

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ОНТОЛОГИЙ И БАЗ ЗНАНИЙ

Тимофеев Александр Николаевич

Старший преподаватель,
Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления
89021632777@mail.ru

DEVELOPMENT OF A COMPETENCE MODEL IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGY BASED ON THE INTEGRATION OF ONTOLOGIES AND KNOWLEDGE BASES

A. Timofeev

Summary: The article discusses the application of ontological approaches to the creation of a model of competencies in the field of information technology, analyzes the experience of using ontologies and knowledge bases. Based on the results of the analysis, a model is proposed, the filling of which is performed using the modified Klink-2 algorithm by supplementing the specialized ontology with information from the knowledge base.

Keywords: competence model, ontology, knowledge base, Klink-2, information technology.

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы применения онтологических подходов к созданию модели компетенций в сфере информационных технологий, анализируется опыт применения онтологий и баз знаний. По результатам анализа предлагается модель, наполнение которой производится с использованием модифицированного алгоритма Klink-2 путем дополнения специализированной онтологии информацией из базы знаний.

Ключевые слова: модель компетенций, онтология, база знаний, Klink-2, информационные технологии.

Введение

Динамичное развитие информационных технологий, характеризующееся ускоряющейся сменой ведущих парадигм и трендов, повышением сложности процессов и систем и усилением специализации, обуславливает изменение требований к профессиональной подготовке ИТ-специалистов. Концептуально эти изменения можно охарактеризовать как актуализацию проблемы непрерывности образовательного процесса, его направленности и содержания на всех уровнях существующей образовательной системы [1] с одновременным переходом к компетентностно-ориентированной модели профессионального образования [2].

Модели компетенций в той или иной мере отражают определенную предметную область, термины и объекты, входящие в нее.

В условиях цифровизации актуализируется вопрос формализации методов построения компетентностных моделей. В связи с этим целью настоящей статьи является описание метода автоматизированного построения и использования модели компетенций с использованием онтологического подхода и баз знаний.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть существующие модели компетенций, онтологий и базы знаний. На основе проведенного анализа

выработать методы формализации модели компетенций в виде онтологии, обогащения онтологии информацией из баз знаний и автоматизированного наполнения и актуализации полученной онтологической модели компетенций. Автоматизация построения сегментов онтологии и ее наполнения является актуальной задачей, поскольку современная сфера ИТ обширна, характеризуется высокой степенью специализации и появления новшеств. Традиционные методы построения и наполнения онтологий сталкиваются с рядом проблем, таких, как необходимость привлечения многих экспертов и низкая скорость реализации.

Обзор существующих моделей компетенций

Описания компетентностных моделей в целом и компетенциям ИТ-специалистов излагаются в образовательных, профессиональных, внутриорганизационных и других стандартах. Модели отражают структурный и системный аспекты, поэтому анализ качества содержательного контента и его актуальности, соответствия требованиям стандартов, преодоления разрыва между уровнем реальной подготовки специалистов всех уровней и требованиями рынка труда [3].

Computer Science Curricula — составленный Association for Computing Machinery (ACM) и Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) международный рекомендательный документ для вузов. Computer Science

Curricula включает примерный перечень областей, которые должны покрываться дисциплинами учебного плана для обучения бакалавров в области Computer Science.

European Competency Framework (E-CF) — общеевропейская модель оценки и развития профессиональных навыков и карьерного роста в ИТ-секторе. В ней определены классификация и набор спецификаций 40 компетенций.

European Qualification Framework (EQF) — еще одна общеевропейская модель, которая определяет 8 уровней освоения компетенции (квалификации). Каждый уровень детализирует результаты обучения или повышения квалификации, фиксируя степень овладения знаниями и умениями.

В Великобритании Институтом информационных технологий создан стандарт SFIA (Skills Framework for the Information Age), который предназначен для определения профессиональных навыков и каскадного определения компетенций для ИТ-специалистов. В общей сложности SFIA содержит описание более 100 навыков, классифицированных по 6-и категориям и нескольким субкатегориям.

Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) США разработан Cybersecurity Skills Framework (NIST CSF) — стандарт, который определяет навыки и компетенции, необходимые для успешной работы в области кибербезопасности. CSF содержит описание более 50 навыков и компетенций.

