

УДК 004.04; 005

# ОНТОЛОГИИ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ЗНАНИЙ В ВЫСШЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

---

**Юрий Иванович Волокитин,**

управляющий партнёр, руководитель проектов ООО ТАС, i18021958@gmail.com

**Василий Павлович Куприяновский,**

заместитель директора Центра высокоскоростных и цифровых систем  
Российского университета транспорта (МИИТ), vpkupriyanovsky@gmail.com

**Михаил Георгиевич Жабицкий,**

заместитель директора Высшей инженеринговой школы НИЯУ МИФ,  
кандидат технических наук, jabitsky@mail.ru

---

**Статья посвящена онтологическому<sup>1</sup> моделированию образовательных систем. Онтологии позволяют моделировать различные аспекты управления знаниями для системы высшего образования. В статье представлена онтологическая структура, используемая при моделировании и интеграции процессов управления знаниями и технологической архитектуры для управления знаниями в виртуальном образовании.**

**Ключевые слова:** *цифровые двойники, онтологии, образование.*

---

<sup>1</sup> В информатике онтология (новолат. *ontologia* от др.-греч. *ὄν*, род. п. *ὄντος* — сущее, то, что существует + *λόγος* — учение, наука) включает в себя репрезентацию, формальное именование и определение категорий, свойств и отношений между понятиями, данными и сущностями, которые обосновывают одну, многие или все области курса. Проще говоря, онтология — это способ показать свойства предметной области и то, как они связаны, путём определения набора концепций и категорий, которые представляют предмет. Каждая академическая дисциплина или область создаёт онтологии для ограничения соответствия и упорядочения данных в информацию и знания. Новые онтологии улучшают решение проблем в этой области. Перевод исследовательских документов в каждой области — это проблема, облегчаемая, когда эксперты из разных стран поддерживают контролируемый словарь жаргона между каждым из своих языков.

Онтологии выходят из ветви философии, известной как метафизики, которая занимается вопросами вроде «что существует?» и «какова природа реальности?». У онтологий как в информационной науке, так и в философии есть общее — попытка представить сущности, идеи и события, со всеми их взаимозависимыми свойствами и отношениями, по системе категорий.



## Введение

Не вызывает сомнений тот факт, что большинство знаний, которыми владеет человечество, сегодня представлено в цифровом виде в сети Интернет. Простота доступа, надёжность хранения и широкий диапазон вариантов представления (включая интерактивные) делают Интернет неотъемлемым источником информации в любых исследованиях и в образовательных процессах. Однако в зависимости от организации этих знаний возможности их использования совершенно разные [1]. Проблема того, как именно организованы данные в системах хранения — в виде таблиц, или реляционных баз<sup>2</sup>, или семантических троек, становится сегодня основной для всех серьёзных информационных систем.

С начала века стремительный рост новых технологий баз данных положил конец прежнему господству реляционных систем. Эти различные новые типы баз данных объединяются общим термином NoSQL<sup>3</sup>. Хотя терминология спорна, технология NoSQL действительно отличается от мира отношений. Вместо того чтобы хранить данные в строках таблиц, базы данных хранят вложенные документы, пары ключ-значение [2].

Для появления новых моделей данных есть веские причины. Базы данных документов оптимизированы для простоты хранения и поиска с помощью метафоры картотеки входящего и исходящего документа. Базы данных колоночного хранилища оптимизированы для масштабирования и позволяют быстро сканировать множество записей. Тем не менее, оптимизируя варианты использования, разработчики новых баз данных сделали выбор в пользу упрощённых моделей. Например, понимание того, как связаны две записи, является частью реляционной модели через соединения, но в базах данных хранилища документов, ключей и значений или столбцов не существует эквивалентного механизма [2].

База данных графа NoSQL строит сеть взаимосвязанных сущностей, представляющих её онтологический домен. Как и в реляционных базах данных, вы можете запросить эту модель, чтобы получить представление, но в отличие от реляционных баз данных модель данных интуитивно понятна.

С помощью нескольких простых инструментов вы можете создавать выразительные и понятные модели данных, обладающие высокой производительностью.

