

Системы управления жизненным циклом продукции нового поколения, основанные на знаниях

11, ноябрь 2016

Федотова А. В.^{1,*}

УДК: 004.89: 658.5

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}afedotova.bmstu@gmail.com

Введение

Современное машиностроение связано с разработкой сложных технических систем (СТС) – искусственных систем, состоящих из большого числа неоднородных элементов и подсистем, которые отличаются значительным разнообразием внутренних связей, разветвленной структурой и грациями работоспособных состояний. Концепция жизненного цикла сложной технической системы (ЖЦ СТС) [1,2], связанная с отображением изменений ее состояний в течение длительного периода времени, представляет собой основной вариант реализации системного подхода в машиностроении. Она обеспечивает интеграцию процессов проектирования, производства и эксплуатации СТС в рамках единой метамоделей и предполагает темпоральную грануляцию ЖЦ СТС – его разбиение на стадии и этапы с анализом взаимосвязей между ними [3].

Управление жизненным циклом продукции PLM представляет собой методологию применения современных информационных технологий для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий, причем упор делается на управлении данными о продукции (Product Data Management – PDM) [4]. В основе управления жизненным циклом СТС лежит понятие единого информационного пространства предприятия и интегрированной модели управления данными об СТС [3,4].

В настоящей работе рассмотрены актуальные проблемы управления жизненным циклом продукции, описана концепция инженерии ЖЦ СТС, показана необходимость построения и использования различных моделей ЖЦ для создания PLM-систем нового поколения. Систематизированы варианты интеграции и интеллектуализации PLM-систем. Здесь в качестве главных решений предложено ввести в состав системы управления ЖЦ СТС подсистему управления корпоративными знаниями, опирающуюся на методологию онтологического инжиниринга [5] и модель согласованного управления жизненными циклами предприятия и его продукции [6]. В этом контексте центральное место занимают различные подходы, обеспечивающие наглядное представление информации и знаний о СТС: визуальная аналитика и когнитивная компьютерная графика, графическая модель

связей между требованиями технического заданиями, компонентами и параметрами СТС и интеллектуальный анализ визуальных данных, построение когнитивной карты онтологий ЖЦ СТС и наглядное представление методики онтологического проектирования.

1. Проблемы управления жизненным циклом продукции

В настоящее время наблюдается значительный рост сложности продукции машиностроения, распределенных процессов ее создания, организационных структур предприятий, формирующих корпоративные сети, деятельности проектантов, конструкторов, инженеров, связанной с информационной подготовкой и принятием проектных решений. Соответственно, анализ и управление информацией о разрабатываемых СТС становятся все более затруднительными и проблематичными [7].

Для решения этих проблем необходимо дальнейшее развитие PLM-систем, реализующих единый подход к управлению информацией о продукции предприятия на протяжении всего ее жизненного цикла на основе интеграции распределенных информационных процессов, сетевых организационных структур и передовых инфокоммуникационных технологий. Такие системы обеспечивают формирование и поддержку единого информационно-управляющего пространства на протяжении всего жизненного цикла СТС, начиная с этапов проектирования и производства и кончая снятием с эксплуатации. Концепция и методология Product Lifecycle Management зародились еще в 1990-х годы, но получили широкое развитие уже в XXI-м веке [1].

Необходимыми условиями эффективности управления ЖЦ являются его инженерия (Lifecycle Engineering) и моделирование (Lifecycle Modeling). Концепция инженерии жизненного цикла предполагает широкое применение современных информационных и коммуникационных технологий в моделировании и интеграции его этапов [3]. Главными аспектами инженерии ЖЦ СТС выступают инженерия знаний и управление знаниями о СТС, в частности, на основе наглядного представления структуры ЖЦ СТС, оптимизации временных соотношений между его этапами и стадиями, учета и управления неопределенностями, возникающими на разных этапах ЖЦ.

