

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.89

Обзорная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269



Подходы к автоматизации работ с онтологическими ресурсами¹

© 2024, М.А. Шишенков

ООО «НИИ Транснефть», Москва, Россия

Аннотация

Онтологические модели находят широкое применение в системах информационного обеспечения, предоставляющих информационные ресурсы и услуги для решения управленческих, проектных и научно-технических задач. В частности, применение онтологий предметных областей распространено в системах поддержки принятия решений. При онтологическом моделировании сложных систем возникает потребность в автоматизации процессов работы с онтологическими ресурсами. В работе рассмотрены основные программные комплексы и методологии онтологического моделирования, подходы к автоматизации процессов создания, наполнения и использования онтологических моделей, отражения темпорального аспекта онтологического представления объектов. Цель работы состоит в рассмотрении методов автоматизации жизненного цикла онтологических ресурсов и анализе степени их адаптации в прикладных онтологиях. Отмечены относительно высокая степень автоматизации работы с онтологическими ресурсами в процессе наполнения онтологии и использование больших языковых моделей в данном процессе. Указано на недостаток описания методик автоматизации процессов конвертации информации из таблиц и схем в онтологические модели, валидации наполнения модели и её переработки. Показаны перспективные направления автоматизации работы с онтологическими ресурсами.

Ключевые слова: онтологические модели, онтологические ресурсы, база знаний, автоматизация, информационное обеспечение, большие языковые модели.

Цитирование: Шишенков М.А. Подходы к автоматизации работ с онтологическими ресурсами // *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №2(52). С.256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269.

Благодарности: автор выражает благодарность заведующему кафедрой автоматизации технологических процессов РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина д.т.н., доценту И.В. Самарину за побуждение к написанию статьи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Онтологические модели (ОМ), т.е. модели семантического описания, опирающиеся на математический аппарат дескрипционной логики, находят широкое применение как средство представления знаний предметной области (ПрО), автоматизированной проверки согласованности этих знаний, моделирования сложных структур и выявления недостающих концептов в описании ПрО [1]. На основе ОМ разрабатываются системы информационного обеспечения, в частности системы поддержки принятия решений (СППР).

¹ Тема, обсуждаемая в статье, вызвала дискуссию в редколлегии, связанную с полнотой и качеством обзора работ в области онтологического инжиниринга. Но интерес к подобным вопросам и смелость молодого автора, взявшегося за сложную работу по структуризации накопленных знаний, побудили редакцию предложить читателям журнала продолжить начатую дискуссию с надеждой на развитие и раскрытие затронутой темы. Ждём отклики и новые работы в этой области. *Прим. ред.*

Информационное обеспечение (ИО) в данной статье понимается как совокупность информационных ресурсов и услуг, предоставляемых для решения управленческих, творческих и научно-технических задач в соответствии с этапами их выполнения [2]. Создание ОМ сложных систем требует взаимодействия экспертов в ПрО, администраторов баз знаний (БЗ) и данных (БД), разработчиков онтологий и лиц, принимающих решения [3]. Этот процесс трудоёмкий, выполняется «вручную» и подвержен влиянию человеческого фактора, что отражается на качестве ИО.

Целью данной статьи является рассмотрение подходов к автоматизации работ с ОМ на различных этапах их жизненного цикла (ЖЦ) и оценка степени внедрения указанных подходов в экспертных системах (ЭС). Внедрение инструментов автоматизации работы с онтологиями в различных ПрО рассмотрено на широком спектре ЭС, фреймворков и подходов.

1 Фреймворки онтологического моделирования

ОМ являются ответом на вызовы Индустрии 4.0. В работе [1] представлен перечень онтологических фреймворков, разработанных для описания ПрО промышленности. Приведены характеристики стандартов, устанавливающих онтологии верхнего уровня в области робототехники. При построении ОМ распространено применение стандартов W3C².

Перспективы применения ОМ в процессах обеспечения повторного использования системной информации, повышения качества информационного поиска, обеспечения взаимодействия объектов информационной инфраструктуры, управления контекстами искусственного интеллекта (ИИ) и моделирования процессов рассмотрены в статье [4]. Отмечена необходимость разработки системы дополненного интеллекта, совмещающей взаимодействие с человеком ЭС и систем автономного оптимального управления.

Взаимодействие нейросетевых моделей с ОМ – БЗ (*T-box*) и БД (*A-box*) – описано в статье [3]. Рассмотрен спектр технологий ИИ от статистических до символьных моделей, описана степень их применимости в системах усовершенствованного интеллекта. Перспективной представлена автоматизация работы с БЗ при помощи больших языковых моделей (*Large Language Model – LLM*).

При работе с онтологическими ресурсами (ОР), т.е. с БД и БЗ, применяются различные фреймворки. Широкое распространение в исследованиях имеет свободно распространяемый редактор онтологий *Protégé* [5]. В России распространена облачная онтологическая платформа *IACPaaS* [6]. В промышленных проектах могут применяться проприетарные онтологические платформы³.

Разработка больших ОМ может вестись коллективно. Процесс совместной разработки онтологий поддерживается платформой *IACPaaS* и редактором *Web Protégé* [7]. Данный подход позволяет повысить качество ОМ за счёт согласования экспертных оценок.

Онтологии могут разрабатываться автономно, однако такой подход сопряжён с необходимостью согласования ОР [8]. Интеграция нескольких онтологий основана на принципах алгебры множеств, позволяет вести разработку онтологий с опорой на имеющиеся модели. При создании, согласовании и обеспечении совместимости ОР различных ПрО рекомендуется применять метаонтологии. К числу известных метаонтологий можно отнести *BFO*, *Dolce*, *gUFO*⁴ [9].

² Спецификации W3C. [https://www.w3.org/TR/?tags\[0\]=data](https://www.w3.org/TR/?tags[0]=data).

³ Онтологические платформы: Онтологик (<http://www.ontologic.ru/>); Архиграф (<https://arhigraph.ru/>); OCA (<https://tas-project.ru/index.html>); Онто (<https://ontonet.ru/>).

