

Образовательная среда управления жизненным циклом мобильных роботов

Дмитрий Петров

На факультете электронной техники и приборостроения Саратовского ГТУ разработана образовательная среда управления жизненным циклом мехатронных систем. Создана современная техническая база для проведения научных исследований в области мехатроники. Образовательная среда обеспечила получение студентами практических навыков при создании сложных технических систем и помогла им в 2011 году стать призёрами многих всероссийских и международных конкурсов.

СТРУКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Мобильные роботы используются для решения различных задач в экстремальных условиях: для охраны и мониторинга объектов, транспортировки опасных грузов, проведения спасательных и аварийных работ в зонах экологических катастроф [1]. В связи с этим большая часть мобильных роботов разрабатывается для работы во вредных или опасных для человека условиях. Эти условия могут меняться, и имеющаяся техника часто становится неэффективной.

Обеспечение быстрой разработки мобильного робота (МР), эффективно выполняющего новые функции по вновь сформулированным требованиям, возможно на основе интегрированного применения технологий управления жизненным циклом мехатронных систем. Эти технологии можно разделить на пять групп:

- 1) системный анализ и управление требованиями;
- 2) управление жизненным циклом механических и электронных компонентов МР на основе технологий Siemens PLM Software;
- 3) управление жизненным циклом программного обеспечения МР на базе методики Telelogic Harmony и сред разработки IBM Rhapsody, QNX Momentics IDE;
- 4) автоматизация производства МР на основе концепции Totally Integrated Automation (TIA);
- 5) разработка диагностических систем на основе технологий National Instruments

и техническое обслуживание МР по периодам и фактическому состоянию.

На факультете электронной техники и приборостроения Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина разработана образовательная среда управления жизненным циклом мехатронных систем, которая объединила все перечисленные технологии (рис. 1). Этот результат получен в 2009–2011 годах в рамках проведения научно-исследовательской работы Министерства образования РФ «Разработка распределённой 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.

Образовательная среда предназначена для обучения студентов созданию си-

стем управления реального времени и изучения особенностей управления жизненным циклом сложных встраиваемых систем. Она включает в себя комплекс управления ресурсами предприятия SAP ERP, комплекс управления машиностроительным производством Siemens PLM Software, операционную систему QNX Neutrino, среду разработки программного обеспечения QNX Momentics IDE, среду моделирования программного обеспечения IBM Rhapsody, систему управления требованиями IBM Doors, программный комплекс расчёта надёжности АРБИТР и аппаратные средства.

В состав аппаратных средств входят одноплатный компьютер МК905 с интерфейсом PC/104+ (компания FASTWEL) с модулями ввода/вывода системы FASTWEL I/O; модуль CNM-350 навигации ГЛОНАСС/GPS; отладочная плата SK-AT91SAM9260-SIM508 (компания Starterkit) с микроконтроллером фирмы At-

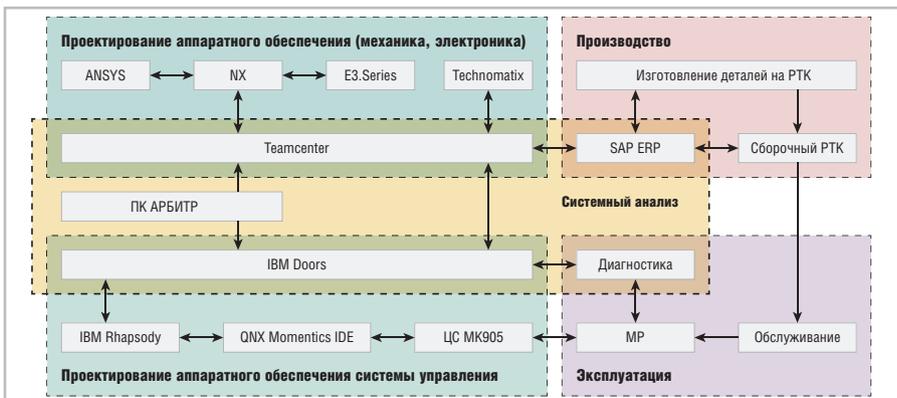


Рис. 1. Интегрированная система управления жизненным циклом мобильного робота

mel AT91SAM9260; девятиканальный инерциальный микромеханический датчик ADIS16405 (компания Analog Devices); стереоскопическая камера VEA-830 (компания ЭВС); радиомодем «Невод-5» (компания ГЕОЛИНК); комплекс аналоговых и дискретных датчиков; исполнительные устройства; мобильная платформа МП-М4401 (компания Technovision); система управления электропитанием; диагностическая система на основе оборудования Single Board RIO 9631 (компания National Instruments).

