

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ БАЗ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНФРАСТРУКТУРНОЙ ЛОГИСТИКЕ

Лемперт Анна Ананьевна

К.ф.-м.н., в.н.с., e-mail: lempert@icc.ru

Столбов Александр Борисович

К.т.н., м.н.с., e-mail: stolboff@icc.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения Российской Академии наук, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134

Аннотация. В статье обсуждаются вопросы разработки концептуальной модели и баз знаний для поддержки комплексных исследований в инфраструктурной логистике. Понятие концептуальной модели является основой для создания шаблонов фактов продукционных баз знаний. Процесс исследования рассматривается как последовательность этапов, с каждым из которых связана одна или несколько баз знаний. В статье приводится описание методологии исследований; представлен обзор транспортно-логистических онтологий, использованных для создания концептуальной модели; предложена классификация баз знаний по типам решаемых задач.

Ключевые слова: онтология, продукционная база знаний, транспортная система, логистика

Цитирование: Лемперт А.А., Столбов А.Б. Подход к разработке баз знаний для поддержки комплексных исследований в инфраструктурной логистике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 3 (11). С. 45–54. DOI:10.25729/2413-0133-2018-3-05

Введение. В современных исследованиях, посвященных проблемам территориального развития, городского планирования и логистики, исследователями активно обсуждаются вопросы и разрабатываются подходы к интеграции методов решения частных логистических задач для комплексного изучения транспортно-логистических процессов и систем регионального уровня. Эта тенденция отражается и на направлениях развития программного обеспечения, предназначенного для решения разнообразных задач логистики. Программные системы, конечной целью которых изначально являлось решение некоторой бизнес задачи (транспортировка, управление цепями поставок и т.п.), начинают рассматривать проблемы более комплексно, затрагивая, в том числе, и проблемы эффективной организации транспортно-логистической инфраструктуры. Существует большое количество специализированных систем поддержки принятия решений в этой области: TISCSof, TransCad, HASTUS, InfraManager, Ramsys, Promodi, MamMoe и др. Несмотря на то, что главной целью большинства этих программных систем является мониторинг, моделирование и планирование грузоперевозок, в некоторых из них частично затрагиваются и проблемы транспортной инфраструктуры и ее соответствия требованиям потребителей. Еще одним направлением, где предпринимаются попытки использования комплексного подхода, являются исследования, связанные с анализом городской инфраструктуры и логистики [3, 14,

16, 17, 19]. К настоящему времени современные системы оперативного мониторинга позволяют достаточно точно описывать отдельные элементы транспортно-логистической инфраструктуры и, следовательно, задача изучения их совместного поведения является актуальной и востребованной. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что массовая информатизация транспортной сферы, активно осуществляемая в последнее время (применение систем мониторинга, автоматизация бизнес-процессов, внедрение беспроводных технологий и т.п.), значительно повысила обеспеченность данными и знаниями по разным предметным подсистемам и совместно с накопленным опытом по решению задач логистики создала предпосылки для создания методологии комплексных исследований транспортно-логистических систем (ТЛС) в целом, а также соответствующих программных средств для поддержки таких исследований.

В серии статей авторов [4, 10, 15] представлена оригинальная интеллектуальная информационно-вычислительная технология поддержки принятия решений в задачах инфраструктурной логистики. Целью данной работы является более подробное рассмотрение задач, связанных с разработкой концептуальной модели инфраструктурной логистики (КМИЛ) и продукционных баз знаний для поддержки исследований. В настоящей статье описываются основные идеи применяемой методологии комплексных исследований в инфраструктурной логистике, представлен обзор существующих онтологий транспорта и логистики, проведена классификация баз знаний по типам решаемых задач и предложена методика их композиции для организации различных стратегий исследовательского процесса.

1. Методология и система поддержки комплексных исследований в инфраструктурной логистике. К настоящему времени описательные комплексные модели уже заняли свое место как практический исследовательский инструмент, и основной задачей научного поиска является переход от качественных методов изучения комплексных проблем региональных ТЛС к количественным. При комплексном подходе используются разнообразные исследовательские инструменты. В зависимости от типов рассматриваемых объектов, от доступности информации и от целей конкретного исследования могут применяться различные модели и методы: аналитические или имитационные; основанные на строгих математических соотношениях или использующие подходы из области искусственного интеллекта, в частности онтологические модели и экспертные системы.

