

УДК 004.624

DOI 10.18698/0536-1044-2016-3-74-81

Применение семантических технологий для проектирования интеллектуальных систем управления жизненным циклом продукции*

А.В. Федотова¹, И.Т. Давыденко²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

² Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 220013, Минск, Беларусь, ул. П. Бровки, д. 6

The Application of Semantic Technologies to Design Intelligent Lifecycle Management Systems

A.V. Fedotova¹, I.T. Davydenko²

¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

² Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 220013, Minsk, Belarus, P. Brovki St., Bldg. 6



e-mail: afedotova.bmstu@gmail.com, ir.davydenko@gmail.com

i Проектирование интеллектуальных систем управления (ИСУ) является актуальной задачей. Однако в настоящее время методы проектирования ИСУ при управлении жизненным циклом (ЖЦ) сложных технических систем (СТС) мало разработаны. Рассмотрен подход к построению ИСУ ЖЦ СТС с применением массовой семантической технологии компонентного проектирования OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems — открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем). База знаний такой системы основана на системе онтологий предметных областей, обеспечивающих поддержку управления проектированием, а также дальнейшее совершенствование СТС. Рассмотрена проблема интеллектуализации управления ЖЦ СТС в контексте разработки ИСУ ЖЦ как системы управления знаниями, циркулирующими на всех этапах ЖЦ. Приведены методика компонентного проектирования OSTIS, архитектура ИСУ ЖЦ, фрагменты онтологий предметной области ЖЦ и предметной области управления проектами на языке SСп.

Ключевые слова: система интеллектуальная, технология семантическая, онтология, моделирование онтологическое, управление знаниями, жизненный цикл системы, PLM-система.

i Design of intelligent management systems (IMS) is an important task. However, IMS design methods for lifecycle management of complex technical systems (CTS) have not been sufficiently developed. The article considers an approach to building an intelligent lifecycle management system for CTS based on Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS). The knowledge base of such a system is based on a set of domain ontologies supporting the design management, as well as further CTS development. The problem of intellectualization of the lifecycle management is considered in the context of developing the IMS as a system for managing knowledge circulating at all stages of the lifecycle. The article presents methods for OSTIS component-based design, IMS architecture, fragments

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-БРФФИ, проект № 15-57-04047, № Ф15РМ-074, РФФИ, проект № 15-07-05623.

of the lifecycle domain ontology and of the project management domain in the SCn language.

Keywords: intelligent system, semantic technology, ontology, ontological modeling, knowledge management, system lifecycle, PLM-system.

В настоящее время растет сложность продукции, процессов, стоимость создания сетей и информационных технологий (ИТ), являющихся ядром систем управления жизненным циклом (ЖЦ) продукции. Управлять этой информацией становится все труднее. Как это влияет на инженеров? Проведенный в 2014 г. опрос более 1 400 немецких инженеров показал, что почти две трети из них используют только 20 % времени на решение основных задач — разработку, проектирование или валидацию. Исследование подтвердило отсутствие времени для творческой инженерной деятельности. Возможно ли освобождение инженеров и проектировщиков от рутинных и административных задач по управлению ЖЦ продукта с помощью интеллектуальных технологий? Проведенное отраслевыми экспертами в PLM (Product Lifecycle Management — управление ЖЦ продукта) исследование спроса на интеллектуализацию систем управления ЖЦ продукции [1] показало необходимость развития нового поколения интеллектуальных PLM-решений.

Управление ЖЦ продукта представляет собой интегрированный подход к управлению информацией, связанной с ЖЦ продукта, опирающийся на организационные предпосылки, процессы и ИТ-решения [2].

Современными тенденциями построения систем управления ЖЦ являются их интеграция и интеллектуализация [3, 4]. Одним из подходов к разработке интеллектуальных систем управления (ИСУ) ЖЦ сложной технической системы (СТС) является использование массовой семантической технологии компонентного проектирования OSTIS (Open Semantic Technologies for Intelligent Systems) [5, 6].

Цель работы — проектирование ИСУ ЖЦ продукции с применением семантических технологий, что обеспечит повышение эффективности эксплуатации системы, ее постоянное совершенствование непосредственно в ходе эксплуатации и существенно увеличит срок ее морального старения.

