

## Формирование базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения специализированных систем управления

## Creation of basic computer numerical control platform for the construction of specialized control systems

*Проанализированы процессы управления сложными технологическими комплексами с применением методики, основывающейся на декомпозиции системы ЧПУ по задачам управления. Выявлены и систематизированы наиболее востребованные решения и их возможные комбинации. Создана базовая вычислительная платформа системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» для построения на ее основе специализируемых систем. Предложен метод декомпозиции и синтеза программно-аппаратных компонентов в специализированных системах управления, с использованием матрицы решений, проиллюстрировано построение специализированной системы ЧПУ для прецизионного обрабатывающего центра VMG 50/90 для изготовления крупногабаритных деталей.*

*Processes of managing complex technological systems are analyzed using a technique which is based on the decomposition of the control system for control tasks. Most popular solutions and their possible combinations are identified and systematized. The basic CNC system computing platform «AxiOMA Control» is built to be used as the basis of specialized CNC-systems. The paper proposed a method of decomposition and synthesis of software and hardware components for building specialized control systems using solutions matrix. The process of construction of a specialized CNC system for machining center VMG 50/90 for the manufacture of large precision parts is illustrated.*

**Ключевые слова:** базовая вычислительная платформа системы ЧПУ, прецизионный обрабатывающий центр для изготовления крупногабаритных деталей, сетевая архитектура системы ЧПУ, SERCOS, порталные оси.

**Keywords:** basic computing platform system CNC, precision machining centers for the production of large components, network architecture of CNC system, SERCOS, gantry axis.

**Введение.** Появление и активное внедрение в машиностроительное производство новых технологий, таких как аддитивные, гибридные, базирующиеся на новых физических принципах, на станках новых (нетрадиционных) конструкций и др., сформировали новый взгляд на требования к открытости, модульности и конфигурируемости систем управления [1]. Отсутствие системного подхода к построению систем ЧПУ для высокотехнологичного оборудования вынуждает производителей использовать те системы ЧПУ, которые подходят для управления. Так, для сварочного оборудования на базе лазера и станка лазерной графики с электронно-лучевой пушкой производители будут использовать две разные системы ЧПУ,

если не смогут подобрать такую, которая может управлять и лазером и электронно-лучевой трубкой. Аналогичная ситуация с системами управления для реализации аддитивных технологий: многие специалисты сегодня не допускают мысли об общем решении на базе конфигурируемой системы управления, другие ждут появления стандартизованного протокола управления. Эти технологии формируют основы для технологического прорыва в сфере создания новых образцов промышленного оборудования для стратегических отраслей.

Открытость предлагаемых на рынке импортных систем ЧПУ класса Hi-End ограничена, полной открытостью располагают только производители [2].

Вариант передачи собственного «know-how» зарубежному производителю ЧПУ, как правило, не приемлем. Системы ЧПУ с функциями 5-координатной обработки и системы управления технологическими роботами, т.е. самые высокотехнологичные, ограничены или запрещены к поставкам в Россию. Поэтому оснащение российских предприятий высокотехнологичным оборудованием отечественного производства является проблемой обеспечения технологической независимости страны.

В России не производятся системы ЧПУ класса «Hi-End», выпускаемые системы в силу архитектурных ограничений не могут служить базой для создания систем такого класса [3]. Современные отечественные системы ЧПУ либо не имеют перспектив развития, поскольку ориентированы на устаревшие и более не поддерживаемые зарубежные компьютерные технологии, либо основываются на импортных технических решениях закрытого типа.

Собирательный образ систем ЧПУ для различного технологического оборудования не обозрим. Путь, по которому идут мировые производители со своими системами ЧПУ, где все функции заложены максимально, превысил пороговое значение, за которым теряется эффективность. Такие системы ЧПУ уже сегодня используются в лучшем случае на 40...50 % своих потенциальных возможностей.

