

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ. УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА № 5 / 2011

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Автоматизированные системы управления

С.Н. ГРИГОРЬЕВ, д-р техн. наук, профессор
(Московский государственный
технический университет “Станкин”)

S.N. GRIGORIEV
(Moscow state
technical university “Stankin”)

**Принципы создания
многофункциональной системы
числового программного управления
технологическим оборудованием
на базе общего ядра с открытой
модульной архитектурой**

**Principles for creating
a multifunctional numerical
control system for process
equipment based on a common
kernel with an open
modular architecture**

Проанализированы возможности создания отечественной многофункциональной системы числового программного управления. Исследованы направления развития систем ЧПУ класса “Hi-End”. Систематизированы требования и обоснован вариант построения многофункциональной системы ЧПУ на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой. Раскрыта специфика построения компьютерной системы управления робототехническим комплексом и фрезерным обрабатывающим центром в рамках инновационных проектов МГТУ “Станкин”.

The possibility of creating a multifunctional Russian CNC system are analyzed. The development lines of “Hi-End” CNC systems are investigated. Requirements of multifunction control system are systematized and a version of building control system based on a common kernel with an open modular architecture is substantiated. The specific of developing computer robotic control systems and CNC system for milling machine in direction of MSTU “Stankin” innovative projects are illustrated.

Ключевые слова: многофункциональная система ЧПУ, открытая модульная архитектура, система управления промышленными роботами.

Key words: multifunctional CNC system, open modular architecture, system of controlling industrial robots.

Введение

Центральное место в современном технологическом, в частности, механообрабатывающем оборудовании занимают системы ЧПУ, во многом определяющие его основные технические характеристики. Системы ЧПУ, в задачи которых входит кроме прочего, сделать процесс общения человека-оператора с технологическим оборудованием максимально удобным и эффективным, становятся необходимым условием для обеспечения конкурентоспособности любого механообрабатывающего оборудования. Потребители при покупке оборудования изначально исходят не только из факта наличия системы управления как таковой, но из того, насколько она отвечает современным представлениям об интерфейсе

пользователя: диагональ и угол обзора экрана, оснащённость средствами интуитивно понятной пользователю визуализации и диагностики технологического процесса, эргономичность органов управления.

1. Состояние развития отечественных систем числового программного управления

Оснащённость выпускаемых станков системами ЧПУ можно считать мерой качественного уровня развития национального станкостроения. В последние тридцать лет доля станков и кузнечно-прессового оборудования с ЧПУ в мировом выпуске неуклонно увеличивалась. Например, в производстве одного из лидеров мирового станкостроения и ведущего экспортера в Россию – Германии, доля металлорежущих станков с ЧПУ сегодня

составляет около 90%, доля кузнечно-прессового оборудования с ЧПУ – более 50%.

К сожалению, вопреки мировой тенденции развития, в России в области систем ЧПУ в последние 20 лет не только не было прогресса, но и наблюдался регресс. Сегодня системами ЧПУ оснащаются только около 5% выпускаемых в России металлорежущих станков и не более 1% кузнечно-прессового оборудования. Для сравнения, в СССР в 1990 году для каждого вида оборудования эти показатели составляли 14% (в три раза больше, чем в современной России) и 6% (в шесть раз больше, чем в современной России), что тогда примерно соответствовало мировому уровню.

Качественная картина не лучше. Зарубежные системы ЧПУ постоянно совершенствовались и совершенствуются, обеспечивая возрастающие скорости и точности рабочих движений и предоставляя пользователям принципиально новые возможности по автоматизации производства, в числе которых методы удаленного управления оборудованием через сеть Интернет. Основными направлениями развития систем программного управления в мире являются:

- увеличение производительности вычислений, которая отражается на качестве управления и напрямую влияет на производительность и качество обработки – за счет применения все более производительной вычислительной техники и совершенствования алгоритмов управления;
- совершенствование интерфейса пользователя: предоставление все более развитых средств моделирования и визуализации технологического процесса изготовления деталей, контроля за этим процессом;
- совершенствование средств формального описания технологического процесса (составления управляющих программ) при переналадке оборудования, максимальное освобождение человека-оператора от рутинных управляющих операций, обеспечение интеллектуального автоматического контроля за технологическим процессом и состоянием оборудования;
- обеспечение возможностей построения из систем управления иерархических сетей, совершенствование средств и способов подготовки, сортировки и обработки информации, обмениваемой по таким сетям, для предоставления управляющему персоналу максимально оперативной и объективной информации о состоянии производства.

Достигнутый мировыми лидерами качественный уровень развития систем ЧПУ значительно опережает уровень современных российских разработок. В этих условиях российские производители механообрабатывающего оборудования вынужденно переориентировались на оснащение своей продукции импортными системами ЧПУ. При этом возникает две большие проблемы.

Во-первых, вопреки распространенному представлению, несмотря на вхождение России в глобальный рынок, не любое оборудование с ЧПУ и не любая система ЧПУ может быть свободно импортирована в Россию. Все промышленно развитые страны,

стремясь сохранить достигнутое преимущество в технологическом развитии, ограничивают распространение наиболее наукоемкого оборудования, используя механизмы Вассенаарского соглашения о контроле над распространением технологий и оборудования двойного назначения. Членами Вассенаарского соглашения являются все промышленно развитые страны мира, в том числе и Россия. Экспорт двойных технологий из этих стран подлежит государственному лицензированию: национальные органы экспортного контроля могут отказать любому поставщику в лицензии на продажу любого товара, отнесенного к двойным технологиям, на основании соображений национальной безопасности. В список Вассенаарского соглашения включены системы ЧПУ с функциями 5-координатной обработки и системы управления технологическими роботами – то есть самые сложные и технически совершенные системы управления, без которых невозможно производство современных самолетов, ракет, судов, двигателей, энергоустановок и прочей аналогичной техники не только оборонного, но и гражданского назначения. Поставки в Россию таких систем серьезно затруднены, некоторые модели систем не поставляются вообще.