⁴ Метаонтологии: *BFO* (*Basic Formal Ontology*, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Basic_Formal_Ontology); *Dolce* (<https://www.loa.istc.cnr.it/dolce/overview.html>); *gUFO* (<https://nemo-ufes.github.io/gufo/>).

Разработка и взаимодействие с ОМ может вестись в рамках объектно-ориентированного подхода (ООП) с использованием библиотек языка Python – *Rdflib*⁵ и *Owlready2* [10]. Использование языков программирования упрощает интеграцию ОМ и LLM, позволяет вести разработку средств извлечения онтологически значимой информации из неструктурированных документов, приложений-сервисов формирования ИО из ОМ.

2 Отражение темпоральности и ЖЦ в онтологиях

Для применения ОМ в целях описания ЖЦ оборудования и систем *необходим учёт темпорального аспекта рассматриваемых объектов* за счёт расширения аппарата онтологического описания.

Структура БЗ для описания процессов ЖЦ представлена в статье [11], в которой *указаны преимущества от внедрения ОМ в бизнес-процессы на различных стадиях ЖЦ*, приведён базовый перечень концептов и ролей, описывающих объекты и их отношения на различных стадиях ЖЦ. В работе не рассмотрена структура концептов и ролей, позволяющая учитывать темпоральный аспект рассмотрения объекта.

ГОСТ ИСО 15926⁶ утверждает модель описания ЖЦ объектов нефтегазовой отрасли в рамках стандартов *W3C*. На данный момент *стандарт не содержит описание процесса создания онтологий, учитывающих ЖЦ*, но предоставляет модель данных, методологию составления шаблонов оборудования и описания темпорального аспекта ресурсов.

В работе [12] приведён подход к описанию объекта на стадиях ЖЦ и *предложена реализация темпорального аспекта рассмотрения объекта через онтологию времени*, импортируемую в онтологию ЖЦ из *common core ontologies (CCO)*⁷. CCO представляет набор онтологий, расширяющих метаонтологию *BFO* распространёнными понятиями ПрО, и может быть использована для описания процессов, объектов и их параметров, а также их взаимодействие на различных стадиях ЖЦ.

Подход к отражению темпоральных данных, выраженных в относительной или нечёткой форме, без меток времени, представлен в статье [13]. Применён математический аппарат интервальной алгебры Джеймса Аллена и байесовских сетей для сравнения и упорядочивания информации о временных областях событий с использованием машины логического вывода. Данное решение может быть полезно для описания процессов на ранних стадиях ЖЦ, когда сроки процессов не могут быть определены достоверно.

3 Теоретические основы автоматизации работ с онтологиями

3.1 Автоматизация создания онтологий

ЖЦ ОР можно представить как последовательность операций по постановке вопросов компетенций, разработке, утверждению, рефакторингу и уточнению *T-box* и *A-box* модели, запросов к ОМ. Схема ЖЦ ОР представлена на рисунке 1.

Подход к автоматизированному составлению T-box ОМ представлен в статье [14]. Приведены примеры применения различных LLM и моделей векторизации в процессах определения терминов из корпусов структурированной информации, построения их таксономии.

⁵ Библиотека для работы с онтологиями *Rdflib* (<https://github.com/RDFLib/>).

⁶ ГОСТ Р ИСО 15926-2-2010. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 2. Модель данных. М.: Стандартинформ, 2010. 253 с.

⁷ Онтологии среднего уровня на основе *BFO Common Core* [Электронный ресурс]. <https://github.com/CommonCoreOntology/CommonCoreOntologies-ontologyrepository.com>.

Рассматривается извлечение БЗ, заложенных в *LLM* на этапе её обучения (подстройки модели по тестовой выборке), путём составления запросов на естественном языке (ЕЯ). Процесс формирования онтологии с использованием *LLM* представлен в статье как последовательность обучения *LLM* на большом корпусе БЗ ПрО и последующих запросах, уточняющих основные концепты и таксономию корпуса.

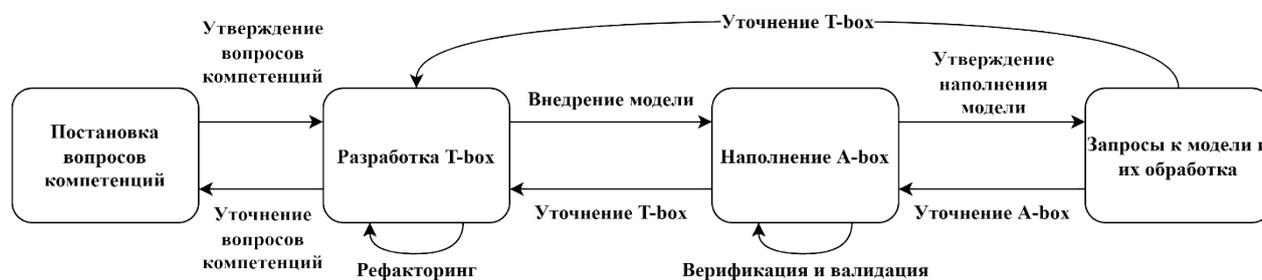


Рисунок 1 – Жизненный цикл онтологического ресурса

Процесс построения онтологии научной ПрО на основе текстов на ЕЯ может быть автоматизирован за счёт применения шаблонов онтологического проектирования [15]. Предложен набор онтологических шаблонов, отражающих основные понятия научных ПрО, используемых для наполнения данными, автоматически извлекаемыми из текстов на ЕЯ. Предложен комплекс систем *KLAN*, *PatTerm* и *FATON* для извлечения метаинформации из текстов на основе лексико-семантических паттернов, которые формируются на основе паттернов онтологического проектирования, разработанных на основе библиотеки онтологических признаков.

3.2 Автоматизация наполнения онтологии

В обзорной статье [16] рассмотрен процесс наполнения *A-box* ОМ из гетерогенных документов. Отмечена необходимость использования инструментов анализа информации документов для её автоматизированного внесения в онтологию. Приведён перечень вопросов, определяющих выбор инструментов извлечения информации.

