

ARTIFICIAL INTELLIGENCE ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

УДК 681.32

Н.В. Максимов, В.И. Широков, А.Ю. Шаманин

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВАНИИ СТАНДАРТОВ ISO 15926, IEC 61970

Максимов Николай Вениаминович, доктор технических наук, профессор. Окончил Московский инженерно-физический институт, профессор кафедры системного анализа МИФИ. Автор более 120 научных работ, учебников и учебных пособий. Область научных интересов: моделирование и разработка документальных информационно-поисковых систем и баз данных, лингвистическое обеспечение документальных информационно-поисковых систем и систем управления знаниями; человеко-машинные информационные системы, интерфейсы на основе когнитивных и поведенческих моделей. [e-mail: nv-maks@yandex.ru].

Широков Валерий Игоревич, окончил Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Ведущий инженер АО ИК «АСЭ», магистрант Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». Область научных интересов: базы данных, системы автоматизированного проектирования и расчета электрических сетей. [e-mail: v.shirokov@ase-ec.ru].

Шаманин Александр Юрьевич, окончил НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Эксперт АО ИК «АСЭ». Область научных интересов: системная инженерия, моделирование систем, онтологии, семантический и синтаксический анализ текстовой информации. [e-mail: al.shamanin@ase-ec.ru].

Аннотация

Статья описывает подход к разработке онтологии в области электроэнергетики с использованием современных международных стандартов. В настоящее время при проектировании электроустановок проектировщики сталкиваются с недостоверностью информации, полученной из нескольких источников, а также сложностью поиска и разнородностью информации. Приводятся требования к онтологии предметной области в области электроэнергетики, а также выполняется сравнение стандартов ISO 15926 и IEC 61970. Делается вывод о полноте представления классов в CIM-модели для стадии эксплуатации.

Выполняется обзор публикаций по данной тематике. Проводится порядок построения прототипа онтологии с использованием программы DOT-15926 на примере свойств трансформатора и методологии стандарта ISO 15926. Данный прототип использовался для передачи из системы проектирования E3.Series в расчетный комплекс ETAP. Передача данных осуществлялась в файловом виде, с преобразованием в программе DOT-15926.

Ключевые слова: ISO 15926, IEC 61970, CIM, онтология предметной области, электроэнергетика.

doi: 10.35752/1991-2927-2019-2-56-59-68

AN APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF ONTOLOGY FOR ELECTRIC-POWER ENGINEERING DOMAIN BASED ON STANDARDS ISO 15926, IEC 61970

Nikolai Veniaminovich Maksimov, Doctor of Science in Engineering, Professor; graduated from Moscow Engineering Physics Institute; Professor of the System Analysis Department at Moscow Engineering Physics Institute; an author of more than 120 scientific papers, textbooks and manuals; research interests are in the field of modeling and development of documentary information retrieval systems and databases, linguistic support of documentary information retrieval systems and knowledge management systems; man-machine information systems, interfaces based on cognitive and behavioral models. e-mail: nv-maks@yandex.ru.

Valerii Igorevich Shirokov, graduated from Nizhny Novgorod State University n.a. R.E. Alekseev; Leading Engineer of JSC IC ASE; a student in the master's degree at the National Research Nuclear University MEPhI; research interests are in the field of databases, automated design and calculation of electrical networks. e-mail: v.shirokov@ase-ec.ru.

Alexander Iurevich Shamanin, graduated from Nizhny Novgorod State University n.a. R.E. Alekseev; an expert of JSC IC "ASE"; research interests are in the field of systems engineering, systems modeling, ontology, semantic and syntactic analysis of textual information. e-mail: al.shamanin@ase-ec.ru.

Abstract

The article deals with an approach to the development of ontology in the field of electric power industry using up-to-date international standards. Currently, when designing electrical installations, designers are faced with unreliable information from several sources as well as search complexity and heterogeneity of information. The requirements for the ontology of the subject area in the field of electric power industry are given, and the ISO 15926 and IEC 61970 standards are compared. It is concluded that the classes in the CIM model are complete for the operational stage.

Publications on this topic are reviewed. The procedure for constructing an ontology prototype is carried out using the DOT-15926 program in terms of transformer parameters and the ISO 15926 standard methodology. This prototype was used to transfer from the E3.Series design system to the ETAP calculation complex. Data transfer was carried out in a file form with the conversion in the DOT-15926 program.

