

УДК 004.415.28

**АРХИТЕКТУРА ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**Н.Е. Филюков<sup>а</sup><sup>а</sup> Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия, badfilin@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается построение веб-ориентированной автоматизированной системы технологической подготовки производства. Предложено в качестве основы такой системы использовать удаленные приложения и базы данных, находящиеся в «частном облаке». В основе подхода предлагается сервис-ориентированная архитектура, использующая в качестве модулей веб-приложения и веб-сервисы, мультиагентные технологии для реализации функции обмена информацией между составными частями системы и использование PDM-системы для управления технологическими проектами. Предложенная архитектура подразумевает преобразование автоматизированной системы технологической подготовки производства в корпоративную информационную систему, что позволит обеспечить согласованное функционирование подсистем на основе единого информационного пространства, распараллеливание коллективной работы над технологическими проектами и эффективный контроль технологической подготовки производства. В рамках данной архитектуры была разработана система, которая предоставляет возможность достаточно простого подключения технологических подсистем к системе и их взаимодействия между собой. Предоставляется возможность производить конфигурирование автоматизированной системы технологической подготовки производства применительно к конкретному предприятию на множестве разработанных подсистем и баз данных с заданием соответствующих прав доступа для сотрудников этого предприятия. Предложенный подход упрощает сопровождение программного и информационного обеспечения подсистем автоматизированной системы технологической подготовки производства за счет их централизованного нахождения в дата-центре. Результаты работы могут быть применены как основа для построения и апробации автоматизированной системы технологической подготовки производства в рамках учебного процесса для отработки и модернизации алгоритмов работы системы, после чего возможна апробация в рамках расширенного предприятия.

**Ключевые слова:** технологическая подготовка, мультиагентные технологии, PDM-система, веб-сервисы, облачные технологии, веб-ориентированная система, архитектура АСТПП, веб-ориентированная АСТПП.

**ARCHITECTURE OF WEB BASED COMPUTER-AIDED MANUFACTURING SYSTEM**N.E. Filyukov<sup>а</sup><sup>а</sup> ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia, badfilin@gmail.com

**Abstract.** The paper deals with design of a web-based system for Computer-Aided Manufacturing (CAM). Remote applications and databases located in the "private cloud" are proposed to be the basis of such system. The suggested approach contains: service - oriented architecture, using web applications and web services as modules, multi-agent technologies for implementation of information exchange functions between the components of the system and the usage of PDM - system for managing technology projects within the CAM. The proposed architecture involves CAM conversion into the corporate information system that will provide coordinated functioning of subsystems based on a common information space, as well as parallelize collective work on technology projects and be able to provide effective control of production planning. A system has been developed within this architecture which gives the possibility for a rather simple technological subsystems connect to the system and implementation of their interaction. The system makes it possible to produce CAM configuration for a particular company on the set of developed subsystems and databases specifying appropriate access rights for employees of the company. The proposed approach simplifies maintenance of software and information support for CAM subsystems due to their central location in the data center. The results can be used as a basis for CAM design and testing within the learning process for development and modernization of the system algorithms, and then can be tested in the extended enterprise.

**Keywords:** production planning, multi-agent technologies, PDM - system, web - services, cloud computing, web - based system, CAM architecture, web based CAM.

**Введение**

Одним из важнейших этапов жизненного цикла является технологическая подготовка производства (ТПП), уровень которой во многом определяет качество производимого изделия, сроки его выхода на рынок и, в конечном счете, конкурентоспособность предприятия в целом. Одним из главных направлений совершенствования ТПП изделий является создание АСТПП.

На данный момент в Российской Федерации начинают формироваться расширенные предприятия как одна из форм кооперации множества предприятий и организаций, работающих под управлением организатора кооперационной сети, позволяющая уменьшить стоимость и ускорить выпуск промышленной продукции [1, 2]. Предприятия, участвующие в кооперации, используют различные автоматизированные системы для решения различных технологических задач, однако возникают сложности взаимного функционирования систем и их интеграции между собой, связанные с:

- трудностью информационной интеграции;
- необходимостью коллективной работы над технологическими проектами;
- необходимостью сопровождения программного обеспечения АСТПП;
- необходимостью сопровождения большого комплекса баз данных и знаний.