С содержательной точки зрения процесс исследования рассматривается на трех взаимосвязанных уровнях: макро, мезо, микро. На макро уровне основными задачами являются моделирование и оценка состояния транспортных и логистических процессов и объектов в целом, как элементов региональной экономики. На макро уровне, например, определяются бюджетные ограничения, связанные с транспортной отраслью, или потребности региона в тех или иных логистических центрах [15]. Оценки, полученные на макро уровне, определяют те проблемы и задачи, которые требуют решения на следующем уровне исследования. К задачам мезо уровня относятся различные типы задач размещения и прокладки коммуникаций. Согласно методологии, результатом исследований на мезо уровне являются различные сценарии распределения инфраструктурных объектов, соответствующие поставленным целям развития выбранных подсистем ТЛС региона [2]. На микро уровне процесса исследования осуществляются моделирование конкретных типов

инфраструктурных объектов, например, транспортно-пересадочных узлов, сортировочных и товарных железнодорожных станций и т.п. [1, 11].

Проведение исследования согласно методологии осуществляется с использованием интеллектуальной системы поддержки. Для каждого из рассмотренных уровней система поддержки должна обладать необходимой информацией и выполнять управление сеансом исследования для осуществления следующих действий:

- формирование первичной оценки ситуации в зависимости от текущего уровня исследования (макро, мезо, микро);
- диагностирование проблем и постановка соответствующих задач;
- выбор методов решения задач и, в случае необходимости, подготовка данных и вызов внешних программ, реализующих метод.

На практике при решения частных задач исследователь полагается на свой опыт и знания по применению тех или иных методов в определенной ситуации. Следовательно, выбор методов и средств, подходящих для решения конкретной задачи, является трудно-формализуемой задачей. Для представления элементов и проблемных ситуаций, возникающих в ТЛС, а также качественных и количественных методов исследования, в методологии используются онтологический подход и продукционные базы знаний. Таким образом, ключевыми элементами методологии, обеспечивающими реализацию указанных действий, являются концептуальная модель инфраструктурной логистики (КМИЛ) и множество баз знаний, в которых содержатся правила применения и взаимосвязь инструментальных средств исследования на основе содержательной интерпретации их входов, выходов и параметров в терминах КМИЛ. Далее в статье эти элементы методологии рассматриваются более подробно.

2. Концептуальная модель инфраструктурной логистики. Основными принципами онтологического подхода при создании информационных моделей [5, 18, 26] являются следующие: повторное использование, модульность, расширяемость и удобство сопровождения. При создании КМИЛ в соответствии с этими принципами были использованы существующие наработки в области транспортно-логистических онтологий. К настоящему времени разработано достаточно большое количество подобных онтологий. Один из последних обзоров [21] онтологий, описывающих транспортную сферу и соответствующие логистические операции, выделяет более 10 активно развивающихся в настоящее время проектов. В дополнение к ним также рассматривались и другие подходы [9]. В результате подробного аналитического обзора существующих онтологий для целей создания КМИЛ были выбраны следующие онтологии: LogiCo [22], GenCLOn [12], LogSit [23] и OZONE [13]. При этом онтология LogiCo положена в основу, так как она содержит большое количество базовых понятий, описывающих объекты ТЛС; обладает возможностью расширения, и имеется успешный опыт ее применения при решении практических задач. Другие онтологии включались в нее как расширения. Непосредственная разработка КМИЛ осуществлялась с использованием специализированного веб-редактора [6, 8], который реализует графический интерфейс (текстовое поле, таблица, граф и т.п.) для ввода элементов проектируемой концептуальной модели в форме <понятие, свойство, отношение>.

