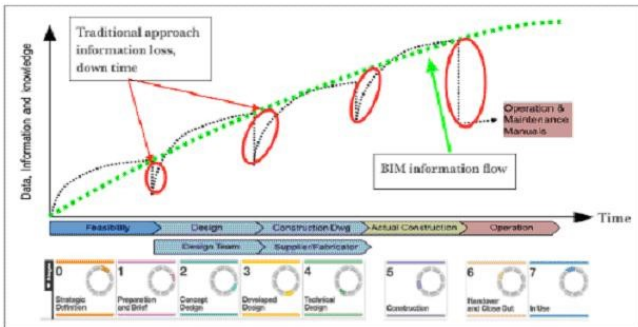


Рис. 22. Снижение потери данных на этапах их передачи с использованием стандартизированных рабочих потоков [59].

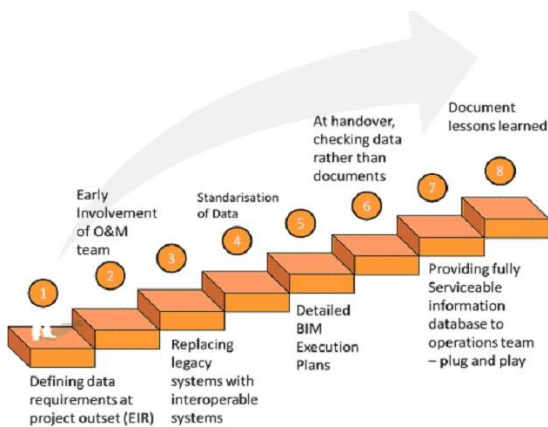


Рис. 23. Ключевые шаги для обеспечения потока информации о жизненном цикле [59].

Очень важно понимать, что качество информации возрастает по мере распространения управления на все этапы жизненного цикла проекта (рисунок 24), а следовательно и эффективность ее применения (в том числе и экономическая). Войнам между технологиями GIS, BIM, CAD не место в общей системе управления (рисунок 25) так как это приводит к образованию информационных силосов и потерям в основном ресурсе цифровой экономики – информации. Сотрудничество – правильное решение (рисунок 26).

Рис. 24. Качество информации возрастает по мере распространения управления на все этапы жизненного цикла проекта [59].

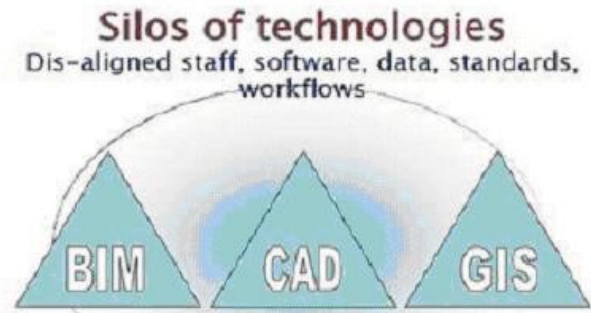


Рис. 25. Силосы трех двигателей цифровых технологий [59].

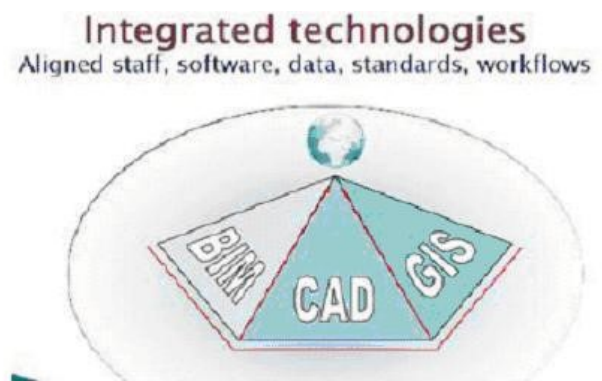
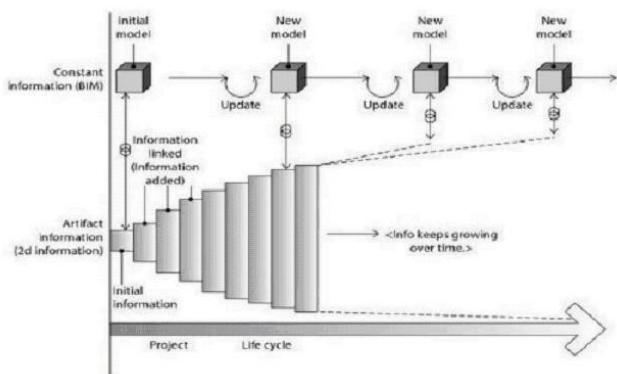


Рис. 26. Интегрированная технология (источник – [59])



Рис. 27. Интегрированная информационная система управления активами для НЕ [59].



Именно сотрудничество позволило построить интегрированную информационную систему управления активами для НЕ (рисунок 27), которая опирается через отношения между офисом и сайтом через общую среду данных на единое и актуальное состояние данных (рисунок 28).

