

УДК 681.5:004.896  
ББК 32.965:32.973

*А. А. Большаков, Д. Ю. Петров*

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

*A. A. Bolshakov, D. Yu. Petrov*

## SOFTWARE COMPLEX OF MANAGEMENT OF MECHATRONIC SYSTEMS' LIFECYCLE

Описаны результаты создания распределенной вычислительной среды для интеграции систем управления требованиями, определения надежности, проектирования механических электронных компонентов мобильных роботов, диагностики и разработки программного обеспечения системы управления. Для этого использовано программное обеспечение IBM Doors, IBM Rhapsody, QNX Neutrino на основе оборудования MK905, Fastwel I/O, AS SAM 9 и ADIS 16405. Система диагностики мобильного робота реализована с применением технологий компании National Instruments.

**Ключевые слова:** управление жизненным циклом, мехатронная система, программный комплекс, распределенная вычислительная среда, мобильный робот.

The results of creation of a distributed computing environment for the integration of requirement management systems, for determination of the reliability, designing mechanical and electronic components of mobile robots, diagnostics and software development of management system are described. For that, the software IBM Doors, IBM Rhapsody, QNX Neutrino based on the equipment MK905, Fastwel I/O, AS SAM 9 and 16405 ADIS are used. Diagnostic system of the mobile robot is implemented with the use of the technology of National Instruments company.

**Key words:** lifecycle management, mechatronic system, software complex, a distributed computing environment, mobile robot.

### Введение

Современные мобильные роботы (МР) могут быть использованы для решения различных задач в экстремальных условиях, в частности в области охраны и мониторинга, для патрулирования потенциально опасных мест химических предприятий, в военной области: для установки, поиска и обезвреживания мин; поиска, обнаружения целей и наблюдения за ними; транспортировки боеприпасов и других средств боевого обеспечения; доставки оружия на огневой рубеж и уничтожения целей; для проведения спасательных и аварийных работ в зонах экологических катастроф [1]. Таким образом, большая часть МР разрабатывается для работы во вредных или опасных для человека условиях.

Обеспечение быстрой разработки и эффективного выполнения функций МР возможно на основе интегрированного применения технологий управления жизненным циклом. Эти технологии можно разделить на пять групп:

1. Анализ надежности, безопасности, технического риска на основе программного комплекса (ПК) «Арбитр».
2. Управление жизненным циклом аппаратных средств Siemens PLM Software.
3. Управление жизненным циклом программного обеспечения МР на базе методики Telelogic Harmony и сред IBM Rhapsody, QNX Momentics IDE.
4. Автоматизация производства TIA.
5. Эксплуатация и обслуживание МР по состоянию и учет ресурса в системах IC и (или) SAP R/3.

В результате успешно проведенных научно-исследовательских работ в течение последних трех лет на факультете электронной техники и приборостроения Саратовского государственного

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования РФ «Разработка распределенной вычислительной среды для создания систем управления жизненным циклом мобильных мехатронных систем» № 02.740.11.0482 (шифр: 2009-1.1-000-082) в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

технического университета разработана образовательная среда управления жизненным циклом МР (рис. 1). Она предназначена для обучения студентов созданию систем управления реального времени и изучения особенностей управления жизненным циклом встраиваемых систем.