Key words: ISO 15926, IEC 61970, CIM, domain ontology, electric power engineering.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается увеличение объемов строительства объектов энергетических систем [1]. Сооружаются как крупные тепловые и атомные электростанции (АЭС), так и ветропарки, и солнечные электростанции. Одним из способов снижения рисков проектирования и строительства является повышение качества информационной модели и «изготавливаемой» по ней рабочей документации, а также переход от нескольких информационных моделей (проектная, расчетная, испытательная) к единой модели.

Выполнение операций с оборудованием в той или иной мере оказывает влияние на работу других объектов энергосистемы (изменение потребляемой или вырабатываемой мощности, снижение надежности электроснабжения, изменение значений напряжения). Происходит обмен информацией между различными уровнями энергосистемы в процессе эксплуатации. Столь сложная иерархическая система, состоящая из многих компонентов, интегрируемых между собой как по информации, так и по управлению, может быть построена только на основе принятых всеми разработчиками методов унификации. Все интегрируемые компоненты должны использовать единую систему классификаторов и справочников, унифицированные

структуры данных, единую геоинформационную систему. Создание единого информационного пространства и организацию информационного взаимодействия субъектов рынка между собой целесообразно осуществлять на основе обобщенной информационной модели.

Роль обобщенной информационной модели может выполнять онтология [2], которая представляет собой некоторую концептуальную метамодель [3] для описания различных предметов (объектов) окружающего мира, при этом используется объектно-ориентированная терминология. Связь общей онтологии и информационной модели представлена на рисунке 1.

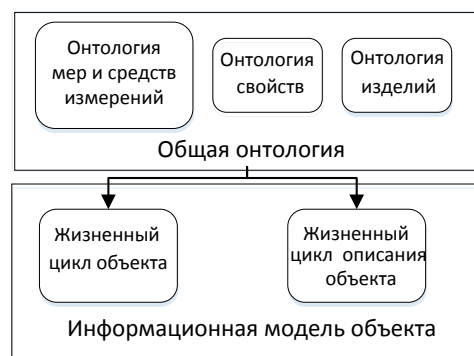


Рис. 1. Взаимосвязь онтологии и информационной модели

Актуальность задачи создания электроэнергетической онтологии и организации с ее помощью открытого доступа к справочной информации по параметрам электротехнического оборудования заключается в следующем:

1) *Недостоверность информации, полученной из нескольких источников.* Поскольку большинство справочников основаны на дублировании информации из других источников, отсутствует исходный «скелет» структуры данных.

2) *Сложность поиска информации.* Опыт поиска параметров электротехнического оборудования показывает, что оперативно найти необходимые данные (значения атрибутов оборудования) по исходному запросу в интернете практически невозможно.

3) *Разнородность представления информации.* В различных справочниках одни и те же параметры представляются в разном виде. Например, для поперечной емкости линий электропередач и кабелей используются: емкость фазная на землю (Сф) и междуфазная емкость (Смф), или емкостная проводимость, или реактивная мощность (МВар).

4) *Потеря актуальности информации.* Рынок электротехнического оборудования неизменно пополняется всё новыми видами продукции, особенно в отрасли микропроцессорной техники. Следовательно, справочная информация быстро теряет актуальность и нуждается в постоянном обновлении.

В настоящей статье приводится сравнение основных стандартов онтологического представления данных в области электроэнергетики, а также описан процесс построения прототипа онтологии с помощью программного решения DOT-15926.

1 ОНТОЛОГИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Стоит отметить, что в настоящее время специализированные онтологии в области электроэнергетики отсутствуют.

С помощью онтологических аннотаций может обеспечиваться семантически ориентированный доступ к информации из различных источников, к которым относятся ресурсы глобальной сети [4], научно-технические базы знаний, обучающие системы [5], а также управленческие, производственные и коммерческие информационные ресурсы и системы [6]. Во всех этих сферах существует проблема возрастающей сложности ориентации пользователей в постоянно увеличивающемся объеме документов, заполняющих информационные хранилища в глобальных и корпоративных сетях. Общее направление решения указанных проблем многим специалистам видится в онтологическом подходе к структурированию и аннотированию информационных ресурсов.