<sup>2</sup> Реляционная база данных (англ. relation — «отношение, зависимость, связь») — это совокупность взаимосвязанных таблиц, каждая из которых содержит информацию об объектах определённого типа. Строка таблицы содержит данные об одном объекте (например, товаре, клиенте), а столбцы таблицы описывают различные характеристики этих объектов — атрибуты (например, наименование, код товара, сведения о клиенте).

<sup>3</sup> NoSQL (от англ. not only SQL — не только SQL) — обозначение широкого класса разнородных систем управления базами данных, появившихся в конце 2000-х — начале 2010-х годов, существенно отличающихся от традиционных реляционных СУБД с доступом к данным средствами языка SQL. Применяется к системам, в которых делается попытка решить проблемы масштабируемости и доступности за счёт полного или частичного отказа от требований атомарности и согласованности данных.

Графовые<sup>4</sup> базы данных и онтологии, отражающие семантику, — это универсальная технология обработки данных. Их можно использовать в самых разных областях: от здравоохранения до финансов и от энергетики до реагирования на стихийные бедствия. На протяжении всего срока службы системы графы обеспечивают превосходящие запросы сложных моделей, позволяя задавать уместные вопросы с высокой производительностью. Графы также предлагают простоту разработки, где комбинирование простых шаблонов позволяет создавать большие сложные сети, которые представляют любую проблемную область с высокой точностью [2].

Растущий спрос на интеллектуальные решения в информационных системах, всплеск различных типов информации и технологическое развитие ставят новые задачи и требования. Онтологии и связанные с ними графовые базы данных часто рассматриваются как ответ на эту потребность. Связи между онтологиями и семантической паутиной<sup>5</sup> становятся очень многообещающей областью. Успех семантической паутины зависит от качества онтологий, в то время как онтологии

обеспечивают общее и связанное понимание предметной области, позволяя общаться между людьми и гетерогенными и распределёнными системами.

Онтологии с большим успехом используются в образовании, потому что они позволяют сформулировать представление предметной области, указав все задействованные концепции, отношения между концепциями и все существующие свойства и условия [3–9]. Продвинутое онтологическое представление для трансформации российского высшего образования, базирующееся на оптимальных возможностях справиться с вызовами времени, порождёнными взрывными технологиями экономики знаний, составляет предмет этой статьи.

### **Цифровой двойник в образовании**

Весьма справедливо соображение, что любой инструмент, помогающий педагогике, является законченным только в том случае, если он может подтвердить результаты обучения относительно целей обучения, и когда поток дискурсов сдвигается в этом направлении, цифровые двойники могут помочь посредством онтологических рассуждений процессу высшего образования.

<sup>4</sup> Граф — математическая абстракция реальной системы любой природы, объекты которой обладают парными связями. Граф как математический объект есть совокупность двух множеств — множества самих объектов, называемого множеством вершин, и множества их парных связей, называемого множеством рёбер. Элемент множества рёбер есть пара элементов множества вершин.

<sup>5</sup> Семантическая сеть — информационная модель предметной области, имеет вид ориентированного графа. Вершины графа соответствуют объектам предметной области, а дуги (рёбра) задают отношения между ними. Объектами могут быть: понятия, события, свойства, процессы. Таким образом, семантическая сеть — это один из способов представления знаний. В названии соединены термины из двух наук: семантика в языкознании изучает смысл единиц языка, а сеть в математике представляет собой разновидность графа — набора вершин, соединённых дугами (рёбрами), которым присвоено некоторое число. В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги (причём направленные) задают отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений.



