

# ВІМ на пути к ІFC5 - выравнивание и развитие семантики и онтологий ІFC с UML и OWL для структур автомобильных и железных дорог, мостов, туннелей, портов и водных путей

В.П.Куприяновский, О.Н. Покусаев, А.А. Климов, А.Б.Володин

**Аннотация**—В статье обсуждаются вопросы развития и стандартизации ВІМ. Стандартизация самого ВІМ сегодня проходит через формализацию семантических и онтологических отношений между элементами зданий, сооружений и транспортных инфраструктур и начинает практически совпадать с расширениями и выравниваниями стандартов, разрабатываемых buildingSMART, известных как ІFC. Несомненно, существует разрыв в обмене информацией между геопространственной и строительной областями, хорошо понимаемый в транспортной практике. Причина этого в том, что геопространственные системы и инженерные изыскания еще не согласованы и не интегрированы с информационным моделированием зданий (ВІМ) и, следовательно, не позволяют добиваться широкого внедрения существенного сокращения денежных и временных затрат. Этот разрыв для структур автомобильных и железных дорог, мостов, туннелей, портов и водных путей заключающийся в отсутствии однозначной трактовки понятий и семантических связей в онтологических доменах ВІМ и GIS и является предметом усилий и планов buildingSMART и его партнеров. Обеспечивая внедрение и развитие ВІМ (ІFC) для транспортных инфраструктур в России, можно обеспечить базу для их согласованного, экономически обоснованного и выгодного по времени создания и развития в жизненном цикле, соответствующего лучшим мировым практикам или даже превосходящего их.

**Ключевые слова**— ВІМ, ІFC, UML, OWL.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Инфраструктуры мультимодальности и синхромодальности транспортных систем имеют свое физическое воплощение в виде пересекающихся и соединяющихся транспортных путей и их цифрового двойника [1], быстро развивающегося от концепции к стандартизации на базе уже известных и принятых в

России на уровне законодательства к обязательному применению в ряде случаев технологий информационного моделирования (Градостроительный Кодекс РФ) или ВІМ. Стандартизация самого ВІМ сегодня проходит через формализацию семантических и онтологических отношений между элементами зданий, сооружений и транспортных инфраструктур и начинает практически совпадать с расширениями и выравниваниями стандартов, разрабатываемых buildingSMART, известных как ІFC (рисунок 1).

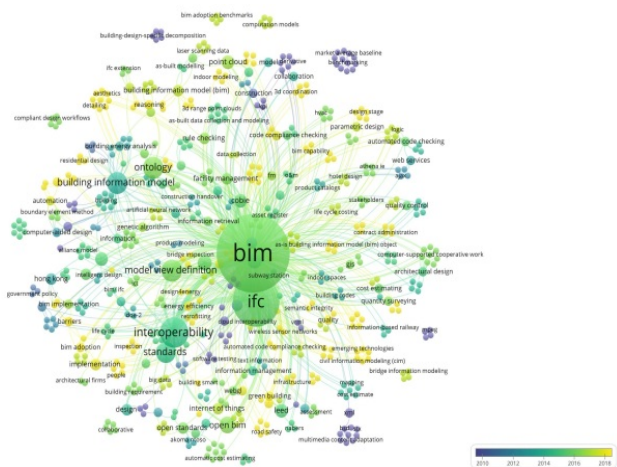


Рис. 1. Домены ВІМ и ІFC стали почти совпадающими (источник: Sara Guerra de Oliveira Open BIM for infrastructure: Recent standardisation efforts ISO/TC 211 Seminar “Standards in Action” 5th June, 2019 University of Maribor: Faculty of Electrical Engineering and Computer Science SLOVENIA)

Текущее развитие процесса внедрения ВІМ(ІFC) на железных дорогах мира отражено в [2], а для автомобильных дорог в [3]. Процесс создания нового ландшафта онтологий транспортных инфраструктур осуществляется в соответствии с планами международного buildingSMART и в этих работах уже участвует российское отделение buildingSMART (<https://buildingsmart.su/>)

Несомненно, существует разрыв в обмене информацией между геопространственной и строительной областями хорошо понимаемый в транспортной практике. Это

Статья получена 20 июня 2020

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

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

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

А.Б.Володин - РУТ (МИИТ) (email: ab.volodin@mail.ru)

серьезная проблема, главным образом потому, что геопространственные системы и инженерные изыскания еще не согласованы и не интегрированы с информационным моделированием зданий (BIM) и, следовательно, не позволяют добиваться широкого внедрения существенного сокращения денежных и временных затрат. Конечно, уже сегодня можно внедрять решения еще не получившие статус стандартов и добиваться очень впечатляющих экономических эффектов [2,3], но это вопрос уровня развития восприятия технологий и отношения к инновациям.

Этот разрыв для структур автомобильных и железных дорог, мостов, туннелей, портов и водных путей заключающийся в отсутствии однозначной трактовки понятий и семантических связей в онтологических доменах BIM и GIS и является предметом усилий и планов buildingSMART и его партнеров. Этот план схематически отражен на рисунке 2, финалом которого должен быть выпуск нового 5 релиза IFC (IFC5).