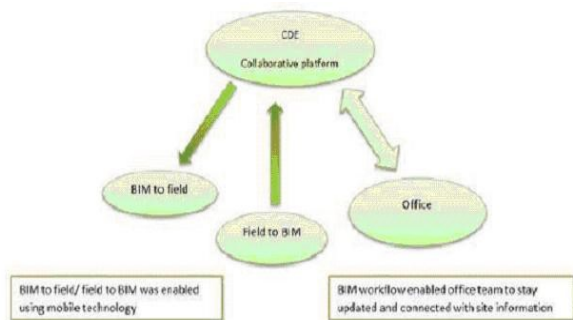


Рис. 28. Отношения между офисом и сайтом через общую среду данных [59].

В конце 2019 года компанией Cambridge Economic Policy Associates Limited (CEPA) [61] были опубликованы результаты независимого анализа Highways England, перед которой также стоит задача подготовить инфраструктуру к внедрению автономных (беспилотных) автомобилей и повышению эффективности работ в рамках планируемого достижения 3 уровня BIM правительством страны.

Они [61] рассмотрели десять документов, которые описывают и решают проблемы производительности, с которыми сталкивается строительный сектор, и оценили, насколько консенсус существует вокруг, когда существуют явные возможности для повышения эффективности от:

- большей модульности и автоматизации производства, включая сборку за пределами площадки;
- расширенных данных и информации, включая информационное моделирование зданий (BIM) и цифровое проектирование;
- снижения затрат на закупки и коммерческие интерфейсы благодаря альянсам и корпоративным соглашениям; и
- более продвинутому моделированию и пониманию риска и способов управления им.

Исполнители отчета от CEPA также рассмотрели проблемы производительности, которые проявляются в количестве и квалификации рабочей силы в строительном секторе, поскольку улучшения в этой области лежат в основе прогресса в обеспечении повышения производительности в других четырех областях [61].

Важно отметить, сказано в отчете [61], что многие ключевые области для повышения производительности взаимосвязаны; улучшение в одной области усиливает улучшения в других. Две области инноваций связаны между собой: современные методы конструирования, в том числе производство на площадке и модульные подходы, и оцифровка проектирования и использование BIM и других подходов, основанных на данных. Стандартные отраслевые подходы и структуры для риска и закупок также взаимосвязаны. Улучшения в одной из этих взаимосвязанных областей сделают изменения в другой более простой и эффективной. В

основе всего этого лежит развитие навыков в отрасли, поскольку изменения в структуре отрасли и рост инноваций требуют от квалифицированной рабочей силы полной эффективности. Структура отраслевого сектора также ограничивает стимулы для инноваций и уменьшает любое стремление к повышению квалификации.

В отчете [61] нашли обширные ссылки на автоматизацию и производство вне площадки во многих рассмотренных документах. Многие из этого относятся к Highways England, хотя эти методы оказываются наиболее эффективными, когда такие системы, как механические и электрические системы, а также системы управления, интегрированы в более тяжелые гражданские работы.

Предполагаемое повышение производительности за счет автоматизации и внешних методов существенно больше, чем в любой другой области, которую до этого исследовали в CEPA, хотя они сильно различаются в зависимости от уровня и степени предполагаемой автоматизации и ее интеграции с процессом планирования и другими конструкциями.

Данные, представленные Комитетом по науке и технике Палаты лордов, свидетельствуют о том, что использование сторонних методов может повысить производительность на 50%, в то время как, по оценкам Laing O'Rourke, повышение производительности возможно на 60%. Точно так же Управление по инфраструктуре и проектам предположило, что «умное строительство» позволит повысить эффективность до 40%. Хотя эти значения могут не быть полностью сопоставимыми, они дают представление о диапазоне эффективности производительности, доступной из сторонних методов [61].

McKinsey сообщил [61] о самых больших потенциальных улучшениях производительности от автоматизации производства до полной «Производственной системы», с улучшениями от 5x до 10x (то есть от 500% до 1000%), насколько это возможно в некоторых обстоятельствах. В то время как улучшения такого масштаба в первую очередь применимы к проектам «среднего уровня» по размеру и сложности, где подрядчики достаточно велики, чтобы инвестировать, но где проекты достаточно повторяемы чтобы разрешить высоко автоматизированное производство, кажется вероятным, что, по крайней мере, некоторые из позиций программы Highways England попадут в эту категорию [61].

Внешнее производство также имеет широкий спектр других преимуществ, таких как здания и инфраструктура лучшего качества, улучшение здоровья и безопасности как рабочей силы, так и населения, снижение воздействия на окружающую среду и обеспечение более широкого географического распространения рабочих мест, созданных в результате строительства, вместо того, чтобы сосредоточиться рядом с местами инвестиций [61].

Несмотря на явные выгоды от производства за

пределами площадки, существует ограниченное внедрение и минимальные дальнейшие инновации современных методов строительства. Во многом это связано с масштабом инвестиций и, следовательно, с гарантированным уровнем спроса, необходимым для широкомасштабного принятия этого подхода. Предполагаемая презумпция в пользу производства за пределами площадки пятью государственными ведомствами, включая министерство транспорта, должна устранить некоторые из причин такого медленного внедрения [61].

Данные и цифровые технологии, в том числе BIM, являются ключевыми факторами повышения производительности, поддержки перехода к производству за пределами площадки и проектированию на весь срок эксплуатации. Оценки влияния на производительность, вероятно, будут порядка 10-20% [61].