Рассмотрим подробнее технологии управления жизненным циклом механических систем.

Системный анализ и управление требованиями

Для преобразования идеи в изделие необходимо соответствие функциональных требований к изделию требованиям клиентов и рынка, соответствие изделия нормативным актам, требованиям качества, цены и т.п. Для установления структурных связей между этими разнородными требованиями к изделию применяются методы и процедуры системного анализа.

В образовательной среде для формирования требований к МР и управления

их изменениями в процессе разработки используются системы IBM Doors и Teamcenter (рис. 1). IBM Doors адаптирована к управлению требованиями к программному обеспечению и решению ряда задач системного анализа. Teamcenter является компонентом системы управления жизненным циклом Siemens PLM Software, широко применяемым на машиностроительных предприятиях,

особенно в отраслях, выпускающих изделия с высокой плотностью компоновки и большим числом деталей.

С помощью интеграции созданных в IBM Doors требований в единую управляемую Teamcenter среду PLM становится возможным более четкое представление на протяжении всего жизненного цикла каждого требования, относящегося к механике, электронике,

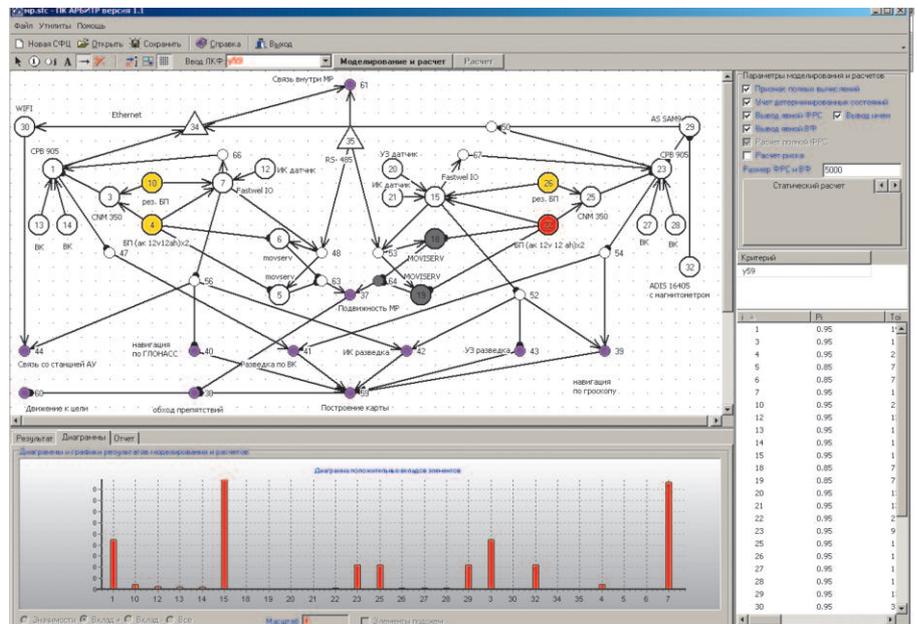


Рис. 2. Анализ надежности и безопасности выполнения функций мобильного робота



Рис. 3. Управление жизненным циклом в Siemens PLM Software

программному обеспечению и т.д. С целью поддержки высокого уровня трассируемости изменения требований выполняются в IBM Doors. Teamcenter способствует междисциплинарной замкнутой обратной связи, распознавая требования, которые находятся под угрозой нарушения или уже нарушены при выполнении изменений требований и элементов проектирования [2].

Надёжность и безопасность современных технических систем являются важными составляющими качества и необходимым условием их эффективной эксплуатации. Главная цель анализа надёжности и безопасности — своевременное получение достоверной информации о надёжности и безопасности систем, необходимой для выработки, обоснования и реализации эффективных проектных и эксплуатационных решений.

С помощью программного комплекса АРБИТР [3] на начальных этапах проектирования можно построить модель и получить оценку надёжности, безопасности и технического риска выполнения заданных функций МР (рис. 2). Для этого используется методика автоматизированного структурно-логического моделирования систем.

Программный комплекс АРБИТР позволяет на основе схем функциональной целостности (описание «правильного» функционирования объекта) автоматически строить деревья отказов, которые являются основой для разработки систем технической диагностики сложных объектов управления. При создании встраиваемых систем с самых ранних этапов жизненного цикла необходимо учитывать требования специальных стандартов, таких как ГОСТ Р 51904-2002, ИЕС 61508 и ИЕС 61511.