Рассмотрим основные публикации авторов по созданию онтологий с использованием стандартов ISO 15926 и IEC 61970. Основными группами создания онтологий на основании стандарта ISO 15926 являются «европей-

ская» с центром в Нидерландах и «южно-азиатская» с центром в Южной Корее. Основное направление «южно-азиатской» группы – это использование методологии стандарта для обмена данными при проектировании и строительстве АЭС, в том числе в области электроэнергетики [7], и создании репозитория оборудования и связи с ним с помощью фасадов в соответствии с ISO 15926-9. Еще одной статьей [8] этой группы является использование стандарта ISO 15926 для автоматизации проектирования за счет построения логической конфигурации, спецификаций оборудования и портов и 3D-форм на основании методологии стандарта. Еще одно предложение [9] построения онтологии на основании функциональных групп материалов, физической конфигурации выполняет «европейская» группа.

Наиболее близкими по цели данной статьи являются работы [10] и [11]. В первой статье проводится сравнение 8 различных стандартов, в том числе указанных, с точки зрения расширяемости на различные объекты и представленной методологии. Во второй – проводится сопоставление стандартов ISO 15926 и IEC 61970, после чего, с использованием UML-модели данных, построенных по атрибутам IEC 61970, производят моделирование онтологии. Далее проводится имитационное моделирование объектов по указанным атрибутам.

Далее рассмотрим два стандарта, которые используются при создании онтологии, ISO 15926 и IEC 61970.

Стандарт ISO 15926 «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла установок непрерывного производства, включая нефтяное и газовое производственное оборудование» является наиболее современным стандартом интеграции инженерных данных, часть глав стандарта выпущены в России в адаптированной версии ГОСТ Р ИСО. Цель разработки стандарта состоит в том, чтобы создать единую методологию представления инженерных данных о составе и устройстве сложных инженерных объектов. ISO 15926 обеспечивает представление и обмен данными жизненного цикла на основе универсальной модели данных, введенной ее спецификацией [12] ISO 15926-2. На рисунке 2 представлена иерархия классов. Из нее видно, что единица оборудования классифицируется как физический объект и как класс оборудования [13].

Кроме того, ее спецификация [14] ISO 15926-4 вводит словарь-справочных данных, который предоставляет подробную информацию об экземпляре, такую как двигатели, выключатели, которые далее классифицируются до более низких подклассов.

Стандарт ISO 15926 рассматривает Thing как самый общий тип [13], который может быть идентифицирован по классу CIM Identified Object и специализирован в два подтипа.

Possible Individual [14], этот класс требуется для представления данных, потому что Thing существует в пространстве и во времени. Physical Object определяет Possible Individual, который является распределением обоих ее подклассов. Functional Physical Object определяет физические объекты и их функции.

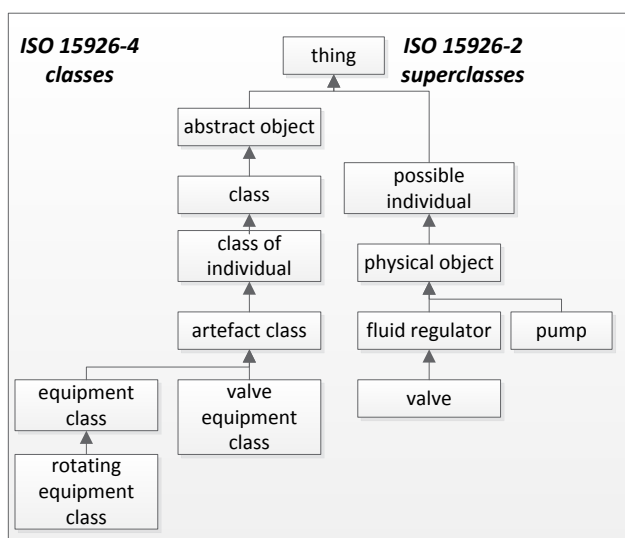


Рис. 2. Часть ISO 15926

Abstract object – противоположность сущности possible_individual. Abstract_object является сущностью, не существующей в пространстве и во времени. С помощью Abstract object определяются абстрактные классы, т. е. классы, которые не могут иметь прямых экземпляров. Пример из модели данных 15926: Сущность Thing является абстрактным супертипом сущностей abstract_object и possible_individual. Это значит, что множество экземпляров Thing эквивалентно объединению множества экземпляров abstract_object и множества экземпляров possible_individual.