Серия онтологий LogiCo, LogiServ, LogiTrans [24] используется в Европейском проекте iCargo [20], задачей которого является создание информационно-коммуникационной платформы для организации цифровой бизнес-экосистемы в логистике, в которую должны

входить как можно большее количество заинтересованных лиц: поставщики, перевозчики, операторы терминалов и др. Ключевой задачей проекта iCargo является обеспечение семантического взаимодействия участников платформы, поэтому для создания онтологий был использован двойственный принцип разработки: «сверху вниз», с применением DUL [25] в качестве высшей онтологии, и «снизу вверх», для того чтобы учесть практическую направленность проекта и использовать существующую к настоящему времени большую базу кодовых списков и классификаций, характеризующих конкретные объекты логистики (например, систему стандартов электронного обмена данными UN/EDIFACT).

На верхнем уровне серии онтологий проекта iCargo находится базовая онтология LogiCo, в которой представлены физические объекты (контейнеры, поддоны, транспортные средства и т.п.); операции с этими объектами (упаковка, транспортировка, хранение и т.п.) и базовая инфраструктура (мультимодальные транспортные пути, различные типы терминалов и т.п.). Предполагается, что для каждого понятия LogiCo можно расширять и углублять способ его рассмотрения. Например, грузовик можно рассматривать с точки зрения перевозимого им груза, жизненного цикла обслуживания или режимов потребления топлива. Каждое такое представление приводит к появлению дополнительных свойств и отношений, например, соотношение между расходом топлива, загрузкой и маршрутом грузовика. В проекте iCargo подобные расширения осуществляются за счет создания дополнительных онтологий, представляющих конкретную точку зрения. В результате получается сетевая онтология iCargo [22, 24], в которую на данный момент входят описанная выше базовая онтология LogiCo, а также онтологии логистических услуг (LogiServ) и транспорта (LogiTrans). LogiServ моделирует логистические операции и их свойства (например, транспортировку, перегрузку и т.п.). В онтологии LogiTrans представлены понятия для описания механизма реализации конкретной транспортной услуги (например, заказ, требование, план реализации и т.п.).

При разработке КМИЛ на основе LogiCo были включены следующие онтологии:

- LogSit [23], добавляющая в LogiServ новые типы ситуаций (всего 19) и событий (всего 15), возникающих в логистике;
- OZONE [13], расширяющая LogiTrans множеством понятий, относящихся к планированию перевозок;
- GenCLOn [12], дополняющая LogiCo и специализирующая DUL.

Онтология GenCLOn вносит наибольший дополнительный вклад в КМИЛ, поэтому рассмотрим ее более подробно. GenCLOn описывает основных субъектов городской логистики и содержит множество понятий, на основе которых можно представить их совместное поведение. Целью разработки онтологии GenCLOn являлось ее применение при создании многоагентных систем для моделирования процессов городской логистики. Поэтому в GenCLOn содержится большой список мероприятий, которые могут выполнять субъекты в различных ситуациях для достижения своих целей на основе ресурсов и поддерживаемых операций. Для составления этого списка авторы проанализировали большое количество научной литературы и сформировали более 100 вариантов мероприятий. Например, «создание и расширение дорожной инфраструктуры», «резервирование стоянок для грузовых автомобилей», «изменение размеров склада» и др. Применение онтологии GenCLOn позволяет организовать интервьюирование экспертов с целью формирования паспорта региона. Например, могут быть заданы следующие вопросы: какие цели

существуют у субъекта; какие ресурсы использует субъект; какие мероприятия использует объект для достижения цели и/или разрешения проблемной ситуации; какое влияние оказывают выбранные мероприятия на другие субъекты.

Таким образом, текущий вариант КМИЛ позволяет описывать все основные элементы ТЛС, что подтверждается использованием современных применяющихся на практике онтологий из рассматриваемой предметной области. Кроме того, модульный принцип создания КМИЛ, унаследованный от LogiCo, позволяет с течением времени проводить её дальнейшее расширение, например, за счет информации, содержащейся в научных публикациях, ГОСТах или новых онтологиях. Согласно принципам используемой методологии [15] понятия и отношения КМИЛ применяются при создании шаблона фактов для разработки баз знаний.

3. База знаний для поддержки исследований в инфраструктурной логистике. Для создания баз знаний применяется специализированное программное средство [7, 8]. База знаний (БЗ) включает в себя множество шаблонов фактов, правил вида «ЕСЛИ, ТО» и множество начальных условий (набор фактов). Также БЗ содержат информацию о результатах логического вывода: список сработавших правил и список фактов после завершения логического вывода. Отдельно необходимо отметить, что программное средство [7], в правой части продукционного правила, позволяет использовать вызов внешних программ, что обеспечивает возможность решения вычислительных задач инфраструктурной логистики.

Базы знаний для поддержки исследований в инфраструктурной логистике можно классифицировать по следующим типам в зависимости от специфики решаемых задач.

1. Определение целей исследования с возможностью пользовательского выбора.
2. Определение начальных данных для исследований на основе анализа паспорта региона в соответствии со спецификой текущего уровня рассмотрения ТЛС.
3. Диагностика проблемной ситуации.
4. Формирование и реализация планов разрешения проблемной ситуации.
5. Формирование оценок текущего состояния ТЛС на основе принятых решений.
6. Подготовка данных и осуществление вызова внешних программ.
7. Интервьюирование экспертов с целью формирования паспорта региона.
8. Интервьюирование экспертов с целью формирования планов разрешения проблемной ситуации (по результатам интервью будет сформирована БЗ типа 4).
9. Интервьюирование экспертов с целью определения параметров проблемной ситуации (по результатам интервью будет сформирована БЗ типа 3).
10. Управление сеансом исследования, включая активацию других БЗ.

Базы знаний по решению задач, возникающих в инфраструктурной логистике (БЗИЛ), расширяют класс БЗ из [7, 8] дополнительной информацией, связанной со спецификой процесса исследования, задаваемого предлагаемой методологией [15]:

$\langle \text{БЗИЛ} \rangle = \langle \text{БЗ, Уровень рассмотрения ТЛС, Тип решаемой задачи} \rangle$.

Под уровнем рассмотрения ТЛС понимается один из вариантов: «макро», «мезо», «микро», а под типом решаемой задачи один из 10 вышеперечисленных. Конкретный процесс исследования предлагается рассматривать как последовательное применение БЗИЛ:

$\langle \text{Сеанс исследования} \rangle = \langle \text{Название, } \{ \langle \text{Порядковый номер, БЗИЛ} \rangle \} \rangle$.

Подобная гибкая структура позволяет организовать различные стратегии исследовательского процесса. При этом для формирования конкретного сеанса исследования пользователь может опираться на уже существующие в системе шаблоны режимов исследования:

<Режим исследования> =<Название шаблона,
{<Порядковый номер, Уровень рассмотрения ТЛС, Тип решаемой задачи >}>.

В этом случае пользователь должен только определить, какие именно БЗИЛ необходимо использовать и выбрать шаблон, сеанс исследования сформируется автоматически. При этом предполагается, что БЗИЛ с одинаковым типом решаемой задачи обладают равными приоритетами в процессе логического вывода. Однако при необходимости полученная последовательность сеанса исследования может быть изменена пользователем. В настоящее время, предложены два вида режимов исследования: справочно-информационный и исследовательский. Справочно-информационный режим предназначен для интервьюирования экспертов при формировании паспорта региона, создании шаблонов «проблема-решение» в терминах КМИЛ. Примерами вопросов в этом случае могут быть следующие: «какие проблемы решает мероприятие X?»; «какие терминалы типа X существуют рядом с объектом Y»; «введите упорядоченный список мероприятий, решающих указанную проблему Z». Исследовательский режим предполагает комплексную оценку с привлечением внешних прикладных программ по решению задач логистики. В этом случае сеанс исследования определяется следующей последовательностью: определение целей исследования; диагностирования проблемных ситуаций; поиск вариантов решения на предметном уровне; постановка задач для решателей и выполнения решения; оценка состояния ТЛС после применения мероприятий. Конкретный набор БЗ, описывающих методы поиска проблемных ситуаций и реализации решений, будут задавать содержательный смысл режима исследования.

Заключение. В статье предложен подход к созданию баз знаний, применяемых в рамках интеллектуальной информационно-вычислительной технологии поддержки принятия решений в задачах инфраструктурной логистики. На основе существующих онтологий транспортно-логистических процессов и систем разработана концептуальная модель инфраструктурной логистики. Понятия и отношения этой модели используются для создания продукционных баз знаний различного типа в зависимости от специфики решаемых задач. Разработанные базы знаний могут быть организованы в последовательность, определяющую конкретный процесс исследования. Предлагаемый в статье подход может использоваться для получения комплексных оценок состояния транспортно-логистической инфраструктуры региона.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-00604.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавская М.А., Казаков А.Л., Жарков М.Л., Парсюрова П.А. Моделирование работы транспортно-пересадочного узла мегаполиса как трехфазной системы массового обслуживания // Транспорт Урала. 2015. № 3 (46). С. 17–22.

2. Казаков А.Л., Лемперт А.А. Об одном подходе к решению задач оптимизации, возникающих в транспортной логистике // Автоматика и телемеханика. 2011. №7. С. 50–57.
3. Кизим А., Селезнева С. Городская логистика на основе интеллектуальных транспортных систем // Логистика. 2012. №7. С. 30–34.
4. Лемперт А.А., Бухаров Д.С., Столбов А.Б. Интегрированная экспертная система для исследования проблем развития транспортно-логистической инфраструктуры региона // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. №11. С. 20–25.
5. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, №2. С. 149–161.
6. Павлов А.И., Николайчук О.А., Столбов А.Б. Редактор концептуальных моделей: авт. свидетельство 2016617626 Российская Федерация. 2016. Заявл. 18.05.2016; Опубл. 11.07.2016. 1 с.
7. Павлов А.И., Николайчук О.А., Столбов А.Б. Web-ориентированный редактор производственных правил: авт. свидетельство 2016663618 Российская Федерация. 2016. Заявл. 24.10.2016; Опубл. 13.12.2016.
8. Павлов А.И., Столбов А.Б. Прототип системы поддержки проектирования агентов для имитационных моделей сложных систем // Программные продукты и системы. 2016. №3. С. 79–84. DOI: 10.15827/0236-235X.115.079-084.
9. Савин Г.В. Концептуальные подходы к исследованию транспортно-логистических систем на мезо- и микроуровне // Экономика и предпринимательство. 2017. № 8-4. С. 933–937.
10. Столбов А.Б., Нгуен Л.Г. Информационная система поддержки исследований в инфраструктурной логистике // Программные системы: теория и приложения. 2015. Т. 6, №3. С. 3–20.
11. Фу Ф.Г., Лемперт А.А. Математическая модель и программная система для прогнозирования работы специального транспорта // В мире научных открытий. 2012. №8. С. 195–209.
12. Anand N., Yang M., van Duin J.H.R., Tavasszy L. GenCLOn: An ontology for city logistics // Expert Systems with Applications. 2012. №39. Pp. 11944–11960.
13. Becker M., Smith S.F. An Ontology for Multi-Modal Transportation Planning and Scheduling. Pittsburgh: The Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., 1997. 85 p.
14. Benjelloun A., Crainic T.G. Trends, challenges and perspectives in city logistics // Buletin AGIR. 2009. №4. Pp. 45–51.
15. Bychkov I.V., Kazakov A.L., Lempert A.A., Bukharov D.S., Stolbov A.B. An intelligent management system for the development of a regional transport logistics infrastructure // Automation and Remote Control. 2016. Vol. 77. №3. Pp. 332–343.
16. City Logistics: Modelling, planning and evaluation / edited by E. Taniguchi. NY: Routledge, 2015. 208 p.
17. Comi A., Rosati L. CLASS: A City Logistics Analysis and Simulation Support System // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 87. Pp. 321–337. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.10.613.
18. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies / edited by S. Staab, R. Studer. 2nd Edition. Springer Verlag, 2009. Pp. 221–244.

19. Hendi H. Ontologies and semantic web for an evolutive development of logistic aPplications. Web. Université du Littoral Côte d'Opale. – 2017. 162 p. Режим доступа: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01724396/document> (дата обращения 1.04.2018).
 20. Hofman W., Punter M., Bastiaansen H., et. al. An interorganizational IT infrastructure for self-organization in logistics: situation awareness and real-time chain composition // International Journal of Advanced Logistics. 2016. №2. Pp. 101–115.
 21. Katsumi M., Fox M. Ontologies for transportation research: A survey // Transportation Research Part C. 2018. №89. Pp. 53–82.
 22. Daniele L., Pires L.F. An Ontological APrroach to Logistics // Enterprise Interoperability / edited by M. Zelm, M. van Sinderen, L.F. Pires, G. Doumeingts. NY.: John Wiley & Sons, 2013. Ch. 21. Pp. 199–213. DOI: 10.1002/9781118846995.ch21.
 23. Lian P., Park D., Kwon H. Design of Logistics Ontology for Semantic Representing of Situation in Logistics // Second Workshop on Digital Media and its APplication in Museum and Heritage (Chongqing, China, 10-12 December 2007). Pp. 432–437. DOI: 10.1109/DMAMH.2007.52.
 24. Logistics Core Ontology: HTML documentation. Режим доступа: <http://ontology.tNo.nl/logico/> (дата обращения 1.04.2018).
 25. The DOLCE+DnS Ultralite ontology. Режим доступа: http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Ontology:DOLCE%2BDnS_Ultralite (дата обращения 1.04.2018).
 26. Uschold M., Gruninger M. Ontologies: Principles, Methods and APplications // Knowledge Engineering Review. 1996. Vol. 11(2). Pp. 93–136.
-

UDK 004.891.2

**AN APPROACH TO KNOWLEDGE BASES DEVELOPMENT FOR SUPPORT OF
COMPLEX RESEARCH IN INFRASTRUCTURE LOGISTICS**

Anna A. Lempert

Ph. D., leading researcher, e-mail: lempert@icc.ru

Alexander B. Stolbov

Ph. D., junior researcher, e-mail: stolboff@icc.ru

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. The article discusses the development of a conceptual model and knowledge bases to support integrated research in infrastructure logistics. Concepts of the conceptual model are used for creating fact templates of the rule knowledge bases. The research process is considered as a consistent interpretation of knowledge bases, while the sequence can be set arbitrarily by the user. The description of the research methodology; an overview of the transport and logistics ontologies used to create the conceptual model and the classification of knowledge bases by types of solved problems are presented in the article.

Keywords: ontology, rule-based system, transport system, logistics.

References

1. Zhuravskaya M.A., Kazakov A.L., Zharkov M.L., Parsyurova P.A. Modelirovanie raboty transportno-peresadochnogo uzla megapolisa kak trekhfaznoj sistemy massovogo obsluzhivaniya [Simulating the operation of transport hub of a metropolis as a three-phase queueing system] // *Transport Urala = Transport of the Urals*. No. 3. Pp. 17–22. (in Russian).
2. Kazakov A.L., Lempert A.A. Ob odnom podhode k resheniyu zadach optimizacii, voznikayushchih v transportnoj logistike [An approach to optimization in transport logistics] // *Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control*. 2011. Vol. 72. No. 7. Pp. 1398–1404. (in Russian).
3. Kizim A., Selezneva S. Gorodskaya logistika na osnove intellektual'nyh transportnyh sistem [City Logistics based on Intelligent Transport Systems] // *Logistika = Logistics*. 2012. No. 7. Pp. 30–34. (in Russian).
4. Lempert A.A., Bukharov D.S., Stolbov A.B. Integrirovannaya ehkspertnaya sistema dlya issledovaniya problem razvitiya transportno-logisticheskoy infrastruktury regiona [Integrated expert system for studying development problems of regional transportation and logistics infrastructure] // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2013. No. 11. Pp. 20–25. (in Russian).
5. Massel' L.V. Fraktal'nyj podhod k strukturirovaniyu znaniy i primery ego primeneniya [Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application] // *Ontologija proektirovaniya = Ontology of designing*. 2016. Vol. 6. No. 2. Pp. 149–161. (in Russian).
6. Pavlov A.I., Nikolaychuk O.A., Stolbov A.B. Redaktor konceptual'nyh modelej [Editor of conceptual models]. Copyright certificate 2016617626 Russia, 2016. (in Russian).
7. Pavlov A.I., Nikolaychuk O.A., Stolbov A.B. Web-orientirovannyj redaktor produkcijnyh pravil [Web-oriented editor of production rules]. Copyright certificate 2016663618 Russia, 2016. (in Russian).
8. Pavlov A.I., Stolbov A.B. Prototip sistemy podderzhki proektirovaniya agentov dlya imitacionnyh modelej slozhnyh sistem [A prototype of an agents design support system for complex system simulation models] // *Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems*. 2016. No. 3. Pp. 79–84. DOI: 10.15827/0236-235X.115.079-084. (in Russian).
9. Savin G.V. Konceptual'nye podhody k issledovaniyu transportno-logisticheskix sistem na mezo- i mikrourovne [Conceptual approaches to a research of transport and logistics systems on meso -and micro-level] // *Jekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2017. No. 8-4. Pp. 933–937. (in Russian).
10. Stolbov A., Nguyen L. Informacionnaya sistema podderzhki issledovanij v infrastrukturoj logistike [Information system for support research of infrastructure logistics] // *Programmnye sistemy: teorija i prilozhenija = Program systems: theory and applications*. 2015. Vol. 6. No. 3. Pp. 3–20. (in Russian).
11. Phu P.H., Lempert A.A. Matematicheskaya model' i programmnyj sistem dlya prognozirovaniya raboty special'nogo transporta [Mathematical modelling and software for forecasting of special transport] // *V mire nauchnyh otkrytij = In the world of scientific discoveries*. 2012. No. 8. Pp. 195–209. (in Russian).
12. Anand N., Yang M., van Duin J.H.R., Tavasszy L. GenCLOn: An ontology for city logistics // *Expert Systems with Applications*. 2012. No. 39. Pp. 11944–11960.

13. Becker M., Smith S.F. An Ontology for Multi-Modal Transportation Planning and Scheduling. Pittsburgh: The Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ. 1997. 85 p.
14. Benjelloun A., Crainic T.G. Trends, challenges and perspectives in city logistics // Buletin AGIR. 2009. No. 4. Pp. 45–51.
15. Bychkov I.V., Kazakov A.L., Lempert A.A., Bukharov D.S., Stolbov A.B. An intelligent management system for the development of a regional transport logistics infrastructure // Automation and Remote Control. 2016. Vol. 77, No. 3. Pp. 332–343.
16. City Logistics: Modelling, planning and evaluation / edited by E. Taniguchi. NY: Routledge. 2015. 208 p.
17. Comi A., Rosati L. CLASS: A City Logistics Analysis and Simulation Support System // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 87. Pp. 321–337. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.10.613.
18. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns. In Handbook on Ontologies, 2nd Edition, edited by S. Staab, R. Studer. Springer Verlag. 2009. Pp. 221–244.
19. Hendi H. Ontologies and semantic web for an evolutive development of logistic applications. Web. Université du Littoral Côte d'Opale. 2017. 162 p. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01724396/document> (last accessed: 1.04.2018).
20. Hofman W., Punter M., Bastiaansen H., et. al. An interorganizational IT infrastructure for self-organization in logistics: situation awareness and real-time chain composition // International Journal of Advanced Logistics. 2016. No. 2. Pp. 101–115.
21. Katsumi M., Fox M. Ontologies for transportation research: A survey // Transportation Research Part C. 2018. No. 89. Pp. 53–82.
22. Daniele L., Pires L.F. An Ontological Approach to Logistics. In Enterprise Interoperability, edited by M. Zelm, M. van Sinderen, L.F. Pires, G. Doumeingts. NY.: John Wiley & Sons. 2013. Pp. 199–213. DOI: 10.1002/9781118846995.ch21.
23. Lian P., Park D., Kwon H. Design of Logistics Ontology for Semantic Representing of Situation in Logistics // Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum and Heritage (Chongqing, China, 10-12 December 2007). Pp. 432–437. DOI: 10.1109/DMAMH.2007.52.
24. Logistics Core Ontology: HTML documentation. Available at: <http://ontology.tNo.nl/logico/> (last accessed: 1.04.2018).
25. The DOLCE+DnS Ultralite ontology. Available at: http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Ontology:DOLCE%2BDnS_Ultralite (last accessed: 1.04.2018).
26. Uschold M., Gruninger M. Ontologies: Principles, Methods and Applications. Knowledge Engineering Review. 1996. Vol. 11(2). Pp. 93–136.