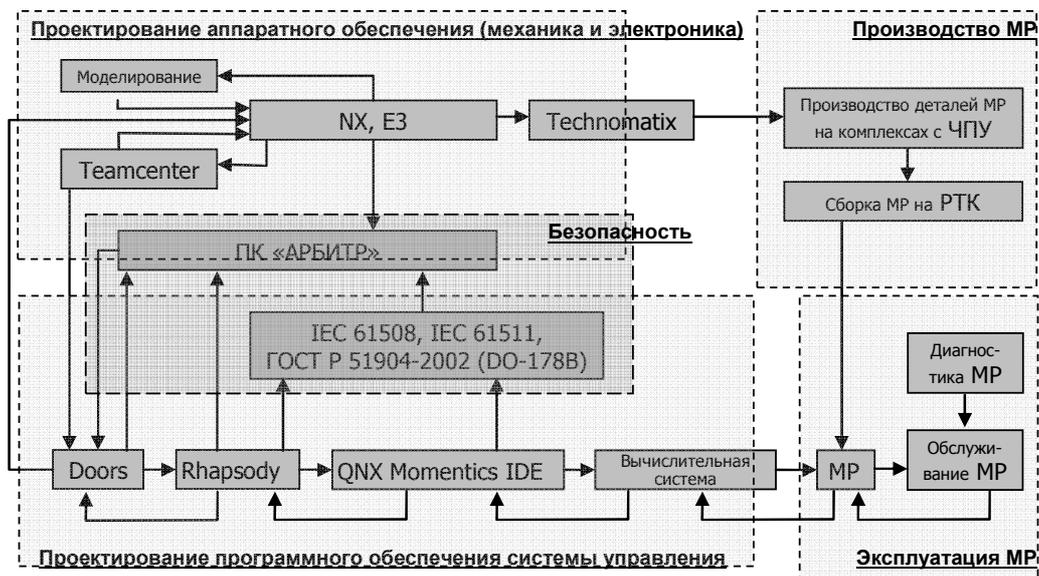


Рис. 1. Интегрированная система управления жизненным циклом мобильного робота

Образовательная среда включает в себя систему управления ресурсами предприятия SAP ERP, систему управления жизненным циклом изделий машиностроения Siemens PLM Software, операционную систему QNX Neutrino, среду разработки программного обеспечения QNX Momentics IDE, среду моделирования программного обеспечения IBM Rhapsody, ПК расчета надежности «Арбитр» и аппаратные средства.

В состав аппаратных средств входят одноплатный компьютер CPB905 с интерфейсом PC104+ (компания Fastwel) и распределённой периферией FASTWEL I/O, плата CNM-350 формата PC104+, обеспечивающая навигацию ГЛОНАСС/GPS, одноплатный компьютер AS SAM9 с интерфейсом SPI (компания «Аргусофт»), гироскоп ADIS16405 (компания Analog Devices), стереоскопическая камера VEA-830 (компания «ЭВС»), радиомодемы Невод-5 (компания «Геолинк»), комплекс датчиков исполнительных устройств, мобильная платформа МП-М4401, система управления электропитанием и диагностическая система на основе оборудования Single Board RIO 9631 (компания National Instruments).

Далее рассмотрим подробнее описанные выше пять групп технологий.

### Технология управления требованиями и функционального анализа

Для формирования требований и их изменений в процессе разработки мехатронной системы используется программный пакет Doors, интегрированный с системой Teamcenter.

Проектная оценка надежности МР выполнена по методике, основанной на применении новой информационной технологии автоматизированного структурно-логического моделирования систем, реализованной в ПК «Арбитр» [2] (рис. 2).

Надежность и безопасность современных организационных и технических систем являются важной составляющей их качества и необходимым условием обеспечения надежности и безопасности производственных объектов. Главная цель анализа надежности и безопасности – своевременное получение достоверной информации о свойствах надежности и безопасности систем, необходимой для выработки, обоснования и реализации эффективных проектных и эксплуатационных решений.

ПК «Арбитр» позволяет на основе схем функциональной целостности (описание «правильного» функционирования объекта) автоматически строить деревья отказов, которые являются основой для построения систем технической диагностики сложных объектов управления.