Управлением развития инфокоммуникаций и медиа (IMDA) Сингапура, в целях адаптации к изменяющемуся цифровому ландшафту создано комплексное руководство, которое определяет навыки и компетенции, необходимые для различных профессиональных ролей в цифровую эпоху — The Skills Framework for ICT.

В Республике Корея разработаны национальные стандарты компетентности (NCS), которые определяют и стандартизируют компетенции, необходимые для успешного выполнения работы, включая знания, умения и подходы, необходимые для выполнения работы и оценки способностей.

Малайзийская матрица навыков и компетенций была совместно разработана Корпорацией развития мультимедиа (MDeC) и DeltaKnot International (DKI). Матрица компетенций Skills была концептуализирована, чтобы обеспечить стандарты навыков для должностных обязанностей, которые организованы в четыре блока.

В IBM существует библиотека должностных компетенций IBM Kenexa Talent Frameworks, организованная

в виде моделей должностей, семейств и структур, с более чем 3000 готовых к использованию описаний должностей, охватывающих общие корпоративные функции и более 2000 основных компетенций.

В России разработаны Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС), установленные для разных уровней образования, включая общее и профессиональное образование. ФГОС описывает образовательные программы, включая уровень и структуру программ и требования к компетенциям, которые должны быть освоены студентами.

Минтрудом России с середины 2010-х годов создано более 30 профессиональных стандартов в сфере связи, информационных и коммуникационных технологий. Профессиональные стандарты состоят из общих сведений, описания трудовых функций, характеристик обобщенных трудовых функций, под которыми понимается совокупность нескольких связанных между собой трудовых функций.

Существующие модели компетенций характеризуются разнообразным подходом к систематизации изложенной в них информации и использованием формализмов, позволяющих структурировать эту информацию. Модели компетенций, как правило, включают в себя:

Сгруппированные по областям знаний понятия и отношения между ними из таких понятийных сфер как «абстрактное-конкретное», «принадлежность», «форма и содержание», «тождество и противопоставление».

Роли или уровни компетенций, которые агрегируют описание характерных функциональных отношений между понятиями. Каждая роль является агентом, оперирующим знаниями (компетенциями).

Указанный подход к построению модели хорошо описывает общие подходы, однако для выполнения конкретных трудовых функций требуется серьезное расширение объема понятий, связанных семиотическими и иерархическими отношениями. Иными словами, компетенции описаны до уровня классов систем или методов, а выбор конкретных инструментов по понятным причинам в компетентностных моделях не описан.

Обзор общих и специализированных онтологий в сфере информационных технологий

Термин «онтология» используется в нескольких областях знания и имеет различные значения. В инженерной области знания можно использовать определение онтологии, сформулированное Т. Грубером (Т. Gruber): «Онтология — это спецификация концептуализации». То есть онтология — это описание понятий и отношений,

которые могут существовать для агента или сообщества агентов [4].

OWL-S — это основанная на OWL онтология, которая используется для описания веб-сервисов, их функциональности и свойств. Она состоит из трех основных частей: профиля услуги, модели процесса и основания.

DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) — модульная система онтологий, разработанная в рамках проекта WonderWeb, предназначенная для описания фундаментальных понятий в разделах философии, психологии и лингвистики. Это модель верхнего уровня, обладающая очень высокой степенью абстрактности. В ней содержатся примерно 500 понятий и нет лексических элементов.

Сус является одной из самых крупных и разработанных онтологий, содержащая около 1,5 млн аксиом. База знаний Сус включает около 24,5 млн фактов и разделена на свободные от противоречий микротеории, коллекции концепций и фактов, принадлежащих одной конкретной области знаний. В Сус используется агентная модель, в которой используются различные модули логического вывода. Создание онтологии осуществляется вручную, однако описаны методы ее автоматического наполнения из Интернета и Сус подключена к проекту DBpedia.

Suggested Upper Merged Ontology (SUMO) — онтология верхнего уровня, предназначенная в качестве базовой онтологии для множества компьютерных систем обработки информации. SUMO определяет иерархию классов и связанных с ними правил и отношений. SUMO состоит из 25 000 терминов и 80 000 аксиом.

General Formal Ontology (GFO) — это онтология верхнего уровня для концептуального моделирования, которая включает такие категории, как объекты, процессы, время и пространство, свойства, отношения, роли, функции, факты и ситуации.