- Каков уровень автоматизации наполнения онтологии?
- Какие виды входных документов используются в системе?
- Являются ли инструменты извлечения информации специфическими для ПрО?
- Какие виды концептов и ролей могут быть извлечены рассматриваемыми инструментами?
- Какие правила проверки применяются для извлечённой информации?

В статье приведено сравнение инструментов автоматизированного наполнения ОМ (*Hearst*, *Arequakt*, *WordNet*, *Adaptive*, *ISOLDE* и др.).

Отмечена высокая точность автоматического наполнения ОМ при использовании специфических для рассматриваемых ПрО инструментов извлечения информации из гетерогенных документов, малое число инструментов, работающих с метаонтологиями, частое использование *Wikipedia* как источника знаний и отсутствие подходов к тестированию систем автоматизированного наполнения для больших онтологий.

В работе [17] представлен подход к автоматизированному наполнению *A-box* ОМ, разработанной в *Protégé*, из двумерных чертежей с использованием САПР *OntoCAD*. *OntoCAD* использует разработанный *Autodesk* формат *DXF* и парсер *FreeCAD*. САПР поддерживает загрузку файла онтологии в формате *OWL* для классификации объектов *A-box*, свойства объектов определяются их геометрией и взаимным расположением на рабочем пространстве.

Подход к использованию лексико-синтаксических шаблонов для автоматизации наполнения онтологий представлен в работе [18]. Показано применение сформированных вручную онтологических шаблонов-грамматик для автоматического наполнения онтологии данными корпусов текстов. Данные для наполнения онтологии формируются в результате анализа морфологическим парсером структурированного текста на ЕЯ. Разработано общедоступное программное обеспечение (ПО), реализующее разработанный метод⁸.

На основании рассмотренных подходов сформирована концептуальная схема процесса наполнения онтологии и применяемых в нём инструментов (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Процесс автоматизации формирования *A-Box* модели и применяемые в нём инструменты

3.3 Автоматизация обработки запросов к ОМ

В статье [19] показано использование *ОМ* в целях генерации *ПО* из набора функциональных блоков. Выделены общие черты онтологического подхода с подходами генеративного программирования. Функциональные блоки *ПО* формируются из согласованной системы онтологических паттернов и внутренних спецификаций.

Формирование *SPARQL* запросов к *БЗ* с использованием *LLM* представлено в работе [20]. Рассмотрено применение модели векторизации предложений *BERT*, шаблонов *SPARQL* запросов и свободно-распространяемой модели *Vicuna-13B*. Показано достижение *F1*-меры точности 99% при составлении запросов к тестовой выборке *SciQA*. Предложено использование представленного подхода для анализа графовых БД, таких как *Wikidata*.

Подход, использующий *LLM* в работе с *ОР*, представлен в статье [21]. Рассмотрено использование плагина к редактору онтологий *Protégé*, позволяющего задействовать запросы к *LLM GPT-3* для перевода предложений на *ЕЯ* в набор выражений в функциональном син-

⁸ Репозиторий с программным обеспечением «*Ontology Extender*». <https://github.com/WInterFox/OntologyExtender>.

таксисе OWL. Использование данного инструмента показано как перспективное для автоматизированного анализа документов, написанных в декларативной форме (нормативная документация и технические задания).

4 Применение онтологий в системах ИО

Для оценки подходов к автоматизации работ с ОП рассмотрены работы по созданию систем ИО на основе онтологий.

Статья [22] посвящена применению онтологического подхода для описания слабо формализованной информации об объектах топливно-энергетического комплекса на примере системы подготовки газа. Представлена разработанная система поддержки концептуального проектирования. *Приведены подходы для описания таксономии, партномии, процессной модели, модели требований.* Учтена возможность создания матрицы ролей для моделирования доступа к ОМ. Расчётные модели находятся вне БЗ, также как и модули оптимизации результатов. В работе применяется ПО построения диаграмм *draw.io*, *Python* и БД для формирования полного цикла разработки конфигураций оборудования для комплексной подготовки газа. Подход апробирован на одном из газовых месторождений «Газпром Нефть», *отмечено снижение трудоёмкости проектных работ.*

В работе [23] рассмотрено использование онтологического подхода для разработки СППР для исследований *HAZOP* (от англ. *HAZard and OPerability*, опасность и работоспособность). Представлены правила логического вывода, применяемые в процессе обнаружения угроз. Приведён примере полуавтоматического определения угроз при хранении гексогена. Не автоматизируется экспертное определение и занесение в модель информации о проводимых операциях, доступном измерительном оборудовании, внешних угрозах. *Качество и полнота модели зависят от качества и полноты описания объекта и процессов в форме связанных концептов семантической сети.* Отмечена высокая вычислительная сложность модели в случаях избыточной детализации описания объектов и процессов.

Статья [24] посвящена использованию ОМ в системе обеспечения безопасного строительства и реновации в рамках подхода *Building Information Modelling (BIM)*. Предложена ОМ угроз жизни и здоровью в процессе реновации зданий, реализованная на *UML* и средствах *Protégé API*. *ОМ позволяет выявлять группы угроз здоровью в процессе реновации исходя из модели объекта реновации и используемых правил логического вывода.* Предоставление информации пользователю осуществляется через *GUI*.

В работе [25] рассмотрены вопросы валидации и верификации ПО посредством применения тестирующих онтологий. Представлен систематический подход к построению онтологии тестирования ПО, перечислены вопросы компетенций, на которые должна отвечать заданная онтология. *Предложено использовать онтологии в качестве БЗ и средства документирования процесса тестирования.*

В статье [26] рассмотрено применение аппарата онтологического описания в целях консолидации экспертных знаний об объектах и процессах перерабатывающей промышленности. Представлена схема функциональной архитектуры фреймворка онтологического описания объектов. Описано взаимодействие пользователя и эксперта с рассматриваемым фреймворком. *Представлен аппарат визуализации знаний в виде Р-графов, широко применяемых в перерабатывающей отрасли.* Применение онтологии рассмотрено на примерах установки производства этилена и типового химического процесса. Наполнение модели осуществляется вручную с опорой на модель данных *ISO 15926*.