Измерения финансового воздействия только BIM кажутся небольшими, порядка 1% от стоимости жизненного цикла. Это, однако, считается недооцененным. Наибольшим финансовым эффектом BIM является возможность планирования и оптимизации на протяжении всего жизненного цикла активов, что снижает затраты на эксплуатацию активов после их ввода в эксплуатацию. Мы не нашли доказательств того, что о таких преимуществах в настоящее время широко сообщают или предоставляют [61].

Тем не менее, есть хорошие примеры, когда расширенное использование BIM внесло существенные изменения в проекты. Например, Транспорт для Лондона провел виртуальное моделирование туннеля, проходящего от начала до конца. Это применение BIM и цифрового инжиниринга помогло завершить проект, не влияя на работу или безопасность линии, с опережением графика на 4,5 месяца и с бюджетом в 10%. [61].

Более широкое использование данных и цифровых технологий обеспечивает стандартизацию и максимизирует влияние инноваций. Это имеет основополагающее значение для перехода на внешнее производство, которое опирается на общий и общий набор данных, который используется клиентами, подрядчиками и цепочкой поставок. Это также помогает в предоставлении инноваций для других изученных областей. Например:

- надлежащее рассмотрение затрат на весь срок службы в процессе проектирования и систематический и согласованный способ сбора и оценки эффективности активов позволил бы сравнить активы для выявления неэффективности;

- общая среда данных, используемая клиентами, подрядчиками и их цепочками поставок, помогает обеспечить более доверительные отношения и делает сотрудничество более простым и эффективным;

- Промышленная стратегия правительства Соединенного Королевства соглашается с тем, что крупномасштабные наборы данных могут

использоваться для генерирования идей и инноваций, и подчеркивает использование открытых и бесплатных данных TfL о расписаниях, услугах *estatus* и срыв в создании ежегодной экономии времени на сумму около 130 миллионов фунтов стерлингов для путешественников, Лондона и самого TfL [61].

В отрасли существует четкое мнение о том, что цифровые технологии окажут положительное влияние на производительность, и освоение некоторых цифровых технологий было и ожидается быстрым. Палата лордов отметила, что Великобритания является лидером в области оцифровки, почти всеобщая осведомленность о BIM и 62% компаний, использующих ее.

Рассмотренные документы свидетельствуют о том, что закупочные и коммерческие договоренности в строительной отрасли закреплены, а согласованные договорные и стимулирующие структуры приводят к недоверию, отсутствию прозрачности и неэффективности. Эта структура выступает в качестве барьера для инвестиций. Опрос McKinsey показал, что смещенные договорные структуры рассматривались как один из двух самых высоких источников низкой производительности. Самыми большими контрактными проблемами были:

- подозрение и недоверие, порожденные процессом конкурентных торгов;
- неспособность адекватно учесть неопределенности проекта в контрактах; и
- неэффективное распределение рисков между всеми заинтересованными сторонами, включая субподрядчиков [61].

McKinsey сообщил о проведенном ими анализе, который выявил перерасход средств в 80% по крупным инфраструктурным проектам из-за заказов на изменение, например, изменений в конструкции, чтобы учесть неожиданные условия грунта или разъяснения и изменения в объеме проекта. В такой среде, где доверие отсутствует, повышение производительности отходит на второй план. Эти проблемы, как представляется, общепризнаны в отрасли и были поняты в течение десятилетий. Для улучшения сотрудничества было предложено множество подходов. Например, общие KPI между владельцами и подрядчиками, контракты, структурированные для поддержки сотрудничества, вознаграждения для всех участников проекта, основанные на ценности результатов и раннем участии поставщиков в процессе проектирования, в сочетании с четкими целями инвестирования в инновации [61].

Значительные усилия были потрачены на разработку новых моделей предприимчивости и альянсов, например, посредством Проекта 13, ведущей в отрасли инициативы, направленной на реализацию проектов через интегрированную, согласованную и коммерчески стимулированную организацию. Тем не менее, есть несколько примеров широкого использования этих

моделей. Существующая модель закупок, передачи рисков и договорных споров для минимизации затрат и / или максимизации прибыли, по-видимому, является чрезвычайно надежной и трудной для вытеснения.

Похоже, что корень этого - в фокусе закупок на снижении начальной цены и снижении риска. Решение этой проблемы потребует от клиентов государственного сектора, в частности, целого взгляда на стоимость и стоимость приобретаемой инфраструктуры, а не на первоначальную цену и риски.

Мы мало определили в рассмотренных документах, которые касаются моделирования и понимания рисков, помимо тех вопросов, которые были выделены при обсуждении закупок и коммерческих интерфейсов. Неэффективное разделение рисков является одной из основных проблем договорных рамок, и в договорах отсутствует неопределенность. Нынешняя модель в строительной отрасли слишком сфокусирована на снижении рисков и контроле над издержками, и поэтому возникающие конфликтные и транзакционные отношения препятствуют инвестициям и стимулируют фокусироваться на краткосрочных целях и ненадлежащей передаче риска.