Индустрия 4.0 в значительной степени связана с цифровизацией и сближением реального мира с виртуальным миром, и производственная педагогика сейчас больше, чем когда бы то ни было, сталкивается с проблемой создания рабочей силы, способной справиться с этим сдвигом парадигмы и в России и в мире. Педагогам необходимо будет адаптировать учебный план и методики преподавания, чтобы помочь привить конкретное понимание новых тенденций и принципов. В последнее время были предприняты попытки исправить это изменение. Фабрики обучения<sup>6</sup> были созданы с намерением способствовать обучению, ориентированному на действия. Фабрики обучения, направленные на устранение некоторых недостатков учебных заведений, — это ещё один подход в этом направлении к объединению образования, исследований и инноваций, основанных на треугольнике знаний, в рамках единой инициативы. Основным фактором успеха этих фабричных концепций было участие представителей отраслей, которые оказывают неоценимую помощь студентам, знакомя их с проблемами реального мира [12].

Компьютерное моделирование также использовалось для производственного обучения и оказалось ценным подспорьем в достижении целей обучения. Виртуальная реальность — ещё

одна концепция, которая используется на позднем этапе производственной педагогики [10]. Мировые онтологические языки также представлены в нашем перечне стандартов, такие как OWL[29] и EXPRESS [13], но, к сожалению, в частных привязках к доменам.

Хотя эти концепции существуют уже несколько десятилетий и не разрабатывались с учётом концепции Индустрии 4.0, многие исследования показывают, что они имеют жизненно важное значение для производственного инженерного образования даже в текущем сценарии. Ещё одна концепция, которая существует уже несколько десятилетий и набирает популярность в последнее время, — это технологии цифровых близнецов<sup>7</sup>.

Как полагают некоторые исследователи, «в контексте производственной педагогики цифровые двойники производственных процессов могут сыграть значительную роль в обеспечении эффективного обучения. Высокоточное воспроизведение физической системы помогает рефлексивному наблюдению за сопутствующими процессами в максимально возможной степени детализации, способствуя конкретному обучению». Цифровые близнецы нашли применение в самых разных областях, включая промышленность, авиацию, автомобилестроение и здравоохранение. Цифровые близнецы теперь проклады-

<sup>6</sup> Слово «обучение» указывает на развитие компетенций, в то время как слово «фабрика» определяет реалистичную производственную среду.

<sup>7</sup> Цифровой двойник (англ. Digital Twin) — цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция «цифрового двойника» является частью четвёртой промышленной революции и призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты.

вают путь к образованию и исследованиям [10], и мы считаем, что они обладают огромным потенциалом в предоставлении беспрецедентного опыта обучения прямо на уровне класса.

Каждая технологическая эпоха трансформирует систему образования, в своей основе состоящей из трёх составляющих педагогику теорий: когнитивная гуманистическая и поведенческая

С точки зрения фиксации знаний как предмета обучения мы выделяем: дописменную культуру, рукописную культуру, письменную культуру (книгопечатание), электронную культуру (цифровые знания). В эпоху последней мы и живём сегодня, и она уже трансформирует баланс органов чувств восприятия у целого поколения обучающихся. Это очень серьёзный фактор развития образования, сравнимый с тем, каким образом сначала фонетический алфавит, а затем книгопечатание изменили модели деятельности, мировоззрения и самовыражения, столь важные в процессе образования. Таким образом, мы полагаем, что между обучаемым и разными педагогическими подходами преподавателей должен появиться формализованный онтологический посредник, упрощающий работу всех участников.

## Реализация теорий обучения в рамках онтологического педагогического цифрового двойника

Современное управление знаниями строится на получении (быстром поиске-сборе), хранении (организации),

и обслуживании (предоставлении) больших объёмов знаний. Сегодня технология систем электронного обучения используется в основном для учебных курсов по тщательно отобраннным темам, которые предлагаются студентам, зарегистрированным на эти курсы. Практика повышения ценности информации путём сбора неявных знаний и их преобразования существенно дополняет систему управления знаниями. В этой работе онтологии могут представлять существующие знания из предметной области, позволяют моделировать различные аспекты управления знаниями для виртуального обучения в высшем образовании. Университеты, с точки зрения управления знаниями, предоставляют обновлённую концепцию высшего образования, в которой знания считаются продуктом, а покупателями являются студенты. В этой статье объясняется онтологическая структура, используемая для моделирования и интеграции процессов управления знаниями и технологической архитектуры для управления знаниями в виртуальном образовании.