Computer Science Ontology (CSO) — это созданная Springer Nature и The Open University онтология областей исследований, которая была автоматически сгенерирована с помощью алгоритма Klink-2 на наборе данных Rexplore, состоящем из около 16 миллионов публикаций, в основном в области компьютерных наук. Алгоритм Klink-2 объединяет семантические технологии, машинное обучение и знания из внешних источников для автоматического создания полностью заполненной онтологии областей исследований.

Существующие онтологии достаточно полно описывают многие предметные области, в том числе область информационных технологий. Проработаны ручные, ав-

томатические и комбинированные методы пополнения онтологий.

Ориентированность онтологий на использование механизмов логического вывода и достаточно общий характер определяют то, что в них слабо описаны функциональные отношения, задающие объем компетенций для конкретных ролей.

Обзор действующих баз знаний

Согласно международному стандарту ISO/IEC/IEEE 24765-2010, Systems and software engineering — Vocabulary база знаний — это база данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области [5].

DBpedia — это мультязычная база данных общего назначения, основанная на информации из Википедии. DBpedia доступна в виде RDF-триплетов. Эта структурированная информация напоминает открытый граф знаний (OKG). Доступ к данным в DBpedia осуществляется с использованием языка SPARQL.

YAGO — это семантическая база знаний, полученная из Wikipedia WordNet и GeoNames. В настоящее время YAGO обладает знаниями о более чем 10 миллионах объектов и содержит более 120 миллионов фактов об этих объектах.

Knowledge Graph — семантическая технология и база знаний, используемая Google для повышения качества своей поисковой системы с семантической-поисковой информацией, собранной из различных источников. Knowledge Graph предоставляет структурированную и подробную информацию о теме в дополнение к списку ссылок на другие сайты.

Microsoft Concept Graph — граф знаний, построенный на основе более раннего проекта Probase, который предоставляет доступ к 5,4 млн концептов. В Microsoft Concept Graph модель концептуализации направлена на сопоставление текста с семантическими категориями понятий с некоторыми вероятностями. Структура графа знаний включает: слой построения знаний, слой концептуализации и прикладной уровень.

ConceptNet — это свободно доступная семантическая сеть, разработанная, чтобы помочь компьютерам понять значения слов, которые используют люди. ConceptNet используется в различных приложениях, таких как системы обработки естественного языка и роботы.

WordNet — это большая лексическая база данных английского языка. Существительные, глаголы, прилагательные и наречия сгруппированы в наборы когнитив-

ных синонимов (синсетов), каждый из которых выражает отдельное понятие. Синсеты связаны между собой посредством понятийно-семантических и лексических отношений.

Базы знаний являются важным источником структурированной и систематизированной информации. Активно пополняемые базы знаний могут служить источником данных для выявления понятий, уточняющих абстрактные понятия онтологий верхнего уровня и моделей компетенций.

Состояние онтологического подхода к моделям компетенций знаний

Онтологический подход к созданию и совершенствованию компетентностно-ориентированных моделей образования, в том числе в сфере информационных технологий, находит широкий отклик у исследователей.

Е.Ю. Благов, И.А. Лещева, С.А. Щербан описывают алгоритм формирования «дополнительных» компетенций, на основе которого ими предложена усовершенствованная онтологическая модель компетентностно-ориентированного учебного плана, включающая в себя внешние источники «дополнительных» компетенций. Созданный инструментарий авторы рассматривают как средство формирования траекторий индивидуального профессионального развития [6].

Д.С. Конькова, Л.В. Курзаева, Ю.С. Лактионова, С.А. Чичиланова в своей работе рассматривают решение проблемы обеспечения качества управления образовательными системами в части установления требований к результатам обучения. Авторы описывают процесс построения онтологической фреймовой модели с использованием системы Protege на примере профессионального стандарта системного аналитика [7].

Т.А. Ткалич и Е.Г. Гриневич рассматривают подходы формированию востребованных адаптивных и актуальных образовательных программ на основе технологии и моделей, систематизирующих и структурирующих компетенции современного IT-специалиста, а также представляют основанную на применении европейских моделей компетенций EQF и e-CF схему верхнего уровня онтологии образовательного процесса, ориентированного на современные рыночные требования.