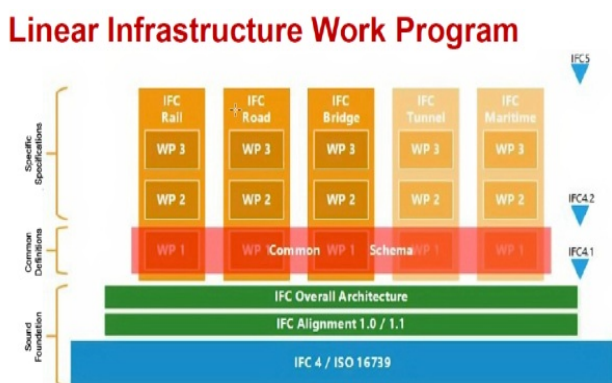


Рис. 2. Рабочая программа по линейным инфраструктурам автомобильных и железных дорог, мостов, туннелей, портов и водных путей (источник - buildingSMART)

Как кандидаты в стандарты на сегодняшний день опубликованы международным buildingSMART для железных дорог [7], автомобильных дорог [8], мостов [9], портов и водных путей [6], то есть, говоря формально, нет только кандидата в стандарты для туннелей, который, как мы полагаем, должен появиться в ближайшее время. Кроме кандидатов в стандарты транспортных инфраструктур были опубликованы кандидаты в стандарты по выравниванию IFC и UML [4,5], IFC и OWL [10], которые выполняют очень важную функцию расширения возможностей BIM(IFC) в других сегментах информационных технологий.

## II. РАСШИРЕНИЕ И ВЫРАВНИВАНИЕ МЕЖДУ BIM(IFC) И GIS(UML)

Информационное моделирование зданий (BIM) определяется как метод, использующий «общее цифровое представление построенного объекта (включая здания, мосты, дороги, порты, технологические установки и т. д.), чтобы упростить процессы проектирования, строительства и

эксплуатации, чтобы сформировать надежную основу для принятия решений».(ISO 29481).

Несмотря на свою разнообразную и сложную структуру, BIM представляет собой цифровой обмен информацией на основе моделей и их семантики и онтологий. Многие региональные, национальные и международные деловые и академические сети в настоящее время исследуют разрыв между геопространственной и строительной областями. Два примера добывающегося сужения этого разрыва это международные рабочие группы из ISO / TC 59 / SC 13 - ISO / TC 211 JWG 14 «Совместимость ГИС / BIM» и из рабочей группы OGC / buildingSMART «Интегрированная цифровая встроенная среда» (IDBE). Обе группы сравнивают общие концепции моделирования, применяемые для построения и географической информации, выявляют конкретные препятствия в процессах обмена данными между BIM и GIS и разрабатывают предложения для новых стандартов [12].

Тем не менее, реализация, использование и понимание BIM варьируется в зависимости от конкретных ожиданий его пользователей, например, государственные и частные застройщики, разработчики проектов, компании общего планирования, строительные компании, управляющие объектами и т. д. Каждый участник, участвующий в строительстве, имеет свои собственные цели, опыт и понимание проблем. Таким образом, каждый участник проекта по архитектуре, проектированию и строительству (АЕС) предъявляет особые информационные требования. Чтобы отражать эти разнообразные требования в стандартах требуется более общая концептуализация в виде формализованных знаний и онтологий.

Геоданные давно и успешно применяются на транспорте, но когда геопространственные данные попадают в мир BIM (рисунок 3), они предлагают еще более широкий потенциал возможностей для транспортного строительного домена по сравнению с прежним состоянием там информации. Тем не менее, такой потенциал также приводит к нереалистичным ожиданиям заинтересованных сторон - ожиданиям, которые не могут быть удовлетворены текущими реализациями программного обеспечения, системными архитектурами и культурами соответствующих областей. Такие технологические и административные препятствия могут быть преодолены только с помощью открытых стандартов для данных, услуг и процессов. Открытые стандарты на BIM или OpenBIM предотвращают блокировки поставщиков и обеспечивают доступ к рынку для небольших, гибких и инновационных компаний-разработчиков программного обеспечения и это, как нам представляется, стоит учитывать в России для создания конкурентного рынка в транспортной сфере.

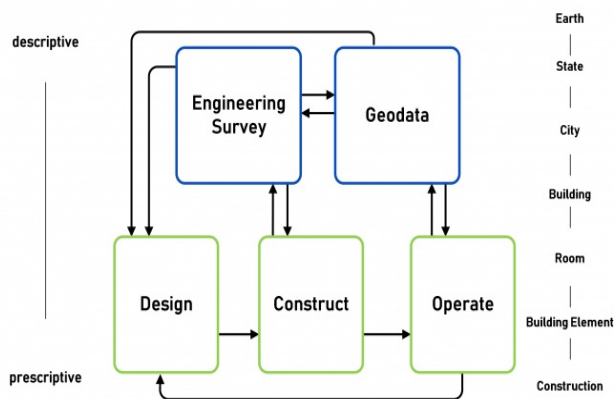


Рис. 3. Информационный поток между геопространственными и строительными доменами в течение жизненного цикла построенного актива [12].

Независимая от поставщика модель данных для BIM определяется открытым стандартом Industry Foundation Classes (IFC, ISO 16739). Эквивалентом для геопространственного мира является язык разметки географии (GML, ISO 19136). Совместимость между доменами приложений BIM и ГИС обеспечивается путем связывания и гармонизации основных информационных концепций онтологий этих доменов. Многие ученые исследовали интеграцию схем приложений и экземпляры данных в соответствии с моделью BIM IFC и моделью GIS CityGML и другими стандартами BIM и GIS, но на практические результаты выход намечился только сейчас. Интеграция основных абстрактных концепций из стандартов IFC и ISO / TC

211 для ГИС рассматривается как интеграция независимых конкретных схем приложений.