Получение знаний осуществляется с помощью онтологий, представляющих каждый из слоёв модели, из общего, домен и просмотра задач [10]. Последующее изложение создано путём концептуализации в онтологическом редакторе OSA, и мы сохранили некоторые отличия работы этого редактора (заглавное написание понятий, например) при трансляции в текстовое представление. Другие, графовые, представления этого редактора стали иллюстрациями к написанному.



## Онтология «университета на базе цифровых двойников»

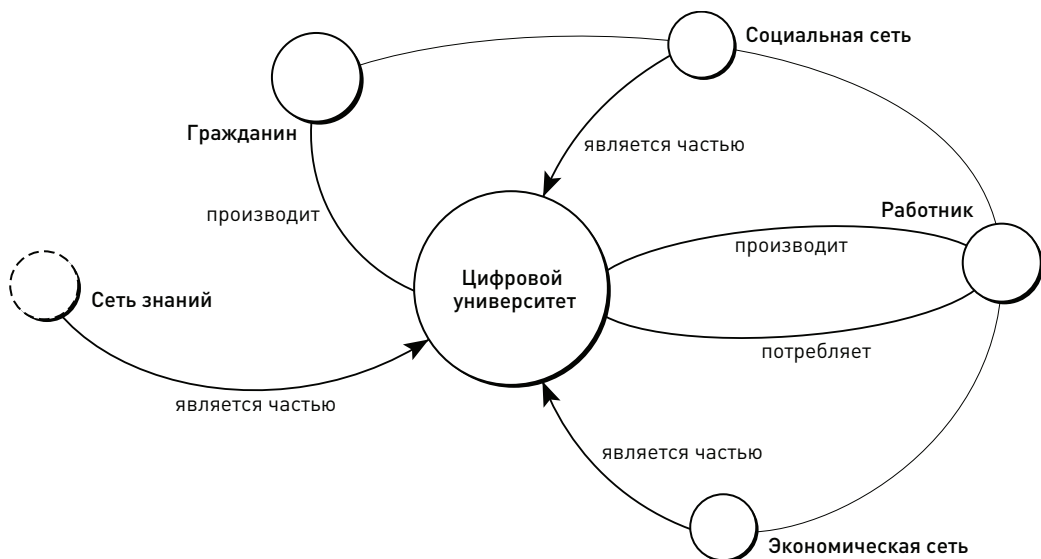
### Общий концепт

Онтология «университет на базе цифровых двойников» (далее цифровой университет) является расширением традиционной модели Университета через потенциалы виртуализации дистанционной образовательной деятельности и взаимодействия с надсистемами. Семантика расширений концептуализации Университета на базе цифровых двойников сформулирована в трёх аспектах:

- концептуализация социально-экономического окружения Университета технологической архитектуры для управления знаниями в виртуальном образовании;
- онтологический инжиниринг, как фундамент архитектуры образовательных платформ и приложений;

• расширение модели педагогической семантики в процессах обучения.

Университет на базе цифровых двойников, не являясь специализированным узлом Сети Знаний, одновременно — часть, объект Социальной и Экономической сетей (далее совместно три сети — СЭЗ). В каждой сети, в каждый момент времени порождаются соответствующие её прагматике отношения между Агентами. Работник является объектом пересечения мотиваций Сетевых Заинтересованных Сторон. Университет, используя ресурсы Сети Знаний, производит Работников в контексте требований Экономической и Социальной сетей. Одновременно Социальная сеть предъявляет к университету требования формирования свойств Гражданина. Графовое представление верхнего уровня концепта цифрового университета показано на рисунке 1.