Рассмотрим некоторые аспекты решения фундаментальной научной проблемы — создания базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения на ее основе специализированных систем управления высокотехнологичными производственными комплексами.

**Декомпозиция систем ЧПУ и формирование матрицы решений.** Выполнен анализ процессов управления сложными технологическими комплексами с применением разработанной на кафедре КСУ МГТУ «СТАНКИН» методики, основывающейся на декомпозиции системы по задачам управления [4].

Геометрическая задача управления обеспечивает процесс формообразования, осуществляет математический расчет траектории обработки с учетом кинематики станка, коррекций геометрии и износа инструмента, температурных и объемных деформаций, динамических ограничений и требований точности. Логическая задача управления управляет цикловой автоматикой станка. Терминальная задача управления реализует пользовательский интерфейс, который во многом определяет привлекательность и конкурентоспособность системы ЧПУ на рынке. Технологическая задача управления обеспечивает параметры технологического процесса в ходе обработки (например, реализует адаптивное управление мощностью лазера при лазерной резке) [5].

В ходе исследований был расширен список традиционных задач управления: его дополнили коммуникационная и диагностическая задачи. Коммуникационная задача обеспечивает связь между мо-

дулями системы и реализует информационный обмен в режиме реального времени по промышленным протоколам [6—8]. Диагностическая задача отвечает за сбор и анализ данных о состоянии оборудования и выполняемого технологического процесса, в первую очередь, осуществляет мониторинг и диагностику функций геометрической и логической задач управления [9, 10].

В рамках процесса декомпозиции построена матрица решений (табл. 1): по горизонтали расположены задачи управления системы ЧПУ, по вертикали — реализуемые технологии обработки. На приведенном фрагменте матрицы представлены:

- непрерывная и импульсная лазерные обработки, требующие реализации функций управления лазером и системой дефлекции;
- многокоординатная обработка с кинематической трансформацией, электронной гитарой и компенсацией погрешностей;
- гибридная и многозадачная обработка, реализующая комбинацию из нескольких технологий;
- гидроабразивная обработка с управлением давлением струи и подачей абразивного порошка.

Оба вида лазерной обработки имеют схожие функциональности (управление лазером, подготовка управляющих программ, коммуникационные функции для связи с лазером и системой дефлекции лазерного луча), но определенную специфику. Последнее обстоятельство объясняется тем, что непрерывная лазерная обработка требует управления мощностью излучения, а для импульсной нужны синхронизация движения с импульсами лазера и адаптивное управление частотой излучения [11].

Многокоординатная обработка связана с алгоритмами кинематической трансформации и преобразования скоростей по осям. Она требует расширенных диагностических функций, функций компенсаций и прогноза износа инструмента. Для реализации многокоординатной обработки используется мультипротокольный интерфейс связи с приводами, управление которым осуществляется по схеме Master-Slave.

Гибридная обработка, как и мультизадачная, связана с управлением двумя и более различными устройствами, имеющими разные принципы управления. Кроме того, она требует синхронизации нескольких воздействий на материал и специальных функций визуализации процесса обработки. Функция внешнего интерполятора позволяет системе управления передавать процесс интерполяции внешнему устройству и синхронизироваться с ним.

Гидроабразивная обработка использует адаптивное управление параметрами струи и коррекцию траектории движения с учетом ее формы, что требует реализации ряда специфических функций во всех задачах системы управления [12].