Для того чтобы это сделать был разработан шаблон для преобразования из схем IFC EXPRESS. К моделям унифицированного языка моделирования (UML) в соответствии со стандартами ISO/TC 211. Основные понятия из онтологий двух областей приложения были связаны в модели UML, и преобразования в реализацию были проверены схемы для языка разметки географии (GML) и EXPRESS. Результаты реализации планов международного buildingSMART показали, что модель IFC может быть описана как модель UML, соответствующая ISO / TC 211, и что концепции из стандартов ISO / TC 211 могут быть связаны с основными концепциями IFC. Схемы реализации для Форматов BIM и GIS могут быть получены из модели UML, что позволяет реализовать их в приложениях из обоих доменов без преобразования понятий [11].

Уточненные ссылки и гармонизация основных абстрактных онтологических концепций из двух областей применения реализованы в серии кандидатов в стандарты [4-8] и доступны для публичного обсуждения всем, в том числе и российским специалистам. Мы полагаем, что сделать это возможно через российское представительство buildingSMART и так включить все пожелания в общее рассмотрение. Чтобы дать возможность точно сформулировать эти пожелания мы приводим источники для сравнения IFC EXPRESS и ISO / TC 211 UML, который показан в таблице 1, а также источники данных и инструменты в таблице 2.

Таблица 1. Источники для сравнения IFC EXPRESS и ISO / TC 211 UML [11].

Language	Source
EXPRESS	ISO 10303-11: The EXPRESS language reference manual [2]
	Information modelling: The EXPRESS way (Schenk and Wilson) [52]
EXPRESS for IFC	IFC 4.3 (IFC Road) first draft EXPRESS schemas [53]
	IFC 4.2 candidate standard EXPRESS schemas [29]
UML	The UML Specification version 2.5.1 [3]
UML for IFC	The draft IFC-UML model from buildingSMART [48]
UML for geospatial information	ISO 19103 [19]: Conceptual schema language
	ISO 19109 [20]: Rules for application schema
	ISO 19136 [21]: Geography Markup Language (GML)
	UML models for ISO/TC 211 standards [54]
	UML models from OGC: Land and Infrastructure Conceptual Model (LandInfra) version 1.0, and InfraGML Encoding Standards version 1.0

Таблица 2. Источники данных и инструменты [11].

Source or Tool	Description
IFC Road EXPRESS schemas [53]	Converted to UML through the conversion pattern.
UML models for ISO/TC 211 standards [54]	Imported from the ISO/TC 211 Harmonized UML Model.
Enterprise Architect version 15 [55]	The application used for UML modelling and scripting of the bi-directional conversion between UML and EXPRESS.
ShapeChange version 2.8 [56]	The application used for conversion from UML to GML.
Oxygen XML Editor version 22 [57]	The application used for validating and inspecting XML schemas, and for developing example instances.

### III BIM (IFC) и СЕМАНТИЧЕСКИЙ ВЕБ (IFCOWL)

В практических транспортных приложениях разрыв между геопространственными и строительными доменами имеет много аспектов. Все это необходимо проверить при разработке процессов миграции между геопространственными данными и данными о строительстве, и наоборот. Функциональная совместимость гетерогенных источников данных BIM и ГИС означает, что должна быть возможность анализировать (извлекать) информацию, которая иначе не могла бы быть вычтена из отдельных источников данных. Для обеспечения таких онтологических рассуждений в отношении разнородных данных ключевым вопросом является семантическая совместимость и функциональная совместимость, которые могут быть интегрированы, унифицированы или стать федеративной онтологией (ISO 11354).

Интегрированные подходы опираются на определение общей формы с более высокой выразительностью, чем в каждом из рассматриваемых доменов. Все элементы из интегрируемых систем должны быть описаны в соответствии с этой более общей формой. Унифицированные подходы также основаны на общей метамодели трансформации. Сама эта метамодель не предназначена для исполнения и может варьироваться от словарного запаса до полной онтологии (представление знаний с формальной семантикой). Наиболее интересный, но и сложный подход для этого - федерация. Она должна применяться в тех случаях, когда системы слишком различны для взаимодействия. Информация хранится в исходной модели домена и может быть запрошена через сервис кем угодно, где угодно и когда угодно.

Например, Федеративная архитектура для OWL-онтологий (FOWLA) - это подход для объединения независимых онтологий, позволяющий запрашивать их все вместе, сохраняя время ответа на запрос на самом низком уровне.

Онтология - это формальное описание знаний как набора понятий внутри предметной области и отношений, которые существуют между ними. Чтобы включить такое описание, нам нужно формально указать такие компоненты, как отдельные сущности или вещи (экземпляры объектов), так и классы, атрибуты и отношения, а также ограничения, правила и аксиомы. В

результате онтологии не только вводят разделяемое и повторно используемое представление знаний, но также могут добавлять новые знания о предметных областях. Модель данных онтологии может быть применена к набору отдельных фактов для создания графа знаний - набора сущностей, где типы и отношения между ними выражаются узлами и ребрами между этими узлами, описывая структуру знания в области, онтология устанавливает основу для графа знаний для сбора данных в нем.

Конечно, есть и другие методы, которые используют формальные спецификации для представления знаний, такие как словари, таксономии, тезаурусы, тематические карты и логические модели. Однако, в отличие от таксономий или схем реляционных баз данных, например, онтологии выражают отношения и позволяют пользователям связывать различные концепции с другими концепциями различными способами. Являясь одним из строительных блоков семантической технологии, онтологии являются частью стека стандартов W3C для семантической сети. Они предоставляют пользователям необходимую структуру для связи одной части информации с другими частями информации в сети связанных данных. Поскольку они используются для определения общих представлений данных моделирования из распределенных и разнородных систем и баз данных, онтологии обеспечивают совместимость баз данных, поиск в разных базах данных и плавное управление знаниями.