Вторая проблема заключается в том, что современная система ЧПУ является закрытой компьютерной системой с широким набором функций и возможностей (как вычислительных, так и коммуникационных), полностью известных только разработчику системы. Зарубежные производители систем ЧПУ, требуя обязательного подключения систем к сети Интернет для сервисного обслуживания, оснащая системы датчиками глобальной навигационной системы GPS, включая в состав систем скрытые от пользователя средства накопления и передачи информации, имеют возможность постоянно или периодически получать сведения о том, где находится оснащенное системой ЧПУ оборудование и какая продукция на нем производится. Очевидно, что такое положение совершенно недопустимо для российских машиностроительных производств, выпускающих продукцию стратегического назначения (вооружения, ракетно-космическую технику, ядерное оборудование).

Обе названные проблемы в области систем ЧПУ являются проблемами обеспечения технологической независимости России. Россия может в долгосрочной перспективе претендовать на самостоятельную роль в мировом сообществе только в том случае, если обеспечит у себя развитие собственного конкурентоспособного станкостроения, снабжающего российские стратегические машиностроительные предприятия оборонно-промышленного, авиакосмического, судостроительного и энергомашиностроительного комплексов конкурентоспособным отечественным механообрабатывающим оборудованием. Решение этой задачи невозможно без разработки и освоения серийного производства российских систем ЧПУ, не уступающих по своим техническим характеристикам и конкурентоспособности лучшим мировым аналогам.

2. Характеристики современных зарубежных систем ЧПУ класса “Hi-End”

Успешность создания системы ЧПУ класса “Hi-End” определяется, во-первых, правильностью выбранной архитектурной концепции, во-вторых, удачным выбором технологии разработки. Задача такого масштаба выходит за рамки одной организации (компании) и может быть решена только в рамках совместных проектов с привлечением ученых из передовых университетов и высококлассных технических специалистов промышленности.

Вектор развития систем ЧПУ в мире задается японской фирмой *FANUC*. Последний тренд – все более широкое применение функций искусственного интеллекта, которые позиционируются как “умные решения”. Для изготовления деталей с высокой степенью чистоты поверхности, при которой финишная обработка практически не требуется, программа контурной обработки может быть дополнена функцией наноинтерполяции. “Умная” система компенсации температурной деформации осуществляет поправку на температурную деформацию шпинделя по оси Z, уровень точности поправки зависит от конкретных рабочих условий. На базе элементов искусственного интеллекта построена система автоматического контроля (диагностики) состояния (износа) инструментов – система регулирования жизненного цикла инструментов. Она следит за длительностью и частотой эксплуатации инструментов и автоматически заменяет их в случае превышения эксплуатационных параметров. Система компенсации ударных и вибрационных возмущений осуществляет автоматическое управление подачей при обходе углов. Системы ЧПУ “*FANUC*” серии *30i/31i/32i-MODEL A* осуществляют одновременное управление 10-ю каналами, 32-мя осями (координатами) и 8-ю шпинделями. Максимальное количество одновременно интерполируемых осей (координат) – 24.

Флагманская система немецкой фирмы *SIEMENS* модели *SINUMERIK 840D/Di sl (Solution Line)* имеет расширенную модульную архитектуру, функции сплайн-интерполяции и сжатия (компрессии) кадров, располагает системами поддержки цехового программирования. В системах ЧПУ *840D/Di sl* количество управляемых осей (координат) достигает 64.

Системы ЧПУ немецкой фирмы *Heidenhain* ориентированы на поддержку технологического процесса, чему служит мощный набор станочных циклов и инструментарий для их разработки. Функция предпросмотра программы (*Look-ahead*) с буфером до 1024 кадров своевременно распознает изменения в направлении движения инструмента для последующей коррекции законов разгона и торможения. Функция адаптивного управления подачей регулирует контурную скорость перемещения по траектории в зависимости от используемого процента мощности шпинделя. Модель ЧПУ класса “Hi-End” *iTNC-530* фирмы “*Heidenhain*”, ориентирована на обработку поверхностей свободной формы и позволяет одновременно управлять 13 осями

(координатами) при минимальном времени обработки кадра управляющей программы до 0,5 мс. Система оснащена инструментарием удаленной диагностики, контроля и управления системой ЧПУ, а также функцией мониторинга столкновений механических модулей станка, приспособлений, деталей и инструментов при отработке управляющей программы на станке – *DCM (Dynamic Collision Monitoring)*.

Наиболее совершенная модель системы ЧПУ немецкой фирмы *Bosch Rexroth* – система *MTX Advanced* – может управлять 64 осями (координатами) по 12 каналам управления до 8 интерполируемых осей (координат) на канал. Система имеет функции вычислений и интерполяции с нанометрической точностью, а также трехмерной визуализации процесса обработки по управляющей программе. Система автоматически предотвращает столкновения механических модулей станка, приспособлений, деталей и инструментов.

Система ЧПУ класса “Hi-End” модели *CNC 8070* испанской фирмы *FAGOR* реализует интерполяцию с нанометрической точностью и применима для высокоскоростной обработки на многокоординатных обрабатывающих центрах. Специальные алгоритмы для высокоскоростной обработки оптимизируют обработку для получения максимальной скорости, обеспечивают гладкий контур и наилучшую чистоту обработки. Система обеспечивает одновременное управление 28 интерполируемыми осями (координатами), 4 шпинделями, 4 инструментальными магазинами по 4 каналам управления. Несколько систем ЧПУ модели 8070 могут объединяться в сложные комплексы на базе *Ethernet*. Система поддерживает язык программирования высокого уровня, сплайн-интерполяцию, трехмерное графическое моделирование процесса обработки. Система имеет функции удаленной диагностики для профилактического обслуживания оборудования.

Двухкомпьютерная модель *M750* японской фирмы *Mitsubishi* реализует до 4 каналов управления и управляет 16 осями (координатами), восемь из которых могут одновременно интерполироваться. Функция управления качеством обеспечивает постоянство качества обработки независимо от геометрии формы. Система осуществляет коррекцию ошибок, связанных с деформацией координаты, синхронизацию движения сервопривода и шпинделя за счет учета сетевой задержки команд, минимизацию влияния вибраций. Функция предотвращения столкновений в процессе обработки учитывает модель станка, относительное положение детали и траекторию движения инструмента.