*Таблица 1. Матрица решений*

Обработка	Задачи управления системы ЧПУ					
	Геометрическая	Логическая	Терминальная	Коммуникационная	Технологическая	Диагностическая
Непрерывная лазерная	—	Обработка сигналов лазера	Подготовка управляющей программы на основе модели изделия	Связь с лазером	Адаптивное управление мощностью излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения
Импульсная лазерная	Синхронизация движения с импульсами лазера			Связь с системой дефлекции	Адаптивное управление частотой излучения	
Многокоординатная	Кинематическая трансформация	—	Интерфейс многоканального управления	Мультипротокольный интерфейс связи ЧПУ с приводами	Адаптивные компенсации	Логический анализатор
	Электронная гитара			Управление Master-Slave приводами	Прогноз износа режущего инструмента	Цифровой осциллограф
Гибридная и многозадачная	Внешний интерполятор	Синхронизация управления энергиями обработки	Специальные функции визуализации процесса гибридной обработки	—	Специализированные станочные циклы	—
Гидроабразивная	Коррекция контура по форме струи	Управление станцией высокого давления	Отображение и настройка параметров гидроабразивной обработки	Реализация связи с автономной станцией высокого давления	Адаптивное управление параметрами гидроабразивной струи	Диагностирование и мониторинг станции высокого давления

**Синтез специализированных систем ЧПУ с помощью матрицы решений.** В рамках проводимых в МГТУ «СТАНКИН» НИОКР создана и запатентована унифицированная для всех решений базовая вычислительная платформа системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» для построения на ее основе специализируемых систем ЧПУ [13]. Набор технологий обработки, входящих в матрицу решений (см. табл. 1), расширяется по мере необходимости [14].

Минимально необходимый набор программно-аппаратных компонентов для компоновки специализированной системы управления формируется под конкретное производственное оборудование. На начальном этапе определяют технологии обработки и функциональности системы управления, которые должны реализовываться оборудованием. С помощью матрицы решений выбирают необходимый набор компонентов. Далее определяют набор реализуемых полевых шин и подключаемых к ядру системы ЧПУ периферийных устройств. После этого определяют тип архитектуры системы ЧПУ (одно- или двухкомпьютерная) в зависимости от требуемой вычислительной мощности. Последний этап — по модульному принципу, на основе базовой вычислительной платформы компонуют специализированную систему ЧПУ для конкретного технологического оборудования.

**Практические аспекты построения специализированной системы ЧПУ для прецизионного обрабатывающего центра модульной конструкции VMG 50/90.** В качестве примера проиллюстрируем формирование результирующей матрицы решений для системы управления корпусальным токарно-фрезерным обрабатывающим центром VMG 50/90. Станок был создан по проекту «Макроцентр» на Краснодарском станкостроительном заводе «СЕДИН» и оснащен системой ЧПУ «АксиОМА Контрол», разработанной МГТУ «СТАНКИН». Пятикоординатный обрабатывающий центр VMG 50/90 предназначен для обработки крупногабаритных деталей массой до 125 т с точностью до 4 мкм, имеет рабочую зону длиной 14 м, шириной 5 м и планшайбу диаметром 5 м для установки заготовок (рис. 1).

Система ЧПУ обеспечивает многокоординатную обработку, измерения с последующими коррекциями и предоставляет многопользовательский доступ. Набор модулей, реализующих перечисленные технологии, формирует результирующую матрицу решений (табл. 2).

Так, для станка VMG 50/90 на базе вычислительной платформы «АксиОМА Контрол» реализована распределенная система ЧПУ с двумя терминалами и выносным пультом ручного управления, что упрощает обслуживание рабочей зоны. Терминалы и переносной пульт подключены к ядру системы ЧПУ по сети Ethernet через промышленный сетевой концентратор (хаб). Экраны пользователь-

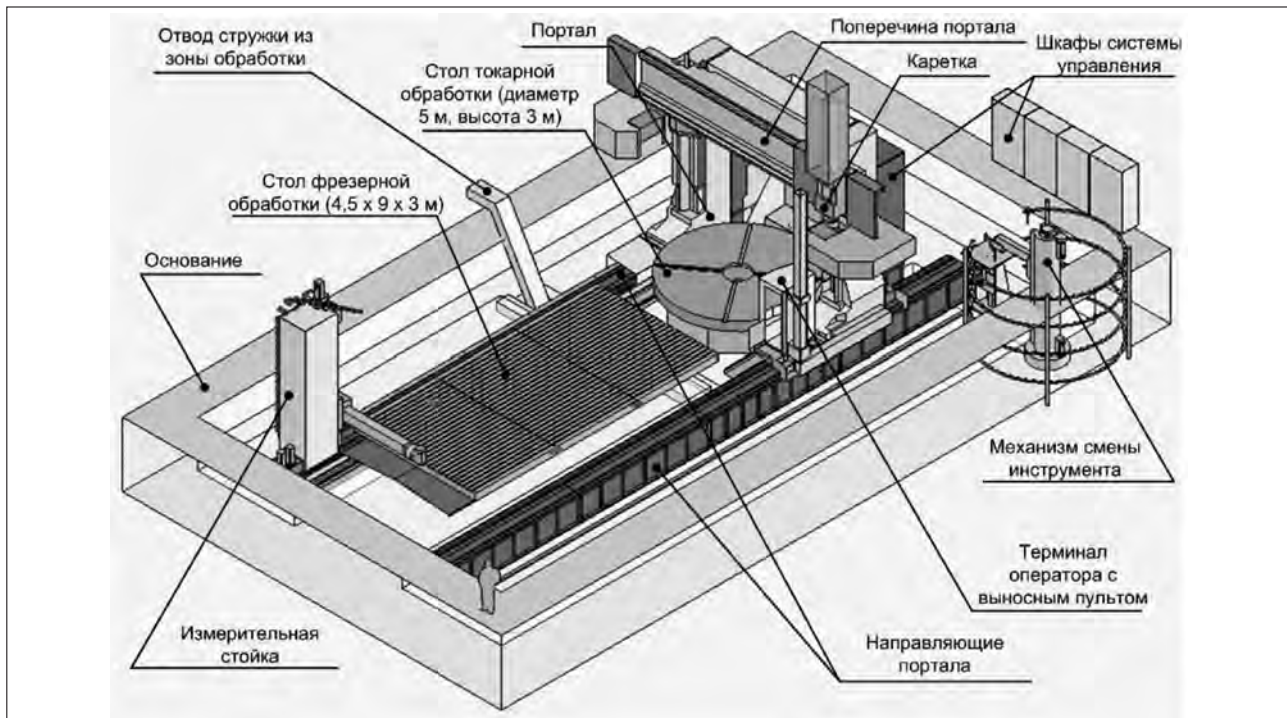


Рис. 1. Эскиз обрабатывающего центра VMG 50/90

ского интерфейса синхронизируются автоматически, используя заложенное в системе ЧПУ решение. Ядро системы ЧПУ воспринимает управляющие команды только от активной панели управления, для чего реализован специальный механизм передачи управления между панелями и пультом.

Система ЧПУ имеет двухкомпьютерную архитектуру. Ядро работает в операционной системе реального времени Linux RT, терминалы — в операционной системе MS Windows с платформой .Net. Система реализует пятикоординатную обработку, использует два канала управления, управляет 14-ю приводами. Приводы и модули ввода/вывода электроавтоматики объединены в трехуровневую промышленную сеть SERCOS с применением схемы «ведущие-ведомые устройства» (Master-Slave) (рис. 2). Ось *Y* главного портала (gantry) реализована четырьмя приводами, ось *W* — поперечины портала и ось *Cs1* — планшайба — двумя приводами каждая (рис. 3).

Конфигурирование подсетей осуществляется в системе ЧПУ с помощью машинных параметров.

**Заклучение.** Декомпозиция систем ЧПУ позволяет сформировать матрицу решений для задач управления различными технологиями обработки. Синтез специализированных систем ЧПУ выполняется для конкретного технологического комплекса компоновкой нужных системе программно-аппаратных модулей. Использование матрицы решений существенно сокращает время разработки и выпуска на рынок систем управления для широкого круга технологического оборудования. Ограниченный и в то же время расширяемый набор компонентов позволяет без изменения структуры базовой вычислительной платформы реализовывать системы управления для конкретных технологических задач на основе минимально необходимого набора модулей.

*Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки ведущих научных школ: НШ-3890.2014.9.*

Таблица 2. Результирующая матрица решений для карусельного токарно-фрезерного обрабатывающего центра VMG 50/90

Обработка	Задачи управления системы ЧПУ					
	Геометрическая	Логическая	Терминальная	Коммуникационная	Технологическая	Диагностическая
Многокоординатная	Кинематическая трансформация	—	Интерфейс многоканального управления	Мультипротокольный интерфейс связи СЧПУ с приводами	Адаптивные компенсации	Логический анализатор
	Электронная гитара				Управление Master-Slave приводами	

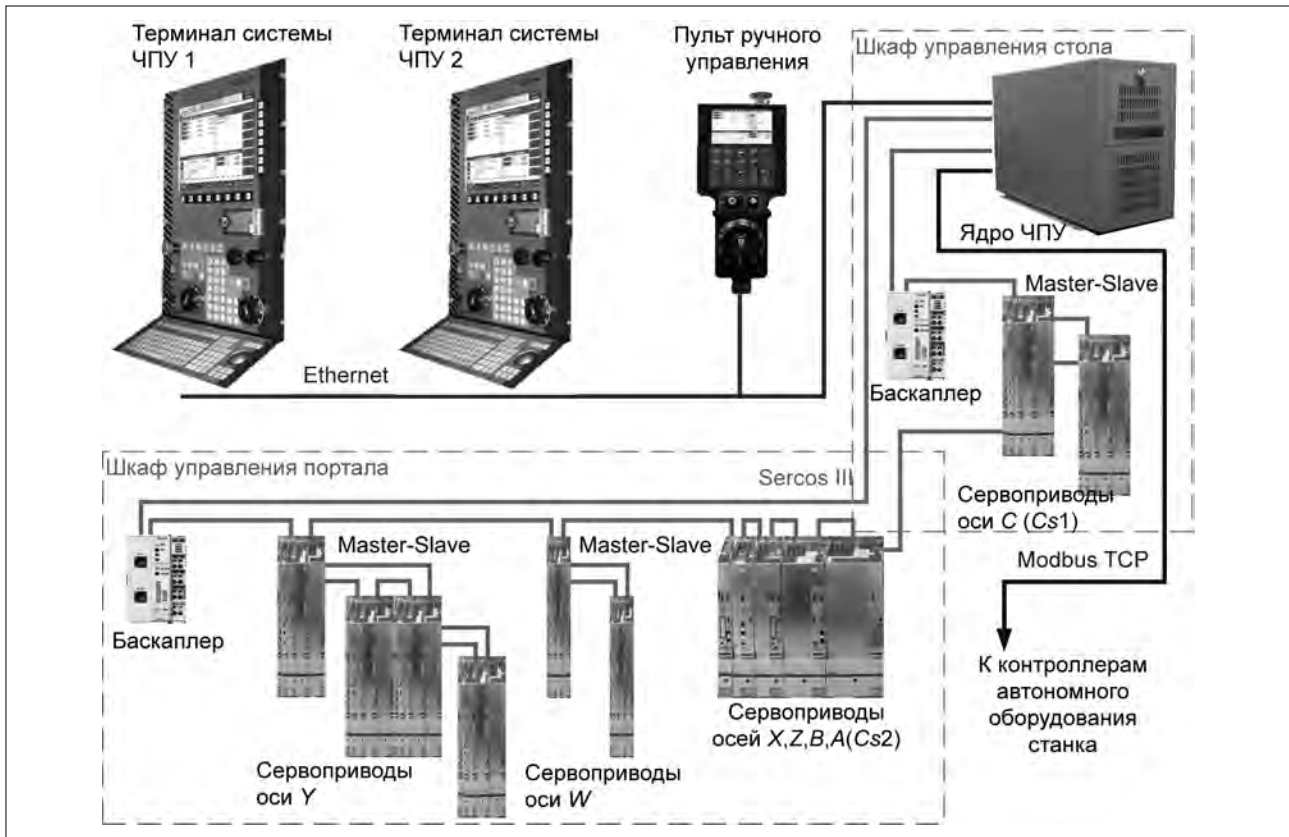


Рис. 2. Сетевая архитектура системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» для станка VMG 50/90

