



## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.001.57

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-1>

## Транспортные онтологии



Станислав КУДЖ



Никита КУРДЮКОВ

**Станислав Алексеевич Кудж<sup>1</sup>,  
Никита Сергеевич Курдюков<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Российский технологический университет (РТУ МПРЭА), Москва, Россия.<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-1407-2788; Web of Science Researcher ID: AAG-1319-2019; Scopus Author ID: 56521711400; РИНЦ SPIN-код: 8173-1572; РИНЦ Author ID: 723257.<sup>2</sup> ORCID 0000-0001-6784-3369; Web of Science Researcher ID: KCY-1854-2024; РИНЦ SPIN-код: 8535-1612; РИНЦ Author ID: 1236094.✉ <sup>1</sup> [rektor@mirea.ru](mailto:rektor@mirea.ru).✉ <sup>2</sup> [nskurdyukov@gmail.com](mailto:nskurdyukov@gmail.com).

## АННОТАЦИЯ

Цель описываемой в статье работы состоит в анализе особенностей применения онтологий в транспортной сфере. Изучены методы построения онтологий, информационная неопределенность, препятствующая образованию онтологий. Введены термины «транспортная онтология», «онтологическое управление», «онтологическая информационная неопределенность».

Основными методами исследования являлись системный, онтологический, качественный и сравнительный анализ.

С учетом того, что применение онтологий для управления транспортом практикуется последние двадцать лет, накопленный в этой сфере опыт, развитие онтологий и современное технологическое состояние транспортной инфраструктуры дают основание ввести понятия «транспортная онтология» и «онтологическое управление». Основанные на них подходы имеют критически важное значение для дальнейшего развития транспортной системы, цифрового транспорта, эффективного управления объектами транспортной инфраструктуры. Предложен краткий анализ

применения онтологий в транспортной сфере, в том числе построения прикладных онтологий, к числу которых относятся и транспортная онтология.

Подчеркнуто значение семантических отношений для формирования прикладных онтологий. Описаны проблемы интеграции информации и обосновано применение онтологических информационных единиц для формирования онтологий. Констатируется, что в силу отсутствия общего метода построения онтологий в настоящее время в транспортной сфере преобладают частные онтологии, основные из которых перечислены в статье. Отмечен метод применения маркировки для построения онтологий и описано применение графовых баз данных для моделирования семантики, при этом показано, что препятствиями для формирования онтологий являются многообразие информационных систем и большое количество фактических данных, применяемых в современном управлении транспортом, которое объективно содержит информационную неопределенность. В этом контексте описаны типы неопределенности и методы их устранения.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, интеграция информации, связанные геоаннотации, атрибутивная информационная неопределенность, семантическая сеть терминов, транспортная онтология, онтологические информационные единицы, онтологическое управление.

Для цитирования: Кудж С. А., Курдюков Н. С. Транспортные онтологии // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 3 (112). С. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-1>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.  
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном управлении транспортом возрастает роль знаний, что особенно характерно для интеллектуального и беспилотного транспорта [1]. Это влечет за собой повышение значимости онтологий, которые целесообразно рассматривать в качестве «транспортных онтологий» как разновидности прикладных онтологий, служащих основой интеллектуального и кибер-физического управления [2]. В технологическом аспекте они служат основой формирования решений на основе опыта, в связи с чем можно ввести понятие «онтологический опыт». Особенностью онтологического опыта является сокращение числа рассматриваемых вариантов при принятии решений в сложных ситуациях и в условиях большого объема данных [3; 4]. Для сжатия информации при решении управленческих задач применяют модельно-стереотипный подход, состоящий в применении стереотипов моделей, которые содержат обобщенный опыт управления в конкретных ситуациях. Для мобильных объектов характерно управление с применением динамических пространственно-временных моделей [5]. Применение стереотипов моделей требует конкретной информации о ситуации управления и состоянии объекта. В отличие от стереотипов моделей, метамодели содержат обобщения опыта управления безотносительно к конкретной ситуации. Они обобщают управление в типологической группе ситуаций и для их формирования необходимо изучение групп ситуаций. Таким образом, можно резюмировать, что метамодели обобщают теоретический опыт, а стереотипы моделей используют практический опыт. Метамодели позволяют совершить переход к онтологиям, которые содержат знание.

