

engineering personnel on the basis of technology e-Learning // Higher education in Russia, № 7 - 2009. pp/ 3-12.

6. **В М Позднеев.** Quality of e-learning: standards and methods // Rector, № 2 - 2009. - pp. 44-48.

7. **В М Позднеев.** Standardization and Certification - the basis of quality assurance in the field of e-Learning // Higher education in Russia. - 2008. - № 11. - pp. 40-44.

8. **В М Позднеев., М.В Сутягин.** On the development of national and international standards for

the development of vocational education based on information and communication technologies / Modern Apprenticeship and Information Technology: Abstracts of International Conference. - Moscow: Gazprom VNIIGAZ, 2009. - 162 p., pp.84-88.

9. **В М Позднеев.** Quality - is standards compliance / Quality of education, № 1-2 - 2009. - pp. 46-49.

10. **В М Позднеев., У А Косулников., М В Сутягин., В В Позднеев.** Standard 19796 will come to Russia // The quality of education, № 5 - 2009. - pp. 44-47.

*Позднеев Борис Михайлович - проректор по информатизации МГТУ «Станкин», д.т.н., профессор, (499) 973-11-51, bmp@stankin.ru*

*Сутягин Максим Валерьевич - директор ВЦ СЦ НИТ МГТУ «Станкин», к.т.н., (499) 973-10-56, msutyagin@stankin.ru*

*Поляков Сергей Дмитриевич - директор СЦ НИТ МГТУ «Станкин», к.т.н., (499) 973-10-56, polyakov@stankin.ru*

*Косулников Юрий Алексеевич - доцент кафедры «Информационные системы» МГТУ «Станкин» (499) 973-11-51, iourik@stankin.ru*

*Kosulnikov Y A - Associate Professor of Information Systems MSTU «Stankin» (499) 973-11-51, iourik@stankin.ru*

*Sutyagin M V - Director of computer center MSTU «Stankin», Ph.D.*

*Tel.: (499) 973-10-56, msutyagin@stankin.ru*

*Polyakov S D - Director of the Specialized Center of New Information Technologies MSTU «Stankin», Ph.D., (499) 973-10-56, polyakov@stankin.ru*

*Pozdneev B M - vice-rector MSTU «Stankin», Dr. Sci. Tech., professor, (499) 973-11-51, bmp@stankin.ru*

УДК 621.9.06-529

Г.М. Мартинов  
G M Martin

## Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования

### Current trends in computer control systems of technological equipment

*Обозначены современные проблемы систем управления и проанализированы пути их решения, сделана попытка спрогнозировать основные тенденции развития систем управления на мировом рынке. Определены насущные задачи высшего профессионального образования в этой области и проиллюстрированы инновационные подходы для их решения.*

*Marked contemporary problems of management systems and examine ways to address them, attempt to predict the main trends of development of management systems in the world market. Immediate tasks of higher education in this area and illustrates innovative approaches to address them.*

**Ключевые слова:** система ЧПУ, контроллер электроавтоматики, контроллер движения, контроллер автоматизации, Profibus, SERCOS.

**Keywords:** CNC system, the controller elektropomatiki controller traffic controller automation, Profibus, SERCOS.

Классические системы управления, такие как системы ЧПУ и контроллеры электроавтоматики (PLC - Programmable Logic Controllers), стали решать задачи, выходящие за рамки их традиционных

областей [0]. Это привело к появлению и активному внедрению в последнее десятилетие новых видов систем управления, как, например, контроллеры цифровых следящих приводов (DC – Drive Control), контроллеры управления движением - Motion Control (MC) и программируемые контроллеры автоматизации - PAC-контроллеры (Programmable Automation Controller) (рис. 1).



Рис. 1. Виды систем управления технологическим оборудованием

Контроллеры цифровых следящих приводов реализуются по стандарту PROFI BUSS (фирма Siemens на этой шине также реализует закрытый протокол MPI для управления приводами) или стандарту SERCOS (Serial Real-time Communication System) [0]. Следует отметить, что компания Rexroth уже реализовала SERCOS стандарт для контроллеров гидро- и пневмоприводов таким образом, что системы управления верхнего уровня (ЧПУ, PLC или MC) могут «не догадываться» с каким конкретно типом привода работают. Европейские, американские и японские производители, такие как Heidenhain, Omron и др., осуществляют подключение цифровых приводов к системе ЧПУ через Ethernet, используя при этом свои протоколы, а не единый стандарт.

PAC-контроллеры возникли как гибрид контроллера электроавтоматики и персонального компьютера. Они решают порядка 20% задач электроавтоматики, которые раньше вообще не решались или решались не полностью [0].

Следует отметить, что рассматриваемые системы управления имеют немало сходств, и области решаемых ими задач частично перекрывают друг друга, т.е. четких границ между видами систем управления практически не существует. Если, например, системы ЧПУ и системы RC имеют четкие различия по способу интерполяции, то границы между системами MC и PAC весьма размыты, тем более что задачи MC не редко решаются и PLC- и PAC-контроллерами, а иногда и системами ЧПУ.

В силу сложности набора реализуемых функциональностей в системе ЧПУ решаются в ограниченном объеме задачи управления движением (MC), управления электроавтоматикой и задачи PAC-контроллеров. Принято рассматривать систему ЧПУ как обобщенный представитель промышленных систем управления.

**Архитектурные решения и программные технологии на примере систем ЧПУ**

По типу архитектуры (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**) системы ЧПУ подразделяют на пять классов [0].

Таблица 1. Архитектурные решения систем ЧПУ

Класс архитектуры	□□□□□□□□□□□□□□□□□□	Ядро системы ЧПУ
CNC		Специальный процессорный модуль. Внешний контроллер электроавтоматики.
PCNC-1	Персональный компьютер.	Специальный процессорный модуль. Одноплатный контроллер электроавтоматики.
PCNC-2	Персональный компьютер.	Персональный компьютер. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики.
PCNC-3	Персональный компьютер.	Встроенный одноплатный компьютер. Программно-реализованный контроллер электроавтоматики.
PCNC-4	Персональный компьютер.	Программно-реализованный контроллер электроавтоматики.

Класс PCNC-2 предполагает использование двух компьютеров; на первом из них располагается ядро системы ЧПУ, работающее в реальном времени, а на втором - терминальная часть. К этому классу относятся современные системы ЧПУ, обладающие самыми мощными вычислительными ресурсами, такие как SINUMERIK 840D (Siemens), Typ3-osa (Bosch), PA8000 (Power Automation), Andronic 2000 (Andron).

Четвертый класс систем - PCNC-3 - реализован на базе компьютера реального времени в виде одноплатного контроллера встраиваемого, например, по стандартной шине PCI. К этому классу относятся системы ЧПУ PMAC (Delta Tau) PNC (Bosch), MTX (Indramat). По сути PCNC-3 мало чем отличается от систем класса PCNC-2. Использование Intel-архитектуры предполагает минимальные затраты при переходе с PCNC-2 на PCNC-3-класс, как и появилась система PNC на базе Typ3-osa. Но, если компьютер реального времени сделан на базе RISK-архитектуры, например, SINUMERIK 840D или PA8000, то переход с PCNC-2 на PCNC-3 затруднен необходимостью создания собственного схемотехнического решения.

Пятый класс систем – PCNC-4 - реализует ядро реального времени и терминальную часть на одном компьютере. Эти системы способны справиться с подавляющим числом задач, возлагаемых на системы управления. Их развитие сдерживается вычислительной мощностью процессора, пока еще недостаточной для многокоординатной обработки скульптурных поверхностей. Выход состоит в использовании интеллектуального контроллера, построенного на базе одноплатного компьютера, который будет осуществлять более мелкое дробление временных интервалов и самостоятельно осуществлять автономное управление, но это шаг назад - в сторону PCNC-3.

Последние несколько лет обособилось интересное направление SoftCNC – система ЧПУ, распространяемая на компакт-диске и предполагающая использование стандартной PC-аппаратуры. Перспективность этого направления обуславливает открытость программного обеспечения и сложившаяся тенденция использования имеющихся на рынке готовых аппаратных решений сторонних производителей.

Если архитектура систем ЧПУ перетерпела столь бурное развитие лишь за последние 15-20 лет, то развитие программного обеспечения систем управления развивалось на порядок быстрее. Практически каждые 1,5-2 года европейским разработчикам систем управления приходится применять новые технологии, менять компиляторы и среду разработки, переходить на новые программные платформы. Де-факто стандартом разработки ядра систем ЧПУ стал язык C++, и только в редких случаях остался язык C (рис. 2). При разработке терминальной части используют языки C++, VB, редко - Delphi, и довольно часто - смешанное решение, созданное на базе нескольких языков. В пользовательском интерфейсе, построенном на независимой платформе, стал очевиден отход от Java-решения в пользу .NET, а доминирующим языком разработки стал язык C#.



Рис. 2. Перспективные технологии разработки

Начиная с конца 90-х годов широко применяется компонентный (COM- Component Object Model) подход, позволяющий маскировать аппаратные особенности при создании программного обеспечения и реализовать распараллеливание процесса разработки [0].

При организации машинных параметров систем управления нашла применение технология XML (eXtensible Markup Language). Ориентация на XML позволяет использовать готовый программный инструментарий для работы с данными. В качестве иллюстрации можно привести пример системы ЧПУ, конфигурация которой содержит два канала и восемь осей, и которая имеет более 20 000 машинных параметров - и это не предел. Современные системы теоретически могут поддерживать управление 12-ю каналами и 64-мя осями. Для работы с таким количеством данных применяются быстродействующие разборщики, такие как MSXML Parser, LibXML (Open Source), или разборщик, встроенный в .NET.

Технологию XSLT используют для генерации отчетов о состоянии машинных параметров или о сигналах проведенных диагностических измерений и настройках приводов. С помощью XSLT также осуществляется конвертирование данных из одного формата в другой.

Сегодня Web-технологии используют для построения удаленных терминалов систем управления [0]. При этом с помощью скрипта и встроенного Internet-сервера в ядре генерируются экраны пользовательского интерфейса в стандартных браузерах.

Применение регулярных выражений в системах управления позволило унифицировать решение таких задач, как проверка на корректность и фильтрация пользовательского ввода данных, автоматическая генерация имен, поиск с использованием wildcards [0].

С помощью нечеткой логики и нейронных сетей сегодня решаются задачи адаптивного управления и прогнозирования надежности инструмента.

Этот небольшой список иллюстрирует практически неограниченные возможности применения технологий смежных областей, и именно здесь следует ожидать новые научные прорывы.

### **Отличительные возможности современных систем ЧПУ**

Анализ современных систем ЧПУ позволяет выделить следующие стратегические направления и технологии, где ведется очень активная разработка:

- открытость – предоставление станкостроителю и конечному пользователю возможности реализовывать собственные технологии и встраивать прикладное программное обеспечение в систему ЧПУ;
- многоканальность – возможность параллельно выполнять несколько управляющих программ на одной системе ЧПУ;
- высокоскоростная обработка – для системы ЧПУ это означает короткий такт интерполяции и высокие скорости обработки кадра управляющей программы;
- наноинтерполяция – интерполяция с дискретностью вычислений, исчисляемой в нанометрах;
- Look-ahead – алгоритм предсмотра кадров, позволяющий обрабатывать контур с максимально возможной подачей и заблаговременно снижать скорость в критических ситуациях для избегания коллизий и обеспечения высокого качества обработки [0].
- сплайновая интерполяция – реализация алгоритмов кубического сплайна, Акима-сплайна, NURBS-сплайна, полиномов и других интерполяций в комбинации с алгоритмом предсмотра кадров (look-ahead) [0];
- компрессия кадров – сглаживание контура обработки в управляющих программах путем конвертирования линейных кадров в NURBS-контуры в процессе отработки управляющих программ [0];
- удаленное управление – предполагает построение удаленных терминалов и реализацию функций удаленной диагностики и настройки системы ЧПУ [0];
- сетевые функции – позволяют интегрировать систему ЧПУ в процесс управления производством и оборудованием. Ведется учет произведенной продукции, контролируется время простоя, отслеживаются плановые ремонты и техобслуживание оборудования;
- моделирование процесса обработки – 3D-моделирование процесса резания для предварительного просмотра результатов выполнения управляющих программ, выявления коллизий и сокращения времени обработки [0];
- диагностические функции – логический анализатор (Logic Analyzer) входных/выходных сигналов для тестирования электроавтоматики, осциллограф для настройки приводов подач, анализатор частотных диаграмм, тест окружности (Circle Test) и др. [0];
- язык программирования высокого уровня и инструментарий разработки и отладки управляющих программ на языке высокого уровня. Эту функциональность применяют при разработке стандартных циклов и групповых технологий [0];

- приложения цехового программирования – CAD/CAM-системы цехового уровня, позволяющие создавать управляющие программы на самой системе ЧПУ в то время как идет обработка другой детали;
- применение технологий искусственного интеллекта для адаптивного управления и прогнозирования износа инструмента.

Нельзя забывать так же об устоявшейся тенденции к унификации оборудования путем реализации все большего числа стандартов и протоколов связи для интеграции в единые системы, как OPC, TCP/IP, SOAP и д.р.

### Научно-исследовательская школа кафедры «Компьютерные системы управления» МГТУ «Станкин»

Системы управления, представленные на рис. 1, отражают потребность в специалистах по промышленной автоматизации на современном российском рынке и определяют направления подготовки и востребованную область знаний выпускников кафедры компьютерных систем управления МГТУ «Станкин».

В довольно широком спектре выполняемых кафедрой фундаментальных научных исследований по проблемам числового программного управления на основе персональных компьютеров есть как работы общепризнанного направления, так и работы пионерского характера, при этом ряд разработок получили коммерческое распространение. Например, специальная версия разработанной нами однокомпьютерной системы ЧПУ WinPCNC (рис. 3) под названием ArtNC была адаптирована под задачи лазерной графики. Применение ArtNC позволило в два раза сократить время изготовления изделий при сохранении качества.

Сегодня кафедра располагает самым прогрессивным в России «ноу-хау» в области систем ЧПУ. Это позволяет формировать ключевые задачи кафедры в области научно-исследовательских работ:

- прогнозирование и формирование современных тенденций развития компьютерных систем управления.
- внедрение в учебный процесс полученных в ходе научных исследований результатов после прохождения соответствующей апробации и формирование новых программ подготовки современных специалистов. Именно этим обстоятельством обеспечивается оригинальность и востребованность большинства курсов, преподаваемых на кафедре.

На выставке «Металлообработка-Технофорум-2009» в области профессионального образования МГТУ «Станкин» продемонстрировал созданный на кафедре учебно-тренажерный комплекс системы ЧПУ WinPCNC AE (Academic Edition) [0]. Предусмотренные широкие возможности по комплектации и компоновке комплекса позволяют предлагать потребителям решения в разных ценовых категориях.

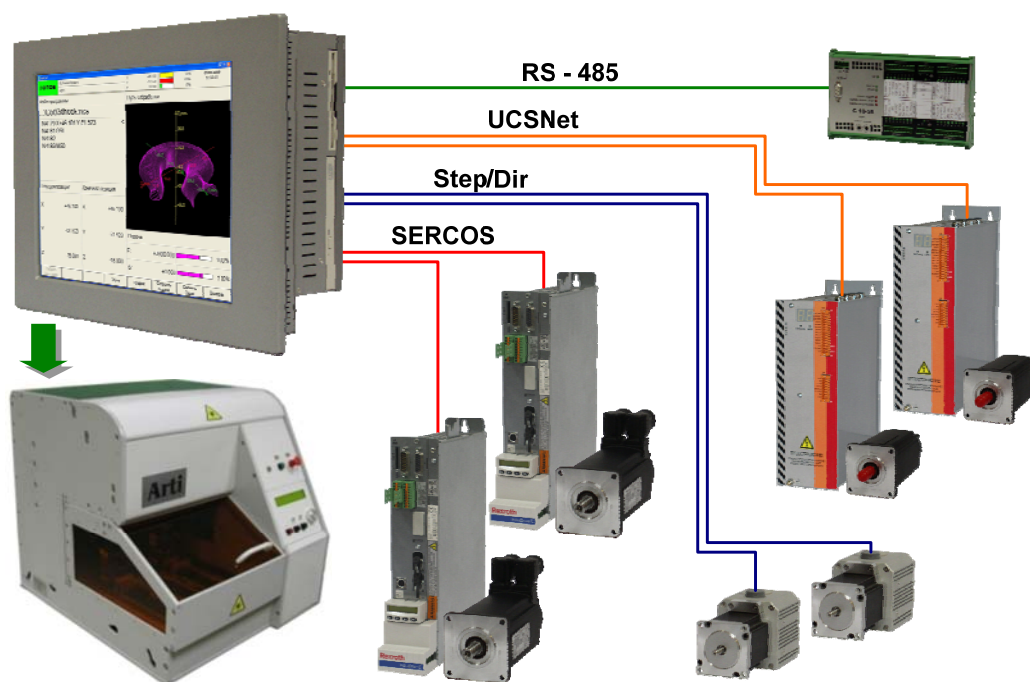


Рис. 3. Варианты комплектации систем WinPCNC

Партнерская программа с фирмой Siemens позволила кафедре обучить за 3 года более 250 специалистов по программированию современных систем ЧПУ Sinumeric 840D/Di. Совместно с

фирмой Siemens дополнительно был создан и запущен уникальный курс "Практикум программирования многокоординатных станков с использованием фреймов и сплайнов системы ЧПУ SINUMERIK 840D/Di", ориентированный на потребности российского рынка в выпуске высокотехнологичной продукции.

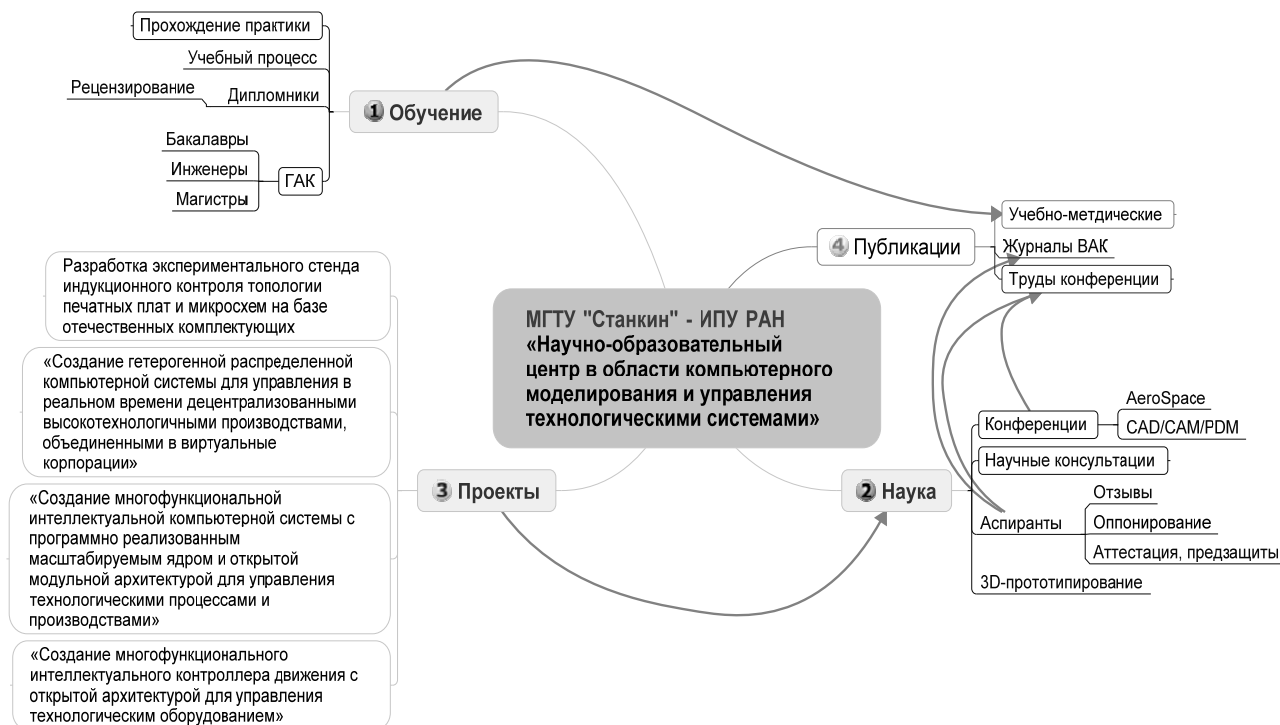


Рис. 4. Интеллектуальная карта деятельности НОЦ

В целях развития и повышения эффективности фундаментальных и прикладных исследований на основе активного использования механизмов интеграции науки и образования в апреле 2009 года на базе кафедры «Компьютерные системы управления» МГТУ «Станкин» и лаборатории «Компьютерная графика и специализированные технические и программные средства» Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) основан «Научно-образовательный центр в области компьютерного моделирования и управления технологическими системами».

Тематика научно-исследовательских работ, проводимых НОЦ, определена названием НОЦ и связана с разработкой нового поколения систем компьютерного моделирования и управления технологическими системами. В настоящий момент коллектив НОЦ работает над созданием многофункциональной распределенной системы управления промышленного назначения, базирующейся на новейших информационных технологиях (рис. 4).

Силами научно-исследовательской лаборатории систем ЧПУ в 2002 г. был создан и развивается сайт [www.ncsystems.ru](http://www.ncsystems.ru), посвященный проблематике систем управления. Полмиллиона посещений и непрерывный рост рейтинга сайта свидетельствуют об актуальности этого проекта. Регулярные опросы наших выпускников показывают, что 95% из них постоянно пользуются сайтом, 60% считают его незаменимым при подготовке в учебном процессе. В рамках этого проекта разработаны и свободно распространяются мультимедийные обучающие программы по системам ЧПУ.

### Заключение

В ближайшее время следует ожидать продолжения научного прорыва в области программного обеспечения. Этому способствует, с одной стороны, интенсивное возрастание вычислительных возможностей РС, и, с другой стороны, стремительное развитие программных технологий. Потребность российского рынка в специалистах по системам управления будет только возрастать, и технические ВУЗы должны перестроить свой учебный процесс, с тем, чтобы максимально удовлетворить этот запрос на профессиональном уровне.