В последние годы широко используются выражения онтологий с использованием языков онтологий, таких как онтологический язык веб-онтологий (OWL), разработанный W3C. OWL - это язык, основанный на вычислительной логике семантической паутины, предназначенный для представления обширных и сложных знаний о вещах и отношениях между ними. Он также предоставляет подробные, последовательные и значимые различия между классами, свойствами и отношениями. Определяя как классы объектов, так и свойства отношений, а также их иерархический порядок, OWL обогащает моделирование онтологий в базах данных семантических графов, также известных как триплеты RDF. Кроме того, в OWL имеются средства для определения эквивалентности и различий между экземплярами, классами и свойствами. Эти отношения помогают пользователям сопоставлять понятия, даже если различные источники данных описывают эти

понятия несколько по-разному. Они также обеспечивают устранение неоднозначности между различными экземплярами, которые имеют одинаковые имена или описания. Поэтому вполне справедливо утверждение [13], что семантический веб - это больше не кусок торта (рисунок 4), а развитие и многомерное средство интеграции цифрового мира. Именно эти свойства интеграции OWL были использованы для выравнивания и гармонизации онтологий двух доменов BIM и GIS, чтобы стать будущей основой для

представления разделяемых и повторно используемых знаний в объединенных доменах, обеспечивая их способность описывать отношения. Их высокая взаимосвязь делают их основой для моделирования высококачественных, связанных и согласованных данных для транспортных инфраструктур. Одновременно с этим эти два домена получают и расширения в мир интернета.

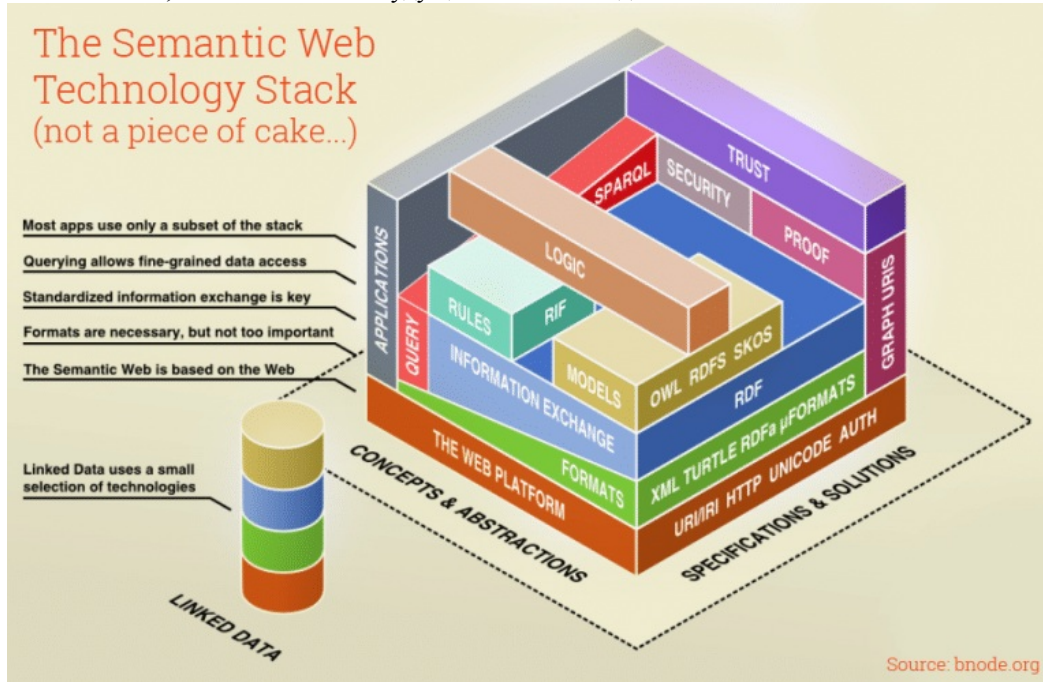


Рис. 4. Семантический веб - это больше не кусок торта [13]

Онтология ifcOWL [10] предоставляет OWL-представление схем EXPRESS IFC (ISO 16739: 20133) для представления данных о зданиях и сооружениях. Используя онтологию ifcOWL, модели зданий на основе IFC могут быть представлены в виде ориентированных помеченных графов. Кроме того, полученные графы RDF могут быть связаны с соответствующими данными, включая данные материалов, данные ГИС (географических информационных систем) или данные производителей продукции.

Онтология ifcOWL является необходимым инструментом для включения моделей IFC в инфраструктуру семантической паутины, но итоговые графы будут как минимум такими же большими и сложными, как и исходные модели IFC. Это происходит в моделях, которые могут быть слишком сложными и даже неудобными для некоторых сценариев. Следовательно, могут быть необходимы более легкие модели, например, MVD. ifcOWL предоставляет представление языка веб-онтологий (OWL) схемы Industry Foundation Classes (IFC). IFC - это открытый стандарт для представления данных о зданиях и сооружениях (см. BuildingSMART). Онтология ifcOWL имеет тот же статус, что и схемы EXPRESS и XSD IFC. Что чему соответствует в объединении ifcOWL показано на рисунке 5.