Управление жизненным циклом аппаратных средств

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 необходимой информации об изделиях и производственных процессах на всех этапах жизненного цикла.

Она объединяет системы проектирования, подготовки производства и моделирования изделий (CAD/CAM/CAE), управления данными об изделиях (PDM) и технологии производства в единое целое с новыми качественными возможностями и обеспечивает предприятиям лидирующие позиции посредством инновационного совершенствования изделий.

Одной из наиболее эффективных является PLM-система компании Siemens PLM Software. Она состоит из трёх подсистем: проектирования изделий — NX [4]; моделирования подготовки производства — Tecnomatix; управления и хранения информации об изделиях — Teamcenter [5]. Её структура и этапы жизненного цикла изделия показаны на рис. 3. На рис. 1 показано взаимодействие подсистемы NX с системой конечно-элементного анализа ANSYS и с программным комплексом E3.Series, который позволяет решить полный цикл задач разработки в области проектирования систем электротехники.

Управление жизненным циклом программного обеспечения

Основой сложных мехатронных систем являются операционные системы жёсткого реального времени, такие как LynxOS-178, VxWorks AE 653, Microware OS-9, OC2000 и QNX Neutrino. В России широкое применение получила QNX Neutrino [6]. 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 выполнить анализ взаимодействия процессов и потоков, анализ эффективности обработки прерываний, то есть оценить поведение системы в целом в условиях ограниченный по времени. На основе микроядерной операционной системы QNX Neutrino и сети QNet с несколькими вычислительными узлами реализуются вычислительные кластеры для распараллеливания вычислений и повышения надёжности вычислительной системы.

Для разработки системы управления МР применена методика управления жизненным циклом программного обеспечения Harmony, которая реализована в среде визуального моделирования IBM Rhapsody на основе нотаций UML 2.1. и SysML [7].

Требования к системе управления МР из системы IBM Doors передаются в среду визуального моделирования IBM Rhapsody, которая обеспечивает модельно-управляемую разработку программного обеспечения для встраиваемых систем. При моделировании одновременно выполняется автоматическая кодогенерация на языках программирования C, C++, Java в интегрированной среде разработки QNX Momentics IDE для операционной системы QNX Neutrino (рис. 1). IBM Rhapsody позволяет тестировать текущие результаты на любом этапе процесса разработки — от анализа требований до готовой встраиваемой системы — и сократить временные затраты. IBM Rhapsody поддерживает инструменты конфигурационного управления (Subversion, CVS и др.). Примеры разработанных для МР структурной диаграммы и вариантов использования приведены на рис. 4.

Целевой системой (ЦС) для разработки системы управления мобильным роботом является МК905 с интерфейсом PC/104+ (компания FASTWEL) с модулями ввода/вывода системы FASTWEL I/O, для которой созданы инструментальные средства разработки ПО (SDK) для операционной системы QNX Neutrino.

На основе этих технологий разработана система управления МР с подсистемами технического зрения, навигации, диагностики, планирования траектории движения отдельного робота и управления группой с учётом состава и остаточного заряда аккумуляторных батарей.

Изготовление МР

Повышение эффективности функционирования промышленных предприятий предполагает построение интегрированных АСУ. Одной из наиболее эффективных концепций комплексной автоматизации является концепция ТИА, предложенная компанией Siemens [8]. Для обучения студентов созданию таких систем разработан программно-аппаратный комплекс, который включает в себя системы SAP ERP, WinCC, Step7, а также модель двух роботизированных технологических комплексов (РТК) и двух МР (рис. 5).

Система SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing) обеспечивает управление производством на верхнем

уровне, решая задачи планирования и отслеживания сбоя, закупки, планирования производства и др. Для её интеграции с производственными подсистемами используется платформа МП (Media Independent Interface – не зависящий от среды передачи интерфейс). МП обеспечивает создание системы, собирающей, агрегирующей, объединяющей, обрабатывающей и формирующей информацию всех систем предприятия и при необходимости выдающей данную информацию пользователю. Платформа МП выполняет функции соединения с источником

данных, извлечения, преобразования, накопления и передачи данных. Система SAP ERP (управление ресурсами предприятия) формирует на основе взаимодействия с подсистемой Teamcenter и передаёт в производственную подсистему план выпуска изделий (рис. 1).