В нашей работе инженерия ЖЦ СТС понимается как основа для интеграции различных процессов и структур на предприятии. В свою очередь, моделирование ЖЦ создает основу для выработки эффективных стратегий его управления. Модель жизненного цикла позволяет определить базовую структуру, объединяющую все этапы, работы и процессы, встречающиеся на протяжении ЖЦ [1-3]. Она зависит от объема проекта, требований к СТС, условий окружающей среды. В существующих системах управления ЖЦ нет возможностей использовать различные модели жизненных циклов, а также осуществлять построение и выбор моделей ЖЦ.

С точки зрения развития и применения информационных технологий, управление ЖЦ СТС должно обеспечивать сохранение огромного количества информации, поиск и ее эффективное использование. Кроме того, оно должно гарантировать, что информация из разных областей и этапов жизненного цикла будет логически и динамически связанной.

Важными современными тенденциями построения систем управления ЖЦ являются их интеграция и интеллектуализация.

Задача создания интегрированных интеллектуальных систем управления жизненным циклом сложных технических систем (т.е. PLM-систем нового поколения – IPLM) является междисциплинарной, крупномасштабной и весьма важной для различных отраслей высокотехнологичного производства. В то же время, фундаментальные основы построения и направления развития подобных систем остаются малоразработанными. Все это требует обсуждения и систематизации возможных вариантов создания и реализации IPLM.

2. Варианты интеграции и интеллектуализации систем управления жизненным циклом продукции

К основным вариантам интеграции и интеллектуализации PLM-систем можно отнести [6,7]: визуальную аналитику для PLM, отслеживание взаимосвязей между параметрами разнородных объектов методами системной инженерии, построение интеллектуальных систем поддержки принятия решений при управлении, разработку интеллектуальных агентов и многоагентных систем для поддержки различных стадий ЖЦ продукции, моделирование ЖЦ СТС и управление знаниями о ЖЦ, разработку системы онтологий для семантической интеграции данных и знаний.

Согласно [8], визуальная аналитика есть наука об аналитических рассуждениях, поддерживаемых и облегчаемых с помощью интерактивных графических интерфейсов. По сути, это междисциплинарная область, которая связана с визуализацией данных и информации, а также с проведением аналитических рассуждений с помощью визуальных интерфейсов и организацией взаимодействия человека с компьютером (рис. 1).