Преодоление указанных трудностей возможно на базе использования современных информационных технологий, что позволит обеспечить эффективное решение технологических задач всех участников кооперации и в то же время удовлетворить все требования расширенного предприятия.

### АСТПП как корпоративная система

В настоящее время начинает развиваться подход к АСТПП как к корпоративной информационной системе. Такой подход особенно важен для расширенного предприятия, для которого характерен интенсивный информационный обмен между отдельными подразделениями. Исходя из этого, в настоящей работе предлагается использовать концепцию облачных технологий [3–5] для создания АСТПП как «веб-ориентированной» системы, в которой подсистемы функционируют на основе удаленных кросс-платформенных приложений (веб-сервисов) с использованием удаленных баз данных и знаний.

На наш взгляд, такой подход позволит:

1. обеспечить согласованное функционирование подсистем на основе единого информационного пространства;
2. упростить сопровождение подсистем АСТПП и баз данных (БД) в едином дата-центре;
3. распараллелить коллективную работу над технологическими проектами;
4. использовать PDM-систему для управления технологическими проектами и обеспечить эффективный контроль ТПП.

«Облако» для АСТПП создается как частное, предназначенное для использования группой родственных предприятий, что позволяет для территориально разделенных подразделений предприятия организовать коллективную работу над технологическим проектом, включая проектирование технологических процессов и технологического оснащения, разработку управляющих программ, изготовление и внедрение технологической оснастки и т.д. [1].

Отсюда следует, что в организационном плане целесообразно использовать подход «программное обеспечение в качестве услуги» (Software as a Service, SaaS) [6], при котором программные компоненты АСТПП сосредотачиваются на центральном сервере, а обращение к ним выполняется через браузеры, установленные на компьютере пользователя. Применение SaaS позволяет снизить затраты на закупку, сопровождение и использование компонент АСТПП, при этом новые версии этих компонент сразу становятся доступными всем пользователям. Кроме того, появляется возможность коллективного сопровождения удаленных баз данных и знаний, особенностями которых являются большой объем и динамический характер проблемной среды. Каждое предприятие может как иметь свои персональные базы данных и знаний, так и обращаться к общим для группы предприятий базам данных и знаний, содержащих нормативно-справочную информацию [7].

Из существующих информационных технологий большой интерес представляют мультиагентные технологии [8, 9]. Их использование позволяет повысить уровень интеллектуальности АСТПП, при этом агенты, хотя и не зависят друг от друга, но имеют возможность взаимодействовать между собой и предлагать технологию варианты решения технологических задач [10].

В настоящее время на кафедре технологии приборостроения (ТПС) Университета ИТМО ведется разработка технологической интегрированной среды (ТИС), которая представляет собой комплекс, предназначенный для решения основных задач ТПП на основе вышеуказанных подходов. Важнейшей компонентой системы является «ТИС-Админ», рассмотрению архитектуры которой, как и архитектуре АСТПП в целом, и посвящена настоящая работа.

### Архитектура «ТИС-Админ»

Согласно рекомендациям [11], АСТПП разделяется по функциональному значению на два типа: общего назначения и специального назначения. Документ [12] предлагает следующую укрупненную схему АСТПП (рис. 1).

«ТИС-Админ» представляет собой подсистему общего назначения и состоит из комплекса веб-сервисов, реализующих функции взаимодействия между компонентами ТИС. Неотъемлемыми компонентами подсистемы являются также внешние подключаемые программы и системы (рис. 2):

- подсистема управления функциями администрирования, имеющая развитый интерфейс для работы с пользователями;
- агент «Словарь» – словарная система, представленная в виде подсистемы, которая предоставляет онтологический словарь для взаимодействия с подсистемами ТИС;
- PDM-система – система, через которую на предприятии или в кластере предприятий производится документооборот и управление технологическим проектом.

Для расширения функциональных возможностей ТИС к ней с помощью «ТИС-Админ» могут подключаться сторонние подсистемы, функционирующие в АСТПП.

