

Наличие типового встроенного модуля позволяет учесть специфику предприятия и обеспечивает масштабируемость и преемственность системы PDM, а также поднимает производительность конструкторских коллективов и всего предприятия в целом. В заключение важно отметить, что приведенная технология создания типового модуля документооборота может быть использована только в открытых системах PDM.

Список использованной литературы

1. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Интеллектуальные информационные системы. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005.
2. Клименко С. В., Крохин И. В., Куш В. М., Лагулин Ю. Л. Электронные документы в корпоративных сетях: второе пришествие Гуттенберга. — М.: Информационно-технологический центр "Эко Трендз", 1999.
3. Константинов Ю. Н. Теория и практика документной информации. — М.: Изд-во Волгоградского государственного университета, 2000.

DEVELOPMENT OF THE TYPICAL BUILT IN WORKFLOW MODULE FOR PRODUCT DATA MANAGEMENT SYSTEMS

V. N. Gridin

CITP the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

V. I. Anisimov

Saint-Petersburg Electrotechnical University, Saint-Petersburg, Russia

D. V. Kamenkov

"MASSA-K", Saint-Petersburg, Russia

The technique of development of the typical built in workflow module for use in product data management systems is considered. The module is used for the description and formalization of documentation routing at the enterprise.

Keywords: electronic documentation, development workflow, documents routing, workflow module, workflow and PDM.

Гридин Владимир Николаевич, профессор, директор.

Тел. 596-02-19.

Анисимов Владимир Иванович, профессор.

Тел. (812) 234-36-75.

Каменьков Дмитрий Васильевич, системный администратор.

Тел. 8 (952) 398-18-72.



КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

С. Н. Григорьев, д-р техн. наук; Г. М. Мартинов, д-р техн. наук
МГТУ "Станкин", Москва, Россия

Проанализирована потребность и обоснована необходимость создания базовой системы ЧПУ для управления мехатронными объектами. Раскрыта специфика реализации и проиллюстрированы примеры адаптации и расширения базовой системы ЧПУ для конкретных прикладных задач.

Ключевые слова: базовая система числового программного управления, открытая модульная архитектура, виртуальная модель, прогнозирование остаточной стойкости инструмента.

Анализ развития систем управления за прошедшее десятилетие позволяет четко выделить две тенденции [1, 2]. Первая из них — попытка объединить разработки в области систем управления в едином информационном пространстве для проектов промышленной автоматизации.

В рамках такого проекта разнородные системы управления (ПЛК, ЧПУ, контроллеры движения, контроллеры приводов, системы управления промышленными роботами и т. п.) объединяются специальным программным обеспечением, позволяющим автоматически распределять фи-

зические адреса вводов/выходов, строить иерархическую схему управления, интегрировать данные от систем управления в общий пользовательский интерфейс. Единые механизмы предоставляются также для реализации диагностики и установки машинных параметров. Создание единого информационного пространства сопряжено с реализацией набора программных интерфейсов и предусматривает интеграцию унифицированного программного обеспечения. Эту тенденцию можно обозначить как унификация сверху.

Вторая тенденция заключается в унификации ядра системы управления с возможностью конфигурирования для разных прикладных решений и разных ценовых категорий, ее можно определить как унификация снизу.

Развитие систем управления в сторону многофункциональности и конфигурируемости позволяет разработчикам сохранять вложенные инвестиции при ограниченном использовании людских и финансовых ресурсов, охватывая при этом большую часть рынка промышленной автоматизации. Продвижению этого направления препятствуют исторически сложившийся путь развития производителей и выпущенный на рынок набор систем управления, требующих техподдержки, но при создании нового инновационного продукта — этот путь наиболее перспективен.

Архитектурные решения систем ЧПУ ведущих мировых производителей и специфика отечественных разработок

Система ЧПУ японской фирмы *FANUC серии 30i/31i/32i-MODEL* осуществляет одновременное управление 10 каналами, 32 осями и 8 шпинделями, при максимальном количестве одновременно интерполируемых осей — 24. "Умная" система компенсации температурной деформации осуществляет поправку на температурную деформацию шпинделя по оси Z. На базе элементов искусственного интеллекта построена система автоматической диагностики износа режущего инструмента — система регулирования жизненного цикла инструментов.

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

Система ЧПУ *ITNC-530* немецкой фирмы *Heidenhain* ориентирована на поддержку технологического процесса, чему служит мощный набор станочных циклов и инструментарий для их разработки. Система позволяет одновременно управлять 13 осями при времени обработки кадра управляющей программы до 0,5 мс. Функция адаптивного управления подачей ре-

гулирует контурную скорость перемещения по траектории. Система оснащена инструментари-ем 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 и функции предпросмотра программы (Look-ahead).

Модель системы ЧПУ *MTX Advanced* немецкой фирмы *Bosch Rexroth* может управлять 64 осями по 12 каналам управления до 8 интерполируемых осей (координат) на канал. Система имеет функции вычислений и интерполяции с нанометрической точностью, а также трехмерную визуализацию процесса обработки по управляющей программе. Автоматически предотвращается столкновение механических модулей станка, приспособлений, деталей и инструментов.