Цель работы состоит в исследовании особенностей применения и построения онтологий в транспортной сфере, в том числе аспектов информационной неопределенности, препятствующей их формированию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Транспортные онтологии можно определить как «онтологии, обобщающие опыт в сфере управления транспортом, включая стационарные объекты».

Фактически в настоящее время управление транспортом с использованием онтологического и архитектурного подходов для обеспечения надежности грузоперевозок [6] решается с применением именно транспортных онтологий. Особенностью транспортной онтологии является то, что она использует имеющееся знание, помогает решать управленческие задачи и создает новое пространственное знание [7]. К числу частных транспортных онтологий можно отнести онтологии транспортных сетей [8], которые формируются как обобщение файлов геоданных. Также можно отметить частную онтологию транспортных сбоев [9], которая предоставляет формальную структуру для моделирования событий, связанных с планированием поездок.

### Развитие применения онтологий

Изначальные идеи применения онтологии связывают с философией античного мира. С помощью онтологий и системы онтологий пытались описать существующий мировой порядок [10]. В современных условиях разработка онтологической модели предприятия на начальном этапе требует формировать глоссарий терминов и понятий, определяющих предметную область деятельности конкретного предприятия [11], при этом термин «предприятие» можно заменить на другой объект, например «киберпространство» или «транспортная инфраструктура», сущность построения онтологии от этого не изменится.

Онтологический глоссарий можно рассмотреть как систематизированную совокупность онтологических информационных единиц. Онтологические информационные единицы транспортной онтологии соответствуют объектам реального мира, в числе которых индивиды, здания, транспортные средства, железнодорожные пути и прочее. По возможности в данный глос-



саний как основу онтологии следует включать понятия, связанные с функционированием транспортной инфраструктуры, транспортных систем, включая технические, организационные, экономические, управленческие, информационные [12] и даже киберпространственные. На втором этапе формирование онтологий требует описания или составления моделей сущностей, сформированных из этих понятий, между которыми должны существовать семантические отношения. В настоящее время для формирования семантических отношений предлагается использовать онтологический подход [6].

Прикладная онтология или онтология предметной области может быть рассмотрена как технология обобщения семантической паутины и технология обобщения связанных данных, позволяющая оптимизировать их общее или повторное использование.

Это в полной мере применимо к ситуациям и управленческим решениям в транспортной сфере. Благодаря цифровой трансформации информация о сущностях, связанных с управлением транспортной инфраструктурой, теперь может собираться автоматически. С понятием «сущности» связано понятие «онтологии», то есть транспортные онтологии могут представлять знания предметной области транспорта и могут использовать информацию для цифрового управления [13]. Транспортные онтологии как вид прикладных онтологий являются общими представлениями знаний о сфере транспорта, которые определяют термины и отношения между ними, при этом для них характерна специфика, которая заключается в необходимости формирования информации в реальном времени [14].

Использование онтологии для решения проблемы любого управления основано на интеграции информации, которая осуществляется через различные частные схемы и контексты, поскольку в настоящее время отсутствует общая методика [13]. Основной проблемой интеграции информации для получения онтологий является гетерогенность исходных информационных массивов, что обусловлено тем, что транспорт-

ная информация собирается разными устройствами, датчиками и системами и в процессах применения разных технологий. Одна из идей [6] интеграции основана на том, что она должна строиться с опорой на стандартные информационные модели и информационные конструкции. Это влечет необходимость стандартизации информационных моделей и, в итоге, приводит к идее стандартизованных информационных единиц или онтологических информационных единиц. В рамках онтологии онтологические информационные единицы, образующие сущность предприятия, определяются на основе бизнес-терминов. Это еще раз подчеркивает значимость бизнес-гlossария для формирования онтологий.

Онтологии характеризует высокий уровень обобщения. В силу этого онтологии являются общими по своему формированию. Онтология как модель является новой в своем представлении однозначной формализованной информационной структурой. Что касается транспортной онтологии, то она служит основой для структурирования и интеграции данных и информации для построения целостной управленческой ситуации, в которой находится подвижный объект. Набор онтологий в цифровой форме может служить инструментом для разработки приложений для управления, основой которых являются сетевые модели: семантическая сеть терминов и связанные данные. Онтологии, разработанные на основе сетевых моделей, полезны для специалистов технологического и стратегического управления, а также для академических исследователей, работающих в области транспорта, где существует проблема формирования систематики методов интеграции информации для построения онтологий.