Методика компонентного проектирования OSTIS. Авторы проекта OSTIS [5] предложили методику компонентного проектирования, ба-

зирующуюся на постоянно расширяемых библиотеках многократно используемых компонентов (типовых технических решений). Создание технологии компонентного проектирования предполагает:

- обеспечение совместимости компонентов интеллектуальных систем (ИС) на основе их единого онтологического представления;
- разработку онтологии компонентного проектирования ИС [7, 8];
- создание библиотек многократно используемых (типовых) компонентов ИС и уточнение типологии таких компонентов (онтологии: верхнего уровня, предметные, задач и приложений; многократно используемые фрагменты баз знаний; машины вывода; интерфейсные компоненты и т. д.);
- расширение возможностей языков онтологического моделирования для представления усложненных знаний, создания средств компьютерной поддержки синтеза ИС из имеющихся компонентов.

Каждую ИС, проектируемую по технологии OSTIS, можно трактовать как результат интеграции следующих интеллектуальных подсистем [9]:

- предметной (основной) ИС;
- подсистемы адаптивного управления диалогом с конечным пользователем;
- интеллектуальной help-системы для информационного обслуживания и обучения конечных пользователей предметной ИС, которые, начиная работать с системой, не обязаны иметь высокую квалификацию;
- ИСУ ЖЦ предметной ИС, которая координирует деятельность разработчиков предметной ИС и процессы ее совершенствования;
- ИСУ информационной безопасностью предметной ИС.

Для обеспечения интероперабельности (семантической совместимости) перечисленных ИС они должны проектироваться на основе одной и той же технологии.

Таким образом, создавая каждую ИС, одновременно необходимо проектировать:

- подсистему, которая осуществляет информационное обслуживание и обучение конечных пользователей данной ИС, т. е. обеспе-

чивает поддержку оформления документации по эксплуатации ИС в виде интеллектуальной справочной и обучающей системы. Это позволит существенно расширить контингент конечных пользователей, повысить эффективность эксплуатации ИС и существенно упростить ее;

- подсистему, которая обеспечивает координацию разработчиков проектируемой ИС, поскольку разработка (совершенствование) системы продолжается в ходе ее эксплуатации и требует создания специальных методов и компьютерных средств постоянного совершенствования предметной ИС непосредственно в ходе ее эксплуатации [10]. Это существенно увеличит срок ее морального старения;

- подсистему, обеспечивающую управление информационной безопасностью проектируемой ИС.

Подсистема управления проектированием ИС должна создаваться как ИС, интегрируемая с основной (предметной) ИС. Тогда в перспективе она может стать не только координатором деятельности разработчиков, но и самостоятельным средством проектирования, способным тестировать, диагностировать, анализировать как основную проектируемую ИС, так и себя [9].

Рассмотрим проблему интеллектуализации управления ЖЦ СТС в контексте разработки ИСУ ЖЦ как системы управления знаниями, циркулирующими на всех этапах ЖЦ [11, 12].

Структура системы управления ЖЦ СТС. Как и любая система, построенная по технологии OSTIS, архитектура ИСУ ЖЦ системы имеет следующую структуру:

- *база знаний* — включает в себя набор онтологий, описывающих предметные области, необходимые для организации процесса проектирования и совершенствования любой системы (*онтология предметной области: ЖЦ систем, деятельности, технического обслуживания, управления проектами* и др.);

- *машина обработки знаний* — включает в себя агентов, обеспечивающих поддержку деятельности исполнителей по развитию технической системы, управление задачами проектирования и сроками их исполнения и др.;

- *пользовательский интерфейс* — представляет собой подсистему, обеспечивающую взаимодействие пользователя с системой управления ЖЦ технической системы.

База знаний — целостная совокупность знаний, достаточных для функционирования некоторой ИС. Этим знаниям должно быть достаточно для решения указанной ИС соответствующего класса задач. Базу знаний можно трактовать как некоторое семантическое пространство, в котором функционирует ИС.

База знаний может включать в себя документацию: различных проектов, технических систем и теорий различных предметных областей.

В задачах управления знаниями на предприятии термин «знания» выступает и как ресурс, и как объект управления [13].

Информационные ресурсы предприятия включают в себя структурированные базы данных, различные документы и неявные знания сотрудников. Управление знаниями означает создание единого информационного пространства предприятия и его постепенное превращение в пространство знаний [14]. Это обеспечивает гибкий распределенный подход к генерации, сбору, представлению, пополнению, распространению, практическому использованию коллективных знаний предприятия и организации доступа к ним.