В статье [27] представлено создание системы поддержки построения доказательств с использованием инструментов платформы онтологического моделирования *IACPaas*. *Реализованы такие компоненты системы как редактор базы математических знаний, редактор модели онтологии базы математических знаний, редактор базы способов рассуждений, итеративный верификатор доказательств и интерфейс пользователя.* В работе подразумевается ручной метод наполнения онтологии.

Работа [28] посвящена использованию ОМ *MOODY*, разрабатываемой в редакторе *Protégé*, для описания эволюционных алгоритмов и мультиобъектной оптимизации. *Описан процесс построения онтологии автоматического создания конфигураций эволюционных алгоритмов, их экспорта во внешние системы.*

В работе [29] рассмотрено построение онтологий для автоматизации процессов проектирования трубопроводных систем энергетики. *Предложен подход к разработке комплексной системы ОП, включающей метаонтологию, онтологию ПрО, онтологии задач, онтологии ПО.* ОМ являются средством запроса информации из БД, системой обработки и структурирования информации, средством автоматического решения задач ПрО. Применение представленной методологии показано на примере оптимизации диаметров трубопроводов.

Подход к онтологическому описанию при создании цифровых двойников систем энергетики представлен в работах [30, 31]. Рассмотрено применение цифровых объектов топливно-энергетического комплекса в задачах прогнозирования, этапы построения модели цифрового объекта.

Подход к онтологическому описанию сложной организационно-технической системы управления показан в работе [32]. *Представляется полезным совмещение организационных онтологий, построенных с использованием данного подхода, и онтологий технологических процессов, рассмотренных в других работах.* Подобный синтез моделей позволит сформировать более полную модель рассматриваемой ПрО.

В статье [33] показано применение онтологического подхода в процессе разработке интеллектуальных СППР (ИСППР). *На языке дескрипционной логики приведены перечни применяемых для разработки ИСППР технологий, принципов и подходов.* Представлена архитектура типовой ИСППР.

В работе [34] показано использование онтологического подхода для создания СППР диагностики заболеваний и синдромов. Для разработки использованы средства облачной платформы *IACPaaS*. *Представленная онтология позволяет автоматизированным образом формировать знания о диагностике заболеваний в зависимости от их классификации.*

Применение ОМ в создании *ВМ*-систем рассмотрено в работе [35]. *Предложена архитектура СППР, состоящей из ОМ, БД и метаданных об объектах строительства, пользовательского интерфейса формирования рекомендаций.* Предлагается ПО с использованием технологий *SQL, OPC UA, RESTful* и БЗ.

В статье [36] представлен пример применения ОМ в программно-аналитическом комплексе системы обеспечения устойчивости качества электроэнергии. *Предложена модель взаимодействия автоматизированных систем, БД и БЗ.* Описан процесс имитации принятия решений за счёт аппарата базы правил и динамического графа. Предложено дополнение ОМ нейросетевой модели для модернизации алгоритма обработки отклонений плановых показателей электроэнергии от фактических. Рассмотрено применение БЗ в качестве модели цифрового двойника в технологических и управленческих аспектах объекта.

В статье [37] рассмотрена архитектура интеллектуальной контрольно-аварийной системы, интегрирующей онтологическую БЗ с системой диагностики автономных необитаемых подводных аппаратов. *Предлагается система обработки данных сенсоров для адаптации к аварийным ситуациям.* Данные о диагностических ситуациях и конфигурациях аппаратов хранятся в БЗ. Для ведения БЗ используются средства платформы *IACPaaS*; прототипы интеллектуальной контрольно-аварийной системы и решателя разработаны на языке *Python*.

Сравнение рассмотренных подходов по степени автоматизации процессов работы с ОР представлено в таблице 1.

5 Результаты анализа степени автоматизации работ с ОР

Для сравнения работ, приведённых в таблице 1, введена система оценивания, представленная в таблице 2. При сравнении учитываются инструменты автоматизации при работе с СППР, структуры *T-box* и *A-box* ОМ не рассматриваются.

С учётом системы оценок, указанных в таблице 2, по данным таблицы 1 составлена усреднённая оценка степени внедрения подходов к автоматизации работы с ОМ. Графическое отображение данной оценки показано на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что процесс создания ОМ наименее автоматизирован в прикладных онтологиях ПрО.

Из рассмотренных работ можно отметить большое внимание формированию тезаурусов ПрО, составлению ограничений и правил логического вывода. В трети случаев тезаурусы формируются на основании метаонтологий или накопленных БЗ. Отражение темпорального аспекта представления объекта реализуется в тех ОМ, для которых подразумевается интеграция с автоматизированными системами или цифровыми двойниками.

В рассмотренных работах предлагаются различные подходы и структуры для формирования сложных концептов из простых. Процесс наполнения онтологии зачастую предполагается осуществлять вручную или на основании уже нормализованных, машиночитаемых данных. Меньше внимания уделяется процессам валидации *A-box* и интеграции онтологии с системами реального времени.

Значительный объём фактической информации содержится в схемах, чертежах и таблицах, однако они практически не рассматриваются как источники информации для наполнения *A-box*.