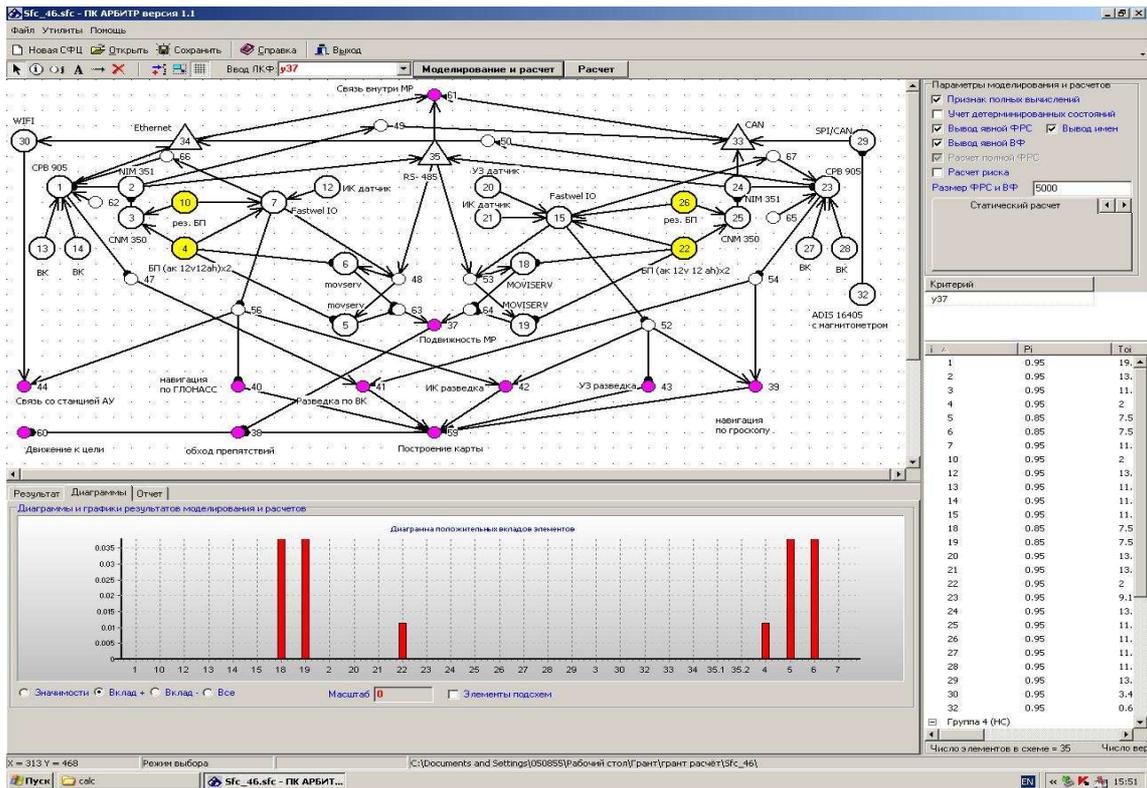


Рис. 2. Применение ПК «Арбитр» для анализа надежности и безопасности МР

При создании встраиваемых систем с ранних этапов жизненного цикла необходимо учитывать требования специальных стандартов: ГОСТ Р 51904-2002, IEC 61508 и IEC 61511. Стандарт ГОСТ Р 51904-2002 «Программное обеспечение встроенных систем: общие требования к разработке и документированию» является аналогом стандарта DO-178B.

### Технологии управление жизненным циклом аппаратных средств МР

Повышение эффективности функционирования и конкурентоспособности машиностроительных предприятий в современных условиях невозможно без автоматизации управления жизненным циклом продукции (PLM – Product Lifecycle Management). Концепция PLM предполагает интеграцию в единой базе данных предприятия исчерпывающей информации об изделиях и производственных процессах на всех этапах жизненного цикла. Системы PLM объединяют САПР, САМ, PDM и технологии производства в единое целое с новыми качественными возможностями и обеспечивают предприятиям лидирующие позиции на основе инновационного совершенствования изделий.

Одной из наиболее эффективных PLM-систем является система компании Siemens PLM Software (рис. 3), которая состоит их трех подсистем: проектирования изделий «NX»; автоматизированной подготовки производства «Tecnomatix»; управления и хранения информации об изделиях «Teamcenter» [3].



Рис. 3. Управление жизненным циклом аппаратных средств МР

### Технологии управление жизненным циклом программного обеспечения мобильных роботов

Основой сложных мехатронных систем являются операционные системы жесткого реального времени LynxOS-178, VxWorks AE 653, Microware OS-9, OC2000, QNX Neutrino. По критерию технологической независимости в России можно использовать только операционные системы QNX Neutrino и OC2000. Интегрированная среда разработки QNX Momentics IDE обеспечивает, помимо разработки и компиляции приложений встраиваемых систем для работы в операционной системе QNX Neutrino для нескольких аппаратных платформ (MIPS, PowerPC, StrongARM/xScale, SH-4, x86), их отладку, анализ производительности и системное профилирование. Она позволяет анализировать взаимодействия процессов и потоков, эффективность обработки прерываний, т. е. поведение системы в целом в условиях лимита времени. На основе микроядерной операционной системы QNX Neutrino и сети Qnet с несколькими вычислительными узлами реализуются вычислительные кластеры для распараллеливания вычислений и повышения надежности вычислительной системы в целом.

Для разработки системы управления МР применена методика управления жизненным циклом программного обеспечения Harmony. Эта методика реализована в среде визуального моделирования IBM Rhapsody на основе нотаций UML 2.1. и SysML.

Разработка системы управления МР начинается с определения требований к ней. Для хранения сформулированных требований и их изменений в процессе разработки системы управления МР используется программный пакет Doors (рис. 4). Требования передаются в среду визуального моделирования IBM Rhapsody, которая обеспечивает модельно-управляемую разработку программного обеспечения для встраиваемых систем.