Более специализированную модель данных представляет стандарт IEC 61970, который изначально создавался для обмена данными при эксплуатации электроустановок и их диспетчерского управления.

Обобщенная информационная модель (CIM), предлагаемая в этом стандарте, представляет собой некоторую концептуальную модель для описания различных предметов (объектов) окружающего мира, использующую объектно-ориентированную терминологию. По существу, CIM представляет собой информационную модель, задачей которой является единое унифицированное представление структур данных, независимо от источника происхождения данных и целей их использования.

Во-первых, это информационная модель, представляющая реальные объекты магистральных систем электропередачи, распределительных систем и управления. Модель включает классы объектов, их свойства (атрибуты) и взаимосвязи между классами/объектами.

Во-вторых, это инструмент для обеспечения интеграции приложений/систем. При

этом также предоставляется общий язык для обмена сообщениями между системами.

CIM позволяет построить модель энергетической фирмы или группы компаний на основе описания всех объектов электроэнергетики (электростанции, ЛЭП, подстанции, трансформаторы, измерения, расписания и т. п.) и связей между ними (скажем, «компания управляет электростанцией»). Каждому объекту присваивается уникальный идентификатор ресурса (universal resource identifier, URI). В результате формируется общее представление о предприятиях электроэнергетики, элементах их инфраструктуры и об оборудовании, а также создается стандартизованное, не зависящее от поставщиков программных продуктов описание инфраструктуры энергетической фирмы или группы компаний. Расширения позволяют применять стандарт для решения задач отдельных компаний, их групп и отрасли в целом. При этом, если несколько организаций планируют обмениваться моделями, они должны совместно работать над расширением стандарта. Стандарт IEC 61970-301 является семантической моделью, которая описывает компоненты энергосистемы на электрическом уровне, а также связи между компонентами. Ее часть представлена на рисунке 3.

Представленные в CIM классы объектов являются абстрактными по своей природе и могут использоваться в широком спектре прикладных программ.

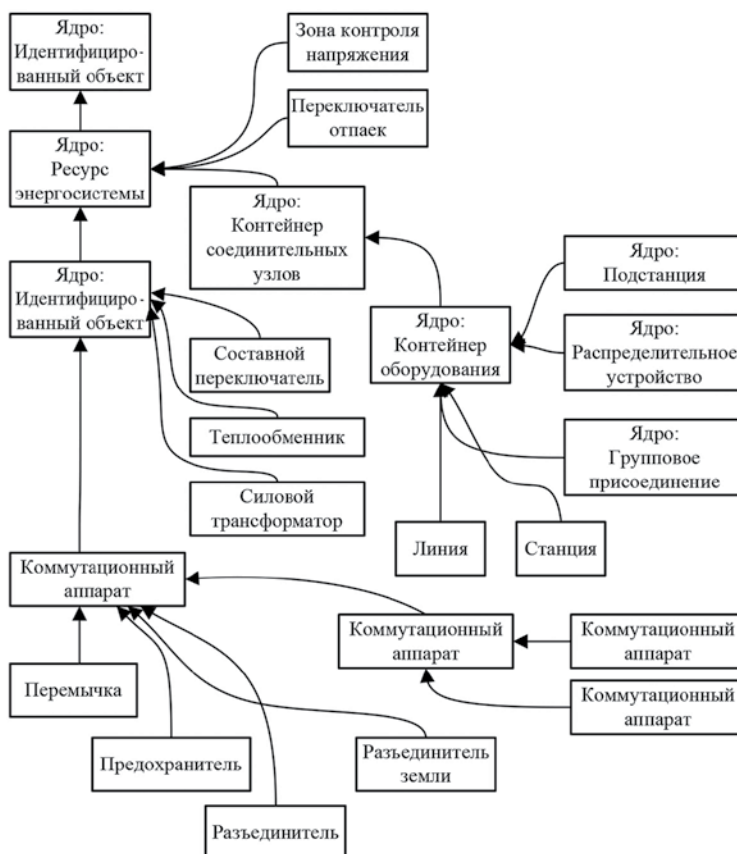


Рис. 3. Классификация оборудования по IEC 61970-301

Однако на основании этого стандарта не удастся построить онтологию с прослеживанием стадий жизненного цикла, так как в CIM не предусмотрено временное изменение атрибутов экземпляра. Так же в CIM приводимые атрибуты не подходят для использования атрибутов на стадии проектирования. Но CIM-классы можно использовать для связи экземпляров оборудования, классифицированных по ISO 15926-4 в, надклассы энергосистем или электростанций.