А.Н. Полетаikin, С.Г. Синица, Е.Ю. Кунц обращаются к рассмотрению задачи профессионализации высшего образования. В качестве решения задачи предлагается технология разработки профессиональных стандартов и их верификации для отдельных предметных областей по критерию изоморфизма. Рассматривается фрагмент онтологии области цифровых технологий. Авторы пред-

ставляют технологию организации системы модульного адаптивного обучения с верификацией компетенций на основе онтологий [8].

В работе В.В. Никитина рассматривается применение методов классификационного анализа для одного из этапов разработки государственных профессиональных и образовательных стандартов. Автор делает вывод, что применение данных методов позволяет повысить формализуемость и объективность процесса проектирования профессиональных и образовательных стандартов [9].

М.С. Гаспариан, С.А. Лебедев, Ю.Ф. Тельнов в своей статье рассматривают вопросы инжиниринга образовательных программ высшего образования в соответствии с потребностями рынка труда, отражаемыми в профессиональных стандартах. В качестве методов инжиниринга предлагаются методы семантического моделирования информационно-образовательного пространства, позволяющие систематизировать знания профессиональной области в виде концептуальных моделей онтологий и репозиториев учебных объектов. Предложен алгоритм формирования образовательных программ по профилям подготовки на основе анализа обобщенных трудовых функций и трудовых функций профессиональных стандартов [10].

Е. Katis, H. Kondylakis, G. Agathangelos и V. Kostas рассматривают концептуализации образовательных структур знаний в академической среде и представляют методологию и процесс разработки образовательной онтологии. Созданная онтология состоит из 41 понятия в таксономии, 9 из которых являются понятиями верхнего уровня, например: «поле обучения», «образовательная организация», «человек», «программа обучения», «курс», «учебный план», «событие», «тема» и т.д. [11].

Е. Ilkou и соавторы описывают разработанную ими онтологию EduCOR которая обеспечивает основу для представления онлайн-ресурсов для персонализированных систем обучения. Онтология предназначена для того, чтобы хранилища учебных материалов могли предлагать рекомендации в соответствии с целями, образовательным уровнем, профессиональными навыками и траекторией обучения пользователя [12].

N. Hubert, A. Brun и D. Monticolo в своей работе создали онтологию EducOnto, которая направлена на моделирование университетских учебных планов и профилей студентов, и EduKG — граф знаний, наследующий семантику EducOnto и созданный с использованием данных о французских студентах и учебных планах. Авторы также предлагают метод обогащения EduKG путем сопоставления ключевых слов EduKG с записями DBpedia или Wikidata [13].

М. Dascalu и соавторы описывают практики использования онтологий при разработке учебных программ (например, Болонской онтологии, онтологии учебных программ BBC или онтологии CCSO), и предлагают онтологическую модель разработки учебных программ. Предлагаемая авторами онтология содержит компетенции, которые считаются необходимыми результатами для программы подготовки в области инженерного образования и позволяет выполнять запросы на языке SPARQL об учебных программах [14].

Л. Cassel и соавторы в своей статье рассказывают о создании онтологии, описывающей сферу информационных технологий. Онтология предоставляет преподавателям и студентам инструмент для определения того, насколько данная тема уместна в конкретном контексте. Роль онтологии заключается в том, чтобы показать концепцию и связанные с ней понятия таким образом, чтобы можно было сделать осознанный выбор в заданной ситуации. Онтология может быть применена с целью описания и проведения различий между учебными программами, например путем сравнения результатов обучения [15].

С. Nuntawong, С. Snae, М. Brückner в своей статье описывают инструмент отображения гибридной онтологии для оценки стандарта предметов информатики в соответствии с Таиландской системой квалификаций для высшего образования (HQF: HEEd). Были разработаны три онтологии: course, TQF: HEEd и стандартная учебная программа по информатике [16].

А. Salatino и соавторы описывают онтологию Computer Science Ontology (CSO), варианты ее использования и историю развития. Это крупномасштабная, автоматически генерируемая онтология областей исследований, который включает в себя около 14 тысяч тем и 162 тысячи семантических связей. CSO создана с применением алгоритма Klink-2 на наборе данных из 16 млн научных статей [17].

Исследователи рассматривают применение онтологий и баз знаний для описания и уточнения моделей компетенций, используют при практическом применении моделей компетенций. Большинство таких работ является зарубежными. Это определяет то, что для отечественных моделей компетенций онтологический подход используется только в части создания небольших специализированных онтологий.