На разработку каждого поколения систем ЧПУ класса “Hi-End” мировые лидеры затрачивают 10...15 лет. Трудоемкость разработки составляет тысячи человеко-лет, что определяет достаточно высокую цену на системы ЧПУ этого уровня: ценовой диапазон импортных систем ЧПУ класса “Hi-End” начинается от 15 тыс. евро и доходит до 40...70 тыс. евро, в зависимости от конкретной конфигурации системы. При этом в эту сумму не входит стоимость приводов, то есть цена комплектной системы может быть существенно выше.

Зарубежную систему ЧПУ, синхронно управляющую 4-мя осями, можно приобрести без особых проблем, хотя за последние 2-3 года время поставки систем ЧПУ и их компонентов в Россию увеличились более чем вдвое. Для приобретения системы ЧПУ, синхронно управляющей 5-ю и более осями (координатами), требуется разрешение органов экспортного контроля страны происхождения системы, на получение которого, например, в Германии, требуется от 8 до 12 месяцев, причем, без гарантии результата. Приобретение аналогичной системы ЧПУ у японских производителей еще сложнее (практически невозможно). Ряд производителей, например, фирма *Heidenhain*, продает в Россию только экспортные варианты систем ЧПУ с ограниченными функциями.

Даже если российскому потребителю удалось купить импортную систему ЧПУ класса “*Hi-End*”, ее применение для оснащения конкретного российского станка сильно затруднено тем, что, несмотря на декларируемую некоторыми производителями “открытость” своих систем ЧПУ, это – не более чем рекламный трюк. Например, фирма *Siemens* продает уровни открытости своей флагманской системы 840-й серии в зависимости от потребностей заказчика, но и самый высокий уровень открытости, который можно приобрести, не раскрывает системного ядра и не позволяет покупателю самостоятельно, без участия специалистов фирмы *SIEMENS* реализовать на станке современные технологии многокоординатной высокоскоростной прецизионной обработки.

Кроме того, многие зарубежные фирмы-производители систем ЧПУ практикуют политику комплектной поставки и вынуждают потребителя приобретать весь комплект оборудования только у одного производителя. *Fanuc* продает свои системы только в комплекте с собственными приводами и электроавтоматикой. Ситуация с фирмой *Siemens* похожа: хотя у фирмы можно купить все компоненты системы ЧПУ по отдельности и состыковать с оборудованием сторонних производителей, при этом неизбежны потери в быстродействии и функциях [2]. Например, применяемый в системах ЧПУ фирмы *Siemens* высокоскоростной протокол *DriveClick* с пропускной способностью 100 МБит/с является закрытым и может быть использован только для управления следящими приводами фирмы *Siemens*. Этими же приводами фирмы *Siemens* можно управлять и от системы ЧПУ стороннего производителя (либо от системы ЧПУ фирмы *Siemens* можно управлять приводами стороннего производителя) – но только по протоколу *Profibus DP*, который обеспечивает максимальную скорость только в 12,5 МБит/с, то есть практически на порядок меньше, чем *DriveClick*. Соответственно, неизбежны (при прочих равных условиях) потери на порядок в точности или скорости обработки.

В совокупности, организационные, экономические и технические барьеры, выстроенные зарубежными производителями систем ЧПУ (самостоятельно или по воле политического руководства соответствующих стран), практически полностью блокируют применение в России импортных систем ЧПУ класса “*Hi-End*” для комплектации отечественного механообрабатывающего

оборудования. Однако это обстоятельство, как правило, остается скрытым для тех, кто судит о доступности зарубежных систем ЧПУ только на основании рекламных заявлений фирм-производителей.

3. Импортзамещение в области систем ЧПУ

В России не производятся системы ЧПУ класса “*Hi-End*”, а выпускаемые системы в силу архитектурных ограничений не могут служить базой для создания системы класса “*Hi-End*”.

Современные системы ЧПУ отечественного производства фирм “Балт-Систем”, “Модмаш-Софт”, “Станкоцентр”, НТЦ “ИНЭЛСИ”, “Микрос” и других организаций можно условно разделить на две большие категории:

- системы, базирующиеся, кроме серийного персонального компьютера, на программно-аппаратных средствах собственной разработки, с применением устаревших *DOS*-подобных операционных систем реального времени;
- системы, базирующиеся, кроме серийного персонального компьютера, на современных импортных микропроцессорных программно-аппаратных комплексах реального времени, с применением операционных систем семейства *Windows* и специальных программных дополнений реального времени.

Первая группа систем не имеет перспектив развития, поскольку ориентирована на устаревшие и более не поддерживаемые и не развиваемые зарубежные компьютерные технологии.

Вторая группа систем основывается на заимствованных технических решениях. Импортные микропроцессорные программно-аппаратные комплексы реального времени (“контроллеры движения” – *Motion Controller*, в большинстве российских случаев – контроллеры серии *PMAC* американской фирмы *Delta Tau*) занимают в этих системах центральное место, полностью определяя архитектуру и технические свойства комплектной системы ЧПУ и, во многом, всего станка. Продвижение таких практически полностью импортных систем ЧПУ на российский рынок под маркой “российских систем” открывает рынок зарубежным производителям базовых комплексов для систем ЧПУ и препятствует попыткам отдельных российских разработчиков создать конкурентоспособные отечественные системы ЧПУ, построенные на оригинальных отечественных программно-аппаратных комплексах.

Отечественные системы ЧПУ не поддерживают функции многокоординатной высокоскоростной прецизионной обработки. Основная область применения российских систем ЧПУ – управление простыми токарными и фрезерными станками. В соответствии с этим, основная номенклатура выпускаемых в России систем ЧПУ – недорогие одноканальные системы с интерполяцией двух-трех осей (координат). Трудоемкость разработки такой системы ЧПУ, особенно при использовании импортного программно-аппаратного ядра,

единицы или, максимум, десятки человеко-лет, то есть на 2-3 порядка меньше, чем трудоемкость разработки системы ЧПУ класса “*Hi-End*”.

Необходимость обеспечения долгосрочной технологической независимости российского машино- и станкостроения, практическая недоступность в России наиболее сложных и высокотехнологичных зарубежных систем ЧПУ, ограниченные возможности российских систем ЧПУ и возрастающая потребность российского машиностроения в механообрабатывающем оборудовании для многокоординатной высокоскоростной прецизионной обработки ставит задачу разработки отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*”, имеющей функции 5-координатной обработки и искусственного интеллекта.