2 Загрузка данных и создание онтологии

На основании проведенного анализа был разработан прототип онтологии с помощью программы DOT-15926 и библиотеки справочных данных PCA RDL [15]. Исходными данными были выбраны 5 распространённых классов электрооборудования, в каждом по 5 экземпляров: трансформатор 10/0,4 кВ, вакуумный выключатель 10 кВ, дизель-генератор 10 кВ, автоматический выключатель 0,4 кВ, кабель 10 кВ. На рисунке 4 представлен участок схемы электрической сети с использованием этих элементов.

Далее рассмотрим основные этапы формирования онтологии, выбранных классов элементов и их экземпляров.

Первым этапом является подготовка данных в формате Excel. Данные должны представляться в таблице (табл. 1), столбцы которой являются свойствами, а каждая строка отдельно – набором характеристик одного экземпляра.

Для создания онтологического описания объекта RDL требуются следующие шаблоны:

1) Создание объекта в RDL и задание его описания (описание, создатель, дата и т. п.);

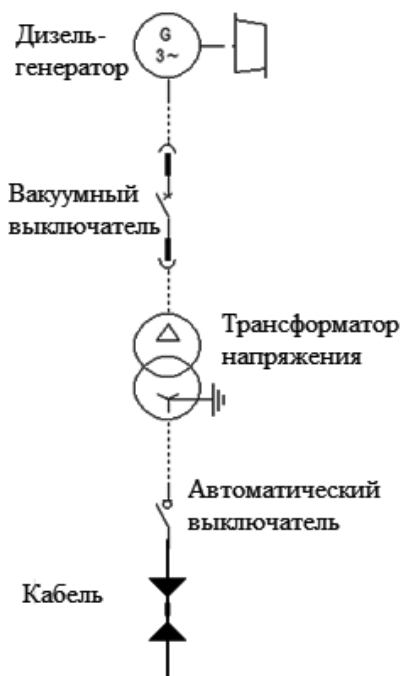


Рис. 4. Схема из 5 элементов для прототипа онтологии

2) Задание типа создаваемого объекта (в таблице 1 после наименования представлена ссылка на глобальный классификатор);

3) Классификация объекта (включение объекта в класс);

4) Задание свойств объекта (IndirectPropertyScaleReal)

В качестве входных переменных при работе шаблонов используются данные из преобразуемой таблицы Excel, которые берутся из соответствующих столбцов.

Таблица 1

Исходные данные для шаблона

Наименование оборудования/ классификатор	Атрибуты
Трансформатор /http://posccaesar.org/rdl/RDS877814	Мощность силового трансформатора, кВА
	Номинальное напряжение обмотки ВН, кВ
	Масса нетто, кг
	Индуктивное сопротивление, Ом
	Реактивное сопротивление, Ом

Полям исходной таблицы назначаются соответствующие свойства объекта (рис. 5). Как в примере ниже, наименование нашего объекта (переменная **Possessor**) помещается в свойство **label**. Аналогичным образом поступаем с описанием объекта, заданием имени автора и URI локального RDL. Также можно задать многие другие свойства объекта.

В рассматриваемых примерах для загружаемых в RDL объектов задается тип PossibleIndividual. Тип объекта задается аналогично свойствам объекта, только в этом случае сначала выбирается в качестве переменной свойство **type**, а затем этой переменной присваивается значение нужного типа.

Сущность PossibleIndividual существует в пространстве и времени, часто называется конкретным объектом. Она включает сущности:

- реально существуют или действительно существовали раньше;
- может быть, существовали раньше и, возможно, будут существовать и далее;
- являются гипотетическими, ранее не существовавшими и не имеющими будущего.