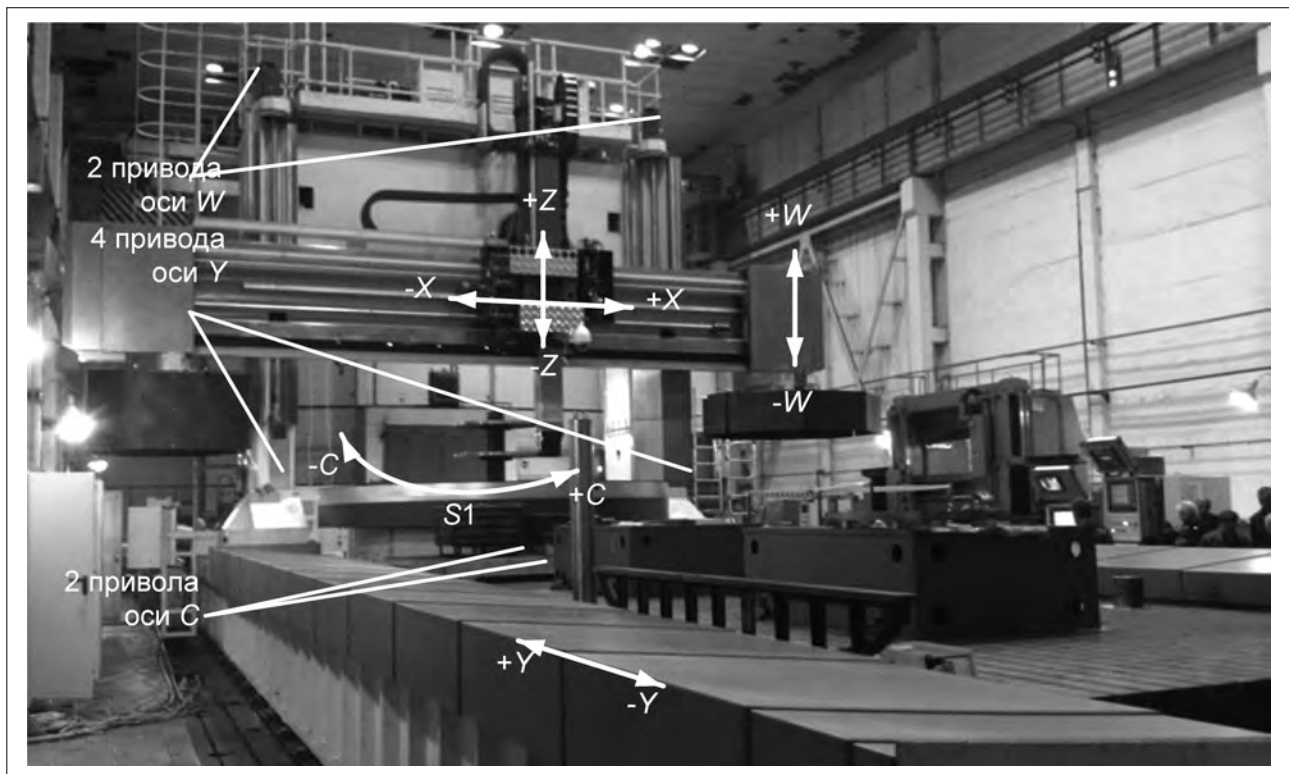


Рис. 3. Физические оси станка VMG 50/90

Библиографический список

1. Григорьев С.Н. Принципы создания многофункциональной системы числового программного управления технологическим оборудованием на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 05. С. 1—11.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Программирование систем числового программного управления: учеб. пособие. — М. Логос, 2008. — 344 с.
3. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Проблемы, тенденции и перспективы развития систем числового программного управления технологических систем и комплексов // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 4—7.
4. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Принципы построения систем ЧПУ с открытой архитектурой // Приборы и системы управления. 1996. № 8. С. 18—21.
5. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Автогидротранспортное электрооборудование. 2002. № 3. С. 31—37.
6. Мартинов Г.М. Открытая система ЧПУ на базе общей магистрали // Автомобильная промышленность. 1997. № 4. С. 31—34.
7. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция числового программного управления мехатронными системами: построение межмодульной коммуникационной среды // Мехатроника, автоматизация, управление. 2000. № 6. С. 2—7.
8. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Организация межмодульного взаимодействия в распределенных системах ЧПУ. Модели и алгоритмы реализации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 11. С. 50—55.
9. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Управление и диагностика цифровых приводов станков с ЧПУ // Контроль. Диагностика. 2012. № 12. С. 54—60.
10. Мартинов Г.М. Виртуальные приборы диагностики в системе ЧПУ // Информатика-машиностроение. 1998. № 4. С. 8—12.
11. Мартинов Г.М., Любимов А.Б., Обухов А.И. Проблема адаптации систем ЧПУ класса PCNC к станкам лазерной графики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 1. С. 59—62.
12. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Рыбников С.В., Кулиев А.У. Организация распределенного управления станком гидроабразивной резки с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 11. С. 35—39.
13. Мартинова Л.И., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л., Обухов А.И. Практические аспекты применения отечественной многофункциональной системы ЧПУ «АксиОМА Контроль» // Автоматизация в промышленности. 2012. № 5. С. 36—40.
14. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Григорьев А.С., Обухов А.И., Мартинова Л.И. Метод декомпозиции и синтеза современных систем с ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 9—15.
15. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Проблемы, тенденции и перспективы развития систем числового программного управления технологических систем и комплексов // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 4—7.
16. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Григорьев А.С., Обухов А.И., Мартинова Л.И. Метод декомпозиции и синтеза специализированных систем ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 8—14.
17. Мартинов Г.М., Любимов А.Б., Бондаренко А.И., Сорокоумов А.Е., Ковалев И.А. Подход к построению мультипротокольной системы ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2012. № 5. С. 8—11.
18. Григорьев С.Н., Андреев А.Г., Мартинов Г.М. Перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем числового программного управления высокотехнологичного оборудования // Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 3—8.
19. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4—8.
20. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Анализ систем ЧПУ, представленных на международной выставке «Металлообработка—Технофорум—2009», их новизна и особенности // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 59—65.
21. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Мультиагентная модель открытой системы ЧПУ типа PCNC // Автоматизация в промышленности. 2007. № 5. С. 3—6.
22. 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.
23. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Новейшие тенденции в области архитектурных решений систем ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2005. № 4. С. 3—9.

*Мартинов Георги Мартинов* — д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН».

Тел.: 8(499) 972-94-40. E-mail: martinov@ncsystems.ru

*Мартинова Лилия Ивановна* — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения МГТУ «СТАНКИН».

Тел.: 8(499) 972-94-40. E-mail: lili@ncsystems.ru

*Martinov Georgi Martinov* — D.Sc. in Engineering, Professor, Head of the sub-department «Computer-architecture Control System» of MSTU «STANKIN».

Tel.: +7(499) 972-94-40. E-mail: martinov@ncsystems.ru

*Martinova Liliya Ivanovna* — Candidate of Engineering Sciences, Associate professor of the sub-department «Technology of mechanical engineering» of MSTU «STANKIN».

Tel.: +7(499) 972-94-40. E-mail: lili@ncsystems.ru