Анализ возможности совершенствования онтологического подхода к моделям компетенций

Проведенный обзор показывает существенные достижения онтологического подхода к моделям компетенций и позволяет сформулировать некоторые про-

блемы в онтологическом подходе к компетентностным моделям и возможные пути их решения.

Концептуально описывающие модели компетенций онтологий как правило являются оригинальными разработками, что влечет сложность их сопряжения с крупными онтологиями верхнего уровня и базами знаний общего назначения.

Формирование большинства онтологий происходит ручным способом с использованием эвристик, без детальной проработки вопросов автоматического построения.

С содержательной точки зрения онтологии описывают предметную область «Образование», некоторые сегменты предметной области «Информационные технологии» и особенности конкретного стандарта или подхода.

Использование баз знаний в моделях компетенций в некоторой степени проработано в зарубежных исследованиях и применяется на практике. В отношении отечественных трудовых и образовательных стандартов использование открытых баз знаний описано слабо.

Вследствие внешнего сходства онтологий и баз знаний, но разности их целей, представления и назначения (онтология — абстрактная модель концептуальной структуры области знаний, а база знаний — хранилище конкретных фактов) эффективно не решен вопрос установление границ концептуального описания и перечисления экземпляров (инстанций), что усложняет практическое использование.

Не рассматриваются вопросы обогащения баз знаний предметной области «Информационные технологии» на основе автоматического извлечения информации из структурированных источников информации таких как репозитории пакетов, зависимостей, сценарии сборки в открытых проектах.

Вывод

Поскольку поставленные выше проблемы и вопросы в различной степени решены за рубежом, актуальным является их решение применительно к отечественным профессиональным и образовательным стандартам таким как ФГОС и профессиональные стандарты Минтруда России. Для этого предлагается модель, которая позволяет гармонизировать требования стандартов и соотнести концепты сегментов специализированной онтологии с терминами широко применяемых баз знаний общего назначения.

Специализированная онтология связывается с общими онтологиями через отношение эквивалентности и с

открытыми базами знаний (например DBpedia, Wikidata) отношениями «часть-целое» и «абстрактное-конкретное». Выявление данных отношений позволит определить объем понятий онтологии. Определение объема понятий придает модели практический характер, поскольку абстрактное «знание», «умение» или «навык» реализуется путем применения конкретных инструментов, разнообразие которых неуклонно растет [18].

Установление связей определяет возможность автоматического наполнения нужных сегментов базы знаний модели путем обработки открытых баз знаний, а также извлечения зависимостей на основе открытых репозитивов программного обеспечения.

Таким образом предлагаемая модель имеет следующий вид верхнего уровня:

$$M = \langle S, O, B, A, V \rangle$$

S — модель компетенций, стандарт

O — онтология, соответствующая S ,

$$O = \{o^s\} \cup \{o_1, o_2, \dots, o_n\} \cup \{o_1 \rightarrow o^s, o_2 \rightarrow o^s, \dots, o_n \rightarrow o^s\},$$

где o^s — специализированная онтология на основе стандарта S , o_i — общая онтология, $o_i \rightarrow o^s$ — отношения эквиваленции понятий онтологии общей онтологии o_i и специализированной онтологии o^s .

В онтологии O определены понятия верхнего уровня: система, инструмент, язык, нотация, метод, теория и отношения: «часть-целое», «абстрактное-конкретное», «знать», «уметь». Каждое из понятий верхнего уровня раскрывается путем установления отношения «часть-целое» с конкретизирующими понятиями, например «система» включает «операционная система», «система тестирования», «система контроля версий», «офисный пакет», «система мониторинга», «система управления задачами», а «язык» включает «язык программирования», «язык манипулирования данными».

B — база знаний в сфере ИТ,

$$B = \{b^s\} \cup \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \cup \{b_1 \rightarrow b^s, b_2 \rightarrow b^s, \dots, b_n \rightarrow b^s\} \cup \{b_1 \rightarrow o_n, b_2 \rightarrow o_n, \dots, b_n \rightarrow o_n\},$$

где b^s — специализированная база знаний модели на основе стандарта S , b_i — открытая база знаний, $b_i \rightarrow b^s$ — отношения элементов открытой базы знаний b_i и специализированной базы знаний b^s .