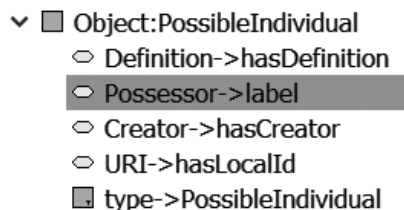


Рис. 5. Соответствие свойств их отношениям

Для классификации используется прото-шаблон, основанный на отношении Classification из 2 части стандарта ISO 15926. Шаблон классификации имеет 2 позиции: объект и класс, в который включается объект.

IndirectPropertyScaleReal

Для описания свойства объекта (тип PossibleIndividual) используется шаблон из 7 части ISO 15926 – IndirectPropertyScaleReal (табл. 2).

$IndirectPropertyScaleReal(a, b, c, d)$ означает, что a – это класс **ClassOfIndirectProperty**, b – это временная часть возможного индивидуального объекта **PossibleIndividual**, к которому относится данная зависимость, c – это число с плавающей точкой, задающее значение свойства, d – это шкала (единица измерения). При этом b имеет тип a для класса **ClassOfIndirectProperty**, имеет значение c , и d – единица измерения.

Таблица 2

Роли шаблона IndirectPropertyScaleReal

Название роли	Тип роли
Тип свойства	ClassOfIndirectProperty
Обладатель свойства	PossibleIndividual
Значение свойства	ExpressReal
Шкала свойства	Scale

$$IndirectPropertyScaleReal(x1, x2, x3, x4) \leftrightarrow$$

$$ClassOfIndirectProperty(x1) \wedge PossibleIndividual(x2) \wedge ExpressReal(x3) \wedge Scale(x4) \wedge$$

$$\exists u (InstanceOfIndirectProperty(x1, x2, u) \wedge RealMagnitudeOfProperty(u, x3, x4))$$

В этом шаблоне (рис. 6) присутствуют 4 входных параметра:

- 1 – Тип свойства объекта (важно, что тип этого свойства – ClassOfIndirectProperty);
- 2 – Описываемый элемент – обладатель свойства (тип PossibleIndividual);
- 3 – Значение свойства (числовое значение с плавающей точкой);
- 4 – Единица измерения свойства – шкала свойства (тип Scale).

На рисунке 7 приводится специализированный шаблон IndirectPropertyScaleReal со специализирован-

- ▼ ▾ IndirectPropertyScaleReal
 - ▼ □ Roles (4)
 - > ◇ 1. Property type : ClassOfIndirectProperty
 - > ■ 2. hasPossessor : PossibleIndividual
 - > □ 3. Property value : xsd:float
 - > ◇ 4. hasScale : Scale

Рис. 6. Шаблон IndirectPropertyScaleReal

ными значениями в этом шаблоне Scale (используется шкала **Kilogram** и Property type – **Approximate operating weight**).

Таким образом, мы получаем прототип онтологии, состоящий из 5 классов элементов. В каждом классе находится 5 экземпляров элементов с различным набором атрибутов и свойств у каждого. Данная онтология выполнена с использованием классов из ISO 15926, а атрибутивное наполнение экземпляров использовано из IEC 61970.

Данный прототип использовался для передачи из системы проектирования E3.Series в расчетный комплекс ETAP. Передавалась схема элементов оборудования, представленная на рисунке 4. Передача данных осуществлялась в файловом виде, с преобразованием в программе DOT-15926. Даже в этом виде сокращение времени от повторного ввода данных для схемы из 5 элементов составляет 20 минут.

- ▼ ● ApproximateOperatingWeightInKG
 - ▼ ▾ entity1:IndirectPropertyScaleReal
 - ApproximateWeightValueInKG->Property value
 - Possessor->hasPossessor
 - ◇ entity3->Property type
 - ◇ entity2->hasScale
 - ▾ type->IndirectPropertyScaleReal
 - ▼ ◇ entity3=APPROXIMATE OPERATING WEIGHT
 - ◇ uri->APPROXIMATE OPERATING WEIGHT
 - ▼ ◇ entity2=KILOGRAM
 - ◇ uri->KILOGRAM

Рис. 7. Специализированный шаблон ApproximateOperatingWeight

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось создание прототипа онтологии на основании существующих международных стандартов различных предметных областей. Проведенный анализ показал схожесть данных стандартов в классификации оборудования, а также представлении предметной области. Главное отличие описанных стандартов состоит в ориентации ISO 15926 на охват всего жизненного цикла экземпляра объекта с использованием четырехмерного подхода. Минусом же его является отсутствие конкретных атрибутов и описания методологии представления, ориентированной в большей мере на тепломеханическое оборудование.