Риск, как правило, вытесняется по цепочке поставок, давая принимающим сторонам осторожный аппетит к риску. Это не поощряет инвестиции в более инновационные методы. Когда риски не распределяются, их сложнее решать и управлять ими, поскольку у держателя риска и других сторон существуют различные стимулы. Сторона, держащая риск, будет склоняться к более консервативным подходам по сравнению с инновациями.

В основе всех этих областей лежит необходимость того, чтобы сектор инвестировал в рабочую силу, чтобы они обладали достаточными навыками, чтобы использовать в своих интересах новые методы, данные и коммерческие модели. В краткосрочной перспективе необходимо набирать и удерживать значительное количество инженеров и квалифицированных специалистов. Эта проблема решается за счет увеличения инвестиций в ученичество и науку, технологии, инженерное и математическое образование, но это необходимо будет поддерживать или расширять в предстоящее десятилетие [61].

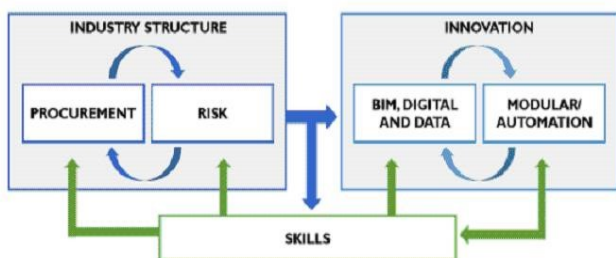


Рис. 29. Взаимосвязь между областями эффективности в строительном секторе [61].

В завершение этой части статьи, посвященной

применению BIM и окружающих его технологий на Highways England мы приводим рисунок 29 о взаимосвязи между областями эффективности в строительном секторе

## VI ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровая трансформация создала много новых возможностей, но поставила перед отраслью автомобильных дорог новые вызовы. Открытая, совместно используемая информация открывает более эффективные, прозрачные и совместные способы работы на протяжении всего жизненного цикла созданных дорожных активов. Растущее внедрение BIM в дорожной отрасли также позволяет владельцам и операторам, работающим со своими партнерами по обслуживанию, планировать свои капитальные вложения и понимать вероятные затраты на поддержание и использование этих активов по назначению в течение всей жизни. Многие открытые стандарты для этого либо уже созданы, либо находятся в процессе создания

В широко утомившемся выше BuildingSMART появились стандарты-кандидаты (<https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/standards-library/> Стандарты-кандидаты - это виды деятельности, которые находятся в процессе достижения международного консенсуса до того, как будут представлены Комитету по стандартам для окончательного голосования) на ряд форматов и технологий необходимых дорожной отрасли. Это - ifcOWL Ontology и IFC4.2 – Schema Extensions for Bridges. Там же опубликован IFC Road bSI SPEC (buildingSMART SPEC - это документ, который может быть подготовлен любой организацией, которая хочет стандартизировать лучшие практики по конкретному предмету, но еще не готова приступить к ее выпуску в качестве стандарта bSI). Это общедоступная спецификация для инфраструктур автомобильных дорог. В ближайшее время ожидается завершение работ по дорожному стандарту-кандидату. Кроме того, первоначальные задачи выравнивания подходов BIM и GIS решены и развивается плановая работа в этом направлении в рамках соглашения между OGC и BSI, что позволило выпустить стандарты кандидаты для железных дорог (там также проблема работы как с BIM так и с GIS стояла крайне остро).

Преимущества этих и других стандартов открытых данных существенны и включают в себя:

- более прозрачные, совместные и открытые рабочие процессы,
- большую достоверность информации благодаря общему словарю отраслевых терминов,
- более открытые процессы закупок,
- процессы, которые являются инклюзивными для компаний больших и малых,
- большее повторное использование данных,

- более простую интеграцию со связанными данными, созданными и переданными в смежные отрасли.

Для того, чтобы данные легко передавались, и для того, чтобы получаемые выгоды использовались совместно, основные заинтересованные стороны должны разрабатывать стандарты - от проектировщиков и конструкторов до владельцев и операторов.

Сегодня технологии BIM на автодорогах применяются далеко не только в Европе. В завершении статьи мы решили привести пример тотального применения BIM на мега дорожном проекте в Малайзии. В 2014 году правительство Малайзии объявило о плане полной разработки и модернизации магистральной дороги с двумя полосами движения через крупнейший штат Малайзии, Саравак, для ускорения социально-экономического роста в Восточной Малайзии [62].

Новая бесплатная автострада, расположенная на острове Борнео, - это шоссе Пан Борнео. Шоссе протянулось на 1060 км по пересеченной местности, покрытой тропическими лесами и охраняемыми заповедниками между Телоком Мелано и Мерапоком. Строительство началось в 2015 году, и, когда оно будет полностью завершено в 2021 году, автомагистраль Пан Борнео станет транспортной магистралью штата и сыграет важную роль в открытии экономических коридоров и возможностей для жителей и местных предприятий. Как выглядит уже строящееся шоссе Пан Борнео можно увидеть на рисунке 30.