Для создания онтологий, в том числе решения задач организации семантики в условиях необходимости работы с большими данными, в настоящее время применяют методы искусственного интеллекта [3] и графовые базы данных (ГБД), которые позволяют обобщать и сжимать информацию, выделяя сущности, эффективно опи-

сывать и обрабатывать данные, в том числе геоданные [3].

Для формирования онтологий также используется технология, именуемая «маркировкой информации», которая включает процессы дополнения дескриптивной информации эмпирической: наборами изображений, измерениями, полученными от датчиков. Маркировка широко применяется в сетях Петри и служит инструментом анализа процессов, что позволило предложить на основе данного метода подход к созданию глобальной онтологии (AGO) для автотранспорта [3], включающий в том числе создание графовых баз данных для моделирования семантики в автотранспортной области.

### Проблема информационных систем

Наличие большого числа информационных систем в транспортной сфере не является само по себе гарантией эффективного управления транспортом. Опыт внедрения разных систем показывает, что их ценность для транспортного бизнеса часто оказывается ниже ожидаемой, а в некоторых проектах корреляция эффективности деятельности транспортных компаний с процессами внедрения информационных систем [6] прослеживается преимущественно на уровне оптимизации документооборота, учетных операций и снижения соответствующих им затрат. Одним из выводов из анализа сложившейся практики является то, что в стратегическом плане рост эффективности управления и деятельности транспортных компаний и их конкурентоспособности зависит в первую очередь от обеспечения согласованности функционирования внедряемых информационных систем, а в идеале – от появления синергетического эффекта от их совместного применения. Во многом это обусловило то, что в последние годы базовой концепцией формирования единого информационного управленческого пространства предприятий и объектов транспорта стала являться архитектура предприятия.

При этом со временем выяснилось, что оптимального построения одной архитек-

туры недостаточно для функционирования транспортного предприятия. Необходимо дополнительно разрабатывать методы комплексного поведения всех частей и элементов архитектуры. Для этого необходимо использовать информацию об их сущностях, что неизбежно приводит к необходимости использования понятийного аппарата онтологии и согласованного применения онтологического и архитектурного подходов.

Особенностью транспортной системы является и то, что многообразие информационных систем приводит к многообразию форматов и типов данных. Большое количество фактической информации, применяемой в современном управлении транспортом, объективно содержит информационную неопределенность [15], которая становится препятствием для построения онтологий и должна быть устранена.

Информационная неопределенность имеет разные причины, которые можно связать с определенным атрибутом и определить такую неопределенность как атрибутивную информационную неопределенность.

Например, неопределенность по информационному объему обусловлена трудностями анализа больших объемов информации и замены полного анализа на фрагментарный.

Существует неопределенность по разнообразию типов информации, обусловленная многообразием типов информационных моделей и отсутствием опыта работы с новыми типами. Как следствие, новые типы или модели заменяют на старые, что приводит к получению неадекватных результатов. Такой тип неопределенности характерен для многоаспектных электронных атласов [16], которые можно рассматривать как графические онтологические глоссарии, если они систематизированы и в них согласованы пространственные и терминологические отношения.

Существует неопределенность по нечеткости информации, детерминированная объективной ситуацией сочетания количественных и качественных данных, которые частично являются нечеткими. Без теории



нечетких множеств такую информацию обрабатывать нельзя.

Также можно отметить неопределенность по противоречивой информации [17], определяемую наличием в исходном контенте явной противоречивой информации и неявной противоречивой информации. Для устранения этих противоречий необходим дополнительный анализ.

Вероятно возникновение неопределенности по времени, которая обусловлена тем, что для принятия решений выделен небольшой промежуток времени, за который невозможно провести полный анализ всего информационного массива.

Для уменьшения неопределенности требуется применение онтологий и специального моделирования [18]. Онтологии и вероятностные меры также необходимо применять при наличии нечеткой или вероятностной информации [19]. Устранение информационной неопределенности по противоречию требует отхода от формальных логических рассуждений и перехода к схемам рассуждений, допускающим противоречия. Все эти схемы входят в преобразование построения онтологий. Уменьшение информационной неопределенности также выполняют методами систематизации, классификации и семантического анализа. В качестве первичного метода применяют кластеризацию гетерогенной информации [20].

Большое значение устранение информационной неопределенности имеет при управлении беспилотным транспортом, цифровой железной дорогой [21], в транспортных киберфизических системах [2; 22].