Важнейшим аспектом управления знаниями на протяжении как всего ЖЦ СТС, так и его этапов является первоначальное структурирование знаний. На предприятиях знания могут подразделяться по различным критериям: 1) стадии и этапы ЖЦ — проектные, производственные, эксплуатационные знания; 2) компоненты деятельности предприятия — знания о продукции и услугах, процессах и технологиях, оборудовании и оснастке, организационных структурах и персонале предприятия; 3) компоненты окружающей микросреды предприятия — знания о заказчиках, поставщиках, партнерах и конкурентах [15].

Фрагмент онтологии предметной области ЖЦ на языке SCn [16] приведен ниже.

жизненный цикл системы

∈ *ключевой sc-элемент*’:

○

∈ *sc-пояснение*

<= *трансляция sc-текста**:

○

Э *пример*’:

[Жизненный цикл технической системы определяется интервалом времени от начала ее создания до конца эксплуата-

ции; при этом началом жизненного цикла традиционно принято считать формирование потребности в системе (зарождение идеи системы), а концом — снятие системы с эксплуатации (утилизацию)]

∈ *Русский язык*

модель жизненного цикла системы

- ⊃ *типовая модель жизненного цикла*
- ⊃ *модель жизненного цикла программного обеспечения*

типовая модель жизненного цикла системы

<=*типовая структура**:

- {
- *замысел*
- *разработка*
- *производство*
- *применение*
- *поддержка применения*
- *прекращение применения*
- }

модель жизненного цикла программного обеспечения

- ⊃ *водопадная модель жизненного цикла*
= *каскадная модель жизненного цикла*
- ⊃ *итерационная модель жизненного цикла*
- ⊃ *спиральная модель жизненного цикла*

стадия жизненного цикла

- ⊃ *техническое задание*
- ⊃ *эскизное проектирование*
- ⊃ *техническое проектирование*
- ⊃ *рабочее проектирование*
- ⊃ *технологическая подготовка производства.*

Управление проектированием является основной частью системы управления ЖЦ. В основе современных методов управления проектированием лежат методики структуризации работ по проекту и целеориентированность процесса управления. Основной задачей управления проектированием является достижение заранее определенных целей проекта при заранее известных исполнителях, ограничениях по срокам, целесообразном использовании возможностей и реагировании на риски [17].

Традиционно проектом является масштабная, технически сложная деятельность, направленная на достижение определенных целей. Для получения более эффективного и качественного результата проекта необходимо ор-

ганизовывать его управление. Управление проектом — совокупность знаний, опыта, методов и средств, прилагаемых к процессам проекта для удовлетворения предъявляемых к нему требований и ожиданий его участников. Для этого необходимо найти оптимальное сочетание между целями, сроками, затратами, качеством и другими характеристиками проекта.

Для определения оптимального сочетания между этими критериями проекта необходимо понимать, что представляет собой каждый из них и как осуществляется их взаимодействие внутри проекта. Для организации такого взаимодействия требуется подсистема управления проектированием.

Для формального описания знаний, касающихся управления проектированием ИС, выделена *предметная область управления проектами*, к основным понятиям которой относятся *проект*, *продукт**, *проектная задача**.

Фрагмент онтологии предметной области управления проектами на языке *SCn* приведен ниже.

проект

∈ *ключевой sc-элемент*’:

○

∈ *sc-пояснение*

<=*трансляция sc-текста**:

○

∃ [*проект* — целенаправленная деятельность, результатом которой является определенный ранее не существовавший продукт]

∈ *Русский язык*

∈ *ключевой sc-элемент*’:

○

∈ *sc-комментарий*

<=*трансляция sc-текста**:

○

∃ [Описание (спецификация) каждого проекта включает в себя:

- указание продукта, являющегося результатом выполнения этого проекта;
- указание проектной задачи (проектной цели, технического задания) — требований, которым должен удовлетворять разрабатываемый продукт;
- срок выполнения проекта;
- команду исполнителей проекта (с указанием роли каждого исполнителя);
- план выполнения проекта (для неатомарного проекта это его декомпозиция на

подпроекты, а для атомарного проекта — декомпозиция на проектные задания)]
 ∈ Русский язык

продукт*

= быть продуктом соответствующей деятельности (в том числе и явно обозначенного, явно заявленного проекта)