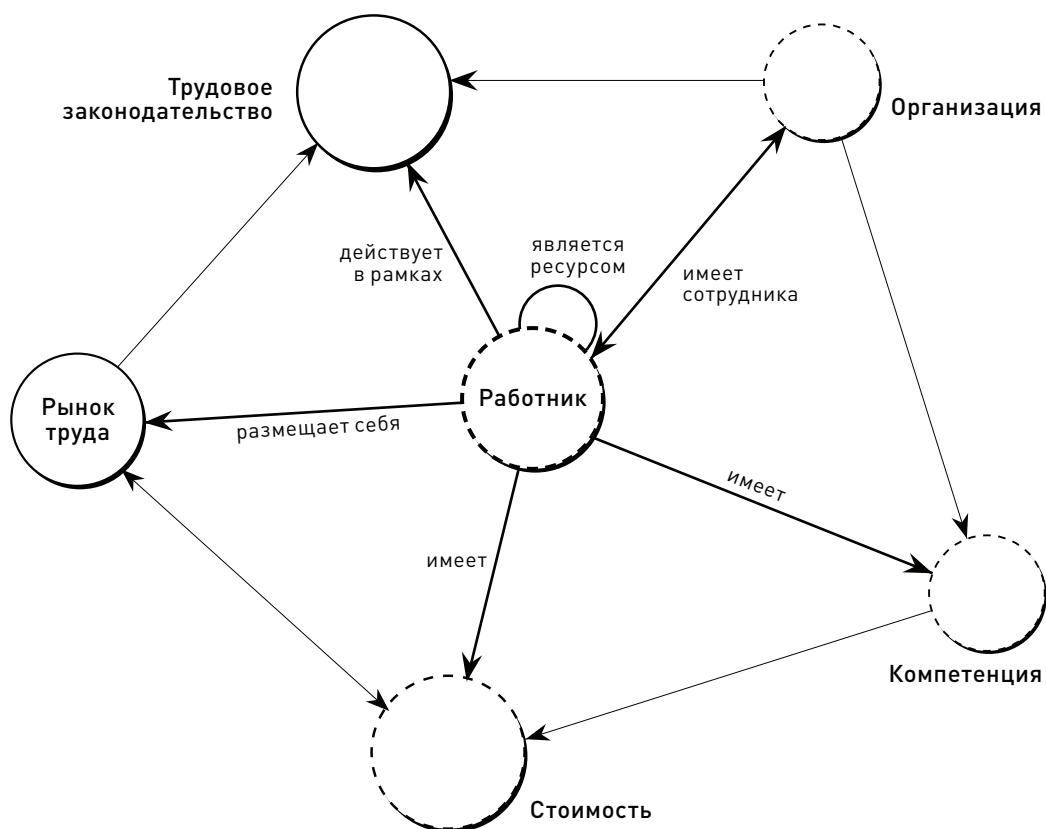
▲ Рис. 1. Графовое представление верхнего уровня концепта цифрового университета (автор — Ю.И. Волокитин)

### Концепт «Работник»

Компетенции, которые имеет Работник, — это базовая ценность, в отношении которой определяют свои интересы Агенты Экономической сети. Организация, исходя из запросов своего потребителя, в моменте предъявляет спецификацию на ресурс-компетенцию, включая ограничение на Стоимость. Работник, исходя из своих оценок Рынка труда, приобретает Компетенции на Рынке образования, имея их фактическую спецификацию в каждый момент времени, предлагает

их на Рынке труда, также ограничивая Стоимость. В отношениях Работник, когда он является сотрудником, возможна рефлексия — отношения самозанятости.

Взаимодействие экономических Агентов (Работника и Организации) на Рынке труда реализуется в рамках норм Трудового законодательства, тем самым, включая в модель Агентов Социальной сети их подмножество Регуляторов. Онтологическое графовое представление концепта Работник можно увидеть на рисунке 2.



▲ Рис. 2. Онтологическое представление концепта Работник (автор — Ю.И. Волокитин)



## Концепт «Цифровая платформа»

Потенциал Цифровой Платформы (ЦП) является необходимым для достижения социально-экономических эффектов Цифрового Университета. ЦП специфицирован как централизованный и трансдисциплинарный концепт: являясь частью Цифрового Университета, одновременно является частью Сети Знаний самого разного рода. Концепт ЦП определяет предметно-независимую (мета) семантику, синтаксис и прагматику взаимовыгодных отношений Агентов. С другой стороны, Цифровая Платформа определяет эталонную модель деятельности: действия, процедуры, операционные правила, процессы. И последнее, важное в смысле завершенности модели: в этом пространстве располагается концептуализация репрезентации разделяемых знаний в контексте прагматики сетевых Агентов. Рисунок 3 показывает онтологическое представление концепта цифровая платформа.