Таблица 1 – Сравнение реализаций систем информационного обеспечения на основе онтологических моделей

Наименование работы	Этап ЖЦ и его автоматизация			Технологические средства			Отражение аспекта времени	Исп. мета онтологий
	Создание	Наполнение	Исп.	Онто-платформа	Языки ООП	Исп. АСУ		
Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей [22]	Н.А.	Н.А.	А	Protégé	Python, owlready 2	Нет	Модель процесса	Нет
Ontology-based computer aid for the automation of HAZOP studies [23]			Ч.А.	Нет	Python, owlready 2	Нет	Модель процесса	Нет, планируется ISO 15926
An ontology-based tool for safety management in building renovation projects [24]		Ч.А.	А	Protégé	C#	Нет	Модель процесса	Нет
ROoST-Reference Ontology on Software Testing [25]			Ч.А.	Protégé API, OntoUML	Нет	Нет	Модель процесса	SABiO, UFO
An ontology-based procedure knowledge framework for the process industry [26]		Н.А.	Ч.А.	Protégé, Neo4J	Нет	Нет	Модель процесса	ISO 15926
Реализация оболочки и портала знаний по верификации математических доказательств на платформе IACPaaS [27]				А	IACPaaS	Нет	Нет	Нет
MOODY An ontology-driven framework for standardizing multi-objective evolutionary algorithms [28]			Protégé	Нет	Нет	Нет	Нет	Интеграция с OPTION
Разработка онтологий для автоматизации вычислительных процессов при проектировании трубопроводных систем энергетики [29]		Ч.А.	Ч.А.	Нет	Java, C++, Python, Fortran	Нет	Нет	Нет
Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем; Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики [30, 31]				Н.А.	Нет данных	Нет данных	Цифровые двойники	На стороне цифрового двойника
Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования сложной системы управления [32]			Н.А.	Нет данных	Нет данных	Нет	Модель процесса	Нет
Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР [33]		Ч.А.	Ч.А.	Fuseki, Protégé	Нет данных	Нет	Нет	Этап выбора базовых онтологий
Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений [34]				IACPaaS	Нет	Нет	Да, интервалы и единицы измерения времени	Базы знаний IACPaaS
Ontology-Based Expert System for Automated Monitoring of Building Energy Systems [35]			Нет данных	Python	Нет	Нет	Нет	АЕС/FM, ВРО, OMG и др.
Формирование модели интеллектуального программного аналитического комплекса в электроэнергетике [36]		А	А	Protégé	Нет	ERP, SCADA, АСКУЭ	Да, исп. динамических графов	Нет
Описание и диагностирование неисправностей в автономных необитаемых подводных аппаратах на основе онтологий [37]				IACPaaS	Python	Система диагностики АНПА	Да, при чтении атомарных признаков потоков диагностических данных	Базы знаний IACPaaS

Сокращения: этап не автоматизирован (Н.А.), частично автоматизирован (Ч.А.), автоматизирован (А), использование (Исп.), автоматизированные системы управления (АСУ), объектно-ориентированное программирование (ООП).

Таблица 2 – Таблица оценивания подходов к построению систем ИО

Параметр	Оценка		
	1	2	3
Автоматизация этапа работы с онтологическим ресурсом	Этап не автоматизирован	Этап частично автоматизирован	Этап автоматизирован
Отражение темпорального аспекта рассмотрения	Темпоральный аспект не отражён	Темпоральный аспект отражён вне онтологии	Темпоральный аспект отражён в онтологии
Переиспользование онтологических моделей	Базовая онтология не используется	Предусмотрен выбор базовой онтологии	Указана используемая базовая онтология

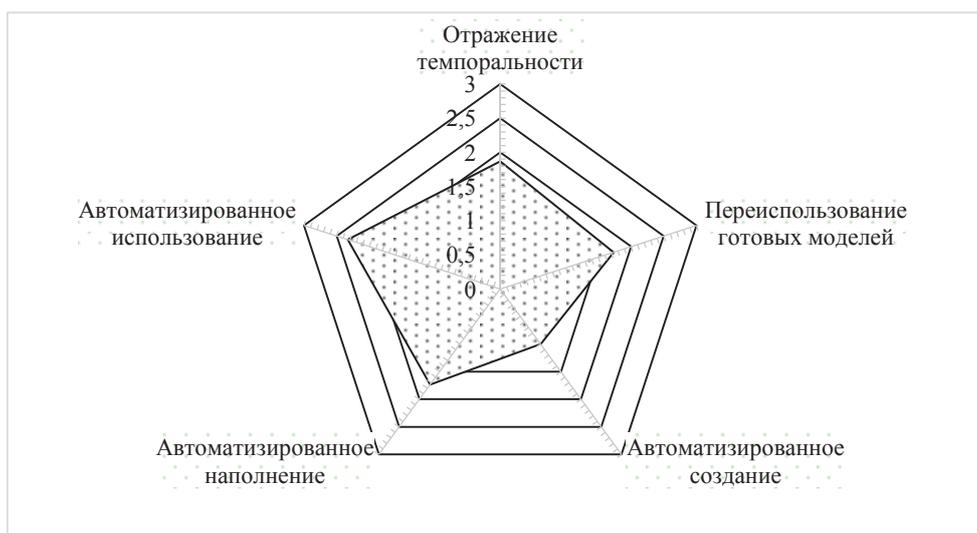


Рисунок 3 – Усреднённая оценка степени автоматизации систем информационного обеспечения на основе онтологических моделей (расшифровка числовых значений дана в таблице 2)

Наибольшее распространение имеют подходы к автоматизации использования информации, содержащейся в онтологии. Этому способствует высокая доступность программных библиотек языка программирования *Python*, позволяющих осуществлять запросы к модели и их обработку в рамках объектно-ориентированного подхода.

Следует отметить высокую степень переиспользования онтологий, свободно размещённых в сети Интернет. Широко применяются онтологические редакторы, распространяемые свободно или в облаке, а проприетарные системы - существенно меньше.