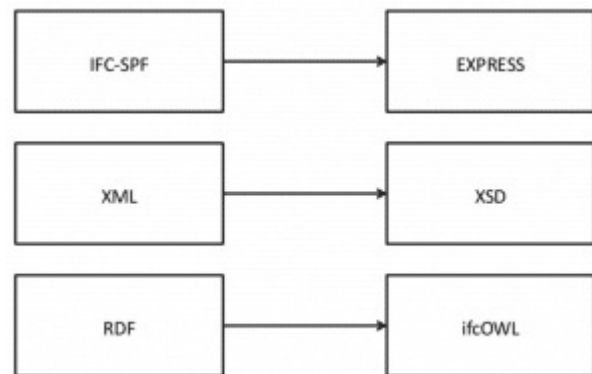


Рис. 5. Что чему соответствует в объединении ifcOWL [10].

Используя онтологию ifcOWL, можно представлять данные здания, используя самые современные веб-технологии (семантическая сеть и технологии связанных данных). Таким образом, данные IFC становятся доступными в ориентированных помеченных графах (RDF). Эта графовая модель и базовый стек веб-технологий позволяют легко связать данные о зданиях с данными материалов, данными ГИС, данными производителей продуктов, данными датчиков, схемами классификации, социальными данными и т. д. Результатом является сеть связанных данных о зданиях, которая предоставляет широкие возможности для

управления данными и обмена ими в строительной отрасли и за ее пределами [10].

Вся схема IFC EXPRESS (объекты, типы и свойства IFC и т. д.) доступна в одной большой онтологии ifcOWL. Кроме того, онтология ifcOWL использует некоторые классы и свойства OWL, которые определены в других местах. А именно, типы данных, специфичные для EXPRESS (не для IFC) и для представления списков, определены в следующих местах: EXPRESS онтология: <http://w3id.org/express#> и LIST онтология: <http://w3id.org/list#>. Онтология ifcOWL импортирует только онтологию EXPRESS [10]. В свою очередь онтология EXPRESS импортирует онтологию LIST. Процедура конвертации онтологий показана на рисунке 6.

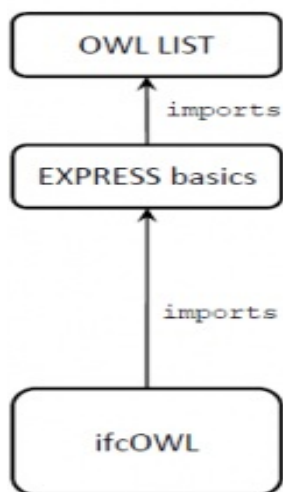


Рис. 6. Процедура конвертации онтологий [10]

Онтологии ifcOWL генерируются непосредственно из схем IFC EXPRESS. Рекомендуемая процедура преобразования полностью открыта и задокументирована в рекомендации LDWG. Процедура следует принципам, показанным на схеме ниже на рисунке 7.

IFC Schema	ifcOWL Ontology
Simple data type	owl:class + owl:DatatypeProperty restriction
Defined data type	owl:class
Aggregation data type	owl:class
SET data type -----	----- non-functional owl:ObjectProperty
LIST & ARRAY data type -----	----- indirect subclass of express:List
Constructed data type	owl:class
SELECT data type -----	----- rdfs:subClassOf for owl:classes
ENUMERATION data type -----	----- rdf:type for owl:NamedIndividuals
Entity data type	owl:class
Attributes -----	----- object properties
Derive attr	-
WHERE rules	-
Functions	-
Rules	-

Рис. 7 Принципы преобразований между IFC и IFCOWL [10]

#### IV ВЫВОДЫ

Идея открытых стандартов представляется чрезвычайно важной для развития технологий (включая строительство транспортных инфраструктур). Применение этих стандартов является сегодня движущей силой инноваций, так как позволяет в них участвовать всем желающим.

Созданные таким образом новые технологии повышают эффективность процесса, снижают затраты и ускоряют сроки реализации проектов. Идея открытых стандартов лежала в основе всем известного сегодня Интернета и продолжает его развивать усилиями некоммерческого объединения W3C, публикующего даже не стандарты, а рекомендации, которые зачастую имеют гораздо большую силу, чем официально опубликованные стандарты. BuildingSMART и другие участвующие некоммерческие организации стандартизации, принимавшие участие в процессах по стандартизации транспортных инфраструктур, описанных выше, взяли за основу своей работы принципы W3C и уже добились, как нам кажется, выдающихся результатов.

Начало, как всегда, может быть довольно сложным, и по мере развития пользователей у них могут возникнуть определенные неудобства. Но примеры развития прозрачности в Интернете воодушевляют. Вспоминая, например, тот уже забытый факт, что веб-сайты должны были раньше создаваться несколько раз для правильной работы в различных браузерах (Internet Explorer, Opera и т. д.) и сегодняшний день универсализации работы глобальной паутины, есть надежда, что открытые стандарты, которые мы обсуждали в этой статье, построят такой же удобный новый мир транспортных инфраструктур. В настоящее время, независимо от используемого нами браузера, их производители предоставляют стандартные сертификаты, позволяющие тем, кто пишет веб-страницы, использовать общий набор правил. Используя открытые стандарты, компьютеры по всему миру могут легко взаимодействовать друг с другом.

Для транспортных инфраструктур такой процесс должен привести к бесшовному взаимодействию между собой и зданиями и сооружениями, являющиеся их составными частями.