Устранение неопределенности необходимо для технологического управления непосредственно и как предварительный этап построения онтологий, использование которых позволяет говорить об «онтологическом управлении».

## Выводы

Накопленный опыт в управлении транспортом, формировании онтологий и современный технологический уклад дают основания для использования понятийного

и методологического аппарата, основанного на «транспортной онтологии» и «онтологическом управлении», без которого невозможно развитие эффективной транспортной системы, современного управления объектами транспортной инфраструктуры.

При этом, однако, пока не создана единая общая онтология, которая бы адекватно описывала перевозки грузов. Эта проблема обусловлена отношением между частным и общим, необходимостью решения проблем интеграции транспортной информации из разнородных источников, что повышает актуальность исследований в этой области.

Опыт показывает, что формирование транспортной онтологии следует выполнять в два этапа. Первый этап в простом варианте включает составление онтологического глоссария. В системном варианте первый этап включает создание системы онтологических информационных единиц, которая имеет более связанные терминологические отношения. На втором этапе создания транспортной онтологии необходимо создать семантическую сеть, которая будет служить основой онтологии. При создании такой сети целесообразно в дополнение к ней использовать графовую базу данных.

Отдельного внимания требует проблема многообразия информационных систем в управлении транспортом, часто затрудняющая управление и формирование онтологий. Такое многообразие создает информационную неопределенность, имеющую разные причины и соответственно разные виды, из множества которых можно выделить группу видов информационных неопределенностей, которые препятствуют нормальному построению онтологий и онтологическому управлению, и которую можно назвать «онтологической неопределенностью». Устранение такой онтологической неопределенности является обязательным этапом преобразования информации при формировании онтологий.

В целом, с позиций информационного управления, онтологии можно рассматривать как метод сжатия информации и устранения противоречий в системе управления.