Заключение

В работе представлен обзор онтологических фреймворков, подходов к автоматизации процессов разработки, наполнения и использования ОР. В ходе анализа выявлен недостаток подходов к автоматизированному формированию *T-box* онтологии. Представляется перспективным применение *LLM* для наполнения *A-box* онтологии по данным неструктурированных текстовых документов. Распространено использование ОМ вместе с программными библиотеками языка программирования *Python* и метаонтологиями. Отмечается малая степень интеграции ОМ с системами реального времени, недостаток описания методик автоматизации процессов конвертации информации из таблиц и схем в ОМ, валидации наполнения модели и её рефакторинга. Указанные аспекты автоматизации работы с ОР можно рассматривать как перспективные направления дальнейших исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Samrath Kumar VR, Khamis A, Fiorini S, et al.** Ontologies for Industry 4.0. The Knowledge Engineering Review. 2019; 34:e17. DOI:10.1017/S0269888919000109.
- [2] **Лаврик О.Л., Калюжная Т.А.** Содержание понятий "информационное обеспечение", "информационное сопровождение", "поддержка научных исследований" как этапы информационного обслуживания ученых // Вестник Томского гос. ун-та. Культурология и искусствоведение. 2020. №40. С. 305-319. DOI: 10.17223/22220836/40/28.
- [3] **Rouse W.B.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers. INSIGHT, 2020. 23(1), 52–54. DOI:10.1002/inst.12286.
- [4] **Madni A.M.** Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. INSIGHT, 2020. 23(1), 31–36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [5] **Musen M.A.** Protégé Team. The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward. AI Matters. 2015 Jun;1(4):4-12. DOI: 10.1145/2757001.2757003. PMID: 27239556; PMCID: PMC4883684.
- [6] **Gribova V., Kleshev A., Moskalenko Ph., Timchenko V., Fedorischev L., Shalfeeva E.** The IACPaaS cloud platform: features and perspectives // In proc. of Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (25-29 Sept. 2017, Vladivostok, Russia). IEEE, 2017. P.80-84. DOI: 10.1109/RPC.2017.8168073.
- [7] **Кудрявцев Д.В., Беглер А.М., Гаврилова Т.А., Лещева И.А., Кубельский М.В., Тушканова О.Н.** Метод визуальной коллективной разработки онтологического графа знаний. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2019. №1. С.27-38. DOI: 10.14357/20718594190103.
- [8] **Мартынов В.В., Скуратов А.К., Филосова Е.И., Фандрова Л.П., Шаронова Ю.В.** Технологии и операции управления онтологическими ресурсами на примере нефтедобывающей области. *Наука и Образование*. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. №7. С.151–159.
- [9] **Arp R., Smith B., Spear A.** Building ontologies with basic Formal Ontology, MIT Press, 2015.
- [10] **Lamy J.B.** Owlready: Ontology-oriented programming in Python with automatic classification and high-level constructs for biomedical ontologies. *Artificial Intelligence In: Medicine 2017*; 80:11-28
- [11] **Wilde A.S., Wanielik F., Rolinck M., Mennenga M., Abraham T., Cerdas F., Herrmann C.** Ontology-based approach to support life cycle engineering: Development of a data and knowledge structure. *Procedia CIRP*. 2022; 105. 398-403. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.066.
- [12] **Mohd Ali, Munira & Rai, Rahul & Otte, Neil & Smith, Barry.** A product life cycle ontology for additive manufacturing. *Computers in Industry*. 2018; 105. 191-203. DOI: 10.1016/j.compind.2018.12.007.
- [13] **Achich N., Ghorbel F., Hamdi F., Métais E., Gargouri F.** Approach to Reasoning about Uncertain Temporal Data in OWL 2. *Procedia Computer Science*. 2020. 176. DOI: 10.1016/j.procs.2020.09.110.
- [14] **Babaei Giglou H., D'Souza J., Auer S.** LLMs4OL: Large Language Models for Ontology Learning. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-47240-4_22.
- [15] **Загорюлько Ю.А., Сидорова Е.А., Загорюлько Г.Б., Ахмадеева И.Р., Серый А.С.** Автоматизация разработки онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования. *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №4(42). С.500-520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.
- [16] **Lubani M., Noah S.A.M., Mahmud, R.** Ontology population: Approaches and design aspects. *Journal of Information Science*, 2018. 016555151880181. DOI:10.1177/0165551518801819.
- [17] **Hafner P., Hafner V., Wicaksono H., Ovtcharova J.** Semi-automated ontology population from building construction drawings. *International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development 2013*. 379-386. DOI:10.5220/0004626303790386.
- [18] **Сытник А.А., Шульга Т.Э.** Метод полуавтоматического наполнения русскоязычных онтологий на основе лексико-семантических шаблонов. *Информатизация образования и науки*. 2021. № 4(52). С.77-89.
- [19] **Хорошевский В.Ф.** Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации. *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.429-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [20] **Taffa T.A., Ricardo U.** Leveraging LLMs in Scholarly Knowledge Graph Question Answering. arXiv:2311.09841. 2023; 10 p.
- [21] **Patricia Mateiu, Adrian Groza.** Ontology engineering with Large Language Models. 2023 DOI: 10.48550/arXiv.2307.16699.
- [22] **Глухих И.Н., Шевелев Т.Г., Панов Р.А., Изотов А.М., Писарев М.О., Лисс Д.А., Быков В.С., Абрамов А.В., Нониева К.З.** Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №4(46). С.518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.

- [23] **Single J.I., Schmidt J., Denecke J.** Ontology-based computer aid for the automation of HAZOP studies. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. 68, 104321. DOI:10.1016/j.jlp.2020.104321
- [24] **Doukari O., Wakefield J., Martinez P., Kassem M.**, An ontology-based tool for safety management in building renovation projects, *Journal of Building Engineering*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108609>.
- [25] **Souza E., Falbo R., Vijaykumar N.** ROoST: Reference Ontology on Software Testing. *Applied Ontology*. 2017. 12. 1-32. DOI: 10.3233/AO-170177.
- [26] **Cao J., He Y.L., Zhu Q.X.** An ontology based procedure knowledge framework for the process industry. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2020. 99. DOI: 10.1002/cjce.23873.
- [27] **Клеуцев А.С., Тимченко В.А.** Реализация оболочки и портала знаний по верификации математических доказательств на платформе IACPaaS. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №3(29). С.427-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-428-448.
- [28] **José F. Aldana-Martín, María del Mar Roldán-García, Antonio J. Nebro, José F. Aldana-Montes.** MOODY: An ontology-driven framework for standardizing multi-objective evolutionary algorithms, *Information Sciences*. Volume 661. 2024. 120184. ISSN 0020-0255. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120184>.
- [29] **Стенников В.А., Барахтенко Е.А., Соколов Д.В., Майоров Г.С.** Разработка онтологий для автоматизации вычислительных процессов при проектировании трубопроводных систем энергетики. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №4(50). С.548-561. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-548-561.
- [30] **Массель Л.В., Массель А.Г.** Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №1(47). С.44-54. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-44-54.
- [31] **Массель Л.В., Ворожцова Т.Н.** Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №3(37). С.327-337. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [32] **Ерженин Р.В., Массель Л.В.** Онтологический подход к представлению знаний о методологии моделирования сложной системы управления. *Онтология проектирования*. 2020. Т.10, №4(38). С.463-476. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.
- [33] **Загорюлько Г.Б.** Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР. *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.462-479. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.
- [34] **Грибова В.В., Петряева М.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А.** Онтология медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №1(27). С.58-73. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.
- [35] **Herve Pruvost; Andreas Wilde; and Olaf Enge-Rosenblatt.** Ontology-Based Expert System for Automated Monitoring of Building Energy Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2023. Volume 37, Issue 1. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001065.
- [36] **Антонов, В.В., Родионова Л.Е., Кромина Л.А., Фахруллина А.Р., Баймурзина Л.И.** Формирование модели интеллектуального программного аналитического комплекса в электроэнергетике. *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №4(50). С.507-519. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-507-519.
- [37] **Тимошенко А.А., Зув А.В., Мурсалимов Э.Ш., Грибова В.В., Инзарцев А.В.** Описание и диагностирование неисправностей в автономных необитаемых подводных аппаратах на основе онтологий. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, № 3(45). С.310-324. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-310-324.