На пути решения этой задачи возникают два основных препятствия.

Первое – организационно-финансовое. В условиях недостатка средств у потенциальных потребителей отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*” (росских станкостроительных предприятий) и их практической ориентации на преимущественное использование импортных систем ЧПУ представляется невозможным привлечь необходимые для разработки отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*” финансовые средства без участия государства. Учитывая сложность задачи, необходимость концентрации усилий разноплановых научных (вузы, институты Российской академии наук, отраслевые научно-исследовательские институты) и промышленных (предприятия машино- и станкостроения) организаций, форматом проекта по созданию отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*” может быть только государственный проект.

Второе – техническое. Для полного (глубокого) импортозамещения при создании системы ЧПУ класса “*Hi-End*” отсутствуют необходимые отечественные программные и аппаратные средства: операционные системы реального времени, инструментальные средства разработки программного обеспечения, электронные компоненты и сборки из них, включая их встроенное программное обеспечение (процессорные платы, платы сетевых интерфейсов и т.п.). При преследовании цели полного импортозамещения задача выходит далеко за рамки собственно разработки системы ЧПУ, и ее решение в современных условиях представляется утопичным.

В этих условиях единственно возможной формой создания в обозримые сроки отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*” является комплексный государственный проект (или последовательная серия таких проектов) с концентрацией усилий разработчиков из разных российских организаций и соблюдением принципов импортозамещения “первого уровня”:

- использование импортных технических (программных и аппаратных) средств, не отнесенных мировым сообществом к технологиям двойного назначения, то есть пока не подлежащих экспортному контролю со стороны стран-поставщиков;
- использование зарубежных программных средств, находящихся в свободном доступе (типа опе-

рационной системы *Linux*);

- использование импортных аппаратных средств (электронных компонентов и сборок из них), выпускаемых серийно (по возможности – массово) и не единственным зарубежным производителем.

Именно в такой форме МГТУ “Станкин” в 2000 году поставил перед собой задачу создания универсальной отечественной системы ЧПУ класса “*Hi-End*”, располагая в тот момент весьма ограниченными кадровыми и финансовыми ресурсами.

4. Создание систем управления в МГТУ “Станкин”

До 2000 года на протяжении 20 предыдущих лет ситуация складывалась так, что разные коллективы разработчиков МГТУ “Станкин” практически автономно вели разработки систем управления для решения разного типа задач. В результате был создан ряд внедренных на промышленных предприятиях разработок:

- системы управления серии *UCS* (*UCS-2*, *USC-M-2000* [3]) для промышленных роботов;
- контроллер цифрового привода *USCNet* и серия интеллектуальных цифровых сервоприводов на его основе;
- однокомпьютерная система ЧПУ *WinPCNC* [4] для трех- и четырехкоординатных станков;
- серия контроллеров электроавтоматики “Малыш”;
- программный контроллер движения для станка лазерной графики *ArtNC*.

Эти разработки, начиная с 2000 года и особенно с началом реализации в 2007 году важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка комплекса наукоемких комплектующих изделий, обеспечивающих конкурентоспособность современного механообрабатывающего оборудования” по заказу Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (государственный контракт от 24.12.08 г. № 8411.0816900.05.593), стали объединяться в рамках общей концепции многофункциональной отечественной системы ЧПУ (рис. 1).

Создание базового ядра для многофункциональной системы ЧПУ потребовало систематизации предъявляемых требований и основных принципов построения системы ЧПУ в рамках модульной организации аппаратно-программного обеспечения системы управления (рис. 2) [5].

Платформонезависимость – подразумевает переносимость (портируемость) программного обеспечения ядра системы ЧПУ на разные платформы. Это может быть, например, персональный компьютер промышленного или офисного исполнения с операционной системой реального времени *Linux* или *Windows* с расширением *RTX*, а также одноплатный компьютер с операционной системой *Windows CE*.

Инвариантность – подразумевает многообразие вариантов исполнения распределенной системы, это может быть решение на базе собственного аппаратного обеспечения или на базе покупной аппаратуры, также

допускаются смешанные варианты, когда используется часть собственного аппаратного обеспечения, а часть приобретается у независимых поставщиков.

Открытость – для производителей систем ЧПУ это, прежде всего, возможность встраивать готовые программные и аппаратные решения сторонних производителей. Для станкостроителей – это возможность разрабатывать собственный интерфейс оператора, создавать станочные циклы и интегрировать внешние диагностические решения на конкретном станке. Для конечного пользователя открытость означает возможность реализовывать собственные технологии, настраивать систему ЧПУ под конкретный технологический процесс и встраивать в систему ЧПУ прикладное программное обеспечение.

Масштабируемость системы – позволяет “клонировать” существующую функциональность несколько раз; обеспечивается за счет многоканальности системы ЧПУ. Оси закрепляются за определенным каналом управления; на каждом канале может быть запущена своя управляющая программа, а выполнение их происходит параллельно. Чаще всего эта функциональность используется для многошпиндельной обработки или для совместного управления станком и погрузчиком.

Многофункциональность – обеспечивает возможность адаптации одной и той же базовой системы управления для разного типа оборудования: токарных, фрезерных или шлифовальных станков, обрабатывающих центров или высокоэффективных технологических комплексов, реализующих перспективные технологии обработки.

Конфигурируемость – предполагает возможность конфигурирования системы как под разные технические и технологические задачи, так и конфигурирование в разные ценовые категории.

На основе предъявляемых требований была определена архитектура обобщенной системы управления (рис. 3), которая включает терминальную часть, работающую в машинном времени (как правило, под операционной системой семейства *Windows*), и ядро, функционирующее в реальном времени (под операционной системой *Linux RT*, дополненной рядом оригинальных программных модулей).

Открытость архитектуры системы управления сосредоточена в уровнях абстракции, обеспечивающих независимость ядра системы управления от конкретной реализации разделяемого уровня [6]. Абстракция на уровне входного языка позволяет использовать любой язык описания обработки детали для передачи данных в интерполятор. Абстракция на уровне канала связи обеспечивает подключение к ядру через сервер данных нескольких терминальных клиентов, в том числе и удаленных терминалов, подключенных через Интернет. Абстракция на уровне приводов и электроавтоматики обеспечивает независимость ядра системы управления от интерфейсов связи с контроллером приводов и электроавтоматики.