▷ основной продукт*

= быть основным продуктом данной деятельности (в том числе проекта)

проектная задача*

= быть проектной задачей соответствующего проекта*

▷ основная проектная задача*

= быть основной проектной задачей заданного проекта*

▷ горячая проектная задача*

= быть срочной проектной задачей заданного проекта*

документы проекта*

∈ техническое задание

∈ ключевой sc-элемент*:

○

∈ sc-пояснение

<= трансляция sc-текста*:

○

Э пример*:

[**документы проекта*** — входные данные для процесса управления, описывающие содержание работ проекта]

∈ Русский язык

Каждая из разработанных онтологий представляет собой многократно используемый компонент базы знаний, входящий в состав библиотеки многократно используемых компонентов баз знаний [18].

Выводы

1. Рассмотрен подход к построению ИСУ ЖЦ СТС с использованием технологии OSTIS. База знаний такой системы основана на системе онтологий предметных областей, обеспечивающих поддержку управления проектированием, а также дальнейшее совершенствование СТС.

2. Применение такой технологии позволит расширить контингент конечных пользователей, повысить эффективность эксплуатации системы и существенно упростить ее, обеспечит постоянное совершенствование предметной ИС непосредственно в ходе ее эксплуатации, что существенно увеличит срок ее морального старения.

Литература

- [1] Stark R., Damerau T., Hayka H., Neumeyer S., Woll R. Intelligent information technologies to enable next generation PLM. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2014, vol. 442, pp. 485–495.
- [2] Stark J. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realization*. London, Springer-Verlag, 2011. 572 p.
- [3] Евгеньев Г.Б. *Интеллектуальные системы проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 420 с.
- [4] Евгеньев Г.Б. Онтологическая методология создания интеллектуальных систем в машиностроении. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2014, № 6 (651), с. 39–47.
- [5] Голенков В.В., Гулякина Н.А. Принципы построения массовой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Матер. междунар. науч.-техн. конф. (OSTIS-2011, Минск, 10–12 февраля 2011 г.)*. Минск, БГУИР, 2011, с. 21–59.
- [6] *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems — OSTIS*. URL: <http://aikernel.org/projects/055/index.ru.html> (accessed 11 November 2015).
- [7] Евгеньев Г.Б. Онтологическая методология создания прикладных интеллектуальных систем. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. *Сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Коломна, 18–20 мая 2015 г.)*, в 2 т. Т. 1. Москва, Физматлит, 2015, с. 252–258.

- [8] Petrochenkov A.V., Bochkarev S.V., Ovsyannikov M.V., Bukhanov S.A. Construction of an Ontological Model of the Life Cycle of Electrotechnical Equipment. *Russian Electrical Engineering*, 2015, vol. 86 (6), pp. 320–325.
- [9] Голеньков В.В., Гулякина Н.А. Графодинамические модели параллельной обработки знаний: принципы построения, реализации и проектирования. *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012)*. Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, БГУИР, 2012, с. 23–52.
- [10] Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф., Овсянников М.В., Сумароков С.В. *Управление жизненным циклом продукции*. Москва, Анахарсис, 2002.
- [11] Тарасов В.Б., Федотова А.В., Черепанов Н.В. Онтологии жизненного цикла сложной технической системы. *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем*. Матер. IV междунар. науч.-техн. конф. (OSTIS-2014, Минск, БГУИР, 20–22 февраля 2014 г.). Минск, БГУИР, 2014, с. 471–482.
- [12] Jun H.V., Kiritsis D., Xirouchakis P. A Primitive Ontology Model for Product Lifecycle MetaData in the Closed-Loop PLM. *Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches*. Heidelberg, Springer-Verlag, 2007, pp. 729–740.
- [13] Tarasov V.B., Fedotova A.V., Stark R., Karabekov B.S. Granular Meta-Ontology and Extended Allen's Logic: Some Theoretical Background and Application to Intelligent Product Lifecycle Management Systems. *Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Systems and Applications (INTELLI'2015, St. Julians, Malta, October 11–16, 2015)*. Copenhagen, IARIA XPS Press, 2015, pp. 86–93.
- [14] Хорошевский В.Ф. Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (Часть 1). *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2008, № 1, с. 80–97.
- [15] Федотова А.В. Интеллектуальная система планирования технического обслуживания и ремонта оборудования в управлении жизненным циклом продукции высокого значения. *Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы*. Сб. науч. тр. Междунар. летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Тверь — Протасово, 1–5 июля 2013 г.). Тверь, Изд-во ТвГТУ, 2013, с. 153–161.
- [16] Федотова А.В., Ветров А.Н., Тарасов В.Б. Грануляция информации при моделировании жизненного цикла сложных технических систем. *Интернет-журнал Науковедение*, 2013, № 5 (18). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/53tvn513.pdf>
- [17] Гаврюшин С.С., Евгеньев Г.Б. Многокритериальная оптимизация в жизненном цикле изделий. *Информационные технологии*, 2014, № 2, с. 37–42.
- [18] Шункевич Д.В. Средства поддержки компонентного проектирования систем, управляемых знаниями. *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015)*. Матер. V Междунар. науч.-техн. конф. Минск, БГУИР, 2015.