Элементы базы знаний B находятся в отношении «абстрактное-конкретное» с понятиями онтологии O .

Например, абстрактная «система контроля версий» конкретизируется такими реализациями как Git, Subversion, Mercurial.

A — алгоритм пополнения базы знаний. Алгоритм пополнения заключается в том, что для каждого нового элемента базы знаний B устанавливается отношение R хотя бы с одним понятием онтологии O . Алгоритм A является специализированной версией алгоритма Klink-2, предложенного F. Osborne и E. Motta [19].

Оригинальный алгоритм Klink-2 принимает на вход набор ключевых слов научного характера и их взаимосвязи с различными объектами, включая исследовательские работы, места проведения, авторов и организации. Его результатом является заполненная онтология OWL.

Алгоритм A принимает на вход элементы $b_i \in B$, а на выходе дополняет онтологию O . Между входными данными b_i установлены семантические взаимосвязи, например, такие как отношение `dbpedia-owl:field`, используемое в DBpedia. Алгоритм включает следующие шаги:

1. Каждая пара b_i и b_j количество общих связей которых с другими $b_k \cup o_t, b_k \in B, o_t \in O$ превышает пороговое значение p , то производится анализ наличия иерархической связи между b_i и b_j .
2. Каждое b_i анализируется на предмет наличия множественности значений. Элементы b_i , которые кажутся неоднозначными, разбиваются на элементы $\{b_i^1, b_i^2, \dots, b_i^n\}$ с уникальными значениями, которые затем сравниваются с другими b_j .
3. Каждое b_i и b_j анализируется на предмет эквивалентности, объединяются. При необходимости между ними устанавливается семантическое отношение эквивалентности.
4. Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока новые b_i не будут разделены или объединены. Затем алгоритм исправляет циклы в сети тем и генерирует триплеты, описывающие семантические.

V — алгоритм верификации индивидуальных наборов профессиональных компетенций и построения траектории профессионального развития, такой, что:

$$V = \langle K, T, P \rangle$$

K — входные знания субъекта, такие, что $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}, k_i \in o_j \mid k_i \in b_q$

T — верифицирующие правила, который находят отображения $b_q \rightarrow o_j$ для каждого k_i , иными словами устанавливают знания по определенным процессам и областям. Каждое верифицирующее правило должно установить одно из отношений «знать» или «уметь» между входным знанием k_i и b_q , таким, что для b_q найдется отображение $b_q \rightarrow o_j$.

P — траектория развития, определяемая, как множество b_t и o_p , находящихся в отношениях с соответствующими b_q и o_j . Иными словами, в траекторию будут включены такие b_t для которых существует b_q , имеющее отношение R с o_p при этом o_j должно иметь отношение с o_p или имеющее отношение R с o_p .

Таким образом предложенная адаптивная модель компетенций в сфере информационных технологий