Для многих людей слово «онтология» может звучать абстрактно. Многие достижения современной онтологии происходят из процесса создания Всемирной паутины, но человечество придумало онтологию более 2500 лет назад, и она стала живой частью философии, а ныне развивается как очень важная часть цифровой экономики. Используя онтологию, Интернет стал способен определять так называемую «семантическую сеть», анализируя все веб-данные, включая контент, ссылки и транзакции между человеком и компьютером. В семантической сети среда описания ресурсов (RDF) и язык веб-онтологий (OWL) были установлены в качестве стандартных форматов для обмена и интеграции, как данных, так и знаний. Последние представляются в форме богатых концептуальных схем,

называемых онтологиями. [14-17]. В этой статье в качестве рабочего определения используется слово онтология, однако стоит упомянуть, что в современном мире цифровых технологий также широко используется термин «граф знаний» для обозначения этой концепции.

Таким образом IFC становится онтологически прозрачной, междисциплинарной схемой модели способной к представлению строительного проекта, включая сети, планы работы, планы расходов, разбивку проекта на части, анализ, обеспечивая эксплуатацию и обслуживание в рамках всего жизненный цикл проекта

от концепции до сноса. Многие концепции IFC разработанные для зданий становятся применимы к транспортным инфраструктурам благодаря опубликованным кандидатам в стандарты BuildingSMART. Ожидается, что в 2020 году будет опубликован в BuildingSMART новая версия IFC5, которая, как и все предыдущие, скорее всего, станет международным стандартом ISO. Образно это развитие IFC представлено на рисунке 8. На этом рисунке видно, что IFC развивается в сторону возможностей использования в строительстве и обслуживании искусственного интеллекта (ИИ).

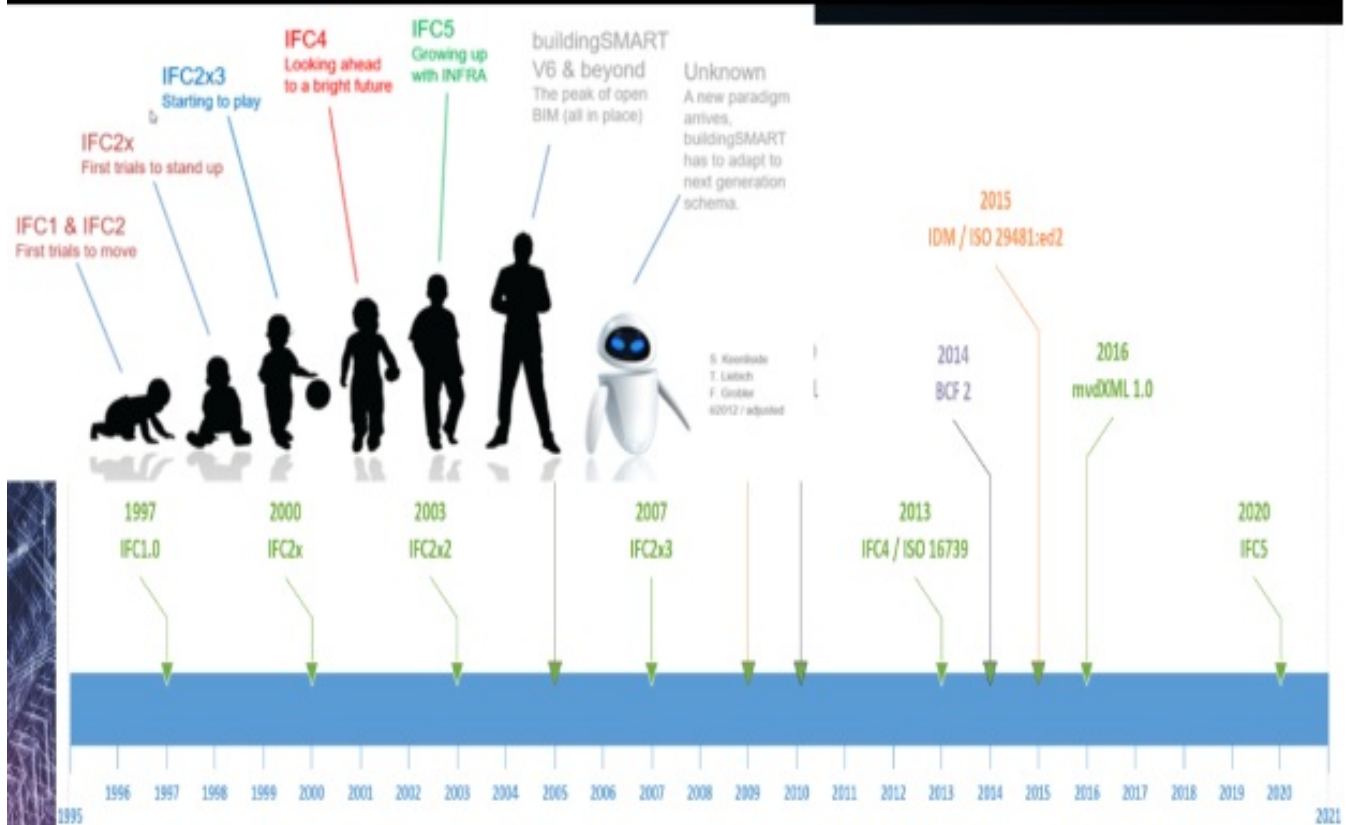


Рис. 8. Развитие онтологий IFC BuildingSMART по версиям (источник -Melbourne Future Infrastructure Summit 2019 Jon Mirtschin Director Geometry Gym)