References

- [1] Stark R., Damerau T., Hayka H., Neumeyer S., Woll R. Intelligent information technologies to enable next generation PLM. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2014, vol. 442, pp. 485–495.
- [2] Stark J. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realization*. London, Springer-Verlag, 2011. 572 p.
- [3] Evgenev G.B. *Intellektual'nye sistemy proektirovaniia* [Intelligent Systems Design]. Moscow, Bauman Press, 2012. 420 p.
- [4] Evgenev G.B. Ontologicheskaiia metodologiia sozdaniia intellektual'nykh sistem v mashinostroenii [An ontological methodology for developing intelligent systems in mechanical engineering]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2014, no. 6(651), pp. 39–47.
- [5] Golenkov V.V., Guliakina N.A. Printsipy postroeniia massovoi semanticheskoi tekhnologii komponentnogo proektirovaniia intellektual'nykh sistem [Principles of construction of mass semantic technology component of intelligent systems. Open semantic technologies of intelligent systems]. *Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh*

- sistem. Materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (OSTIS-2011, Minsk, 10–12 fevralia 2011 g.)* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (OSTIS-2011 Minsk, 10–12 February 2011)]. Minsk, BGUIR publ., 2011, pp. 21–59.
- [6] *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems — OSTIS*. Available at: <http://aikernel.org/projects/055/index.ru.html> (accessed 11 November 2015).
- [7] Evgenev G.B. Ontologicheskaja metodologija sozdaniia prikladnykh intellektual'nykh sistem [The ontological methodology of application of intelligent systems]. *Integrirovannye modeli i miagkie vychisleniia v iskusstvennom intellekte. Sbornik nauch. tr. 8-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kolomna, 18-20 maia 2015 g.)* [Integrated models and soft computing in artificial intelligence Collection of scientific works of the 8th International Scientific and Practical Conference (Kolomna, 18-20 May 2015)]. Vol. 1. Moscow, Fizmatlit publ., 2015, pp. 252–258.
- [8] Petrochenkov A.B., Bochkarev S.V., Ovsyannikov M.V., Bukhanov S.A. Construction of an Ontological Model of the Life Cycle of Electrotechnical Equipment. *Russian Electrical Engineering*, 2015, vol. 86, iss. 6, pp. 320–325.
- [9] Golenkov V.V., Guliakina N.A. Grafodinamicheskie modeli parallel'noi obrabotki znaniia: printsipy postroeniia, realizatsii i proektirovaniia [Count Dynamic models of parallel processing knowledge: principles of construction, design and realization]. *Otkrytie semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh sistem (OSTIS-2012). Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Open semantic technologies of intelligent systems (OSTIS-2012): Proceedings of the International Scientific Conference]*. Minsk, BGUIR publ., 2012, pp. 23–52.
- [10] Kolchin A.F., Strelakov A.F., Ovsiannikov M.V., Sumarokov S.V. *Upravlenie zhiznennym tsiklom produktsii* [Product Lifecycle Management]. Moscow, Anakharsis publ., 2002.
- [11] Tarasov V.B., Fedotova A.V., Cherepanov N.V. Ontologii zhiznennogo tsikla slozhnoi tekhnicheskoi sistemy [Ontology life cycle of complex technical systems]. *Otkrytie semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh sistem Materialy 4-i mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (OSTIS-2014, Minsk, BGUIR, 20-22 fevralia 2014 g.)* [Open semantic technologies of intelligent systems Proceedings of the 4th International Scientific Conference (OSTIS-2014 Minsk, BSUIR, 20-22 February 2014)]. Minsk, BGUIR publ., 2014, pp. 471–482.
- [12] Jun H.B., Kiritsis D., Xirouchakis P. *A Primitive Ontology Model for Product Lifecycle Meta Data in the Closed-Loop PLM. Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches*. Heidelberg, Springer-Verlag, 2007, pp. 729–740.
- [13] Tarasov V.B., Fedotova A.V., Stark R., Karabekov B.S. Granular Meta-Ontology and Extended Allen's Logic: Some Theoretical Background and Application to Intelligent Product Lifecycle Management Systems. *Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Systems and Applications (INTELLI'2015, St. Julians, Malta, October 11-16, 2015)*. Copenhagen, IARIA XPS Press, 2015, pp. 86–93.
- [14] Khoroshevskii V.F. Prostranstva znaniia v seti Internet i Semantic Web (Chast' 1) [Spaces of knowledge on the Internet and Semantic Web (Part 1)]. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii* [Artificial Intelligence and decision making]. 2008, no. 1, pp. 80–97.
- [15] Fedotova A.V. Intellektual'naia sistema planirovaniia tekhnicheskogo obsluzhivaniia i remonta oborudovaniia v upravlenii zhiznennym tsiklom produktsii vysokogo znacheniia [Intelligent scheduling system maintenance and repair in the life cycle management of high value]. *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii: sovremennoe sostoianie i perspektivy. Sb. nauch. tr. Mezhdunar. letnei shkoly-seminara po iskusstvennomu intellektu dlia studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Tver'-Protasovo, 1-5 iuliia 2013 g.)* [Collection of scientific works of the International Summer School on artificial intelligence for students, graduate students and young scientists (Tver–Protasovo, 1-5 July 2013)]. Tver', TvGTU publ., 2013, pp. 153–161.
- [16] Fedotova A.V., Vetrov A.N., Tarasov V.B. Granuliatsiia informatsii pri modelirovanii zhiznennogo tsikla slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Information Granulation in Life Cycle Modeling for Complex Technical Systems]. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Electronic scientific publication of Naukovedenie]. 2013, no. 5(18). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/53tvn513.pdf>