Разработка первого этапа финансируемой правительством автомобильной дороги стоимостью 16,15 млрд. юаней (3,71 млрд. долларов США) предусматривала строительство четырехполосной дороги с двумя полосами движения протяженностью 786 км. Lebuhraya Borneo Utara (LBU) является партнером по реализации проекта в этом проекте, способствуя цифровизации жизненного цикла в соответствии со строгими государственными требованиями. LBU выбрала Reveron Consulting, партнера Bentley Channel, для реализации решений Bentley для проектирования, строительства и эксплуатации автомагистрали Пан Борнео [62].

Во время проектирования, планирования и строительства LBU впервые запустил рабочие процессы BIM для проекта строительства дороги и шоссе в Малайзии. Команда использовала ProjectWise для создания открытой, связанной среды данных для поддержки внедрения и интеграции процессов BIM, ГИС и моделирования реальности. Теперь LBU отвечает за расширение применения BIM и больших данных, использование моделей проектирования и конструкторской информации для создания цифровой платформы для управления операциями и техническим обслуживанием. Являясь крупнейшим инфраструктурным проектом в Сараваке, его новаторские цифровые методологии означают, что шоссе Пан Борнео служит эталоном, использующим

BIM и передовые технологические стратегии для более эффективной доставки и оптимальной производительности активов [62].

LBU оцифровывает планирование, проектирование и строительство автомагистрали Пан Борнео, отвечая государственным стандартам для обеспечения максимальной отдачи при сохранении и обучении местных подрядчиков и ресурсов для накопления опыта с использованием передовых технологий в строительстве. После использования приложений Bentley на всех этапах строительства, в том числе для мониторинга строительства, на следующем этапе основное внимание было уделено эксплуатации, техническому обслуживанию и управлению активами, чтобы гарантировать соответствие шоссе текущим и будущим функциональным требованиям. «Мы должны были найти устойчивое решение через 30–40 лет, чтобы обеспечить надежную основу для транспортной инфраструктуры в пределах штата, для людей, и нуждались в системе, которая наилучшим образом вписывалась бы в нашу цифровую архитектуру. Это сделал AssetWise» - сказал Рави Кока, генеральный директор Reveron Consulting [62].

В дополнение к плавной интеграции информации о проектировании и строительстве для управления активами на шоссе, LBU также использует ContextCapture для включения контекста реальности для длин существующих дорог в сети шоссе, построенных за последние 10–15 лет. Используя изображения, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов, LBU создал точную запись информации об активах для всего шоссе протяженностью 1 060 км по шоссе Пан Борнео.



Рис. 30. Шоссе Пан Борнео [62]

Основываясь на моделировании реальности, а также на цифровых процессах и рабочих процессах, которые уже реализованы в подключенной среде данных, LBU использует контекстную информацию и подход двойного цифрового подхода в качестве основы для оперативных решений. Интегрированные приложения Bentley вместе с подключенной средой передачи данных представляют собой комплексное технологическое решение, позволяющее создать цифрового близнеца



[62].

«Использование BIM на протяжении всего жизненного цикла активов шоссе Pan Borneo Sarawak готовит эту транспортную магистраль для использования большого количества цифровых приложений, таких как Интернет вещей (IoT) и большие данные, для лучшего управления будущими потоками трафика и содействия сбалансированному экономическому развитию для Саравака», - заявила Нор Залида Ахмад, руководитель отдела коммуникаций в LBU. Обладая таким потенциалом, цифровой близнец может быть использован для определения структуры движения и того, куда люди движутся, чтобы помочь сбалансировать экономическое и социальное развитие, гарантируя, что государство продолжит хороший прогресс. В качестве ориентира для государственных дорожных проектов в Малайзии, обеспечивающих повышение эффективности и рентабельности процессов с использованием цифровых рабочих процессов, автомагистраль Пан Борнео создает основу для будущей эксплуатации, обслуживания и управления дорогами [62].