Управление производственной подсистемой реализовано на базе SCADA-системы WinCC компании Siemens и промышленных контроллеров Simatic S7-315F, станций распределённого ввода/вывода ET200S, сенсорных дисплеев TP177B. Также здесь используются эле-

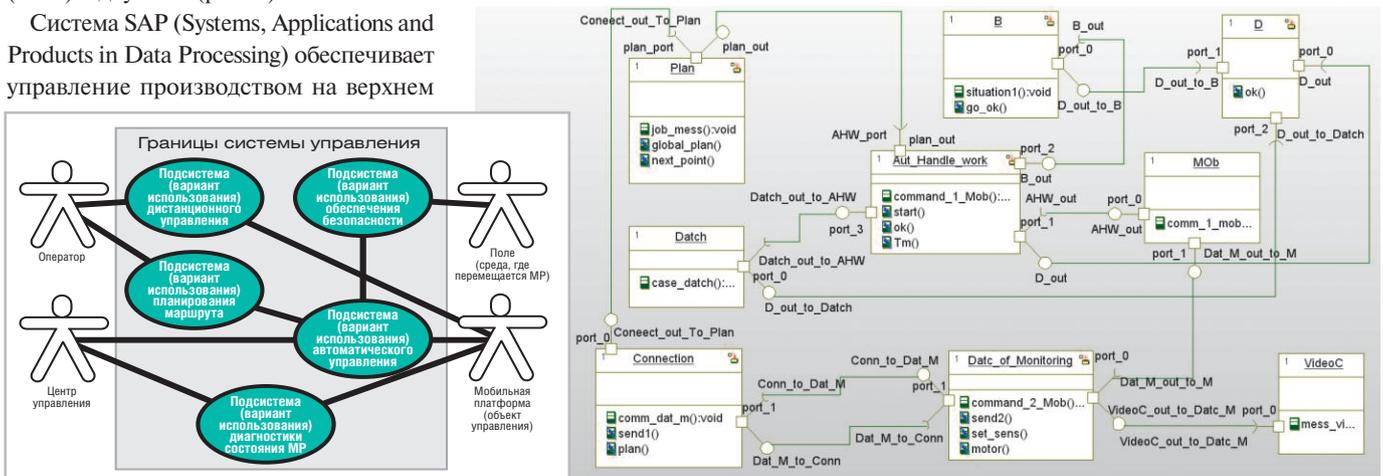


Рис. 4. Диаграмма вариантов использования и структурная диаграмма мобильного робота

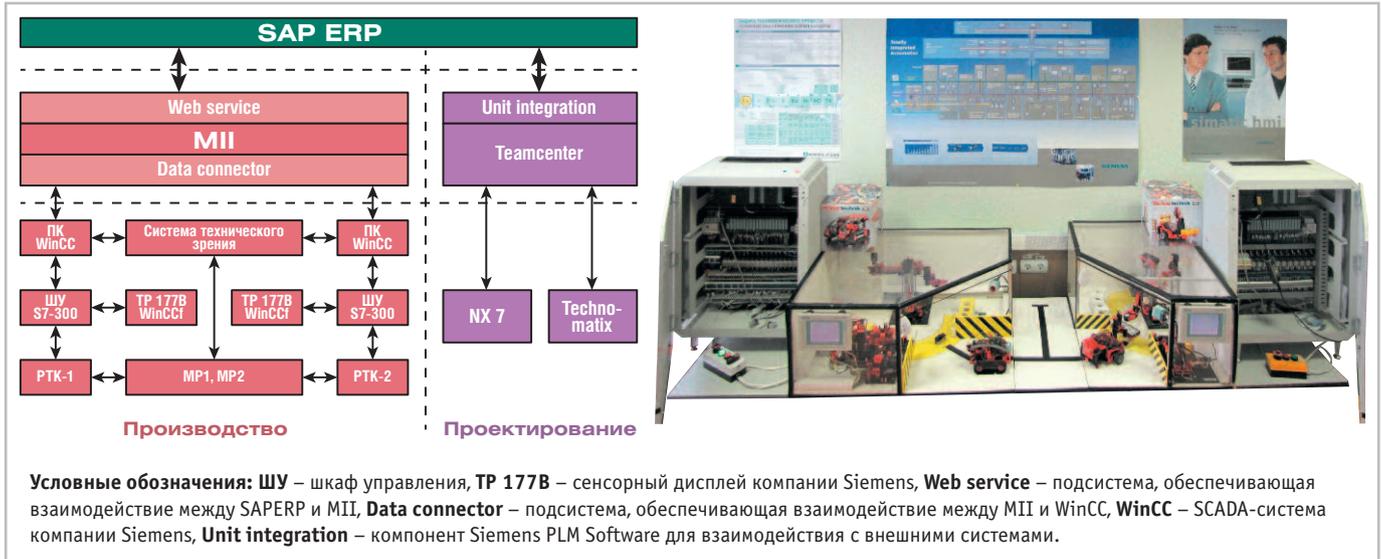


Рис. 5. Структура и общий вид макета интегрированной АСУ производством мобильных роботов

менты системы безопасности Safety Integrated на основе световых барьеров и средств сигнализации.