По изложенной концепции в 2007-2009 годах в рамках важнейшего инновационного проекта

государственного значения “Разработка и освоение производства гаммы отечественных универсальных технологических роботов для массовых автоматизированных производств гражданской машиностроительной продукции” по заказу Министерства промышленности и торговли Российской Федерации была реализована система управления технологическими роботами (рис. 4).

Специфичными являются: модуль кинематических трансформаций, осуществляющий обратное преобразование координат; пульт управления, подключаемый к компьютеру реального времени; терминал, реализующий в первую очередь функции перепрограммирования, диагностики и запуск в эксплуатацию РТК.

Разработанной системой управления оснащаются созданные совместно с ОАО “АВТОВАЗ” в рамках указанного проекта технологические роботы ТУР-15, ТУР-30, ТУР-150 и ТУР-350 (рис. 5).

В 2010 году завершается создание системы ЧПУ АксиОМА *Ctrl* для металлообрабатывающего оборудования с функцией 5-координатной обработки. Специальным является модуль обработки управляющей программы, созданной на языке *ISO-7bit* или на языке высокого уровня (рис. 6).

В результате интерполяции данных формируются управляющие команды для приводов и электроавтоматики. Информация о ходе выполнения управляющей программы, текущем состоянии приводов и электроавтоматики передается в сервер данных для отображения на интерфейсе пользователя.

Опытный образец системы ЧПУ АксиОМА *Ctrl*, установленной на фрезерный обрабатывающий центр МС-400 производства ОАО “АВТОВАЗ” (ПТОО АВТОВАЗ), демонстрировалась на выставке “Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности МЕТАЛЛООБРАБОТКА-2010”.

В 2010 году начата разработка еще целого ряда версий созданной системы ЧПУ, опытные образцы которых будут изготовлены и испытаны в составе соответствующего оборудования во втором полугодии 2011 года:

- система управления установками для 5-координатной лучевой обработки (гидроабразивной, лазерной и электронно-лучевой) – в составе разрабатываемой совместно с ОАО “НИАТ”, ОАО “ЭНИМС” и ОАО “Савеловский машиностроительный завод” 5-координатной установки для гидроабразивной резки;
- система управления разрабатываемыми совместно с ОАО “НИАТ” установками для селективного послойного лазерного спекания деталей из металлических и керамических порошков;
- система управления создаваемой совместно с ОАО “НИИИзмерения” координатно-измерительной машиной субмикронной точности;
- система управления зубофрезерными станками, входящими в создаваемую совместно с ОАО “САСТА” (Сасовский станкостроительный завод) гамму станков для обработки цилиндрических зубчатых колес максимальным диаметром 200, 800 и 1250 мм;

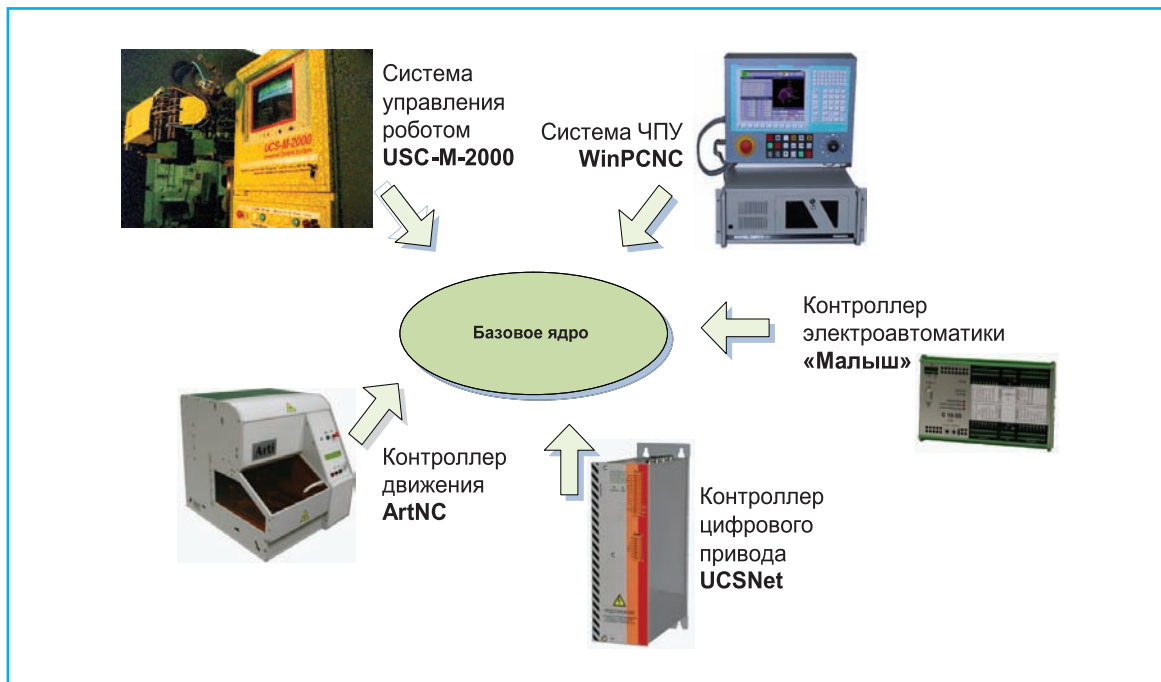


Рис. 1. Формирование базового ядра многофункциональной системы ЧПУ

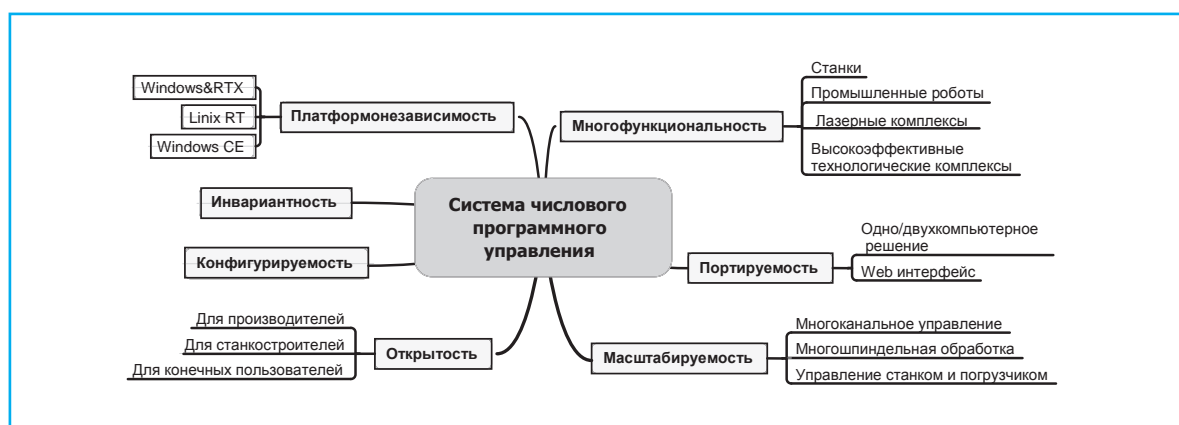


Рис. 2. Основные принципы построения системы ЧПУ класса "Hi End"