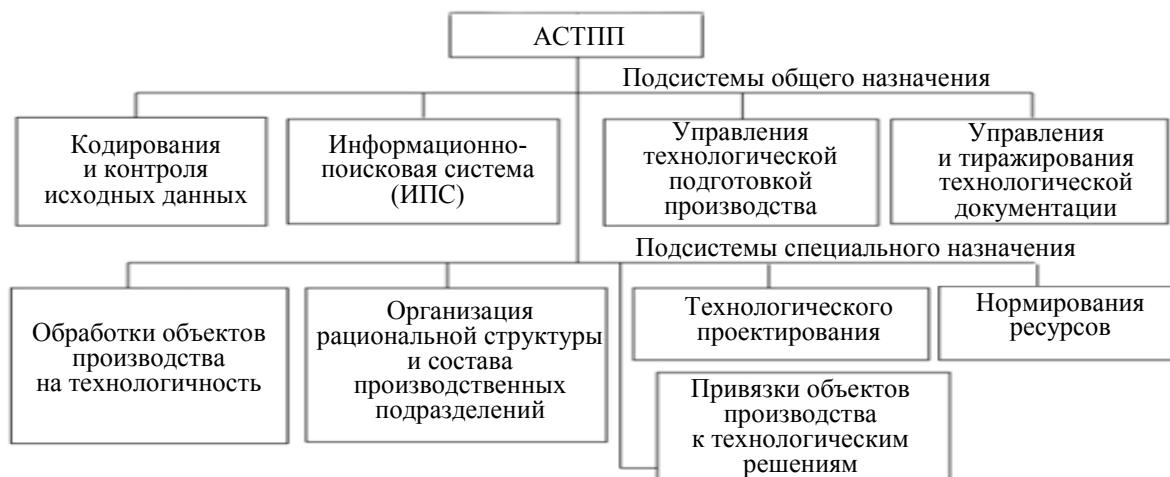


Рис. 1. Укрупненная схема АСТПП

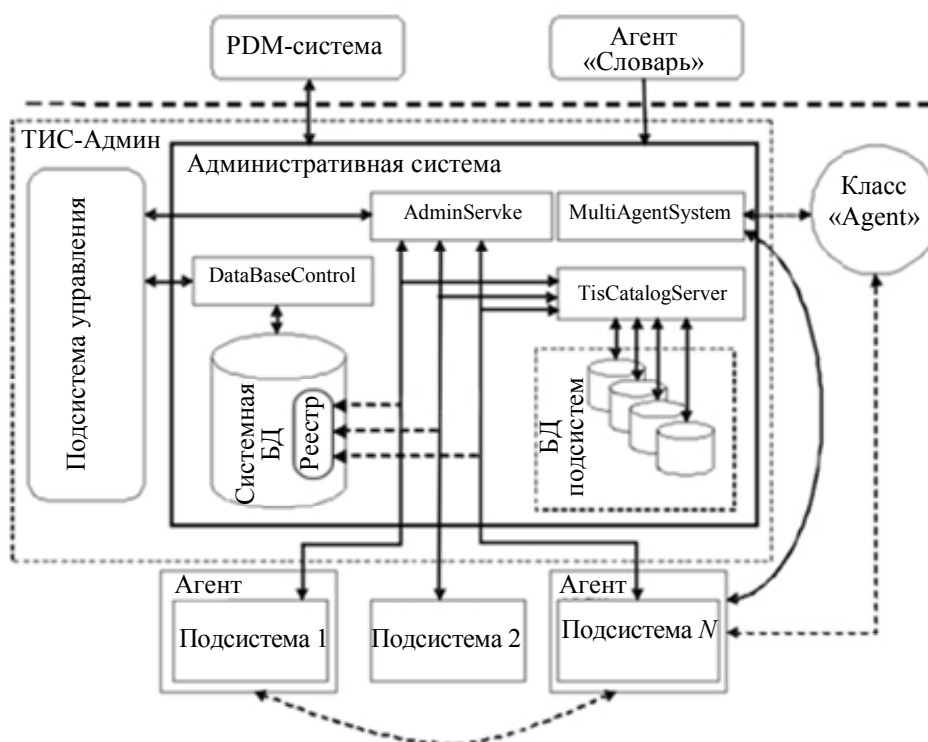


Рис. 2. Архитектура «ТИС-Админ»

Архитектура «ТИС-Админ» включает следующие системы.