Объект управления состоит из двух РТК, которые имитируют изготовление деталей и сборку. Первый РТК включает робот-манипулятор, транспортёр с позицией обработки, систему взвешивания Siwagex, магазин для хранения заготовок, готовых и бракованных деталей. Второй РТК состоит из пневматического сборочного центра, поворотного стола, транспортёра, системы взвешивания Siwagex и робота-манипулятора. Два МР перемещают модели заготовок и готовых деталей между РТК. МР компании Fischertechnik программируются с помощью среды разработки RoboPro. Система управления МР через беспроводной интерфейс интегрирована с системой WinCC и системой технического зрения.

Системы технического зрения и взвешивания позволяют имитировать функционирование производственной подсистемы анализа качества выпускаемых изделий. Результаты передаются в систему SAP ERP, где определяется и анализируется эффективность производства.

Данный комплекс позволяет моделировать интегрированные АСУ, и молодые специалисты получают опыт решения многих практических задач, связанных с разработкой таких систем.

Диагностика и обслуживание

Эффективное выполнение функций МР возможно только на основе интегрированного применения технологий управления его эксплуатацией и обслуживанием. Возможности современных встраиваемых систем обеспечивают со-

хранение подробной телеметрической информации. Применение специальных систем анализа этой информации позволяет повысить надёжность МР и повысить эффективность их обслуживания.

Для отладки и диагностики системы управления МР разработан диагностический стенд (рис. 6), который состоит из пяти подсистем (элементы каждой подсистемы перечислены слева направо и сверху вниз):

- 1) диагностическая подсистема (плата National Instruments SBRIO 9631, модуль NI 9401);
- 2) исполнительное устройство (двигатель постоянного тока с энкодером) и датчики (гироскоп CRS03-02S, инфракрасный барьер, датчик контрастных меток, ультразвуковой датчик, датчик температуры ДТС3105-РТ100.В2.70);

- 3) система управления («Геос-1» – навигационный модуль, FASTWEL I/O – система распределённого ввода/вывода, СРВ905 – процессорный модуль формата 3,5", AS-SAM9 – отладочная плата, MOVISERVO – контроллер двигателя постоянного тока);
- 4) подсистема переключения (группа реле РЭК 78/4, 12);
- 5) блоки питания 24, 12 и 5 В.

Подсистема переключения обеспечивает три режима работы диагностического стенда:

- 1) соединение системы управления с датчиками и исполнительными устройствами мобильного робота (основной режим);
- 2) соединение диагностической подсистемы с датчиками и исполнительными устройствами (режим калибровки и поверки);
- 3) соединение системы управления МР с диагностическим оборудованием (режим виртуальной внешней среды).