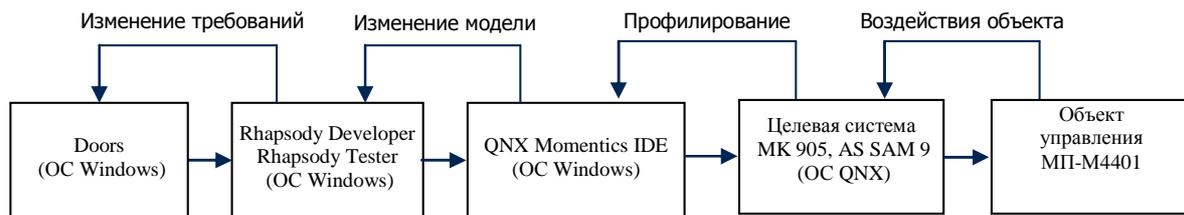


Рис. 4. Цикл разработки программного обеспечения

В диаграмме вариантов использования (ВИ) (прецедентов) определены рамки исследуемой системы, взаимосвязи ее элементов между собой и взаимодействие системы с внешними подсистемами (актерами). Каждый из ВИ формируется на основе требования и описывает в виде вербальных алгоритмов часть функциональности системы. Далее ВИ возвращает результат своей работы актерам, не раскрывая деталей внутренней реализации этой функциональности. В структурной диаграмме из прецедентов формируются подсистемы в виде программных объектов и описываются порты взаимодействия этих объектов и внешних подсистем.

При моделировании одновременно выполняется автоматическая кодогенерация на языках программирования C, C++, Java в интегрированной среде разработки QNX Momentics IDE для операционной системы жесткого реального времени QNX Neutrino. Система IBM Rhapsody позволяет тестировать текущие результаты на любом этапе процесса разработки: от анализа требований до готовой встраиваемой системы и позволяет сократить его длительность. Она поддерживает инструменты конфигурационного управления версиями (Subversion, CVS и др.).

Описанные выше технологии позволили разработать систему управления МР с подсистемами технического зрения, планирования траектории движения отдельного робота и управления группой с учетом состава и остаточного заряда аккумуляторных батарей.

### Технологии производства мобильных роботов

Современный уровень автоматизации отдельных технологических процессов (ТП) достаточно высок, этому способствует значительное разнообразие средств их автоматизации. В таких

условиях повышение эффективности функционирования промышленных предприятий основано на построении интегрированных АСУ на базе одной из концепции комплексной автоматизации. Наиболее эффективной является концепция Totally Integrated Automation (TIA), разработанная фирмой Siemens [4].

Уровень АСУ ТП в этой концепции реализуется на основе применения системы управления процессами SIMATIC PCS 7 (Process Control System).

SIMATIC PCS 7 – программно-технический комплекс, состоящий из промышленных контроллеров SIMATIC S7-400 и станций распределенной периферии SIMATIC ET200 с расширенными функциями диагностики; промышленных компьютеров SIMATIC PC; программного обеспечения SIMATIC; средств человеко-машинного интерфейса SIMATIC HMI; промышленных сетей SIMATIC NET и DP.

Основными достоинствами PCS7 являются масштабируемость проектов; увеличение скорости разработки; решение вопросов обслуживания и построения в рамках единой системы; переход от программирования к конфигурированию систем; применение типовых компонентов обычных систем SIMATIC S7 для разработки систем противоаварийной защиты; реализация уровня безопасности SIL 3 и АК 6 на обычных CPU; обеспечение работы систем управления во взрывоопасных зонах (Ex-зонах); взаимодействие с уровнями АСУ предприятия и АСУ производственных процессов.

Для демонстрации возможностей этих информационных технологий разработаны модели роботизированных технологических комплексов на основе оборудования компании Fischertechnik, управляемые оборудованием компании Siemens.

#### **Технологии диагностики мобильных роботов**

Построение эффективных средств в области мехатроники и робототехники неразрывно связано с созданием соответствующих инструментальных сред для испытания навигационных систем МР. Построение испытательных стендов различного назначения, разработка методик оценки надежности, контроля и диагностики МР в целом и входящих в его состав подсистем является актуальной научно-технической задачей, обеспечивающей качество функционирования оборудования и увеличивающей срок его эксплуатации.