**Библиографический список:**

- Мартинов Г. М., Козак Н. В.** Декомпозиция и синтез программных компонентов электроавтоматики // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. №12. С. 4-11.
- Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М.** Архитектоника цифровых следящих приводов подач технологических машин // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №10. С. 24-30.
- Мартинов Г.М., Мартинова Л.И.** Программируемые контроллеры автоматизации РАС (Programmable Automation Controller). Эволюция, проблемы, тенденции развития // Стружка. 2007. №4. С. 40-43.
- Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.** Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М. Логос, 2005. – 296 с. ISBN 5-98704-012-4.
- Мартинова Л.И., Мартинов Г.М.** Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Автотракторное электрооборудование, 2002. №3. С. 31-37.
- Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М.** Построение интерфейса оператора систем ЧПУ с привлечением web-технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. №10. С. 41-44.
- Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л.** Перспективные технологии разработки математического обеспечения систем управления: использование регулярных выражений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. №2. С. 40-46.
- Мартинов Г.М.** Алгоритм опережающего просмотра Look-ahead в современных системах ЧПУ и параметры его настройки // Стружка. 2007. №3. С. 52-54.
- Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л.** Проблемы использования сплайновой интерполяции в системах ЧПУ при обработке скульптурных поверхностей // Автоматизация в промышленности. 2006. №11. С. 3-9.
- Мартинова Л.И., Мартинов Г.М.** Сплайн-контуры в системе ЧПУ // Стружка. 2007. №1. С. 74-77.
- Мартинов Г.М., Григорьев А.С.** Принцип построения и интеграции в системах ЧПУ класса PCNC подсистемы трехмерной визуализации управляющих программ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №9. С. 26-31.
- Мартинов Г. М., Трофимов Е.С.** Модульная компоновка и построение прикладных приложений диагностики систем управления // Системы управления и информационные технологии. 2008. №7. С. 44-50.
- Мартинов Г. М., Пушков Р.Л.** Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №11. С. 19-24.
- Мартинов Г. М.** Академическая версия системы ЧПУ WinPCNC // Инструмент, технология, оборудование. №8. 2007. С. 62-64.

**Refferens:**

- G M, Martin N V Kozak** Decomposition and synthesis of software components of electrical / instruments and systems. Manage, control, diagnostics. 2006. Number 12. С. 4-11.
- V L Sosonkin, G M Martin** Architectonics of digital servo drives innings technological machines / Mechatronics, Automation, Control. 2005. Number 10. С. 24-30.
- G M Martin, L I Martinovi** Programmable Automation Controller PAC (Programmable Automation Controller). Evolution, challenges and trends / shavings. 2007. № 4. С. 40-43.
- V L Sosonkin, G M Martin** CNC programming systems: Textbook. allowance. - M. Logos, 2005. - 296 pp. ISBN 5-98704-012-4.
- L I Martinovi, Martin G M** Practical aspects of implementation of the modules open system CNC / Tractor Electric Equipment, 2002. № 3. С. 31-37.
- V L Sosonkin, G M Martin** Construction CNC operator interface systems involving web-based technologies / / Mechatronics, Automation, Control. 2007. Number 10. С. 41-44.
- G M Martin, V L Sosonkin** Advanced Technology development of software management systems: the use of regular expressions / / Mechatronics, Automation, Control. 2006. № 2. С. 40-46.
- G M Martin** Algorithm for advanced viewing Look-ahead in modern CNC system and its configuration options / / shavings. 2007. № 3. С. 52-54.
- G M Martin, V L Sosonkin** Problems using spline interpolation in the CNC system in the processing of sculpted surfaces / / Automation in the industry. 2006. Number 11. С. 3-9.
- L I Martinovi, G M Martin** Spline contours in the CNC // shavings. 2007. № 1. С. 74-77.
- G M Martin, A S Grigor'ev,** Principle of construction and integration of systems PCNC CNC class three-dimensional visualization subsystem control programs / Mechatronics, Automation, Control. 2009. № 9. С. 26-31.
- G M Martin, E S Trofimov** Modular layout and construction of enterprise applications diagnostic systems management / control systems and information technology. 2008. № 7. С. 44-50.
- G M Martin, R L Pushkov** Construction equipment debugging control programs of CNC systems for high-level languages / devices and systems. Manage, control, diagnostics. 2008. Number 11. С. 19-24.
- G M Martin** Academic version of CNC WinPCNC / / Tools, technology, equipment. № 8. 2007. С. 62-64.

*Мартинов Георгий Мартинов – зав. кафедрой «Компьютерные системы управления» МГТУ «Станкин», д.т.н.  
Martin G M – head of chair «Computer managing systems» MSTU "Stankin", Dr.Sci.Tech.*