1. Административная система (АС) – центральный узел системы, представляющий собой набор веб-сервисов, баз данных и знаний [13]. Через АС производится аутентификация, авторизация пользователей, идентификация подключенных подсистем. В рамках АС производится защищенное хранение данных для подключенных подсистем. АС обеспечивает взаимодействие подсистем между собой и содержит следующие компоненты.
  1. DataBaseControl – веб-сервис, взаимодействующий только с подсистемой управления, предоставляет доступ к системной БД.
  2. AdminService – веб-сервис, через который осуществляется аутентификация и авторизация пользователей. Этот веб-сервис производит идентификацию подсистем при их запросах к системе. Предоставляет подсистемам список прав доступа пользователя для их обработки.
  3. TisCatalogServer – веб-сервис, который является функциональным аналогом веб-сервиса DataBaseControl, но работает не с подсистемой управления и системной БД, а с подсистемами, подключенными к ТИС, и соответствующими им БД. С его помощью подсистемы имеют возможность создания наборов данных в рамках своих БД для последующей работы с ними.

4. MultiagentSystem совместно с абстрактным классом «Агент» позволяет подсистемам взаимодействовать между собой и обмениваться информацией [14]. Для обмена информацией используется база знаний, основанная на онтологическом словаре «Словарь».
  5. Системная БД – база данных АС, в которой хранится вся системная информация о ТИС, а именно, информация о предприятиях, использующих систему, пользователях, об их ролях и правах доступа, также хранится информация о конфигурировании системы применительно к каждому предприятию.
  6. Одной из важнейших частей системной БД является Реестр. В Реестре хранится информация о подключенных подсистемах, а также информация о данных, предоставляемых подсистемами для последующего взаимодействия между собой и другая информация.
  7. БД подсистем – в рамках ТИС имеется возможность при помощи вышеописанного веб-сервиса TisCatalogServer создавать БД с таблицами, содержащими информацию подключенных подсистем. К каждой БД имеет доступ соответствующая ей подсистема.
2. Подсистема управления – веб-приложение, предоставляющее визуальный интерфейс пользователя. Позволяет:
1. проходить аутентификацию в системе, как в рамках подсистемы управления, так и для дальнейшей переадресации к подключенным подсистемам;
  2. при помощи представленного интерфейса по управлению ТИС, производить администрирование, как ТИС, так и подключенных подсистем, управление БД подсистем и т.д.;
  3. производить конфигурирование системы применительно к каждому предприятию, входящему в расширенное предприятие на основе множества технологических подсистем;
  4. возможен обмен информацией между участниками расширенного предприятия.
3. Приложение «Агент «Словарь» является внешней программой и представляет собой словарную систему ТИС. Приложение описывает онтологию ТПП и предоставляет доступ к онтологической базе технологических терминов [15, 16]. Под онтологией ТПП понимается система, содержащая спецификацию задач и понятий, применяемых в ТПП. В ней формально описываются сферы деятельности, выполняемые приложениями, а также термины, применяемые при описании моделей объектов, циркулирующих в АСТПП. Онтология основана на применении единого «языка», содержащего лингвистический словарь и правила манипулирования единицами словаря. Словарь, который имеется в этой базе, используется при разработке новых агентов технологической системы. Словарь пополняется пользователями – разработчиками и технологами. Такой подход позволяет агентам понимать друг друга, что является необходимым условием для их общения при приеме и передачи моделей объектов и управляющих воздействий. Сложность разработки онтологии обусловлена различной природой объектов, информация о которых циркулирует в АСТПП: это 3D- и 2D-модели деталей и сборочных единиц, модели технологических процессов, разнообразные модели средств технологического оснащения и т.д. Каждая подсистема АСТПП имеет свои форматы данных, и приведение их, например, в нейтральный формат STEP требует разработки нетривиального комплекса преобразователей.

В рамках ТИС допускается использование нескольких подобных приложений, работающих параллельно и описывающих свои онтологические словари. Такие приложения не привязаны к ТИС, они развернуты параллельно и пополняются инженерно-технологическими сотрудниками. В дальнейшем, при формировании технологического агента на базе подсистемы, разработчик использует необходимый «Агент «Словарь» для описания предоставляемой функциональности.

4. PDM-система – внешняя система, используемая для создания единого информационного пространства расширенного предприятия, позволяющая осуществлять документооборот между предприятиями и подразделениями расширенного предприятия. ТИС должна иметь возможность интегрироваться и хранить выходные данные в PDM-системе. На кафедре ТПС Университета ИТМО разработана методика интеграции ТИС с PDM-системой Eovia Smarteam, что позволяет хранить данные в базах этой PDM-системы и совместно с ТИС выполнять технологические проекты.