## Концепт «Интероперабельность» цифровой платформы

Интероперабельность<sup>8</sup> является комплексным свойством цифровой платформы, характеризующим способность двух или более человеко-машинных систем обмениваться информацией для совместной работы. Уровень интероперабельности определяется трудоёмкостью акта коммуникации: Формирование сообщения — Передача сообщения — По-

лучение Сообщения — Интерпретация Сообщение — Верификация Смысла Получатель/Отправитель. Рычаг увеличения интероперабельности — снятие итераций<sup>9</sup> уточнения смыслов Сообщения за счёт разделяемого Словаря, состоящего из множества Концептов, множества Отношений, множества Аксиом и множества Экземпляров, определённых в Множестве Доменов Знаний. Такая модель описания обеспечивает динамическую интерпретацию смысла индивидуальных сообщений Robotами (Сервисами, Процессами...) и Людьюми в контексте домена. В платформах Уровень интероперабельности является ограничением снизу на уровень эффективности и качество создаваемых совместно продуктов. В процессах интерпретации возникают задачи решения Семантической, Синтаксической, Прагматической, Технической, Организационной и Эволюционной интероперабельности.

Качество интероперабельность измеряется совокупностью критериев: Критерии внутреннего качества знаний, Критерии Безопасности информации, Контекстно-зависимые Критерии качества.

Универсальная мета-схема данных в системе делает реальной возможность использования распределённой системы работы с данными любой природы. При наличии веб-сервисов, использующих однотипные структуры данных (в виде триад), при наличии информа-

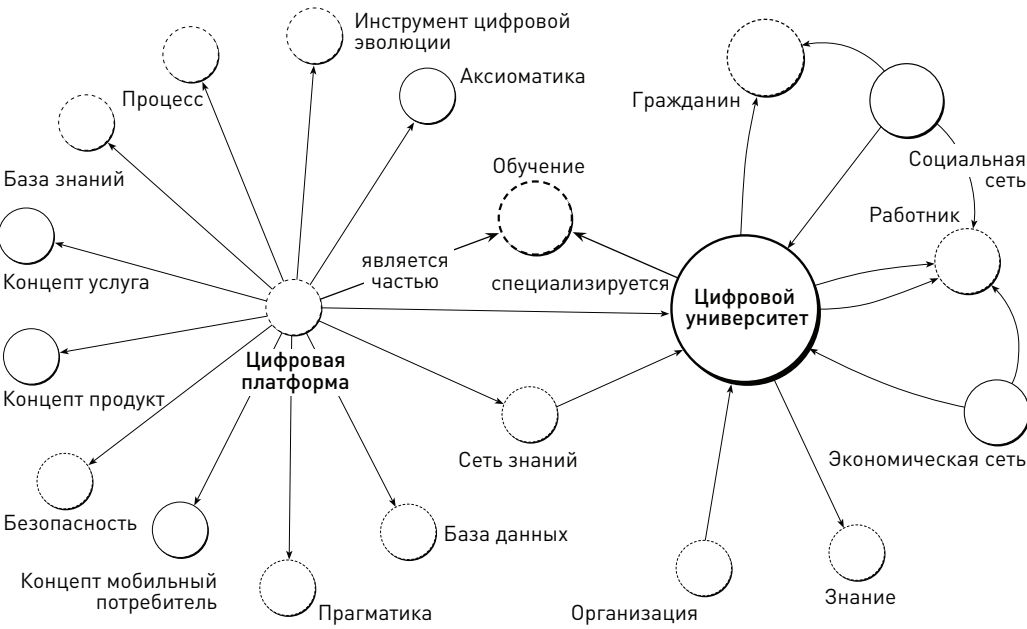
<sup>8</sup> Интероперабельность (англ. interoperability — способность к взаимодействию) — это способность продукта или системы, интерфейсы которых полностью открыты, взаимодействовать и функционировать с другими продуктами или системами без каких-либо ограничений доступа и реализации.