Впрочем, использование ИИ в строительстве транспортных инфраструктур уже происходит. В работе [18], посвященной автоматическому созданию стальных соединений BIM с помощью машинного обучения (стальные конструкции и их соединения широко применяются в транспортных инфраструктурах), уже обсуждаются экономические преимущества применения ИИ в этой сфере. Поэтому мы хотим отметить, что в том, что касается искусственного интеллекта (ИИ), термины «большие данные», «машинное обучение» и «глубокое обучение» медленно заменяют использование термина «ИИ». Однако нет машинного интеллекта без формализованного представления онтологического знания. Другими словами, для выполнения своей «магической нейронной работы» ИИ требует некоторых элементов инженерии знаний, информационной архитектуры и значительного объема человеческой работы. Как ни странно но, пожалуй, самое главное, мы

должны признать, что именно интеллектуальные наборы данных, а не алгоритмы, могут быть ключевым ограничивающим фактором в развитии искусственного интеллекта на уровне человека.

Онтология - это структурированное и формальное представление относительного знания в определенной области. Это необходимо, потому что, в отличие от людей, компьютер не может напрямую полагаться на знания человека о правильном использовании термина. Однако онтология может «узнать» о семантическом значении термина с помощью взаимосвязей между понятиями в его системе. Мощные онтологии уже существуют в определенных областях, примеры которых включают в себя онтологии, о которых мы говорили выше.

Другая важная часть ИИ - это семантические рассуждения. Он может выполнять задачи, требующие явных рассуждений, на основе общих и специфичных для предметной области знаний, таких как понимание семантической структуры информации. Таким образом, такие задачи требуют информации, которая не является частью входных данных, но должна динамически сочетаться со знаниями. Этот тип машинного мышления

может быть достигнут только с помощью онтологий и способа моделирования их знаний [14-17].

Семантическая система опирается на явные, понятные человеку представления концепций, отношений и правил для развития желаемой области знаний, такой как транспорт. Невозможно полагаться исключительно на программистов при создании такой системы, основанной на ИИ, поскольку им не хватает знаний, необходимых для определения взаимосвязей между концепциями в конкретных транспортных областях. Следовательно, знание предметной области транспорта должно быть получено от экспертов по предметной области, имеющих различное происхождение (например, закон об интеллектуальной собственности, гидродинамика, структуры для автомобилей, образовательные и профессиональные системы и т.д.). Этот процесс имеет решающее значение для создания всеобъемлющего представления знаний о транспортных инфраструктурах России. Таким образом, обеспечивая внедрение и развитие BIM (IFC) для транспортных инфраструктур в России, можно обеспечить базу для их согласованного, экономически обоснованного и выгодного по времени создания и развития в жизненном цикле, соответствующего лучшим мировым практикам или превосходящего их.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] 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.
- [2] Куприяновский В. П. и др. BIM НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ МИРА-РАЗВИТИЕ, ПРИМЕРЫ, СТАНДАРТЫ //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 5.
- [3] Pokusaev O. et al. BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 6. – С. 108-135.
- [4] buildingSMART Part 1 - The UML Model Report Introduction to the IFC Harmonised Schema Extensions ,Project/Publisher: Common Schema / Infrastructure Room, Work Package: Common Schema - WP2 – Harmonisation & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-1\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-1_.pdf)
- [5] buildingSMART Part 2 - The UML Model Report, Common Schema Elements, Project/Publisher: Common Schema / IFC Infra Program Office, Work Package: Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-2\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-2_.pdf)
- [6] buildingSMART Part 3 - The UML Model Report, Ports & Waterways Schema Elements, Project/Publisher: IFC Infrastructure for Ports & Waterways (IPW), Common Schema / IFC Infra Program Office, Work Package: IPW - WP3 – Schema Extension Development, Common Schema - WP2 – Harmonization & Development Date: 24/04/2020, Version: V07 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-3\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-3_.pdf)
- [7] buildingSMART Part 4 - The UML Model Report Railway Schema Elements ,Project/Publisher: IFC Rail / Railway Room Common Schema / IFC Infra Program Office Work Package: IFC Rail - WP2 - Schema Extension Development Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020 Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-4\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-4_.pdf)
- [8] buildingSMART Part 5 - The UML Model Report Road Schema Elements, Project/Publisher: IFC Road Project Common Schema / IFC Infra Program Office Work Package: IFC Road – WP3 – Schema Extension Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-5\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-5_.pdf)
- [9] Industry Foundation Classes Version 4.2 bSI Draft Standard IFC Bridge proposed extension, buildingSMART 2020 [https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/)
- [10] ifcOWL, buildingSMART <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/>
- [11] Knut Jetlund, Erling Onstein and Lizhen Huang IFC Schemas in ISO/TC 211 Compliant UML for Improved Interoperability between BIM and GIS ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 278; doi:10.3390/ijgi9040278 [www.mdpi.com/journal/ijgi](http://www.mdpi.com/journal/ijgi)
- [12] Bridging the Gap between Geospatial and Construction - 14/02/2020 Christian Clemen, Ana Roxin <https://www.geo4construction.com/content/article/bridging-the-gap-between-geospatial-and-construction>
- [13] What are Ontologies? <https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/what-are-ontologies/>
- [14] Куприяновский В. П. и др. Формализованные онтологии и сервисы для высокоскоростных магистралей и цифровой железной дороги //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 6. – С. 69-86.
- [15] Волокитин Ю. И. и др. Проблемы цифровой экономики и формализованные онтологии //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 6. – С. 87-96.
- [16] Klimov A. et al. BIM and engineering formalized ontologies on the European digital railway in the EULYNX-data economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 8. – С. 38-65.
- [17] Kupriyanovsky V. et al. On the effects of formalized ontologies in the data economy-the EU experience //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 8. – С. 66-78.
- [18] Joonas Helminen: Automated generation of steel connections of BIM by machine learning, Master of Science Thesis, Tampere University, Master's Degree Programme in Civil Engineering, May 2019.