Для выполнения технологических задач в рамках архитектуры ТИС к системе подключаются подсистемы специального назначения, которые делятся на два типа.

1. Подсистемы – веб-приложения, решающие технологические задачи и входящие в состав ТИС. Подсистемы запускаются из «ТИС-Админ» с учетом прав пользователя, вызывающего приложение, и прав доступа к базам данных (знаний), которые будет использовать приложение.
2. Агенты – подсистемы, способные взаимодействовать между собой в рамках ТИС. Подсистемы имеют возможность расширения до агентов с помощью абстрактного класса «Агент», который запрашивается у администратора системы, что дает возможность взаимодействовать и обмениваться информацией между собой, используя веб-сервис MultiAgentSystem.

Класс «Агент» – абстрактный класс, имеющий начальный набор методов и структур для осуществления обмена информацией. Используя класс «Агент» в качестве родительского, подсистемы получают возможность взаимодействия с другими подсистемами, тем самым получая свойства агента.

### Экспериментальное исследование предложенного подхода

Для проверки правильности предложенного подхода были проведены эксперименты, в которых, кроме системы ТИС-Админ, участвовали следующие системы: ТИС-Процесс для проектирования технологических процессов, ТИС-СТО для сопровождения и поиска технологического оснащения, ТИС-ТАП для формирования базы знаний технологического оснащения и ТИС-Словарь для сопровождения и поиска в словаре. Указанные системы оформлены в виде веб-сервисов. Подсистемы в рамках эксперимента были распределены по различным серверам. Аутентификация, авторизация пользователей и взаимодействие подсистем осуществлялось согласно архитектуре через обращение к ТИС-Админ. Подсистемы запускались на различных веб-браузерах (Opera, Chrome, Internet Explorer), а также на мобильных аналогах браузеров в системах Android и Windows Phone. Эксперименты показали платформенезависимость при работе с системой. На данном этапе производилась функциональная отработка, из которой были сделаны выводы в правильности предложенного подхода и продолжении исследований.

### Заключение

1. Предложенная архитектура веб-ориентированной автоматизированной системы технологической подготовки производства позволяет преобразовать такую систему в корпоративную информационную систему и использовать все достоинства последней.
2. Возможность последовательного расширения создаваемой автоматизированной системы технологической подготовки производства позволяет достаточно просто подключать новые подсистемы и интегрировать их на основе использования словарной системы. Конфигурирование системы применительно к конкретному предприятию на множестве разработанных подсистем и баз данных достигается путем задания соответствующих прав доступа для сотрудников этого предприятия.
3. Многоагентные технологии позволили организовать эффективное взаимодействие между подсистемами и повысить их интеллектуальный уровень при решении технологических задач.
4. Предложенный подход упрощает сопровождение программного и информационного обеспечения подсистем автоматизированной системы технологической подготовки производства за счет централизованного их нахождения в дата-центре.
5. Предложенная архитектура построения автоматизированной системы технологической подготовки производства, в основе которой лежит преобразование системы в корпоративную информационную систему, отвечает, на наш взгляд, стратегическому направлению развития автоматизации технологической подготовки производства.