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Conference of ERD [https://en.wikipedia.org/wiki/Conference\\_of\\_European\\_Directors\\_of\\_Roads#Members](https://en.wikipedia.org/wiki/Conference_of_European_Directors_of_Roads#Members)
- [2] Open information exchange (BIM) of National Road Authorities is of vital importance for Asset management ,CEDR 2016
- [3] Utilizing BIM for NRAs, CEDR 2017 <http://www.cedr.eu/download/Publications/2017/Utilising-BIM-for-NRAs-TR2017-05.pdf>
- [4] IMPLEMENTATION GUIDE FOR AN ISO 55001 ASSET MANAGEMENT SYSTEM A PRACTICAL APPROACH FOR THE ROADS SECTOR IN EUROPE 2017
- [5] INTERLINK D1. Literature Library List Nov. 20, 2018
- [6] INTERLINK D2-D3. Business Process Maps Nov. 20, 2018
- [7] INTERLINK D2-D3. Investigating the Requirements Nov. 20, 2018
- [8] INTERLINK D2-D3. Poster Nov. 20, 2018
- [9] INTERLINK D4. Defining the Principles Nov. 20, 2018
- [10] INTERLINK D4. Defining the Principles - Appendix Nov. 20, 2018
- [11] INTERLINK D5. link to European road OTL documentation Dec. 21, 2018
- [12] INTERLINK D6. A Semantic Web platform Nov. 20, 2018
- [13] INTERLINK D7 Link to EUROTL Test Case OTLs and LRSs documentation Dec. 21, 2018
- [14] INTERLINK D8. Testing the outcomes Nov. 20, 2018
- [15] INTERLINK D13. Implementation Plan Nov. 20, 2018
- [16] INTERLINK D14. link to EUROTL video Nov. 20, 2018
- [17] Куприяновский В. П. и др. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ НА БАЗЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ BIM, СВЯЗАННЫЕ ОНТОЛОГИЯМИ, 5G, IOT И СМЕШАННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТАХ И IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3.
- [18] Digital Twin [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_twin](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin)
- [19] AM4INFRA D1.1 Framework Architecture For Smart Governance Of Transportation Networks 27/2/2017
- [20] AM4INFRA D1.2 Guideline Framework Use 2017-08-07
- [21] AM4INFRA D1.3 Living lab for three real life situations (cross-asset, cross-network, cross-border) 2018-04-30
- [22] AM4INFRA D2.1 Whole Life Cost And Risk Based Models For Road Asset Management 31/07/2017
- [23] AM4INFRA D2.2 Case Examples Of Good Practice 2017/11/30
- [24] AM4INFRA D2.3 Framework for Adopting whole life 2018-05-30
- [25] AM4INFRA D3.1 Asset Data Dictionary 29/03/2018
- [26] AM4INFRA D3.2 Business Blueprint of an Asset Information management Core System 29/03/2018
- [27] AM4INFRA D3.3 Application of the design model 12/07/2018
- [28] AM4INFRA-D4.5 Replication Assessment Plan 13/July/2018
- [29] DIRIZON D2.1 NRAs and Digitalisation October 2019
- [30] Климов А. А. и др. Архитектура автономных (беспилотных) автомобилей и инфраструктура для их эксплуатации //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14. – №. 3.
- [31] Покусаев О. Н. и др. Мировой рынок автономных (беспилотных) автомобилей //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14. – №. 3.
- [32] Shaklein A. et al. The motives for the use of autonomous (driverless) cars in the EC and the USA //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 1. – С. 104-114.
- [33] Sokolov I. et al. Digital Transport Projects with Global Navigation Satellite Systems-the road to building integrated digital transport systems //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 1. – С. 49-77.
- [34] Лазуткина В. С. и др. Экономические эффекты автономных (беспилотных) автомобилей //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 2.
- [35] Pokusaev O. et al. On ontology and security of autonomous (driverless) cars //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 2. – С. 81-93.
- [36] INFRAMIXD1.1 Quality Management Plan 31.8.2017
- [37] INFRAMIX D2.1 Requirements catalogue from the status quo analysis 28.06.2019
- [38] INFRAMIX D2.2 Architecture and interface specification of the co-simulation environment 21/03/2018
- [39] INFRAMIX D3.1 Design and development of infrastructure elements 16/07/2019
- [40] INFRAMIX D3.5 New visual signs and elements 16/07/2019
- [41] INFRAMIX D4.1 INFRAMIX plan for systems interaction, integration and testing 28/06/2019
- [42] INFRAMIX D4.2 Public demonstration phase and data delivery report 24/03/2020
- [43] INFRAMIX D5.1 Plan for evaluation and users' engagement performance criteria for the road infrastructure 28/06/2019
- [44] INFRAMIX D5.4 Infrastructure classification scheme 6/12/2019
- [45] INFRAMIX D6.1 Communication strategy and Plan v1.0 27.12.2017
- [46] INFRAMIX D6.6 Communication strategy and Plan v2.0 14.12.2018
- [47] INFRAMIX D6.2 Communications kit (incl. periodic updates) 05/10/2018
- [48] INFRAMIX D6.3 Networking and Engagement activities plan (incl. an intermediate version) 30/11/2018
- [49] INFRAMIX D6.10 Networking and Engagement activities plan – M34 update 14/04/2020
- [50] Smart Motorway Safety Evidence Stocktake and Action Plan © Crown copyright 2020
- [51] Куприяновский В. П., Синягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 1. Подходы и основные преимущества BIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3. – С. 1-8.
- [52] Куприяновский В. П., Синягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 2. Цифровая экономика //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3.
- [53] Supporting digitalisation of the construction sector and SMEs Including Building Information Modelling, EU 2019
- [54] Dr. Yingli Wang , Dr. Jon Gosling, Dr. Maneesh Kumar and Prof. Mohamed Naim Accelerating BIM adoption in the supply chain Final Project Report Cardiff university, Highways England, Costain, March 2017 (Revised)
- [55] Algan Tezel ,Lauri Koskela, Patricia Tzortzopoulos Continuous Improvement Cells in the Highways Supply Chain: Benefits and Challenges. University of Huddersfield, Highways England May 2017
- [56] Algan Tezel, Lauri Koskela, Jonathan Gosling and Maneesh Kumar From Construction to Production: Enablers, Barriers and Opportunities for the Highways Supply Chain, Innovative Design Lab University of Huddersfield, Highways England, Cardiff university December 2017
- [57] Dr Zeeshan Aziz ,Rana Muhammad Qasim,Dr Emad Alfar , INCREASING EFFICIENCY OF EARTHMOVING & PAVEMENT PROCESSES AT HIGHWAYS ENGLAND, University of Salford, Highways England, 2016
- [58] Dr. Bhargav Dave ,Saeed Mirzeifer , INTELLIGENT PRODUCTS IN HIGHWAYS ENGLAND ,AALTO UNIVERSITY , November 8, 2016
- [59] Dr Zeeshan Aziz, M.Sanem Bayar, Rana Khan, Susan Droubi, OPTIMISING HANDOVER OF AS-BUILT DATA FROM HIGHWAYS ENGLAND MAJOR SCHEMES TO MAINTENANCE SERVICE PROVIDERS, University of Salford, Highways England, 2017