- [17] Gavriushin S.S., Evgenev G.B. *Mnogokriterial'naiia optimizatsiia v zhiznennom tsikle izdelii* [Multicriteria Optimization in the Life Cycle of Products]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies]. 2014, no. 2, pp. 37–42.
- [18] Shunkevich D.V. *Sredstva podderzhki komponentnogo proektirovaniia sistem, upravliaemykh znaniiami* [Support Tools component system design, manage knowledge]. *Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh sistem (OSTIS-2015). Materialy 5 Mezhdunar. nauch.-tekh. konf.* [Open semantic technologies of intelligent systems (OSTIS-2015): 5 Materials of the International Scientific-Technical Conference]. Minsk, BGUIR publ., 2015.

Статья поступила в редакцию 25.01.2016

Информация об авторах

ФЕДОТОВА Алена Валериевна (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: afedotova.bmstu@gmail.com).

ДАВЫДЕНКО Ирина Тимофеевна (Минск) — ассистент кафедры Интеллектуальных информационных технологий. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (220013, Минск, Беларусь, ул. П. Бровки, д. 6, e-mail: ir.davydenko@gmail.com).

Information about the authors

FEDOTOVA Alyona Valerievna (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Computer Systems of Manufacture Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: afedotova.bmstu@gmail.com).

DAVYDENKO Irina Timofeevna (Minsk) — Assistant Lecturer, Department of Intelligent Information Technologies. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (220013, Minsk, Belarus, P. Brovki St., Bldg. 6, e-mail: ir.davydenko@gmail.com).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
В.М. Гремячкина

«Гетерогенное горение частиц твердых топлив»

Рассмотрены теоретические основы процессов горения частиц твердых топлив, к которым относят не только традиционные углеводородные топлива, содержащие углерод, но и частицы металлов, которые широко используют в качестве топлива в ракетных двигателях. Кроме того, выполнен анализ окисления и хлорирования частиц металлов в ряде технологических процессов химической промышленности, а также горения и газификации углеродных частиц в различных реакционных газах.

Для научных работников, инженеров, а также для студентов, интересующихся проблемами ракетной техники на твердых топливах, сжигания и газификации твердых органических топлив в энергетике.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru