

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы автоматизации машиностроительной отрасли поднимались на страницах журнала "Автоматизация в промышленности" неоднократно.

Так в майском выпуске журнала в 2004 г. подробно рассматривались существующие и перспективные архитектуры систем ЧПУ, приводились примеры зарубежных решений, присутствующих на российском рынке. За прошедшие годы данный сегмент промышленной автоматизации претерпел существенные изменения, связанные с развитием современных информационных технологий, алгоритмического и программного обеспечения, аппаратной базы, необходимостью гибко реагировать на возрастающие потребности пользователей, а также эффективно решать задачи технологического вооружения российской промышленности.

В связи с этим в 2010 г. в журнале "Автоматизация в промышленности" рассматривались актуальные производственные задачи, которые решаются разработчиками современных систем ЧПУ. Это интерполяция с нанометрической точностью, компрессия кадров, удаленное управление, компенсация ошибок, моделирование процессов обработки, диагностика, адаптивное управление и прогнозирование, интеграция с системами управления производством и т.д.

В этом году в номере, адресованном машиностроительной отрасли, рассматривается класс задач, связанных с управлением движением, перемещением и позиционированием, важность которых нельзя недооценивать. В робототехнике, в автоматических производственных линиях, металлорежущих станках с ЧПУ и других областях производства требуется реализация движения или переме-

ний рабочего органа, позиционирования манипулятора для выполнения последующих технологических операций. Решение этих задач связано с разработкой специализированного аппаратного и программного обеспечения, с использованием общеизвестных или узко ориентированных промышленных интерфейсов.

Все представленные в номере статьи условно разделим на следующие классы:

- перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем ЧПУ высокотехнологичного оборудования (авт. Григорьев С.Н. и др.);
- аппаратно-программное обеспечение зарубежных производителей для решения задач управления движением, перемещением и позиционированием (авт. Кухаренко С.Ю.; Фомин Е.И.);
- разработки отечественных специалистов в области движения, перемещения и позиционирования (авт. Тихонов А.О. и Лиханов П.С.; Бурков А.П. и Красильникьянц Е.В.; Мартинова Л.И. и др.; Красовский А.А. и Антонов А.Ю.);
- примеры реализованных проектов на базе отечественной программно-аппаратной базы по внедрению робототехнических комплексов, автоматических производственных линий или станков с системами ЧПУ, включающих систем управления позиционированием/перемещением, для решения конкретных производственных задач (авт. Красильникьянц Е.В. и др.; Плихунов В.В. и др.; Нежметдинов Р.А. и др.; Мещеряков В.А. и Денисов И.В.);
- прикладные решения зарубежных производителей (материалы от компаний Beckhoff, Lenze и "Б+Р Промышленная Автоматизация").

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КРОСПЛАТФОРМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

С.Н. Григорьев, А.Г. Андреев, Г.М. Мартинов (МГТУ "Станкин")

Проведен анализ и обоснована необходимость кроссплатформенных решений в области систем числового программного управления (ЧПУ) высокотехнологичным оборудованием. Определен вектор развития современных систем управления, предложена архитектурная модель базового ядра кроссплатформенной реализации систем ЧПУ. Раскрыта специфика реализации, проиллюстрированы примеры прикладных решений на базе системы ЧПУ класса PCNC¹.

Ключевые слова: кроссплатформенная система ЧПУ, управление периферийными устройствами, полевые шины, диагностика режущего инструмента, система управления технологическими роботами.

Введение

Задачи технологического перевооружения российской промышленности невозможно решить без создания отечественных систем ЧПУ класса Hi-End, которые позволили бы производителям систем управления, станкостроителям и конечным пользователям беспрепятственно интегрировать свои технологические "ноу-хау" [1].

Коммерческие системы ЧПУ отечественных производителей, представленные на сегодняшнем рынке, не могут служить базой для переоснащения промышленности, так как они либо ориентированы на решение широкого круга несложных задач, либо по-

строены на базе импортного программно-аппаратного ядра полуоткрытого типа, что делает их неприемлемыми для инновационных проектов. Путь, по которому идут российские станкостроители — использование импортных решений — со стратегических позиций является бесперспективным, поскольку не обеспечивает технологической независимости и безопасности страны [2].

С оснащением российской промышленности импортными системами управления вопрос стоит довольно сложно. Системы управления промышленными роботами, для лазерных технологий, пятикоординатные системы ЧПУ и ряд других, определяющих

¹Работа выполнена по Госконтрактам № П693 и № П858 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг.

*Будьте внимательны
к своим мыслям, -
они начало поступков.*

Лео Цзы

качественный уровень развития национального машиностроения, находясь в списке технологий двойного назначения, их распространение ограничено Вассенаарским соглашением, и для продажи за рубеж требуется специальное разрешение экспортной комиссии страны производителя, которое не всегда может быть получено.

Кроме того, следует учитывать факт, что зарубежные производители (в том числе и мировой лидер в области систем ЧПУ – Fanuc) проводят политику комплектной поставки, когда с системой управления навязываются сервопривода, контроллеры электроавтоматики и сопутствующее оборудование производителя. Фирма Siemens выпустила на рынок очередную версию своей флагманской системы ЧПУ SINUMERIK 840D sl в виде интегрированного решения, где в рамках монолитного блока реализованы система ЧПУ, ПЛК и контроллеры приводов. Фирма Heidenhain помимо того, что предлагает только комплексные решения, в России предлагает только экспортный вариант систем ЧПУ с ограниченной функциональностью.

Анализ тройки мировых лидеров по системам ЧПУ дает полное представление о ситуации на рынке. Изложенная политика не способствует развитию в российской промышленности смежных направлений (производство контроллеров электроавтоматики, движения и сервоприводов), где все еще отечественные производители пытаются удержаться. Альтернативный путь развития – создание отечественной системы с открытой модульной архитектурой и масштабируемым ядром.

Далее рассмотрена экспериментальная система ЧПУ высокотехнологичным оборудованием, созданная в МГТУ "Станкин" в рамках совместных проектов с ведущими отечественными машиностроителями: ОАО "АвтоВАЗ", "САСТА", "НИАТ", "СМЗ", "ЭНИМС", "НИИИзмерения", ЗАО "Литоформ" и др.

Вектор развития

В конце 80-х – начале 90-х гг. XX века сложились два направления в области применения станочного оборудования с ЧПУ. Первое из них – восточно-европейское, характеризующееся тем, что на дорогостоящем оборудовании со сложными системами ЧПУ работал высококвалифицированный персонал, как правило, инженеры. Сложные системы ЧПУ с многофункциональным интерфейсом превращались в мощный инструмент в руках опытных специалистов.

Второе направление сложилось в Америке, для него характерно то, что к системам ЧПУ выдвигается требование, чтобы интерфейс самой сложной системы мог управляться не более чем двумя клавишами, что позволяет ставить за станок "людей с улицы" после 2...3 дней обучения. По этой же причине уже 5...6 лет в южные штаты импортируются двуязычные системы ЧПУ с интерфейсом на английском и испанском языках. Это означает, что сложность системы управления спрятана под элементарным интерфейсом оператора.

Европейские промышленники стремятся совместить оба направления, для чего требуется четкая спецификация интерфейсных функции ядра и соответствующее архитектурное решение. Это позволяет отделить ядро системы от интерфейсной части (терминала) и реализовать любое направление.

Повышение сложности систем ЧПУ хотя и связано с увеличением трудозатрат на разработку, но приводит к созданию базовых решений, на основе которых komponуются частные версии для токарной, фрезерно-сверлильной, шлифовальной, лазерной, электроэрозионной и др. видов обработки, формируется необходимый набор G-и M-функций и станочных циклов. Хотя некоторые производители все еще выпускают параллельно системы с принципиально разными базовыми платформами, имеющие мало общего между собой (например, системы SINUMERIK 802 (бюджетная версия) и SINUMERIK 840 (продвинутая система) фирмы Siemens), сегодня тенденция состоит в использовании общего ядра с возможностью его конфигурирования для простых или сложных систем. По этому пути развивается линейка систем ЧПУ MTX фирмы Bosch Rxroth [2].

Привязка к конкретной платформе (то есть набору аппаратного обеспечения и ОС) связана с большим риском. Ряд производителей сориентировались на ОС, функционирующие на различной аппаратуре, чаще используется Linux. Вопрос с бесплатным Linux не однозначный. Американские производители держатся за это направление, поскольку они свободны от лицензионных отчислений. В Европе к бесплатному ПО относятся скептически, если речь идет об управлении в РВ, а Linux используют во вспомогательных целях, например, при создании БД для управления комплектацией режущего инструмента в цеху.

Кроссплатформенное решение позволяет не привязывать алгоритмы ядра к конкретной платформе и относительно безболезненно перейти на новые решения, которые могут появиться в будущем. Такой подход позволяет сохранить инвестиции, вложенные в разработку систем ЧПУ.

Архитектурная модель базового ядра кроссплатформенной реализации

Система ЧПУ, как виртуальная машина, в вертикальном сечении имеет многоуровневую структуру (рис. 1). На нижнем уровне располагается стандартная РС-аппаратура, расположенная в защищенном корпусе промышленного исполнения, и специализированная NC-аппаратура для подключения технологического оборудования по промышленным шинам. Вместе с ОС РВ, расположенной на следующем уровне, они образуют платформу системы управления.



Рис. 1. Виртуальная модель кроссплатформенной системы ЧПУ

Выше расположен платформенезависимый слой, позволяющий маскировать особенности платформы от реализации верхних уровней ПО. Здесь реализуются мютексы, таймеры, разделяемая память, оболочки функции Run Time библиотеки.

На уровне ядра системы реализуются: интерпретатор управляющей программы, алгоритмы интерполяции, алгоритм предсмотра кадров (look ahead), алгоритмы управления электроавтоматикой, функции диспетчеризации задач.

Уровень коммуникационной среды обеспечивает обмен информацией между ядром системы управления и прикладными приложениями [3], маскируя при этом архитектурную организацию (двух- или однокомпьютерное решение).

На прикладном уровне располагается интерфейс оператора, редакторы управляющих программ и машинных параметров, специальные диагностические приложения [4]. В основном эти приложения реализуются на платформе .NET, но могут применяться решения на базе Web-браузера, например, удаленный терминал системы ЧПУ.

В стандартное решение, используемое в системе ЧПУ "АксиОМА Контроль" (разработка МГТУ "Станкин") (рис. 2), входят: панель оператора, содержащая жидкокристаллический монитор с широким углом обзора, ряд функциональных и столбец машинных клавиш, управляющая функционалом системы ЧПУ станочная панель, компьютер промышленного исполнения, реализующий терминальную задачу управления системой ЧПУ, ПК-клавиатура промышленного исполнения для ввода текстовой информации и компьютер промышленного исполнения, реализующий ядро системы управления.

Применение микроконтроллеров на основе процессора ARM для реализации панелей оператора обеспечивает ряд преимуществ: компактность решения, возможность программирования на привычных для разработчиков

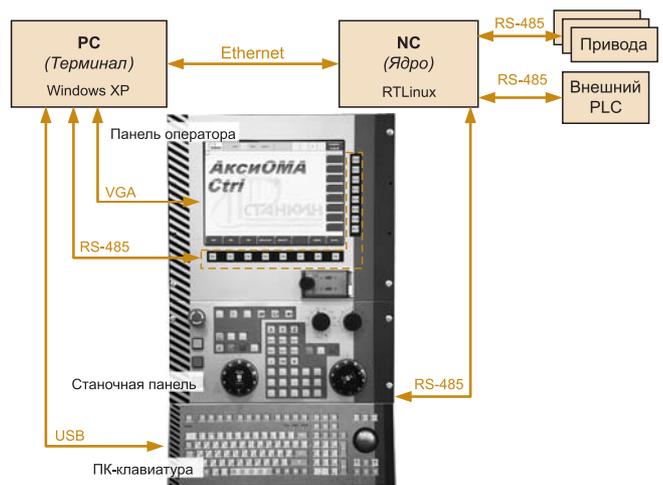


Рис. 2. Интерфейсы подключения периферийных устройств к системе ЧПУ

языках ANSI C и C++ (что сокращает время разработки), поддержку стандартных каналов для связи с периферийными устройствами (USB, RS-485), возможность быстрого перепрограммирования непосредственно на объекте управления через USB порт, возможность управления в РВ по каналу связи RS-485, возможность отладки управляющих программ контроллеров непосредственно на панели оператора, возможность работы в промышленных условиях.

Инвариантность компоновки системы управления

Современные ТП требуют распределенного функционирования управляющих компонентов, что предполагает их включение в общую информационно-вычислительную среду через промышленные сети [1].

Заложенное в систему управления свойство инвариантности позволяет комплектовать системы ЧПУ для управления периферийными устройствами по промышленным сетям на базе интерфейсов SERCOS

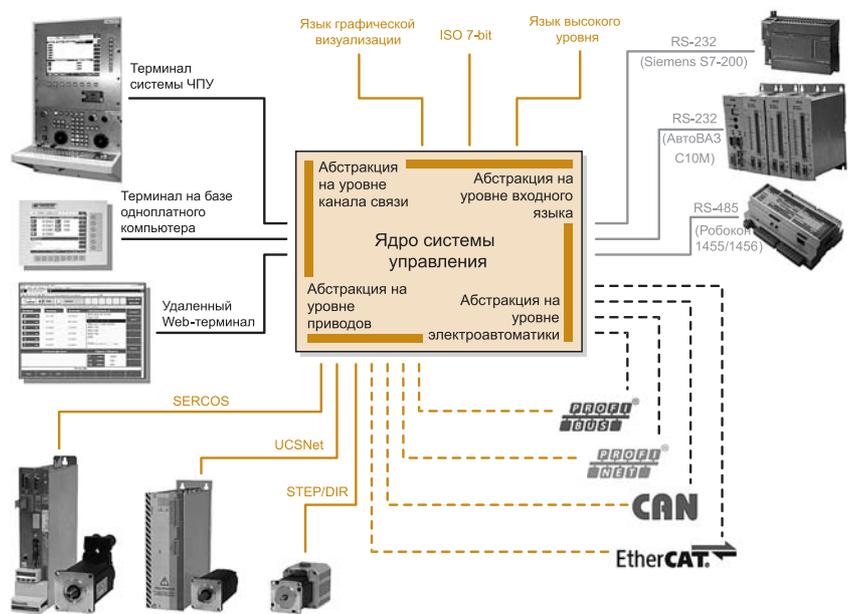


Рис. 3. Инвариантность компоновки многофункциональной системы ЧПУ

II и SERCOS III (Serial Real-time COmmunication System), Step/Dir, CanBus или USCNet (протокол, разработанный в МГТУ "Станкин"), а для управления контроллерами электроавтоматики – по шинам RS-232/485. На рис. 3 представлены варианты комплектации (сплошными линиями обозначены реализованные в системе управления протоколы и подключенное оборудование; протоколы, реализация которых находится в процессе разработки или испытания, отображены пунктирной линией).

Удаленный терминал, реализованный на базе одноплатного компьютера, подключенного по TCP/IP, позволяет оператору следить за процессом обработки, используя упрощенный интерфейс оператора. С помощью Web-терминала сервисные службы осуществляют удаленную диагностику и настройку цифровых приводов [5].

Прикладные решения для фрезерных и токарных обрабатывающих центров

Компоновка базовой системы ЧПУ для управления станком предполагает: конфигурирование машинных параметров (что включает привязку к кинематической схеме, назначение имен осей, определение границ рабочей области, назначение предельных значений скорости и ускорения приводов), реализацию алгоритмов управления электроавтоматикой (автоматическая и ручная смена инструмента, обдустружки, подключение конечных выключателей и блокировка дверей), конфигурацию версии языка управляющей программы под конкретный тип станка, выпуск соответствующей документации.

Решение для фрезерного обрабатывающего центра с функцией управления магазином для автоматической



Рис. 4. Экспериментальный образец фрезерного обрабатывающего центра МС-400 (ПТОО АвтоВАЗ) с комплектной системой управления (МГТУ «Станкин»)

смены инструмента (рис. 4) демонстрировалось на выставки "МЕТАЛЛООБРАБОТКА – 2010".

В декабре 2010 г. в рамках важнейшего инновационного проекта "Разработка комплекса наукоемких комплектующих изделий, обеспечивающих конкурентоспособность современного механообрабатывающего оборудования" реализуемого МГТУ "Станкин" совместно с ОАО "САСТА", создан и запущен в эксплуатацию токарный станок (с направляющими качения), оснащенный комплектной системой ЧПУ собственной разработки (рис. 5).

Расширение системы ЧПУ для реализации задачи мониторинга и прогнозирования остаточной стойкости инструмента

Проблема гарантированного обеспечения завершения технологического перехода без поломки режущего инструмента является очень важной при изготовлении ответственных деталей. Европейские и японские производители при механообработке практикуют принудительную замену инструмента по расходу ресурса не более 70% ресурса режущего инструмента. Это не самое дешевое решение оправдывает себя, и оно реализуемо, поскольку разброс стойкости партии режущего инструмента, используемого указанными производителями, находится в пределах 20%. Разброс стойкости партии отечественного режущего инструмента намного больше, что не позволяет применять подобные подходы. Решение, которое реализовал МГТУ "Станкин", заключается в мониторинге и прогнозировании остаточной стойкости инструмента непосредственно в процессе обработки заготовки [6].

Испытания проводились на модернизированном станке 16A20 (производство ОАО "Красный пролета-



Рис. 5. Экспериментальный образец токарного станка СА700КФ2 (ОАО САСТА) с комплектной системой управления (МГТУ «Станкин»)



Рис. 6. Модернизированный станок 16A20 с диагностическим комплексом, интегрированным в систему ЧПУ

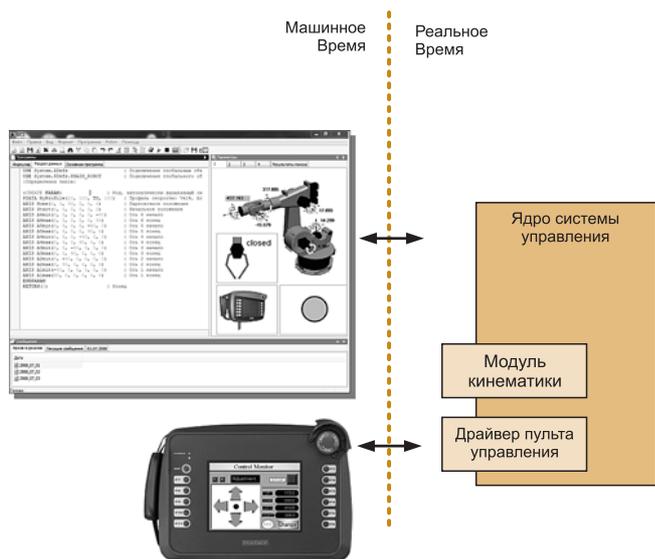


Рис. 7. Архитектура системы управления робототехнологическим комплексом

рий") с комплектной системой управления (система ЧПУ, следящие привода, контроллер электроавтоматики) и устройством сбора диагностических данных (производство МГТУ "Станкин") (рис. 6).

Система управления для линейки технологических роботов

Идеология кроссплатформенных компьютерных систем ЧПУ и заложенная открытая архитектура позволили получить чрезвычайно гибкий программно-аппаратный комплекс, адаптируемый к максимальному числу приложений (управление станками и роботами различных типов), обеспечить конкурентоспособность создаваемых комплектов систем управления за счет собственного "ноу-хау" и минимизировать зависимость системы от быстротечных изменений на рынке компьютерной и процессорной техники.

Система обеспечивает контурное управление любыми шестизвенными антропоморфными манипуляторами технологических роботов, для которых имеется замкнутое обратное преобразование координат. Ядро системы управления реализует сложные движения концевой звена (инструмента) робота посредством интерполяции сплайнов пятого порядка.

Специфичными в системе управления являются: модуль кинематических трансформаций, осуществляющий обратное преобразование координат, пульт управления, подключаемый к компьютеру РВ, терминал, реализующий в первую очередь функции перепрограммирования, диагностики и запуска в эксплуатацию робототехнологического комплекса (РТК) (рис. 7).

Алгоритмы преобразования координат реализуют управление роботами по расширенным математическим моделям с учетом перекосов и смещений осей, смещения начала отсчета координат, погрешности передаточных отношений редукторов [7]. При управлении движением технологического робота учитыва-

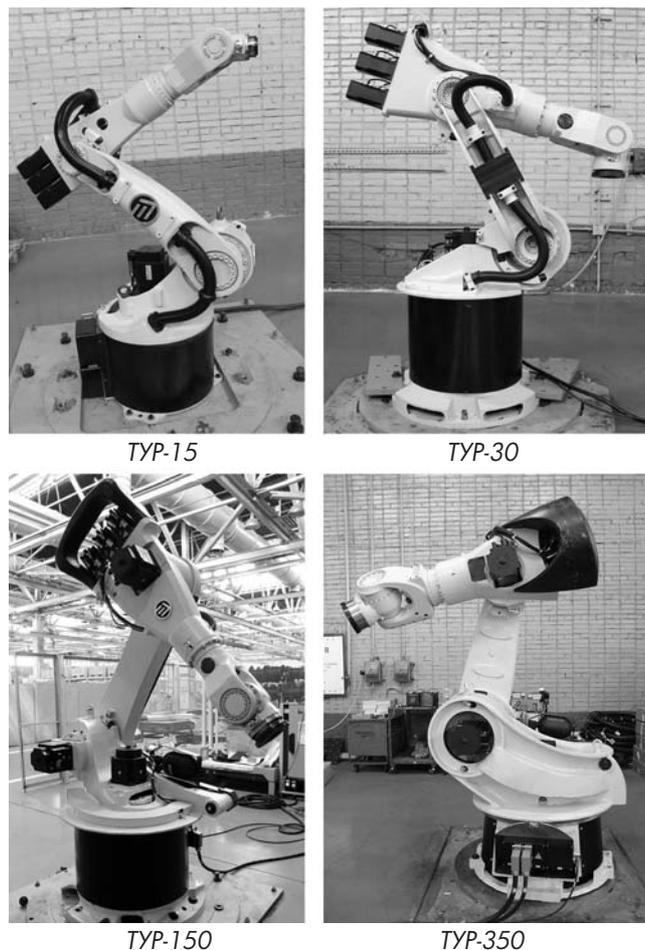


Рис. 8. Технологические роботы серии "ТУР" с комплектной системой управления (МГТУ "Станкин")

ется в РВ информация от внешних сенсоров, то есть реализуется адаптивное управление. Закон движения инструмента робота по заданной траектории при программировании описывается пользователем отдельно от формы траектории и в процессе управления может динамически изменяться, например, в зависимости от информации от внешних сенсоров [8]. Программная траектория задается из файла системы графического моделирования (САД-системы).

В рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка и освоение производства гаммы отечественных универсальных технологических роботов для массовых автоматизированных производств гражданской машиностроительной продукции", реализуемого по заказу Министерства промышленности и торговли РФ, созданной МГТУ "Станкин" системой управления были оснащены технологические роботы серии "ТУР" (рис. 8), серийное производство которых с 2010 г. начато ПТОО ОАО "АВТОВАЗ".

В рамках выполняемых в МГТУ "Станкин" проектов осуществляется разработка РТК с модульной унифицированной конструкцией для лазерной сварки сложных пространственных изделий. На систему управления возлагаются задачи адаптивного управления (реализуются с помощью встроенного датчи-

ка контроля стыка), расширения возможностей его эксплуатации за счет применения широкой номенклатуры дополнительного технологического оборудования, осуществление сопутствующих технологических операций, как, например, дуговая и гибридная сварка, нанесение клеев и герметиков, складирование и транспортирование грузов, лазерная и плазменная резка, осуществление сборочных операций, резка струей высокого давления, а также абразивная безразмерная обработка сварных швов после процесса сварки.

Заключение

Компьютерные системы ЧПУ являются основой технологического перевооружения и модернизации промышленного производства. Отсутствие отечественных систем управления класса Hi-End и многолетнее отставание от мировых лидеров заставляет искать рациональные пути создания систем управления этого класса.

Сосредоточение функциональных ресурсов в базовом кроссплатформенном решении позволяет достичь максимальных результатов при ограниченности средств и времени. При этом сохраняются вложенные инвестиции при переходе в будущем на новые программно-аппаратные технологии.

Проведенные в МГТУ "Станкин" научно-исследовательские, опытно-конструкторские и экспериментальные работы подтверждают изложенные идеи.

*Григорьев Сергей Николаевич – д-р техн. наук, проф., ректор МГТУ "Станкин",
Андреев Александр Геннадиевич – канд. техн. наук, проректор по развитию МГТУ "Станкин",
Мартинов Георгий Мартинович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
"Компьютерные системы управления" МГТУ "Станкин".*

*Контактные телефоны: (499) 973-30-80, 972-94-40.
E-mail: andreev_ag@stankin.ru, martinov@ncsystems.ru
Http://www.stankin.ru, www.ncsystems.ru*

Список литературы

1. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5. С. 4-8.
2. Мартинов Г. М., Мартинова Л. И. - Современные тенденции в области числового программного управления станочными комплексами // СТИН. 2010. №7. С. 7-10.
3. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. – М. Логос, 2005. 296 с.
4. Мартинов Г. М., Трофимов Е.С. Модульная компоновка и построение прикладных приложений диагностики систем управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №7. С. 44-50.
5. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин", 2010. №4(12). С. 116-122.
6. Мартинова Л.И., Григорьев А.С., Соколов С.В. Диагностика и прогноз износа режущего инструмента в процессе обработки на станках с ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2010. №5. С. 46-50.
7. Григорьев С.Н., Андреев А.Г., Кудымов Д.Н. Инструментальная система для разработки программного обеспечения компьютерных систем управления дискретными технологическими машинами // Вестник компьютерных и информационных технологий. , 2005. № 5. С.23-28.
8. Андреев А.Г., Григорьев С.Н. Построение компьютерных систем программного управления мехатронными устройствами по модульному принципу // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2005. №10. С. 8-13.