<sup>9</sup> Итерации (лат. iterativus — часто повторяющийся) — многократное, безостановочное и спонтанное повторение одного и того же движения, звука речи, слова, фразы при их произношении или написании.

ции о метамоделях, доступной этим веб-сервисам, и условия хранения распределённых данных в однотипных структурах. Рисунок 4 даёт представление

концепта цифровая платформа в виде графа.

Продолжение следует



▲ Рис. 3. Онтологическое представление концепта цифровая платформа (автор — Ю.И. Волокитин)



▲ Рис. 4. Представление концепта цифровая платформа в виде графа (автор — Ю.И. Волокитин)



## Литература

1. Гринько О.В. и др. Онтологизация данных Европейского союза как переход от экономики данных к экономике знаний // *International Journal of Open Information Technologies*. 2018. Т. 6. №. 11.
2. *Graph Database For Dummies, Neo4j Special Edition*, Copyright © 2020 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
3. Klimov A. et al. To the issue of reverse-engineering-the way from paper to digital ontological rules for educational technology // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. №. 9. С. 82–91.
4. Климов А.А. Транспортное образование в условиях технологической трансформации отрасли: учеб. пособие для студ. образ. Организаций высшего образования и слушателей программ доп. проф. образования / Климов А.А., Заречкин Е.Ю., Куприяновский В.П. М.: Лакуэр Принт, 2019.
5. Klimov A. et al. On digital technologies, skills, engineering education for transport and education technologies // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. №. 10. С. 98–127.
6. Kupriyanovsky V. et al. On the issue of ontological availability of digital educational resources and their standardization in EdTech // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. №. 10. С. 91–97.
7. Климов А.А., Заречкин Е.Ю., Куприяновский В.П. Влияние цифровизации на систему профессионального образования // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2019. Т. 15, No 2. С. 468–476. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.468–476.
8. Климов А.А., Заречкин Е.Ю., Куприяновский В.П. Об особенностях использования тренажеров при реализации образовательных программ (на примере подготовки специалистов для транспорта) // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2019. Т. 15, No 2. С. 477–487. DOI: 10.25559/SITITO.15.201902.477–487.
9. Klimov A., Zarechkin E.Y., Kupriyanovsky V.P. О цифровой экосистеме современного университета // *Международный научный журнал «Современные информационные технологии и ИТ-образование»*. 2019. Т. 15. №. 4. С. 815–824.
10. David J., Lobov A., Lanz M. Learning experiences involving digital twins // *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2018. S. 3681–3686.
11. Pokusaev O. et al. Learning Factories for Industry and Transportation in the Digital Twins Era // *International Journal of Open Information*. 2021. Т. 9.
12. ГОСТ Р 56272-2014 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 8. Практические методы интеграции распределённых систем.
13. ГОСТ Р ИСО/ТО 10303-12-2000 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 12. Методы.

## DIGITAL TWINS OF KNOWLEDGE AND ONTOLOGIES FOR HIGHER TECHNOLOGICAL EDUCATION

**Yuri Iv. Volokitin**, Managing Partner, Project Manager of TAS LLC, e-mail: i18021958@gmail.com,

**Vasily P. Kupriyanovsky**, Deputy Director of the Center for High-Speed and Digital Systems of the Russian University of Transport (MIIT), e-mail: vpkupriyanovsky@gmail.com

**Mikhail G. Zhabitsky**, Deputy Director of the Higher Engineering School of NRU MIF, Candidate of Technical Sciences, e-mail: jabitsky@mail.ru

**Abstract.** The article is devoted to the ontological modeling of educational systems. Ontologies allow modeling various aspects of knowledge management for the higher education system. The ontology of a university based on digital twins (or digital university) is an extension of the traditional University model through the potentials of virtualization of distance educational activities and interaction with suprasystems. The article presents an ontological structure used in the modeling and integration of knowledge management processes and technological architecture for knowledge management in virtual education.

**Keywords:** digital twins, ontologies, education.