- [60] Algan Tezel, Zeeshan Aziz, Visual Management/ Visual Controls Implementation Pilot: 5S in Highways Construction and Maintenance, University of Salford, Highways England , March 2016
- [61] Review of construction sector productivity work relevant to Highways England's performance and efficiency CEPA 2019
- [62] Going Digital helped the Government of Malaysia leverage digital twins to deliver trusted information for better project and asset management.

# BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways

Oleg Pokusaev, Vasily Kupriyanovsky, Alexander Klimov, Dmitry Namiot, Julia Kupriyanovsky, Eugene Zarechkin

**Abstract**— The paper discusses various European projects for asset management on roads. The subject of consideration is BIM and ontology in the creation and maintenance of projects in the field of construction and operation of roads. Road infrastructure networks are significant assets that are often owned and operated by national road authorities (NRAs). The safe and efficient operation of these networks is based on a system of various types of assets, from the road surface and structures to communication systems, signs, and road markings. These assets are delivered, used, operated, and serviced over time with changing functional requirements. Much attention is paid in the article to the CEDR INTERLINK project, which supports the ontological foundations of asset management of European roads. This project also supports the creation of digital counterparts for managed assets.

**Keywords**— BIM, ontologies, highways.

## REFERENCES

- [1] Conference of ERD [https://en.wikipedia.org/wiki/Conference\\_of\\_European\\_Directors\\_of\\_Roads#Members](https://en.wikipedia.org/wiki/Conference_of_European_Directors_of_Roads#Members)
- [2] Open information exchange (BIM) of National Road Authorities is of vital importance for Asset management ,CEDR 2016
- [3] Utilizing BIM for NRAs, CEDR 2017 <http://www.cedr.eu/download/Publications/2017/Utilising-BIM-for-NRAs-TR2017-05.pdf>
- [4] IMPLEMENTATION GUIDE FOR AN ISO 55001 ASSET MANAGEMENT SYSTEM A PRACTICAL APPROACH FOR THE ROADS SECTOR IN EUROPE 2017
- [5] INTERLINK D1. Literature Library List Nov. 20, 2018
- [6] INTERLINK D2-D3. Business Process Maps Nov. 20, 2018
- [7] INTERLINK D2-D3. Investigating the Requirements Nov. 20, 2018
- [8] INTERLINK D2-D3. Poster Nov. 20, 2018
- [9] INTERLINK D4. Defining the Principles Nov. 20, 2018
- [10] INTERLINK D4. Defining the Principles - Appendix Nov. 20, 2018
- [11] INTERLINK D5. link to European road OTL documentation Dec. 21, 2018
- [12] INTERLINK D6. A Semantic Web platform Nov. 20, 2018
- [13] INTERLINK D7 Link to EUROTL Test Case OTLs and LRSs documentation Dec. 21, 2018
- [14] INTERLINK D8. Testing the outcomes Nov. 20, 2018
- [15] INTERLINK D13. Implementation Plan Nov. 20, 2018
- [16] INTERLINK D14. link to EUROTL video Nov. 20, 2018
- [17] Kupriyanovskij V. P. i dr. CIFROVYE DVOJNIKI NA BAZE RAZVITIJA TEHNOLOGIJ BIM, SVJAZANNYE ONTOLOGIJAMI, 5G, IOT I SMESHANNOJ REAL"NOST"JU DLJA ISPOL"ZOVANIJA V INFRASTRUKTURNYH PROEKTAH I IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 3.
- [18] Digital Twin [https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_twin](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin)
- [19] AM4INFRA D1.1 Framework Architecture For Smart Governance Of Transportation Networks 27/2/2017
- [20] AM4INFRA D1.2 Guideline Framework Use 2017-08-07
- [21] AM4INFRA D1.3 Living lab for three real life situations (cross-asset, cross-network, cross-border) 2018-04-30
- [22] AM4INFRA D2.1 Whole Life Cost And Risk Based Models For Road Asset Management 31/07/2017
- [23] AM4INFRA D2.2 Case Examples Of Good Practice 2017/1/130
- [24] AM4INFRA D2.3 Framework for Adopting whole life 2018-05-30
- [25] AM4INFRA D3.1 Asset Data Dictionary 29/03/2018
- [26] AM4INFRA D3.2 Business Blueprint of an Asset Information management Core System 29/03/2018
- [27] AM4INFRA D3.3 Application of the design model 12/07/2018
- [28] AM4INFRA-D4.5 Replication Assessment Plan 13/July/2018
- [29] DIRIZON D2.1 NRAs and Digitalisation October 2019
- [30] Klimov A. A. i dr. Arhitektura avtonomnyh (bespilotnyh) avtomobilej i infrastruktura dlja ih jekspluatacii //Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2018. – T. 14. – #. 3.