Предлагаемые к рассмотрению подходы к оценке роли транспортных онтологий и их формированию являются принципиальными составляющими комплексной научной проблемы и предполагают системные междисциплинарные исследования множества ее взаимосвязанных аспектов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Dolgy, A. I., Rozenberg, I. N., Tsvetkov, V. Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation. In: Proceedings of the III International Conference on Advanced Technologies in Materials Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-III – 2021, 29–30 April 2021, Krasnoyarsk, Russian Federation. AIP Conference Procurements, 2021, Vol. 2402, Iss. 1, 050059. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0074851>.
2. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 138–145. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-2-13>.
3. Urbiet, I., Nieto, M., García, M., Otaegui, O. Design and Implementation of an Ontology for Semantic Labeling and Testing: Automotive Global Ontology (AGO). Applied Sciences, 2021, Vol. 11, Iss. 17, 7782. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11177782>.
4. Лёвин Б. А., Цветков В. Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т. 15. – № 6 (73). – С. 20–30. EDN: YTBSCN. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2017-15-6-2>.
5. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. – № 71 (8). – С. 48–51. EDN: SNGVHJ.
6. Dorofeev, A., Altukhova, N., Filippova, N., Pashkova, T., Ponomarev, M. Development of transportation management system with the use of ontological and architectural approaches to ensure trucking reliability. Sustainability, 2020, Vol. 12, Iss. 20, 8504. DOI: [10.3390/su12208504](https://doi.org/10.3390/su12208504).
7. Розенберг И. Н., Вознесенская М. Е. Геоэзия и геореференция // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки». – 2010. – № 2. – С. 116–118. [Электронный ресурс]: <https://www.geocosreda.ru/jour/article/view/872/842>. Доступ 13.02.2024.
8. Lorenz, B., Ohlbach, H., Yang, L. Ontology of Transportation Networks. REVERSE Proj. Publ., 2005. [Электронный ресурс]: <https://www.macs.hw.ac.uk/bisel/reverse/deliverables/m18/a1-d4.pdf>. Доступ 13.02.2024.
9. Corsar, D., Markovic, M., Edwards, P., Nelson, J. D. The Transport Disruption Ontology. In: Arenas, M. [et al.]. The Semantic Web – ISWC 2015. Lecture Notes in Computer Science, 2015, Vol 9367, Springer, Cham, pp. 329–336. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-25010-6\\_22pp](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25010-6_22pp).
10. Dietz, J. L. G. Enterprise Ontology. Springer, Berlin, Germany, 2006, 244 p., pp. 16–83. ISBN 9783540331490.
11. Negri, E., Perotti, S., Fumagalli, L., Marchet, G., Garetti, M. Modelling internal logistics systems through ontologies. Computers in Industry, 2017, Vol. 88, pp. 19–34. DOI: [10.1016/j.compind.2017.03.004](https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.03.004).
12. Leukel, J., Kirn, S. A Supply Chain Management Approach to Logistics Ontologies in Information Systems. In: Abramowicz, W., Fensel, D. (eds). Business Information Systems. BIS 2008, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. Lecture Notes in Business Information Processing, 2008, Vol. 7, pp. 95–106. DOI: [10.1007/978-3-540-79396-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-540-79396-0_9).
13. Zheng, Y., Törmä, S., Seppänen, O. A shared ontology suite for digital construction workflow. Automation in Construction, 2021, Vol. 132, 103930. DOI: [10.1016/j.autcon.2021.103930](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103930).
14. Belyakov, S., Belyakova, M., Rozenberg, I. Approach to Real-Time Mapping, Using a Fuzzy Information Function. Communications in Computer and Information Science, 2013. Vol. 398, Part I, pp. 510–521. DOI: [10.1007/978-3-642-45025-9\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-642-45025-9_50).
15. Цветков В. Я. Информационная неопределенность и определенность в науках об информации // Информационные технологии. – 2015. – Т. 21. – № 1. – С. 3–7. EDN: TGFRFH.
16. Gvishiani, A. D., Rozenberg, I. N., Soloviev, A. A., Kostianov, A. G., Gvozdk, S. A., Serykh, I. V., Krasnoperov, R. I., Sazonov, N. V., Dubchak, I. A., Popov, A. B., Kostianaia, E. A., Gvozdk, G. A. Electronic Atlas of Climatic Changes in the Western Russian Arctic in 1950–2021 as Geoinformatic Support of Railway Development. Applied Sciences, 2023, Vol. 13, Iss. 9, 5278. DOI: [10.3390/app13095278](https://doi.org/10.3390/app13095278).
17. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. The contradiction between belief functions: Its description, measurement, and correction based on generalized credal sets. International Journal of Approximate Reasoning, 2019, Vol. 112, pp. 119–139. DOI: [10.1016/j.ijar.2019.06.001](https://doi.org/10.1016/j.ijar.2019.06.001).
18. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Modelling uncertainty with generalized credal sets: application to conjunction and decision. International Journal of General Systems, 2017, Vol. 47, Iss. 1, pp. 67–96. DOI: [10.1080/03081079.2017.1391805](https://doi.org/10.1080/03081079.2017.1391805).
19. Bronevich, A. G., Rozenberg, I. N. Ranking probability measures by inclusion indices in the case of unknown utility function. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2014, Vol. 13, Iss. 1, pp. 49–71. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10700-013-9169-6>.
20. Chenhang Cui, Yazhou Ren, Jingyu Pu, Jiawei Li, Xiaorong Pu, Tianyi Wu, Yutao Shi, Lifang He. A Novel Approach for Effective Multi-View Clustering with Information-Theoretic Perspective. Advances in Neural Information Processing Systems, 2023, Vol. 36. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.13989>.
21. Tsvetkov, V. Ya., Shaytura, S. V., Ordov, K. V. Digital management railway. Advances in Economics, Business and Management Research, 2019, Vol. 105. 1<sup>st</sup> International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), pp. 181–185. DOI: [10.20991/iscde-19.2019.34](https://doi.org/10.20991/iscde-19.2019.34).
22. Цветков В. Я. Управление с применением киберфизических систем // Перспективы науки и образования. – 2017. – № 3 (27). – С. 55–60. EDN: ZCSISD. ●

### Информация об авторах:

**Кудж Станислав Алексеевич** – доктор технических наук, доцент, ректор Российского технологического университета (РТУ МИРЭА), Москва, Россия, [rektor@mirfea.ru](mailto:rektor@mirfea.ru).

**Курдюков Никита Сергеевич** – аспирант кафедры инструментального и прикладного программного обеспечения (ИППО) института информационных технологий Российского технологического университета (РТУ МИРЭА), Москва, Россия, [nskurdyukov@gmail.com](mailto:nskurdyukov@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 05.08.2024, одобрена после рецензирования 19.08.2024, принята к публикации 21.08.2024.