Эффективное выполнение функций МР возможно на основе интегрированного применения технологий управления его эксплуатацией и обслуживанием. Эти технологии можно разделить на три группы:

1. Система автоматического построения тестов сложного программного обеспечения.
2. Система автоматизированного тестирования и диагностики МР.
3. Разработка системы математической обработки информации об испытаниях МР.

Для калибровки и диагностики датчиков и исполнительных устройств МР разработан диагностический стенд (рис. 5). Стенд позволяет отключить датчики и подключать диагностическое оборудование на базе National Instruments Single Board RIO 9631 (SB RIO9631) к системе управления МР. Это позволяет создать управляемую виртуальную внешнюю среду для наладки и тестирования системы управления МР.

Диагностический стенд состоит из трёх подсистем: системы управления (СУ МР), датчиков и исполнительных устройств (Д/ИУ) и диагностической системы на базе SB RIO9631. На рис. 6 приведены три схемы работы диагностического стенда:

- а) соединение системы управления мобильным роботом с датчиками и исполнительными устройствами (основной режим работы);
- б) соединение диагностического оборудования с датчиками и исполнительными устройствами (режим калибровки и поверки);
- в) соединение системы управления МР с диагностическим оборудованием (режим управляемой виртуальной внешней среды).

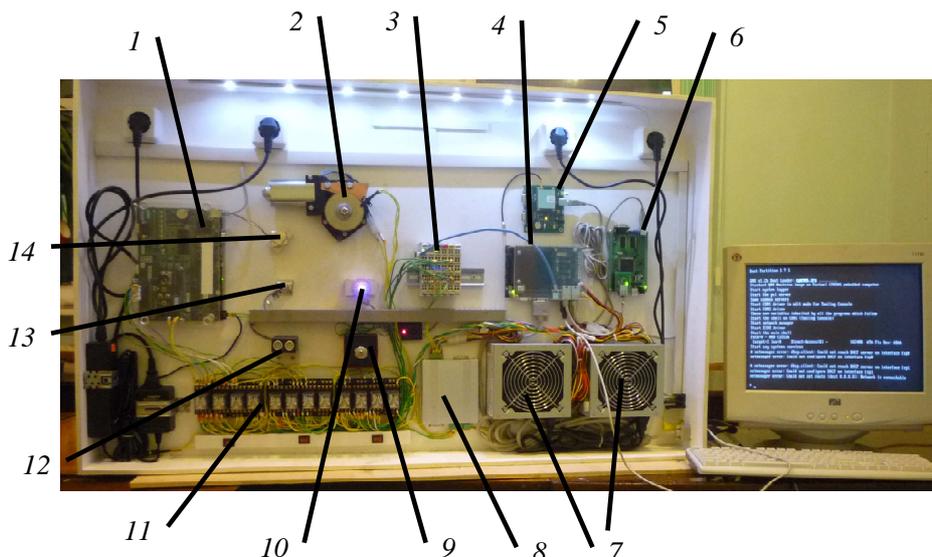


Рис. 5. Структурная схема диагностического стенда для мобильного робота:  
 1 – диагностическое оборудование SB RIO 9631; 2 – электродвигатель с энкодером;  
 3 – система распределённого ввода/вывода Fastwel I/O; 4 – система управления  
 мобильным роботом CPB905; 5 – навигационный модуль «Геос-1»; 6 – система управления AS-SAM 9;  
 7 – источники питания 12В,5В; 8 – сервоусилитель MOVISERVO; 9 – датчик температуры  
 ДТС3105-РТ100.В2.70; 10 – датчик линии; 11 – группа реле РЭК 78/4; 12 – ультразвуковой датчик;  
 13 – инфракрасный барьер; 14 – гироскоп

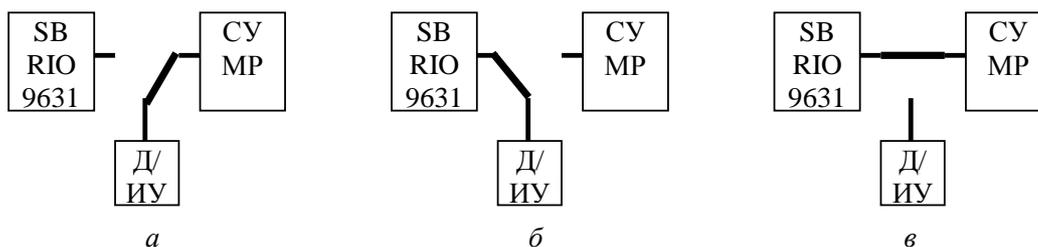


Рис. 6. Схемы подключения подсистем диагностического стенда

Для тестирования системы ввода/вывода Fastwel I/O используется SDK, разработанный компанией Fastwel (г. Москва) для операционной системы QNX6.