# BIM on the way to IFC5 - alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways

Vasily Kupriyanovsky, Oleg Pokusaev, Alexander Klimov, Alexey Volodin

**Abstract—** The article discusses the development and standardization of BIM. The standardization of BIM itself today goes through the formalization of semantic and ontological relationships between elements of buildings, structures, and transport infrastructures and begins to almost coincide with the extensions and alignments of standards developed by buildingSMART, known as IFC. There is undoubtedly a gap in the exchange of information between the geospatial and construction fields, well understood in transport practice. The reason for this is that geospatial systems and engineering surveys have not yet been harmonized and integrated with building information modeling (BIM) and therefore do not allow for widespread implementation of significant cost and time savings. This gap for the structures of roads and railways, bridges, tunnels, ports, and waterways consists in the absence of an unambiguous interpretation of concepts and semantic links in the ontological domains of BIM and GIS and is the subject of efforts and plans of buildingSMART and its partners. By ensuring the implementation and development of BIM (IFC) for transport infrastructures in Russia, it is possible to provide a basis for their coordinated, economically sound, and time-saving creation and development in the life cycle, in line with or even surpassing the best world practices.

**Key words—** BIM, IFC, UML, OWL.

## REFERENCES

- [1] Kupriyanovskij V. P. i dr. CIFROVYE DVOJNIKI NA BAZE RAZVITIIJa TEHNOLOGIJ BIM, SVJaZANNYE ONTOLOGIJJaMI, 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.
- [2] Kupriyanovskij V. P. i dr. BIM NA ZheLEZNYH DOROGAH MIRA-RAZVITIE, PRIMERY, STANDARTY //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 5.
- [3] Pokusaev O. et al. BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 6. – S. 108-135.
- [4] buildingSMART Part 1 - The UML Model Report Introduction to the IFC Harmonised Schema Extensions ,Project/Publisher: Common Schema / Infrastructure Room, Work Package: Common Schema - WP2 – Harmonisation & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-1\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-1_.pdf)
- [5] buildingSMART Part 2 - The UML Model Report, Common Schema Elements, Project/Publisher: Common Schema / IFC Infra Program Office, Work Package: Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-2\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-2_.pdf)
- [6] buildingSMART Part 3 - The UML Model Report, Ports & Waterways Schema Elements, Project/Publisher: IFC Infrastructure for Ports & Waterways (IPW), Common Schema / IFC Infra Program Office, Work Package: IPW - WP3 – Schema Extension Development, Common Schema - WP2 – Harmonization & Development Date: 24/04/2020,Version: V07 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-3\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-3_.pdf)
- [7] buildingSMART Part 4 - The UML Model Report Railway Schema Elements ,Project/Publisher: IFC Rail / Railway Room Common Schema / IFC Infra Program Office Work Package: IFC Rail - WP2 - Schema Extension Development Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020 Version: V04 – FINAL, PUBLISHED[https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-4\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-4_.pdf)
- [8] buildingSMART Part 5 - The UML Model Report Road Schema Elements, Project/Publisher: IFC Road Project Common Schema / IFC Infra Program Office Work Package: IFC Road – WP3 – Schema Extension Common Schema - WP2 – Harmonization & Development, Date: 24/04/2020, Version: V04 – FINAL, PUBLISHED [https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-5\\_.pdf](https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-5_.pdf)
- [9] Industry Foundation Classes Version 4.2 bSI Draft Standard IFC Bridge proposed extension, buildingSMART 2020 [https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/)
- [10] ifcOWL, buildingSMART 2020 <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/>
- [11] Knut Jetlund, Erling Onstein and Lizhen Huang IFC Schemas in ISO/TC 211 Compliant UML for Improved Interoperability between BIM and GIS ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 278; doi:10.3390/ijgi9040278 [www.mdpi.com/journal/ijgi](http://www.mdpi.com/journal/ijgi)
- [12] Bridging the Gap between Geospatial and Construction - 14/02/2020 Christian Clemen, Ana Roxin <https://www.geo4construction.com/content/article/bridging-the-gap-between-geospatial-and-construction>
- [13] What are Ontologies? <https://www.ontotext.com/knowledgehub/fundamentals/what-are-ontologies/>
- [14] Kupriyanovskij V. P. i dr. Formalizovannye ontologii i servisy dlja vysokoskorostnyh magistralej i cifrovoj zheleznoj dorogi //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 6. - S. 69-86.
- [15] Volokitin Ju. I. i dr. Problemy cifrovoj jekonomiki i formalizovannye ontologii //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 6. – S. 87-96.
- [16] Klimov A. et al. BIM and engineering formalized ontologies on the European digital railway in the EULYNX-data economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 8. – S. 38-65.

- [17]Kupriyanovsky V. et al. On the effects of formalized ontologies in the data economy-the EU experience //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 8. – S. 66-78.
- [18]Joonas Helminen: Automated generation of steel connections of BIM by machine learning, Master of Science Thesis,Tampere University, Master's Degree Programme in Civil Engineering, May 2019.