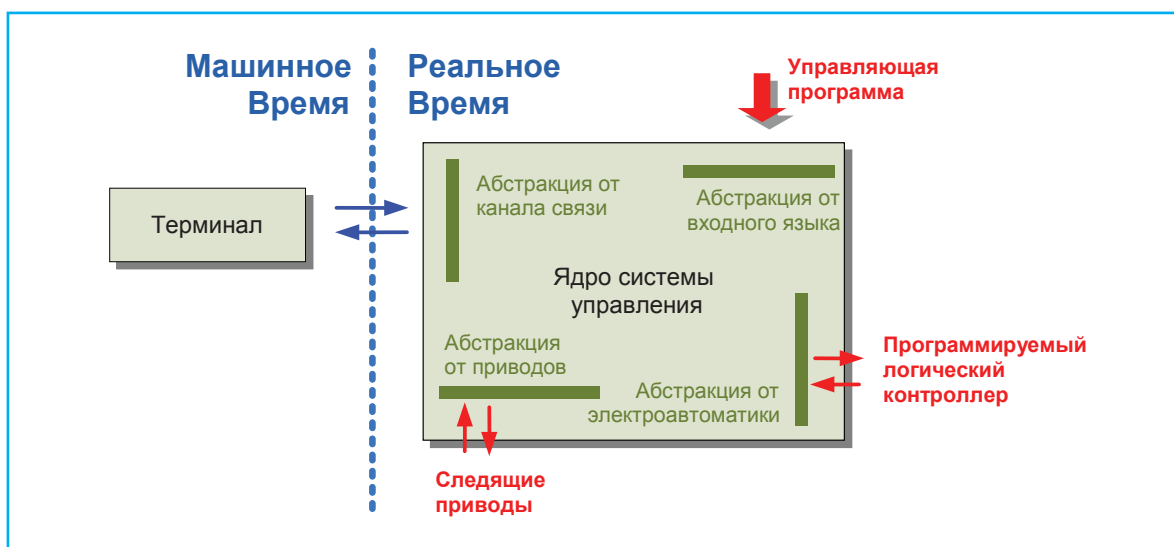


Рис. 3. Архитектурная модель многофункциональной системы ЧПУ

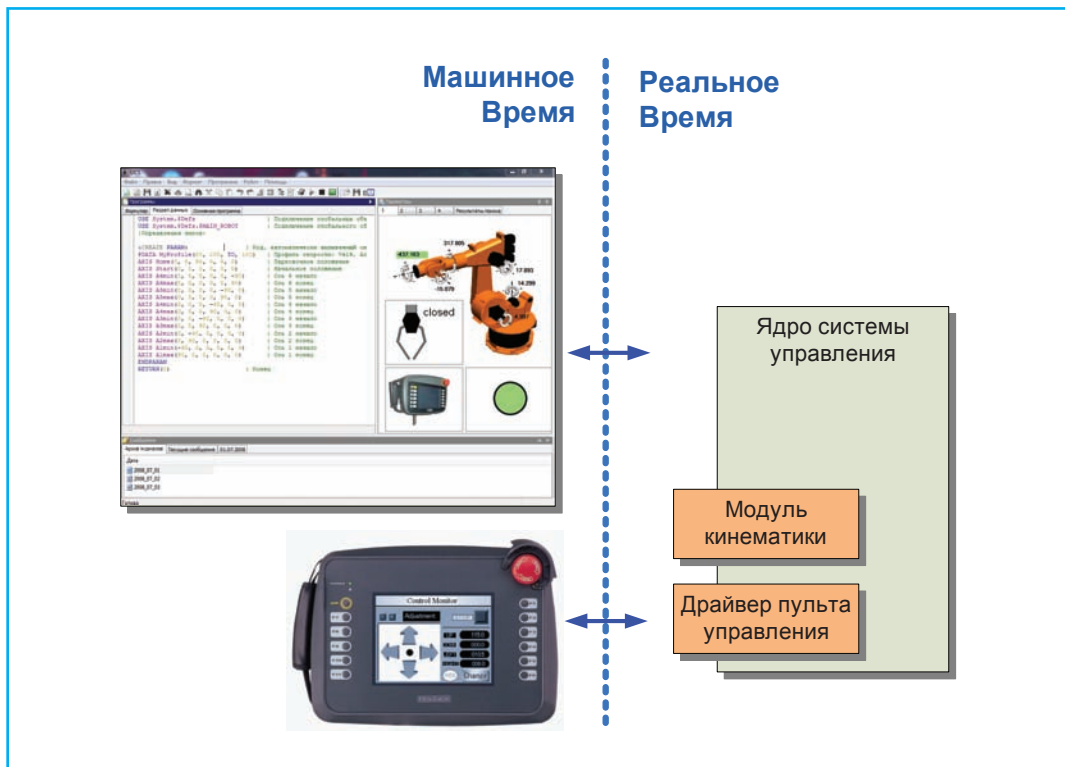


Рис. 4. Архитектурная модель системы управления технологическими роботами

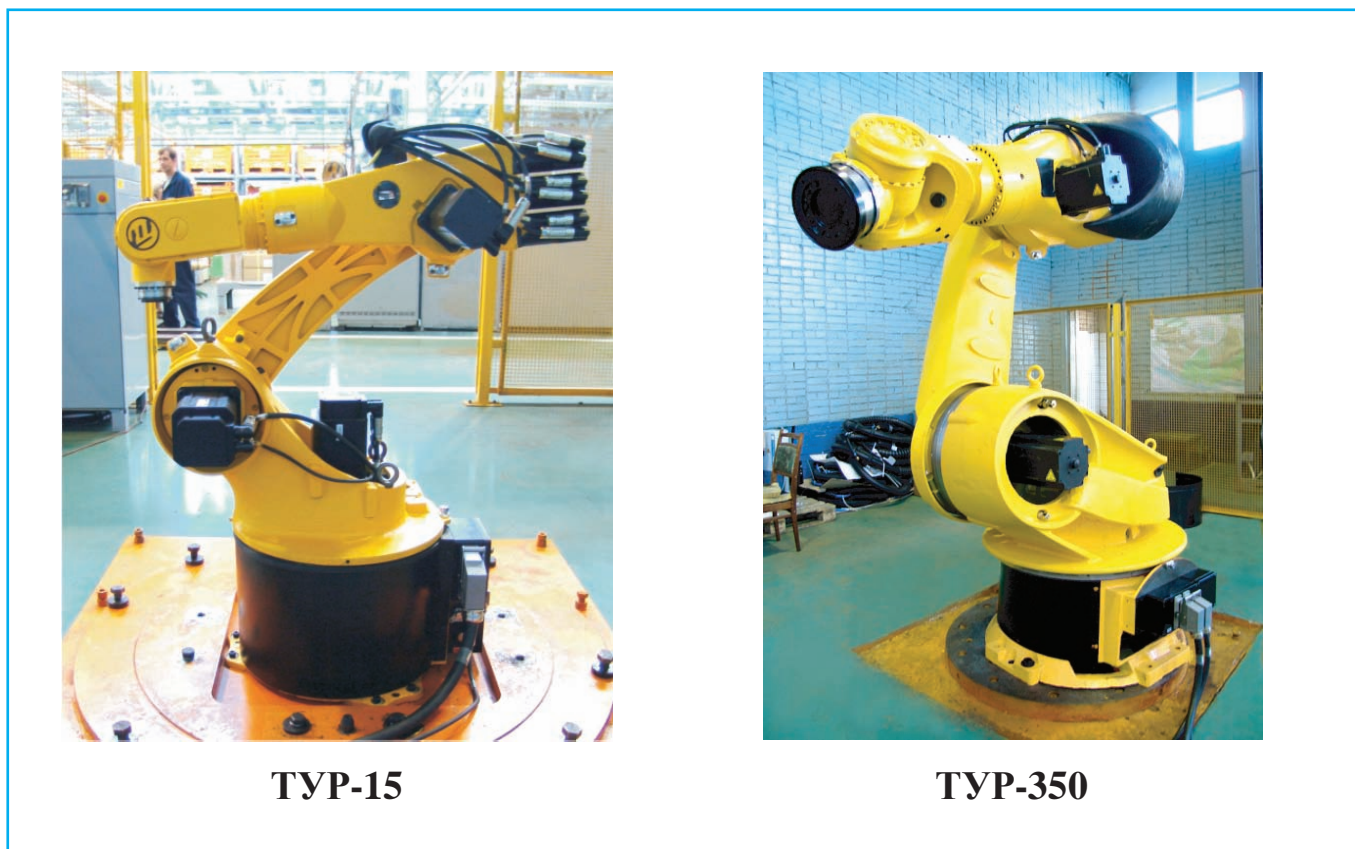


Рис. 5. Универсальные технологические роботы

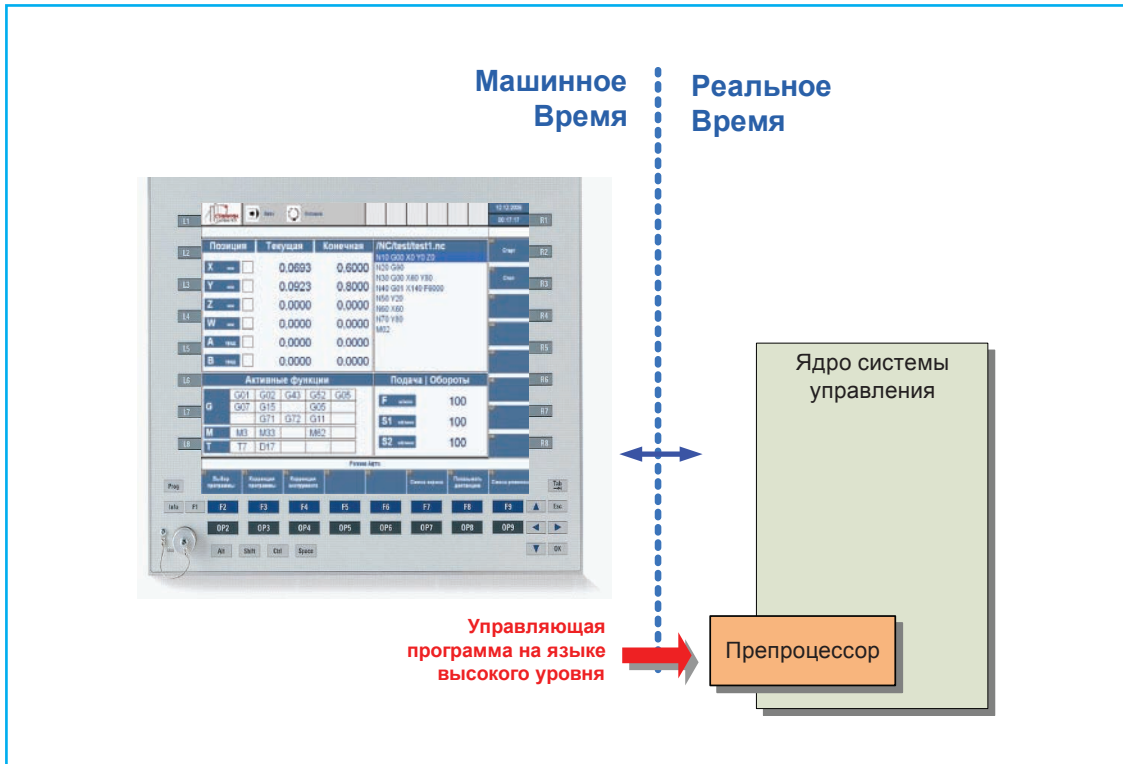


Рис. 6. Архитектурная модель системы ЧПУ



Рис. 7. Система ЧПУ АксиОМА Ctrl на фрезерном обрабатывающем центре MC-400

- система управления создаваемым совместно с ОАО “НИАТ” роботизированным комплексом для изготовления крупногабаритных деталей из полимерных композиционных материалов методом выкладки;