Сведения об авторе

Шишенок Максим Алексеевич, 2000 г. рождения. Окончил РГУ Нефти и Газа имени И.М. Губкина магистр по специальности «Управление в технических системах» (2023 г). Научный сотрудник лаборатории автоматизации ООО «НИИ Транснефть». Область научных интересов: автоматизация, трубопроводный транспорт нефти, онтологическое моделирование, информационное обеспечение. ORCID: 0009-0000-9993-3772. shishenkovma@gmail.com.



Поступила в редакцию 26.03.2024, после рецензирования 07.05.2024. Принята к публикации 14.05.2024.



Approaches to automating processes of working with ontological resources

© 2024, M.A. Shishenkov

Limited Liability Company the Pipeline Transport Institute, Moscow, Russia

Abstract

Ontological models are extensively used in information support systems that offer resources and services for solving management, design, and scientific and technical problems. Specifically, domain ontologies are commonly utilized in decision support systems. In the ontological modeling of complex systems, there arises a need to automate the processes of handling ontological resources. This work discusses the main software systems and methodologies for ontological modeling, approaches to automating the processes of creating, populating, and using ontological models, and considers the temporal aspect of the ontological representation of objects. The aim of the work is to explore methods for automating the life cycle of ontological resources and to analyze the extent of their adaptation in applied ontologies. The work highlights a relatively high degree of automation in the process of populating ontologies and the use of large language models in this process. However, it points out the lack of methods for automating the conversion of information from tables and diagrams into ontological models, as well as for validating and processing the content of the model. Promising directions for automating work with ontological resources are also indicated.

Keywords: *ontological models, ontological resources, knowledge base, automation, information support systems, large language models.*

For citation: *Shishenkov M.A. Approaches to automating processes of working with ontological resources [In Russian]. Ontology of designing. 2024; 14(2): 256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2-256-269.*

Acknowledgment: The author expresses gratitude to the head of the Department of Automation of Technological Processes of the National University of Oil and Gas «Gubkin University» (Moscow, Russia) I.V. Samarin for the impetus to create the article.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - Life cycle of an ontological resource

Figure 2 - The process of automating the formation of an A-box model and the tools used in it

Figure 3 - Average assessment of the implementation of information support systems based on ontological models

Table 1 - Comparison of implementations of information support systems based on ontological models

Table 2 - Table for evaluating approaches to building information support systems

References

- [1] **Sampath Kumar VR, Khamis A, Fiorini S, et al.** Ontologies for Industry 4.0. *The Knowledge Engineering Review*. 2019; 34:e17. DOI:10.1017/S0269888919000109.
- [2] **Lavrik OL, Kalyuzhnaya TA.** The content of the concepts “information support”, “information maintenance”, “support for scientific research” as stages of information services for scientists. [In Russian]. *Vestnik Tomsk. state un-ty. Cultural studies and art history*. 2020; 40. P.305-319. DOI: 10.17223/22220836/40/28.
- [3] **Rouse WB.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers. *INSIGHT*, 2020; 23(1): 52–54. DOI:10.1002/inst.12286.
- [4] **Madni AM.** (2020). Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. *INSIGHT*, 23(1), 31–36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [5] **Musen MA.** Protégé Team. The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward. *AI Matters*. 2015 Jun;1(4):4-12. DOI: 10.1145/2757001.2757003. PMID: 27239556; PMCID: PMC4883684.