### References

1. Salomatina A.A. *Metody i algoritmy funktsionirovaniya tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva v informatsionnoi srede virtual'nogo predpriyatiya: Diss. kand. tekhn. nauk* [Methods and algorithms of technological production preparing of in the information environment of virtual enterprise. Eng. sci. diss.]. St. Petersburg, NIU ITMO, 2011, 149 p.
2. Yang N., Zheng H., Yang T., Han X., Xiao T. Modeling of a cooperation environment in a virtual enterprise. *Tsinghua Science and Technology*, 2002, vol. 7, no. 3, pp. 294–298.
3. Jaeger P.T., Lin J., Grimes J.M., Simmons S.N. Where is the cloud? Geography, economics, environment, and jurisdiction in cloud computing. *First Monday*, 2009, vol. 14, no. 5. URL: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/2456/2171> (accessed 03.08.2014).
4. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Momoh O.D. Cloud computing: opportunities and challenges. *IEEE Potentials*, 2014, vol. 33, no. 1, pp. 34–36. doi: 10.1109/MPOT.2013.2279684
5. Kaufman L.M. Data security in the world of cloud computing. *IEEE Security and Privacy*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 61–64. doi: 10.1109/MSP.2009.87
6. Laplante P.A., Zhang J., Voas J. What's in a Name? Distinguishing between SaaS and SOA. *IT Professional*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 46–50. doi: 10.1109/MITP.2008.60
7. Gagnon S., Nabelsi V., Passerini K., Cakici K. The next web apps architecture: challenges for SaaS vendors. *IT Professional*, 2011, vol. 13, no. 5, pp. 44–50. doi: 10.1109/MITP.2011.90
8. Evgenev G.B. Tekhnologiya sozdaniya mnogoagentnykh prikladnykh sistem [Technology for creating the multi-agent application systems]. *Trudy XI Natsional'noi Konferentsii po Iskusstvennomu Intellektu s Mezhdunarodnym Uchastiem* [Proc. XI National Conference on Artificial Intelligence with International Participation]. Moscow, Dubna, 2008, vol. 2, pp. 306–312.
9. Hermans B. Intelligent software agents on the Internet: an inventory of currently offered functionality in the information society and a prediction of (near) future developments. *First Monday*, 1997, vol. 2, no. 3. URL: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/514/435> (accessed 03.08.2014).
10. Filyukov N.E. Tekhnologicheskaya podgotovka proizvodstva kak mnogoagentnaya sistema [Technological preparation of production as a multi-agent system]. *Sbornik Tezisov Dokladov Konferentsii Molodykh*

- Uchenykh* [Abstracts of the Young Scientists Conference]. St. Petersburg, NRU ITMO, 2011, no. 2, pp. 276–277.
11. R 50-54-86-88 *Avtomatizirovannaya sistema tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva. Sostav i poryadok razrabotki* [Automated system of technological preparation of production. Composition and procedure development]. Moscow, VNIINMASH Publ., 1988, 20 p.
  12. RTM 1.4.908-81 *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya tekhnologicheskoi podgotovkoi proizvodstva (izgotovleniya i sborki) agregatov. Organizatsionnye printsipy postroeniya* [The automated control system of technological production preparing (manufacturing and assembly) units. Organizational principles]. NIAT Publ., 1982, 39 p.
  13. Filyukov N.E. Modul' administrirovaniya veb-tsentrichnoi ASTPP [Administration module of web centric cam system]. *Sovremennoe Mashinostroenie. Nauka i Obrazovanie*, 2013, no. 3, pp. 610–616.
  14. Filyukov N.E. Vzaimodeistvie tekhnologicheskikh intellektual'nykh agentov v tekhnologicheskoi integrirovannoi srede [Interaction technology of intelligent agents in a technological integrated environment]. *IX Vserossiiskaya Mezhvuzovskaya Konferentsiya Molodykh Uchenykh. V Sessiya Nauchnoi Shkoly "Problemy Mekhaniki i Tochnosti v Priborostroenii". Sbornik Dokladov* [Proc. IX All-Russian Inter-University Conference of Young Scientists. V Session of scientific School Mechanics and Accuracy Problems at Instrument Making]. St. Petersburg, NRU ITMO, 2012, pp. 137–141.
  15. Filyukov N.E. Ontologiya mul'tiagentnykh agentov v veb-tsentrichnoi ASTPP [Ontology of multi agents in a web centric CAM]. *Trudy XII Mezhdunarodnoi Konferentsii «Sistemy Proektirovaniya, Tekhnologicheskoi Podgotovki Proizvodstva i Upravleniya Etapami Zhiznennogo Tsikla Promyshlennogo Produkta»* [Proc. XII Int. Conf. System design, technological preparation of production and management phases of the life cycle of an industrial produc"]. Moscow, 2012, pp. 313–314.
  16. Sundresh T.S. Semantic reliability of multi-agent intelligent systems. *Bell Labs Technical Journal*, 2006, vol. 11, no. 3, pp. 225–236. doi: 10.1002/bltj.20191

**Филоков Николай Евгеньевич** – аспирант, Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия, badfilin@gmail.com

**Nikolay E. Filyukov** – postgraduate, ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia, badfilin@gmail.com

Принято к печати 03.04.14  
Accepted 03.04.14