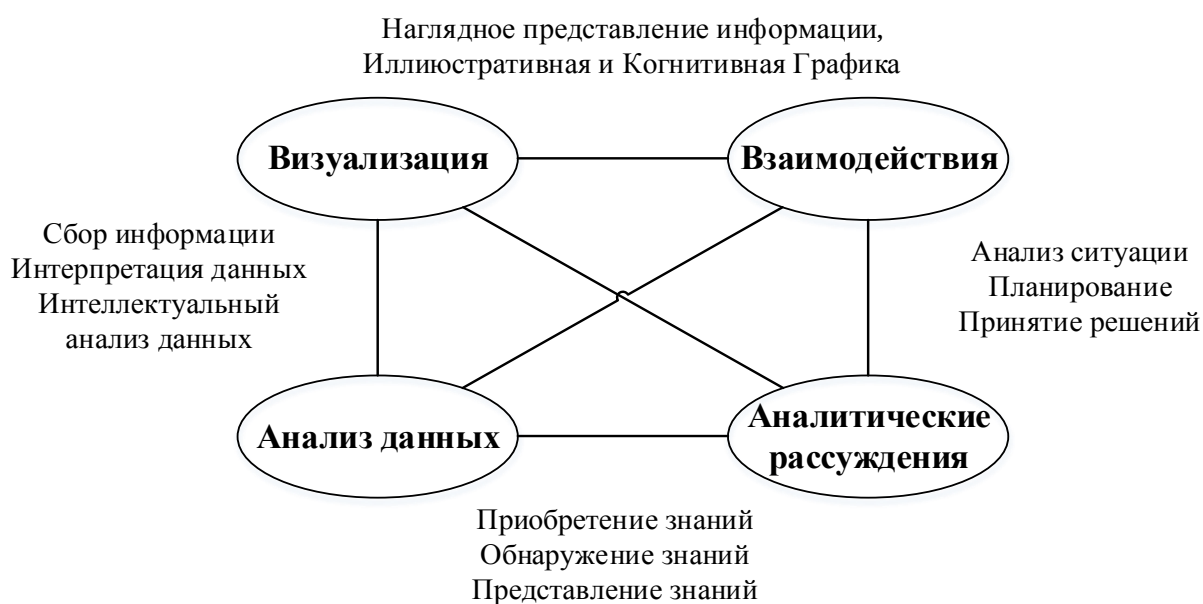


Рис. 1. Основные компоненты визуальной аналитики

В плане наглядного представления информации визуальная аналитика имеет прямое отношение к интерактивной (иллюстративной и когнитивной) компьютерной графике А.А. Зенкина [9] и Д.А. Поспелова [10], а в контексте обработки данных в ней используются различные методы сбора информации, управления данными, интеллектуального анализа данных и обнаружения знаний [11], приобретения, представления и пополнения знаний.

Главное содержание визуальной аналитики составляют [12]:

- визуальные представления больших объемов данных, слабоструктурированных данных; а также методы взаимодействия с такими данными;
- методы и средства представления и преобразования данных, обеспечивающие их визуализацию и оперативный анализ;
- наглядные методы обнаружения, приобретения и представления знаний;
- методы и средства аналитических рассуждений, поддерживающие такие процессы как многомерный анализ ситуации, разбиение общей задачи на подзадачи, планирование и принятие решений, поиск образцов, и др.;
- графический интерфейс «человек-компьютер»;
- визуализация динамики изменения данных, в том числе мониторинг данных в реальном времени;
- алгоритмы обработки, анализа и визуализации графов и сетей.

Общий процесс визуальной аналитики представлен на рис. 2.

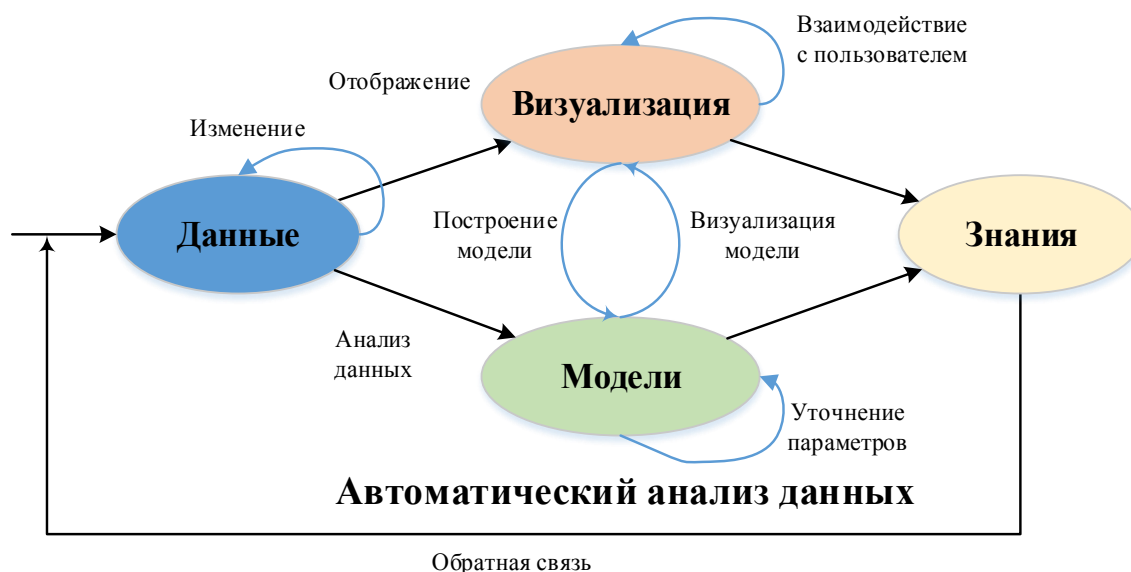


Рис. 2. Процесс визуальной аналитики

Из рис.2 видно, что это – итеративный процесс, который включает: сбор и предварительную обработку данных («big data»), их моделирование и визуализацию, обнаружение, приобретение и представление знаний, организацию взаимодействий и принятие решений.

В русле управления жизненным циклом продукции визуальная аналитика обеспечивает понимание прошлой и текущей ситуации, а также ряда событий, которые приводят к

этим ситуациям. Визуальная аналитика поддерживает визуализацию нескольких слоев данных, абстракцию и интеграцию данных из различных источников, приведение их к общему представлению [8,12]. Это особенно актуально для гетерогенных ИТ-сред PLM, таких как сегодняшние PDM-системы, которые используются в качестве инфокоммуникационных магистралей для PLM-систем. Никакой инженер не может управлять столь огромным объемом данных и информации без использования специальных средств информационной графической поддержки.

Одной из ключевых проблем визуализации в PLM-системах является наглядное представление взаимосвязей между различными требованиями к СТС, а также между ее различными компонентами и подсистемами на протяжении всего ЖЦ. Управление жизненным циклом сложной технической системы предполагает информационную интеграцию и обеспечение интероперабельности разнородных компонентов, относящихся к механическим, электронным, программным подсистемам, между которыми существуют определенные взаимосвязи и взаимозависимости.

В программной инженерии термин «трассировка» (traceability) означает процесс пошагового выполнения программы, когда программист видит последовательность выполнения команд и значения переменных на данном шаге выполнения программы, что позволяет легче обнаруживать ошибки. В последние годы этот термин широко используется и в системной инженерии [7], где он понимается как отслеживание и документирование истории, состояния, взаимосвязей и приложений разнородных элементов и подсистем в рамках ЖЦ СТС. Трассировка – это один из главных методов контроля и верификации действий, связанных с управлением ЖЦ СТС.

В самом деле, при создании СТС группа разработчиков должна периодически проверять, соответствуют ли результаты разработки требованиям заказчика, и осуществлять управление требованиями, а также отслеживать динамические взаимосвязи между компонентами СТС и их текущими параметрами. Интеллектуализация инженерных работ охватывает задачи понимания различных моделей предметных областей, а также идентификацию соответствующих параметров, требований и взаимозависимостей между моделями предметных областей. При этом важную роль в автоматизации процессов трассировки в системной инженерии играют методы и средства интеллектуального анализа данных и обнаружения неявных знаний о взаимозависимостях. В [7] описано инструментальное средство моделирования трассировок в системной инженерии ЖЦ Model Tracer, которое обеспечивает отслеживание взаимозависимостей и управление изменениями на протяжении ЖЦ СТС. Также это средство поддерживает анализ дерева отказов, построение множества Парето и мониторинг трассировки.

Ключевым условием эффективности автоматического отслеживания взаимосвязей между требованиями к СТС и ее текущим состоянием на определенном этапе ЖЦ является построение метамодели данных, которая определяет, какие типы взаимосвязей и какие соотношения между разнородными форматами данных должны, в первую очередь, привлекать внимание.

Взаимозависимости между проектными структурами и параметрами на различных стадиях разработки СТС могут быть настолько сложными, что разработчику становится очень трудно вручную осуществлять информационную подготовку, оценку альтернатив и выбор эффективного проектного решения. В связи с этим включение в состав PLM-системы интеллектуальной подсистемы поддержки принятия решений [7, 19], обеспечивающих взаимосвязи между данными, относящимися к различным этапам ЖЦ СТС, и облегчающих синтез и выбор проектных решений, позволит существенно повысить их эффективность.

Управление жизненным циклом продукции на современном предприятии подразумевает обеспечение возможности построения, выбора и использования различных моделей жизненных циклов – линейных, круговых, инкрементальных, спиральных [13]. В частности, последовательные модели ЖЦ с частичным запараллеливанием его этапов позволяют наглядно представить стратегию совмещенной разработки (Concurrent Engineering), а с помощью спиральных моделей можно отобразить итеративный характер процессов и работ на протяжении ЖЦ СТС, показать повторяемость его этапов, определить удельный вес процессов перепроектирования и коррекции во всем жизненном цикле.

Современное машиностроительное предприятие представляет собой организационную сеть, в которой циркулируют разнородная информация и знания о продукции – сложной технической системе. Это обуславливает целесообразность построения PLM-системы как сообщества многоагентных систем (МАС), соответствующих различным аспектам ЖЦ продукции. С одной стороны, речь идет о многоагентной организации взаимодействия «заказчик-исполнитель», в которой выделяются такие классы агентов как: агент-заказчик, агент-исполнитель, агент-координатор, агент-субординатор [14]. Здесь агент-заказчик формирует запрос и отправляет заказ на выполнение некоторого задания. Агент-координатор создает и поддерживает сеть заказов и обязательств, связанных с созданием СТС. Агент-исполнитель выполняет заказ и сообщает об этом агенту-координатору. Агент-субординатор управляет взаимодействиями между агентом-заказчиком, агентом-координатором и агентом-исполнителем. С другой стороны, агентификация самого жизненного цикла СТС означает создание МАС по этапам ЖЦ, включающей агента требований, агента проектанта, агента конструктора, агента технолога, агента производителя, агента эксплуатационника, и пр.

В свою очередь, реализация многоагентной технологии создания PLM-системы подразумевает построение системы онтологий для обеспечения взаимопонимания и совместной работы агентов [20].

3. Иерархия онтологий PLM

Ввиду большой сложности PLM как «системы систем», построение единственной понятной и согласованной предметной онтологии оказывается невозможным, поэтому следует строить систему онтологий PLM [15] (рис.3).

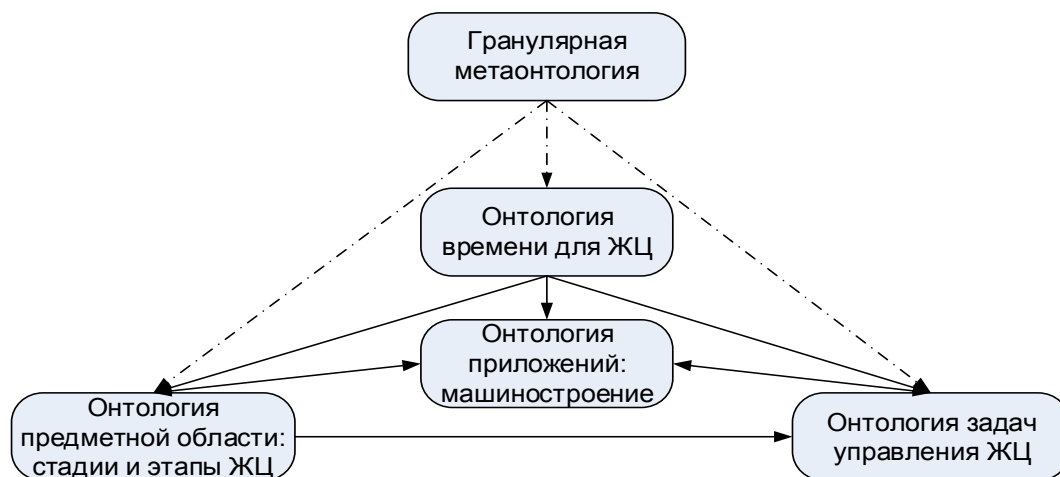


Рис. 3. Иерархическая система онтологий для управления ЖЦ СТС

В ней на нижнем уровне строятся онтология предметной области: стадии и этапы жизненного цикла сложной технической системы, онтология задач управления ЖЦ и онтология приложений: машиностроение», а на верхнем уровне – онтологии базовых категорий, относящихся к ЖЦ, например, онтология времени для ЖЦ. Согласно Дж. Сова [16], онтологии верхнего уровня описывают наиболее общие, парадигматические концептуализации, независимые от предметной области и ее задач, которые характеризуют состояние некоторого профессионального сообщества. В отличие от этого онтологии нижнего уровня носят локальный, специфический характер и непосредственно зависят от типа и ролей агентов PLM, для которых они используются.

Для построения онтологии времени как онтологии верхнего уровня для ЖЦ можно использовать две знаменитые метафоры времени – «колесо времени» и «стрела времени», которые привели к появлению двух взаимодополняющих моделей жизненных циклов – линейной и круговой. Временные онтологии могут также опираться на отношения логики Аллена [17].

В онтологии предметной области рассматриваются стадии и этапы ЖЦ СТС и их взаимосвязи между собой (стадии: проектирование, производство эксплуатация; этапы: например, разработка технического предложения, эскизное проектирование, рабочее проектирование и т.д.), т.е. крупнозернистые и мелкозернистые гранулы ЖЦ.

Онтология задач управления ЖЦ содержит, например, такие задачи, как уменьшение времени проектирования и увеличение времени эксплуатации системы [3,6]. В качестве онтологии приложений выступает машиностроение.

Термин «метаонтология» (т.е. онтология над онтологиями) понимается как основа нисходящего онтологического проектирования. Метаонтология обеспечивает как точную математическую спецификацию онтологий, так и формальный анализ их свойств [18]. С ее помощью устанавливают соответствие между типом имеющейся информации (уровнем неопределенности) и выбираемым языком описания PLM-системы. Из рис.3 видно, что выбор той или иной метаонтологии непосредственно определяет состав онтологий, взаимосвязи между ними, выбор формальных моделей и языков для представления онтологий

как верхнего, так и нижнего уровня. Гранулярные метаонтологии предполагают рассмотрение базовых понятий нижележащей онтологии на различных уровнях абстрактности.

Заключение

В статье рассмотрены актуальные проблемы управления жизненным циклом продукции, варианты интеграции и интеллектуализации систем управления жизненным циклом, т.е. пути создания PPPLM. В качестве ключевого решения предложено ввести в состав PLM-системы подсистему управления знаниями о ЖЦ продукции, опирающуюся на методологию онтологического моделирования. Разработана иерархическая система онтологий PLM, положенная в основу онтологического инжиниринга PPPLM. Рассматривая систему онтологий в контексте онтологического инжиниринга СТС можно сделать вывод, что данный подход позволяет интегрировать информацию и знания из разных предметных областей, различных этапов ЖЦ, а также логически и динамически увязывать ее.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: проект РФФИ №15-07-05623, 16-37-50025, совместный проект РФФИ-БРФФИ № 15-57-04047, Ф15PM-074.

Список литературы

- [1]. Stark J. Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realization. 2nd ed. London: Springer-Verlag. 2011. 581 p.
- [2]. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семиотические модели. Киев: Port-Royal. 1998. 250 с.
- [3]. Федотова А.В., Тарасов В.Б. Дисциплина «Автоматизация управления жизненным циклом продукции» и ее роль в техническом университете // Открытое образование. 2015. № 6. С. 83-88. DOI:10.21686/1818-4243-2015-6(113-83-88
- [4]. Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф., Овсянников М.В., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис. 2002. 304 с.
- [5]. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем // Новости искусственного интеллекта. 2003. №2. С. 24-30.
- [6]. Тарасов В.Б. Управление жизненными циклами продукции и предприятия – ключевой аспект инжиниринга сетевых предприятий // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. Сборник научных трудов XVII-й научно-практической конференции (ИП&УЗ-2014, Москва. МЭСИ, 24-25 апреля 2014г.). М.: МЭСИ. 2014. С. 245-255.
- [7]. Stark R., Damerau T., Hayka H., Neumeyer S., Woll R. Intelligent Information Technologies to Enable Next Generation PLM // Product Lifecycle Management for a Global Market. Proceedings of 11th IFIP Working Group 5.1 International Conference (PLM-2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014/ Ed. by S.Fukuda). Berlin: Springer-Verlag. 2014. P. 485-495.
- [8]. Illuminating the Path: the Research and Development Agenda for Visual Analytics. / Ed. Thomas J.J., Cook K.A. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press. 2005. 188 p.

- [9]. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука., Гл. ред физ. мат. лит. 1991. 192 с.
- [10]. Поспелов Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир // Программные продукты и системы. 1992. № 2. С.4-6.
- [11]. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook / Ed. by O. Maimon, L. Rokach. 2nd ed. Heidelberg: Springer-Verlag. 2010. 1285 p.
- [12]. Keim D.A., Mansmann F., Schneidewind J., Thomas J., Ziegler H. Visual Analytics: Scope and Challenges // Visual Data Mining. Lecture Notes in Computer Science. Vol.4404. Heidelberg: Springer-Verlag. 2008. P.76-90.
- [13]. Fedotova A.V., Tarassov V.B. Development and Interpretation of Spiral Lifecycle's Model: a Granular Computing Approach. / Ed. by R.A. Aliev, K.W. Bonfig, M. Jamshidi, I.B. Turksen. // Proceedings of the 7th Inter-national Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW'2013, Izmir, Turkey, September 2-3, 2013). Kaufering: b-Quadrat Verlag. 2013. P. 432-440.
- [14]. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Эдиториал УРСС. 2002. 352 с.
- [15]. Tarassov V.B., Fedotova A.V. Lifecycle Ontologies in Enterprise Engineering // Proceedings of the VIIIth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation / Ed. by N. Yusupbekov, R. Aliev, J. Kacprzyk, K. Bonfig (WCIS-2014, Tashkent, Uzbekistan, November 25-27, 2014). Kaufering: b-Quadrat Verlag. 2014. P. 464-473.
- [16]. Sowa J.F. Top-Level Ontological Categories // International Journal of Human-Computer Studies. 1995. Vol.43. № 5-6. P. 669-685.
- [17]. Allen J.F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals // Communications of the ACM. 1983. Vol. 26. P. 832-843.
- [18]. Тарасов В.Б. Инжиниринг предприятий и организационные онтологии // Инжиниринг предприятий и управление знаниями. Сборник научных трудов XVIII-й научно-практической конференции (ИП&УЗ, Москва, МЭСИ, 21-24 апреля 2015 г.). М.: МЭСИ. 2015. С.25-41.
- [19]. Fedotova A.V., Davydenko I.T., Pfortner A. Design Intelligent Lifecycle Management Systems Based on Applying of Semantic Technologies // Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16, Sochi, Russia, May 16-21). Springer International Publishing Switzerland. 2016. Vol.1. P.251-260. ISBN: 978-3-319-33608-4 (Print), 978-3-319-33609-1 (Online). (Scopus DOI 10.1007/978-3-319-33609-1_22; ID: 2-s2.0-84978698262).
- [20]. Tarasov V.B., Fedotova A.V., Karabekov B.S. Granular Meta-Ontology, Fuzzy and Linguistic Ontologies: Enabling Mutual Understanding of Cognitive Agents // Proceedings of the 5th International Conference on Control, Automation and Artificial Intelligence (CAAI2015, Phuket, Thailand, August 23-24, 2015). Lancaster PA: DEStech Publications Inc., 2015. – P.253-261. ISBN: 978-1-60595-278-9. (ID: WOS:000375397000049, IDS: BE7JP).