Нужно отметить, что и представленные в CIM классы объектов (IEC 61970) являются абстрактными по своей природе и могут использоваться в широком спектре прикладных программ. Однако на основании этого стандарта не удастся построить онтологию с прослеживанием стадий жизненного цикла. Но CIM-классы можно использовать для связи экземпляров оборудования, классифицированных по ISO 15926-4 в, надклассы энергосистем или электростанций, таким образом достраивая «сверху» классификацию ISO 15926-4 CIM-классами.

Так же в данной работе был построен прототип онтологии электроэнергетического оборудования, состоящий из 5 классов, каждый из которых наполнен 5 экземплярами.

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы организациями, занимающимися проектированием электроэнергетических систем, для разработки онтологии, которая позволит реорганизовать как используемые каталоги, так и послужит основой передачи данных на различных стадиях жизненного цикла (проектирование, расчетное обоснование, монтаж, пусконаладочные работы и испытания, а также последующая эксплуатация). Онтология, таким образом, окажется идеальным средством унификации описаний изделий и подчинения множества концептуальных схем единой структуре. В результате открывается путь к широкой интеграции структурно или даже тематически разнородных ресурсов с возможностью обмена данными и использования в совместной работе. Это позволит снизить затраты за счет снижения времени на поиск, передачу данных между информационными системами и повторный ввод информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Piore I., Duffey R. Current and future nuclear power reactors and plants // *Managing Global Warming*. – Academic Press, 2019. – pp. 117–197.
2. Семантическое ядро цифровой платформы / Н.В. Максимов, О.Л. Голицына, М.Г. Ганченкова, Д.В. Санатов, А.В. Разумов // *Онтология проектирования*. – 2018. – № 3 (29). – С. 24–32.
3. Голицына О.Л., Куприянов В.М., Максимов Н.В. Информационные и технологические решения в задачах управления знаниями // *Научно-техническая информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы*. – 2015. – № 8. – С. 1–12.
4. Automatic medical encoding with SNOMED categories / P. Ruch, J. Gobeil, C. Lovis, A. Geissbthler // *BMC Medical Informatics and Decision Making*. – 2008. – 8 (Suppl 1): S6. – pp. 217–243.
5. Найханова Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования : монография / Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО ВСГТУ. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. – 244 с.
6. Haav H.M. An application of inductive concept analysis to construction of domain-specific ontologies // *Emerging Database Research in East Europe, Proceedings of the Pre-Conference Workshop of VLDB*, 2003. – pp. 63–67.
7. Kim B. C. et al. Integration of distributed plant lifecycle data using ISO 15926 and Web services // *Annals of nuclear energy*. – 2011. – Vol. 38, №. 11. – pp. 2309–2318.
8. Kim B. C. et al. Toward standardized exchange of plant 3D CAD models using ISO 15926 // *Computer-Aided Design*. – 2017. – Vol. 83. – pp. 80–95.

9. An industry-oriented ontology-based knowledge model for batch process automation / W. Lepuschitz et al. // 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). – IEEE, 2018. – pp. 1568–1573.

10. Information modeling for middleware in automation / W. Mahnke et al. // *ETFA 2011*. – IEEE, 2011. – P. 1

11. Multi-Domain Semantic Information and Physical Behavior Modeling of Power Systems and Gas Turbines Expanding the Common Information Model / F.J. Gómez et al. // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – pp. 72663–72674.

12. ISO 15926-2:2003. Industrial automation systems and integration – Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities – Part 2: Data model. – URL: <https://www.iso.org/standard/29557.html>.

13. Kwon S. Standardized exchange of plant equipment and materials data based on ISO 15926 methodology in nuclear power plants // *Annals of Nuclear Energy*. – 2018. – Vol. 118. – pp. 185–198.