- [6] **Gribova V, Kleschev A, Moskalenko Ph, Timchenko V, Fedorischev L, Shalfeeva E.** The IACPaaS cloud platform: features and perspectives // In proc. of Second Russia and Pacific Conference on Computer Technology and Applications (25-29 Sept. 2017, Vladivostok, Russia). IEEE, 2017. P.80-84. DOI: 10.1109/RPC.2017.8168073.
- [7] **Kudryavtsev D, Begler A, Gavrilova T, Leshcheva I, Kubelskiy M, Tushkanova O.** A method for visual collective development of an ontological knowledge graph. [In Russian] *Artificial intelligence and decision making*. 2019; 1: 27-38. DOI: 10.14357/20718594190103.
- [8] **Martynov VV, Skuratov AK, Filosoza EI, Fandrova LP, Sharonova YuV.** Technologies and operations of ontological resource management using the example of the oil production area [In Russian]. *Science and education. MSTU im. N.E. Bauman. Electron. magazine*. 2016; 07: 151–159.
- [9] **Robert Arp, Barry Smith, Andrew Spear:** Building ontologies with basic Formal Ontology, MIT Press, 2015.
- [10] **Lamy JB.** Owlready: Ontology-oriented programming in Python with automatic classification and high-level constructs for biomedical ontologies. *Artificial Intelligence In: Medicine*. 2017; 80:11-28
- [11] **Wilde AS, Wanielik F, Rolinck M, Mennenga M, Abraham T, Cerdas F, Herrmann C.** Ontology-based approach to support life cycle engineering: Development of a data and knowledge structure. *Procedia CIRP*. 2022; 105: 398-403. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.066.
- [12] **Mohd Ali, Munira & Rai, Rahul & Otte, Neil & Smith, Barry.** A product life cycle ontology for additive manufacturing. *Computers in Industry*. 2018;105: 191-203. DOI: 10.1016/j.compind.2018.12.007.
- [13] **Achich, Nassira & Ghorbel, Fatma & Hamdi, Fayçal & Métais, Elisabeth & Gargouri, Faïez.** Approach to Reasoning about Uncertain Temporal Data in OWL 2. *Procedia Computer Science*. 2020. 176. DOI: 10.1016/j.procs.2020.09.110.
- [14] **Babaei Giglou H, D'Souza J, Auer S.** LLMs4OL: Large Language Models for Ontology Learning. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-47240-4_22.
- [15] **Zagorulko YuA, Sidorova EA, Zagorulko GB, Akhmadeeva IR, Sery AS.** Automation of the development of ontologies of scientific subject domains based on ontology design patterns [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(4): 500-520. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-4-500-520.
- [16] **Lubani M, Noah SAM, Mahmud R.** Ontology population: Approaches and design aspects. *Journal of Information Science*, 2018. 016555151880181. DOI:10.1177/0165551518801819.
- [17] **Hafner, P. & Hafner, V. & Wicaksono, Hendro & Ovtcharova, Jivka.** Semi-automated ontology population from building construction drawings. *International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development* 2013. 379-386. DOI:10.5220/0004626303790386.
- [18] **Sytnik AA, Shulga TE.** A method for semi-automatic filling of Russian-language ontologies based on lexical-semantic templates. [In Russian]. *Informatization of education and science*. 2021; 4(52): 77-89.
- [19] **Khoroshevsky VF.** Ontology Driven Software Engineering: Models, Methods, Implementations [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 429-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-429-448.
- [20] **Taffa, Tilahun Abedissa and Ricardo Usbeck.** Leveraging LLMs in Scholarly Knowledge Graph Question Answering. arXiv:2311.09841. 2023: 10 p.
- [21] **Patricia Mateiu, Adrian Groza.** Ontology engineering with Large Language Models. 2023 DOI:10.48550/arXiv.2307.16699.
- [22] **Glukhikh IN, Shevelev TG, Panov RA, Izotov AM, Pisarev MO, Liss DA, Bykov VS, Abramov AV, Nonieva KZ.** Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.
- [23] **Single JI, Schmidt J, Denecke J.** Ontology-based computer aid for the automation of HAZOP studies. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. 68, 104321. DOI:10.1016/j.jlp.2020.104321
- [24] **Doukari O, Wakefield J, Martinez P, Kassem M.,** An ontology-based tool for safety management in building renovation projects, *Journal of Building Engineering*. 2024. DOI: 10.1016/j.job.2024.108609.
- [25] **Souza E, Falbo R, Vijaykumar N.** ROoST: Reference Ontology on Software Testing. *Applied Ontology*. 2017. 12. 1-32. 10.3233/AO-170177.
- [26] **Cao J, He YL, Zhu QXg.** An ontology based procedure knowledge framework for the process industry. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2020; 99. 10.1002/cjce.23873.
- [27] **Kleschev AS, Timchenko VA.** Implementation of the shell and knowledge portal for mathematical proofs verification on the IACPaaS platform [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(3): 427-448. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-3-427-448.
- [28] **José F. Aldana-Martín, María del Mar Roldán-García, Antonio J. Nebro, José F. Aldana-Montes.** MOODY: An ontology-driven framework for standardizing multi-objective evolutionary algorithms, *Information Sciences*. Volume 661. 2024. 120184. DOI:10.1016/j.ins.2024.120184.
- [29] **Stennikov VA, Barakhtenko EA, Sokolov DV, Mayorov GS.** Development of ontologies for automating computational processes in the energy pipeline system design [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(4): 548-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-4-548-561.

-
- [30] **Massel LV, Massel AG.** Semantic modeling in the construction of digital twins of energy objects and systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 44-54. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-44-54.
- [31] **Massel LV, Vorozhtsova TN.** Ontological approach to the construction of digital twins of energy objects and systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(3): 327-337. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [32] **Erzhenin RV, Massel LV.** Ontological approach to the knowledge representation about the methodology of modeling a complex control system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(4): 463-476. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-4-463-476.
- [33] **Zagorulko GB.** Model of comprehensive support of intelligent DSS development [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 462-479. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.
- [34] **Gribova VV, Petryaeva MV, Okun DB, Shalfeeva EA.** Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 58-73. - DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-58-73.
- [35] **Pruvost H, Wilde A, Enge-Rosenblatt O.** Ontology-Based Expert System for Automated Monitoring of Building Energy Systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2023; 37(1). DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001065.
- [36] **Antonov VV, Kromina LA, Rodionova LE, Fakhrullina AR, Baimurzina LI.** Formation of the model of an intellectual software analytical complex in the electric power industry [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(4): 507-519. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-4-507-519.
- [37] **Timoshenko AA, Zuev AV, Mursalimov ES, Gribova VV, Inzartsev AV.** Description and diagnosis of malfunctions in autonomous uninhabited underwater vehicles based on ontologies [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 310-324. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-310-324.
-

About the author

Maksim Alekseevich Shishenkov (b. 2000) graduated from the National University of Oil and Gas «Gubkin University» (Moscow, Russia) in 2023, and received a Master's degree in Management in Technical systems. He is a researcher in laboratory of automation in «Pipeline Transport Institute» (Moscow, Russia). His area of scientific interest include: automation, pipeline oil transport, ontological modeling, and information support. ORCID: 0009-0000-9993-3772. shishenkovma@gmail.com.

Received March 26, 2024. Revised May 07, 2024. Accepted May 14, 2024.