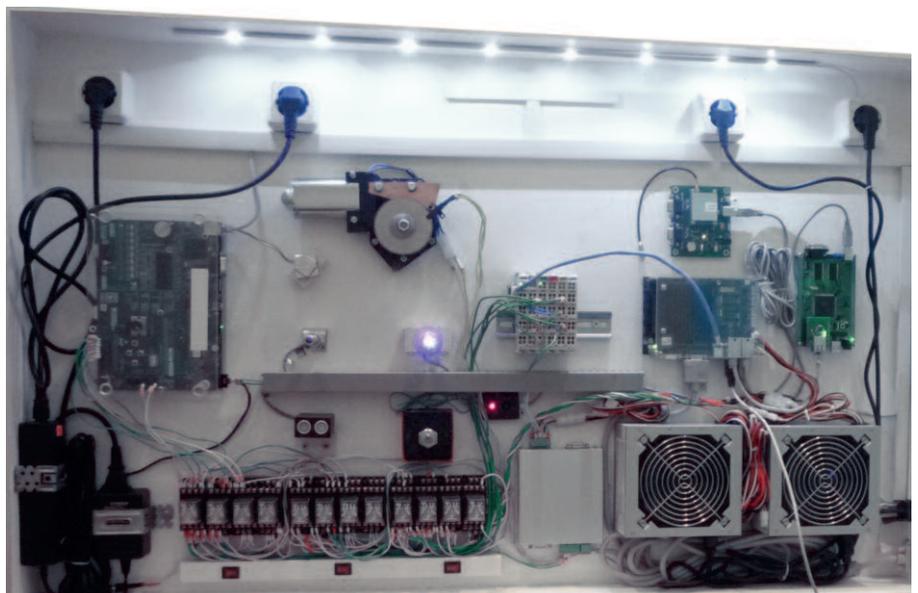


Рис. 6. Общий вид диагностического стенда для мобильного робота



Рис. 7. Студенческие проекты 2011 года

Программное обеспечение LabVIEW, управляющее платой SBRIO 9631, представляет собой гибкий и модульный инструмент для выполнения точных измерений, начиная от сбора данных и до вывода результата. Компания National Instruments предлагает расширение возможностей LabVIEW на основе набора утилит, обеспечивающих снятие показаний с датчиков различных устройств, а также формирование сигналов для исполнительных устройств.

Система диагностики может интегрироваться с ERP-системами 1С и SAP, которые помимо основной функциональности по управлению организационными системами обеспечивают учёт состояния и управление техническим обслуживанием сложного оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важным результатом при создании образовательной среды является участие в выполнении работ на протяжении двух лет более 45 студентов и 15 преподавате-

лей. По данной тематике пять студентов выиграли конкурс «УМНИК», а один из них – конкурс «Старт» фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Другим важным результатом работы стала организация в университете учебно-научно-производственного центра «Мехатроника, автоматизация и управление в промышленности». На его базе в 2011 году подготовлены студенческие проекты (рис. 7), которые заняли призовые места в конкурсах:

- 1) первое общекомандное место на третьих межрегиональных соревнованиях по мехатронике в Саратове (23–24 марта 2011 г.);
- 2) второе общекомандное место на третьем Всероссийском робототехническом фестивале в Москве (8–9 апреля 2011 г.);
- 3) первое и третье места в российском финале конкурса Microsoft Imagine CUP 2011 Embedded Systems в Москве (15–16 апреля 2011 г.);
- 4) седьмое место в международном финале конкурса Microsoft Imagine CUP

2011 Embedded Systems в Нью-Йорке (7–14 июля 2011 г.);

5) четвёртое место в соревнованиях «Робокросс» на озере Селигер (2–12 июля 2011 г.);

6) семнадцатое место в международных соревнованиях ABU ROBOCON-2011 в Бангкоке (24–26 августа 2011 г.);

7) первое и второе места на межрегиональных соревнованиях «Селиас» в Астрахани (5–14 сентября 2011 г.).

Создание образовательной среды управления жизненным циклом мехатронных систем обеспечило получение студентами практических навыков при создании сложных технических систем. В этой работе университету помогли компании DKC, IBM, National Instruments, Rittal, SAP, Siemens, Институт проблем точной механики и управления РАН, Овен, Поинт, ПРОСОФТ, СВД Встраиваемые Системы, Севзапмонтажавтоматика и Техновижн. С их помощью в университете создана современная техническая база для проведения научных исследований и перспективных разработок в области мехатроники. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров И.М. Интеллектуальные робототехнические системы: тенденции развития и проблемы разработки / И.М. Макаров и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 10. – С. 7–18.
2. Teamcenter Enterprise: интеграция с IBM Rational/ Telelogic Doors [Электронный ресурс] // Сайт компании «Интерфейс». – Режим доступа : <http://www.interface.ru/home.asp?artId=20168>.
3. Программный комплекс АРБИТР [Электронный ресурс] // Севзапмонтажавтоматика. – Режим доступа : <http://www.szmacom/pkasm.shtml>.
4. NX для конструктора-машиностроителя / Гончаров П.С. и др. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 540 с.
5. Д. Тороп, В. Терликов. Teamcenter. Начало работы. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 286 с.
6. Внедрения [Электронный ресурс] // Сайт компании SWD Software Ltd. – Режим доступа : <http://www.swd.ru/index.php3?pid=2>.
7. Петров Д.Ю. Применение в учебном процессе современных средств разработки систем реального времени // Современные технологии автоматизации. – 2009. – № 4. – С. 80–84.
8. Система управления процессами SIMATIC PCS7 [Электронный ресурс] // Сайт компании Siemens. – Режим доступа : http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic_pcs7.

E-mail: iac_sstu@mail.ru