позволит проводить формальную верификацию индивидуальных наборов профессиональных компетенций строить траектории профессионального развития с возможностью выбора альтернативных путей. Очевидно, что модель позволяет определять отношениями между стандартами путем установления эквиваленций между онтологиями, описывающими данный стандарт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пушкарев, Ю.В. Непрерывное образование в современных условиях: основные концептуальные подходы / Ю.В. Пушкарев, Е.А. Пушкарева // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. — 2015. — № 6(28). — С. 161–171. — DOI 10.15293/2226-3365.1506.17. — EDN VDNTET.
2. Ткалич, Т.А. Подходы к реализации онтологии компетенций и профессиональной подготовки IT-специалистов / Т.А. Ткалич, Е.Г. Гриневич // Дата обращения 18.03.2023 <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/284425/1/233-238.pdf>
3. Ботов, Д.С. Семантический поиск учебных дисциплин под требования рынка труда на основе нейросетевых моделей языка / Д.С. Ботов, Ю.В. Дмитриев, Ю.Д. Кленин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. — 2019. — Т. 19, № 2. — С. 5–15. — DOI 10.14529/ctcr190201. — EDN QTNJEC.
4. Gruber Th. What is an Ontology// URL: <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html> Дата обращения 05.04.2023
5. Russell, Stuart J. (2021). Artificial intelligence: a modern approach. Peter Norvig, Ming-Wei Chang, Jacob Devlin, Anca Dragan, David Forsyth, Ian Goodfellow, Jitendra Malik, Vikash Mansingha, Judea Pearl, Michael J. Wooldridge (Fourth ed.). Hoboken, NJ. ISBN 978-0-13-461099-3. OCLC 1124776132.
6. Благов, Е.Ю. Онтологический подход в практике образовательной деятельности: формирование траекторий индивидуального профессионального развития студентов / Е.Ю. Благов, И.А. Лещева, С.А. Щербан // Открытое образование. — 2018. — Т. 22, № 5. — С. 26–39. — DOI 10.21686/1818-4243-2018-5-26-39. — EDN YNGMVF.
7. Разработка компетентностно-онтологической модели для постановки и решения задач управления в системах формального и неформального ИТ-образования / Д.С. Конькова, Л.В. Курзаева, Ю.С. Лактионова, С.А. Чичианова // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 12-2. — С. 296–301. — EDN XIISUH.
8. Полетайкин, А.Н. Технология разработки и верификации профессиональных стандартов, их применения в системах управления обучением на основе онтологий / А.Н. Полетайкин, С.Г. Сеница, Е.Ю. Кунц // Экономика и управление: теория и практика. — 2020. — Т. 6, № 2. — С. 37–46. — EDN SPOKTO.
9. Никитин, В.В. Проектирование онтологии объектов профессиональной деятельности специалиста при разработке профессиональных и образовательных стандартов / В.В. Никитин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2008. — Т. 11, № 1. — С. 143–148. — EDN JXECBZ.
10. Гаспариан, М.С. Инжиниринг образовательных программ на основе применения интеллектуальных технологий / М.С. Гаспариан, С.А. Лебедев, Ю.Ф. Тельнов // Открытое образование. — 2017. — Т. 21, № 1. — С. 14–19. — DOI 10.21686/1818-4243-2017-1-14-19. — EDN XXXACX.
11. Katis Evangelos, Kondylakis Haridimos, Agathangelos Giannis, Kostas Vassilakis. (2018). Developing an Ontology for Curriculum & Syllabus
12. Ilkou, E., Abu-Rasheed, H., Tavakoli, M., Hakimov, S., Kismih'ok, G., Auer, S., Nejdil, W. (2021). EduCOR: An Educational and Career-Oriented Recommendation Ontology. International Workshop on the Semantic Web. // <https://www.semanticscholar.org/reader/16a33229252b3fc1d94029af2634d756633d2777> Дата обращения 11.04.2023
13. Hubert, Nicolas, Armelle Brun and Davy Monticolo. «New Ontology and Knowledge Graph for University Curriculum Recommendation». International Workshop on the Semantic Web (2022) // <http://star.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-3254/paper349.pdf> Дата обращения 11.04.2023
14. Dascalu, Maria & Lazarou, Elisabeth & Melania, Nitu & Stanica, Iulia & Bodea, Constantinoleta & Dobrescu, Alexandramaria. (2019). Ontologies — facilitators for curriculum design in centers of excellence for engineering education. 11–18. 10.12753/2066-026X-19-138.
15. Cassel, Lillian & Davies, Gordon & Leblanc, Richard & Snyder, Lawrence & Topi, Heikki. (2023). Using a computing ontology as a foundation for curriculum development.
16. Nuntawong, Chayan & Snae, Chakkrit & Brückner, Michael. (2018). Home: Hybrid Ontology Mapping Evaluation Tool for Computer Science Curricula.
17. Salatino, Angelo & Thanapalasingam, Thiviyan & Mannocci, Andrea & Birukou, Aliaksandr & Osborne, Francesco & Motta, Enrico. (2020). The Computer Science Ontology: A Comprehensive Automatically-Generated Taxonomy of Research Areas. Data Intelligence.2. 379-416.10.1162/dint_a_00055.
18. Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 1) / А.Н. Тимофеев, И.С. Евдокимова, Н.Б. Хаптахаева, А.А. Сенотрусова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2022. — № 12. — С. 85–91. — DOI 10.37882/2223-2966.2022.12.31. — EDN CKBAIZ.
19. Osborne, Francesco & Motta, Enrico. (2015). Klink-2: Integrating Multiple Web Sources to Generate Semantic Topic Networks. 9366. 10.1007/978-3-319-25007-6_24.