- [31] Pokusaev O. N. i dr. Mirovoj rynek avtonomnyh (bespilotnyh) avtomobilej //Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2018. – T. 14. – #. 3.
- [32] Shaklein A. et al. The motives for the use of autonomous (driverless) cars in the EC and the USA //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 1. – S. 104-114.
- [33] Sokolov I. et al. Digital Transport Projects with Global Navigation Satellite Systems-the road to building integrated digital transport systems //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 1. – S. 49-77.
- [34] Lazutkina V. S. i dr. Jekonomicheskie jeffekty avtonomnyh (bespilotnyh) avtomobilej //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 2.
- [35] Pokusaev O. et al. On ontology and security of autonomous (driverless) cars //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 2. – S. 81-93.
- [36] INFRAMIXD1.1 Quality Management Plan 31.8.2017
- [37] INFRAMIX D2.1 Requirements catalogue from the status quo analysis 28.06.2019
- [38] INFRAMIX D2.2 Architecture and interface specification of the co-simulation environment 21/03/2018
- [39] INFRAMIX D3.1 Design and development of infrastructure elements 16/07/2019
- [40] INFRAMIX D3.5 New visual signs and elements 16/07/2019
- [41] INFRAMIX D4.1 INFRAMIX plan for systems interaction, integration and testing 28/06/2019
- [42] INFRAMIX D4.2 Public demonstration phase and data delivery report 24/03/2020
- [43] INFRAMIX D5.1 Plan for evaluation and users' engagement performance criteria for the road infrastructure 28/06/2019
- [44] INFRAMIX D5.4 Infrastructure classification scheme 6/12/2019
- [45] INFRAMIX D6.1 Communication strategy and Plan v1.0 27.12.2017
- [46] INFRAMIX D6.6 Communication strategy and Plan v2.0 14.12.2018
- [47] INFRAMIX D6.2 Communications kit (incl. periodic updates) 05/10/2018
- [48] INFRAMIX D6.3 Networking and Engagement activities plan (incl. an intermediate version) 30/11/2018
- [49] INFRAMIX D6.10 Networking and Engagement activities plan – M34 update 14/04/2020
- [50] Smart Motorway Safety Evidence Stocktake and Action Plan © Crown copyright 2020
- [51] Kupriyanovskij V. P., Sinjagov S. A., Dobrynin A. P. BIM-Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoj koncepcii. Chast' 1. Podhody i osnovnye preimushhestva BIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 3. – S. 1-8.
- [52] Kupriyanovskij V. P., Sinjagov S. A., Dobrynin A. P. BIM-Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoj koncepcii. Chast' 2. Cifrovaja jekonomika //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 3.
- [53] Supporting digitalisation of the construction sector and SMEs Including Building Information Modelling, EU 2019
- [54] Dr. Yingli Wang , Dr. Jon Gosling, Dr. Maneesh Kumar and Prof. Mohamed Naim Accelerating BIM adoption in the supply chain Final Project Report Cardiff university, Highways England, Costain, March 2017 (Revised)

- [55] Algan Tezel ,Lauri Koskela, Patricia Tzortzopoulos Continuous Improvement Cells in the Highways Supply Chain: Benefits and Challenges, University of Huddersfield, Highways England May 2017
- [56] Algan Tezel, Lauri Koskela, Jonathan Gosling and Maneesh Kumar From Construction to Production: Enablers, Barriers and Opportunities for the Highways Supply Chain, Innovative Design Lab University of Huddersfield, Highways England, Cardiff university December 2017
- [57] Dr Zeeshan Aziz ,Rana Muhammad Qasim,Dr Emad Alfar , INCREASING EFFICIENCY OF EARTHMOVING & PAVEMENT PROCESSES AT HIGHWAYS ENGLAND, University of Salford, Highways England, 2016
- [58] Dr. Bhargav Dave ,Saeed Mirzeifer , INTELLIGENT PRODUCTS IN HIGHWAYS ENGLAND ,AALTO UNIVERSITY , November 8, 2016
- [59] Dr Zeeshan Aziz, M.Sanem Bayar, Rana Khan, Susan Droubi, OPTIMISING HANDOVER OF AS-BUILT DATA FROM HIGHWAYS ENGLAND MAJOR SCHEMES TO MAINTENANCE SERVICE PROVIDERS, University of Salford, Highways England, 2017
- [60] Algan Tezel, Zeeshan Aziz,Visual Management/ Visual Controls Implementation Pilot: 5S in Highways Construction and Maintenance, University of Salford, Highways England , March 2016
- [61] Review of construction sector productivity work relevant to Highways England's performance and efficiency CEPA 2019
- [62] Going Digital helped the Government of Malaysia leverage digital twins to deliver trusted information for better project and asset management.