- система адаптивного управления создаваемым совместно с ФГУП “Самарский электромеханический завод” роботизированным комплексом для лазерной сварки тонколистовых крупногабаритных сложнопрофильных конструкций;

Работа по развитию созданной импортозамещающей системы ЧПУ класса “*Hi End*” планируется продолжить в рамках открывающейся в 2011 году Подпрограммы “Развитие отечественного станкостроения и инструментальной промышленности” на 2011-2016 годы к Федеральной целевой программе “Национальная технологическая база”.

5. Перспективы развития отечественных систем числового программного управления технологическим оборудованием

Перед российской промышленностью должна ставиться задача не только обеспечения импортозамещения в области систем ЧПУ – это краткосрочная задача, без решения которой Россия может утратить технологическую независимость своих стратегических машиностроительных предприятий. В долгосрочной перспективе необходимо ориентироваться на создание и освоение серийного производства конкурентоспособных систем ЧПУ мирового уровня. Конечно, не стоит строить иллюзии, что ближайшие годы мы сможем потеснить или даже серьезно конкурировать на европейском, американском и японском рынках с ведущими производителями систем ЧПУ и средств промышленной автоматизации, такими, как *Allen Bradley* (концерн *Rockwell*, США), *Bosch*, *Siemens* (Германия), *Fanuc*, *Mitsubishi* (Япония). Но растущие рынки Китая и стран Юго-Восточной Азии уже сегодня открыты для новых игроков, и здесь российские инновационные системы ЧПУ могут занять достойные позиции в самое ближайшее время.

При создании отечественной конкурентоспособной системы ЧПУ мирового класса необходимо ориентироваться на мировые тенденции развития этого вида техники:

- увеличение интегральной вычислительной мощности систем, выражающееся в сокращении системного такта до сотен и даже десятков микросекунд, что имеет следствием повышение скорости и точности рабочих перемещений станков с ЧПУ;

- увеличение числа одновременно управляемых координат (числа интерполируемых координат и каналов управления), что обуславливает возможность управления от одной системы несколькими станками и другим разнородным технологическим оборудованием, объединяемым в комплексную технологическую систему;

- внедрение и развитие алгоритмов адаптивного управления (с использованием в режиме жесткого реаль-

ного времени информации от различных сенсоров), что повышает качество обработки на станках с ЧПУ, особенно при высокоскоростной обработке и при обработке труднообрабатываемых материалов;

- развитие систем автоматизированного программирования систем ЧПУ (языки высокого уровня, пост-процессоры от систем САПР);

- интеграция систем ЧПУ в промышленные вычислительные сети цехового и заводского уровня;

- сокращение стоимости систем ЧПУ;

- управление от одной системы ЧПУ разнородными исполнительными устройствами (электро-, пневмо-, гидро, пьезоприводами и т.п.).

Значительный потенциал для качественного рывка в области систем ЧПУ являет принятый во всем мире и серьезно устаревший (сложившийся еще в 70-е годы прошлого века) метод программирования систем ЧПУ на основе кодов *ISO 7 Bit*, изначально разработанный для перфоленты как программного носителя. Разрозненные попытки внедрения проблемно-ориентированных, интуитивно понятных пользователю языков программирования высокого уровня, постоянно предпринимаемые фирмами-разработчиками систем ЧПУ, пока не привели к переходу на новый стандарт программирования. Тем не менее, такой переход неминуемо состоится в будущем.

Шансом отечественных разработчиков может быть то обстоятельство, что мировые лидеры в области систем ЧПУ развивают свои системы на протяжении 10 и более лет, а значит, в основу их систем были заложены концепции, архитектурные решения и базовые принципы, соответствующие уровню развития компьютерной техники и программных систем десятилетней и большей давности. В силу большой инерционности и трудоемкости процесса начальной разработки и последующего развития системы ЧПУ класса “*Hi End*” их разработчики даже при вложении значительных средств не успевают за быстротечными изменениями на рынке комплектующих изделий и инструментальных средств. В результате, “хорошо бегущий второй” при условии правильно выбранной стратегии и правильно сделанного прогноза перспектив развития вычислительной техники имеет возможность опередить первого.

Заключение

Независимость российского машиностроения в области систем ЧПУ технологическим оборудованием обеспечивается посредством создания многофункциональной системы ЧПУ класса “*Hi End*”, выполненной на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой, позволяющего адаптировать систему управления под широкий круг прикладных задач. Частные решения, такие как система управления промышленным роботом, система ЧПУ для металлообрабатывающего оборудования в различных версиях, система управления лазерной или гидроабразивной установкой, реализуются посредством конфигурации ядра и интеграции специфичных прикладных программных модулей.

Задача следующего этапа мероприятий по углублению импортозамещения в области систем ЧПУ – постепенно обеспечить программную и аппаратную компонентную базу отечественного производства.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете “Станкин”

E-mail: rector@stankin.ru

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Кадровое обеспечение российского машиностроения // Вестник МГТУ “Станкин”. 2009. №1.
2. Мартинов Г.М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ “Станкин”. 2010. №1.
3. Андреев А.Г., Григорьев С. Н. Построение компьютерных систем программного управления мехатронными устройствами по модульному принципу // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. №10.
4. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: Учеб. пособие. М. Логос, 2005. ISBN 5-98704-012-4.
5. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5.
6. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Спецвыпуск *T-Comm*, июль 2009.
7. Подураев Ю.В. Актуальные проблемы мехатроники. Мехатроника, автоматизация, управление, 2007, №4.