Программное обеспечение LabVIEW представляет собой хороший инструмент для выполнения точных измерений, начиная от сбора данных и до вывода результатов. Система National Instruments позволяет расширять возможности LabVIEW на основе набора утилит, которые разработаны для того, чтобы упростить снятие показаний с датчиков различных устройств, а также для формирования сигналов для исполнительных устройств.

Системы диагностики могут быть интегрированы с системами 1С и SAP, которые помимо основной функциональности по управлению организационными системами обеспечивают, на основе управления бизнес-процессами, учет состояния и управление обслуживанием сложного оборудования.

### Заключение

Таким образом, в результате научно-исследовательских работ созданы методы и модели управления жизненным циклом мобильных мехатронных систем с использованием вычислительных распределенных сред, создан экспериментальный образец мобильного робота, проведено его испытание.

В выполнении работ на протяжении двух лет участвовало более 40 студентов и 20 преподавателей. По тематике работ пять студентов стали лауреатами конкурса «УМНИК», один – победителем конкурса «Старт» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Другими важным результатом этой работы стало создание в Саратовском государственном техническом университете учебно-научно-производственного центра «Мехатроника, автоматизация и управление в промышленности», на базе которого подготовлены студенческие проекты, занявшие призовые места в следующих конкурсах:

1. Второе общекомандное место на Третьем Всероссийском робототехническом фестивале (Москва, 8–9 апреля 2011 г.).
2. Первое и третье места в Российском финале конкурса Microsoft Imagine CUP 2011 Embedded Systems (Москва, 15–16 апреля 2011 г.).
3. Седьмое место в Международном финале конкурса Microsoft Imagine CUP 2011 Embedded Systems (Нью-Йорк, 7–14 июля 2011 г.).
4. Четвертое место в соревнованиях «Робокросс» (оз. Селигер, 2–12 июля 2011 г.).
5. Семнадцатое место в Международных соревнованиях «ABU ROBOCON-2011» (Бангкок, 24–26 августа 2011 г.).
6. Приглашение на 14-ю Международную конференцию CLAWAR-2011 (Париж, 5–9 сентября 2011 г.).
7. Первое и второе место на межрегиональных соревнованиях «Селиас» (г. Астрахань, 5–14 сентября 2011 г.).

Разработка образовательной среды управления жизненным циклом мобильного робота обеспечила получение студентами практических навыков при создании сложных технических систем и позволила создать современную техническую базу для проведения научных исследований в области мехатроники, являющуюся одним из приоритетных направлений развития России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Интеллектуальные робототехнические системы: тенденции развития и проблемы разработки* / И. М. Макаров и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 10. – С. 7-18.
2. *СПИК СЗМА* [Электронный ресурс]: Программный комплекс АРБИТР – Режим доступа: <http://www.szma.com>.
3. *Торопов Д. Н., Терликов В. В. Teamcenter. Начало работы.* – М.: ДМК Пресс, 2011. – 280 с.
4. *Промышленная автоматизация в России* [Электронный ресурс]: Кузнецов К. Н. SIMATIC Process Control System 7 – новейшая система управления от фирмы Siemens. – Режим доступа: [http://www.industrialauto.ru/Reviews/sms\\_articles/pcs7.htm](http://www.industrialauto.ru/Reviews/sms_articles/pcs7.htm).

Статья поступила в редакцию 26.12.2011

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Большаков Александр Афанасьевич** – Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры «Системы искусственного интеллекта»; [aabolshakov57@gmail.com](mailto:aabolshakov57@gmail.com).

**Bolshakov Alexander Afanasievich** – Saratov State Technical University named after Yu. A. Gagarin; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department "Artificial Intelligence Systems"; [aabolshakov57@gmail.com](mailto:aabolshakov57@gmail.com).

**Петров Дмитрий Юрьевич** – Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, Саратов; канд. техн. наук, старший научный сотрудник; [iac\\_sstu@mail.ru](mailto:iac_sstu@mail.ru).

**Petrov Dmitriy Yurievich** – Institute of Problems of Exact Mechanics and Management of the Russian Academy of Sciences, Saratov; Candidate of Technical Sciences; Senior Research Assistant; [iac\\_sstu@mail.ru](mailto:iac_sstu@mail.ru).