14. ISO 15926-4:2007. Industrial Automation Systems and Integration – Integration of Life-Cycle Data For Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities – Part 4: Initial Reference Data, 2007. – URL: <https://www.iso.org/standard/73830.html>.

15. Opdahl, Andreas L. A platform for interoperable domain-specific enterprise modelling based on ISO 15926 // 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops. – IEEE, 2010. – pp. 301–310.

REFERENCES

1. Piore, I., Duffey, R. Current and Future Nuclear Power Reactors and Plants. *Managing Global Warming*, Academic Press, 2019, pp. 117–197.
2. Maksimov N.V., Golitsyna O.L., Ganchenkova M.G., Sanatov D.V., Razumov A.V. Семантическое ядро цифровой платформы [Semantic Core of Digital Platform]. *Ontologiya proektirovaniia* [Ontology of Designing, Scientific Journal], 2018, no. 3 (29), pp. 24–32.
3. Golitsyna O.L., Kupriyanov V.M., Maksimov N.V. Informatsionnye i tekhnologicheskie resheniia v zadachakh upravleniia znaniiami [Information and Engineering Solutions in Knowledge Management Problems]. *Nauchno-tekhnicheskaiia informatsiia. Ser. 1. Organizatsiia i metodika informatsionnoi raboty* [Scientific and Technical Information Processing. Series 1. Organization and Methods of Information Processing], 2015, no. 8, pp. 1–12.
4. Ruch, P., J. Gobeil, C. Lovis, A. Geissbthler Automatic Medical Encoding with SNOMED Categories. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2008, 8 (Suppl 1), S6, pp. 217–243.
5. Naikhanova L.V. *Tekhnologiya sozdaniia metodov avtomaticheskogo postroeniia ontologii s primeneniem geneticheskogo i avtomatnogo programmirovaniia. Monografiia. Federalnoe agentstvo po obrazovaniiu, GOU VPO VSGTU* [Technology for Creating the Methods of Automated Ontology Building by the Use of Genetic

and Automata-Based Programming. Monograph. Federal Education Agency]. Ulan-Ude, Izd-vo BNTs SO RAN Publ., 2008. 244 p.

6. Haav, H.M. An Application of Inductive Concept Analysis to Construction of Domain-specific Ontologies. *Emerging Database Research in East Europe. Proceedings of the Pre-Conference Workshop of VLDB*. 2003, pp. 63–67.

7. Kim, B.C. et al. Integration of Distributed Plant Lifecycle Data Using ISO 15926 and Web Services. *Annals of Nuclear Energy*, 2011, vol. 38, no. 11, pp. 2309–2318.

8. Kim, B.C. et al. Toward Standardized Exchange of Plant 3D CAD Models Using ISO 15926. *Computer-Aided Design*, 2017, vol. 83, pp. 80–95.

9. Lepuschitz, W. et al. An Industry-Oriented Ontology-Based Knowledge Model for Batch Process Automation. *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, IEEE, 2018, pp. 1568–1573.

10. Mahnke, W. et al. Information Modeling for Middleware in Automation. *ETFA 2011*, IEEE, 2011, p. 1

11. Gómez, F.J. et al. Multi-Domain Semantic Information and Physical Behavior Modeling of Power Systems and Gas Turbines Expanding the

Common Information Model. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 72663–72674.

12. ISO 15926-2:2003. *Industrial Automation Systems and Integration. Integration of Life-Cycle Data for Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities. Part 2. Data Model*. Available at: <https://www.iso.org/standard/29557.html>.

13. Kwon, S. Standardized Exchange of Plant Equipment and Materials Data Based on ISO 15926. Methodology in Nuclear Power Plants. *Annals of Nuclear Energy*, 2018, vol. 118, pp. 185–198.

14. ISO 15926-4:2007. *Industrial Automation Systems and Integration. Integration of Life-Cycle Data for Process Plants Including Oil and Gas Production Facilities. Part 4. Initial Reference Data*. 2007. Available at: <https://www.iso.org/standard/73830.html>.

15. Opdahl, Andreas L. A Platform for Interoperable Domain-Specific Enterprise Modelling Based on ISO 15926. *14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*. IEEE, 2010, pp. 301–310.