Система ЧПУ модели *CNC 8070* испанской фирмы *FAGOR* 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. Поддерживается язык программирования высокого уровня, сплайн-интерполяция, 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, 8 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.

Оценивая перспективы оснащения системами управления машиностроительных предприятий страны, нельзя обойти вопрос их цен, которые небезосновательно высоки. Разработка каждого поколения систем ЧПУ — это 10—15-летний труд мировых лидеров, потому как трудоемкость подобных разработок составляет тысячи человеко-лет, что и определяет достаточно высокую стоимость систем ЧПУ этого уровня. Ценовой диапазон импортных систем ЧПУ класса Hi-End начинается от 15 тыс. евро, при этом в сумму не входит стоимость приводов, цена комплектной системы существенно выше. Кроме того, вопросы экспорта-импорта высокотехнологического оборудования нередко попадают в сферу контроля над технологиями двойной на-

значения, что делает его недоступным для потребителей. Так, например, для приобретения системы ЧПУ, синхронно управляющей 5 и более осями (координатами), требуется разрешение органов экспортного контроля страны-производителя системы. Многие зарубежные фирмы-производители систем ЧПУ практикуют политику комплектной поставки и вынуждают потребителя приобретать весь комплект оборудования только у одного производителя. Например, FANUC продает свои системы только в комплекте с собственными приводами и электроавтоматикой. Комплексное решение, а не отдельные компоненты продает и Heidenhain.

Присутствующие на рынке отечественные системы ЧПУ фирм "Балт-Систем", "Модмаш-Софт", "Станкоцентр", НТЦ "ИНЭЛСИ", "Микрос" и др. не могут служить основой для многофункциональной системы управления. Причина в том, что в них либо применены устаревшие и более не поддерживаемые и не развиваемые зарубежные компьютерные технологии, как, например, DOS-подобные операционные системы реального времени, либо они базируются на "полукоткрытых" импортных программно-аппаратных комплексах реального времени (в большинстве случаев — "контроллеры движения" Motion Controller серии PMAC американской фирмы Delta Tau).

Первая группа систем в принципе не имеет перспектив развития. Системы ЧПУ второй группы хотя и обладают некоторым набором функциональных возможностей, по своей сути являются оболочкой импортных решений, полностью известных только их разработчику, который в целом определяет архитектуру и технические свойства комплектной системы ЧПУ и во многом всего станка.

Возрастающая потребность российского машиностроения в механообрабатывающем оборудовании для многокоординатной высокоскоростной прецизионной обработки в условиях практической недоступности для российских потребителей наиболее сложных и высокотехнологичных зарубежных систем ЧПУ и при ограниченных возможностях российских систем ЧПУ ставит задачу разработки базовой отечественной системы ЧПУ, имеющей функции 5-координатной обработки и искусственного интеллекта. Решение этой задачи станет важным шагом на пути обеспечения долгосрочной технологической независимости российского машино- и станкостроения.

Кросс-платформенная реализация ядра

Кросс-платформенное ядро подразумевает портируемость программного обеспечения системы ЧПУ на разные платформы. Это может быть, например, персональный компьютер промышленного исполнения с операционной системой реального времени Linux или Windows с расширением RTX или же одноплатный компь-

ютер с процессором ARM и операционной системой Windows CE. Кросс-платформенность достигается путем вынесения платформенно-зависимого кода в отдельные библиотеки и создание для него функций оберток, используемых в платформенно-независимом коде.

Для разъяснения стратегии следует рассмотреть систему ЧПУ как виртуальную машину, которая в вертикальном сечении имеет многоуровневую структуру (рис. 1). На нижнем уровне располагается стандартная PC-аппаратура (материнская плата, память, порты Ethernet, RS-485, RS-232, ...), расположенная в защищенном корпусе промышленного исполнения, и специализированная NC-аппаратура для подключения технологического оборудования по промышленным шинам (SERCOS, CAN-bus, PROFIBUS, PROFINet, Modbus, ...). Вместе с операционной системой реального времени, расположенной на следующем уровне, они образуют платформу системы управления.



Рис. 1. Виртуальная модель системы ЧПУ

Выше расположен платформенно-независимый слой, позволяющий маскировать особенности платформы от реализации верхних уровней программного обеспечения. Здесь реализуются мютексы, таймеры, разделяемая память, оболочки функции Run Time библиотеки.

Уровень ядра системы реализуют: интерпретатор управляющей программы, алгоритмы интерполяции, алгоритм предсмотра кадров, 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, редактор управляющих программ, редактор машинных параметров, специальные диагностические приложения [4]. В основном это приложения на платформе .NET, но могут применяться решения на базе web-браузера, например удаленный терминал системы ЧПУ.

Архитектура компьютерной системы числового программного управления технологическим оборудованием включает терминальную часть (рис. 2), работающую в машинном времени (как правило ОС Windows с платформой .NET), и ядро, функционирующее в реальном времени (Linux RT).

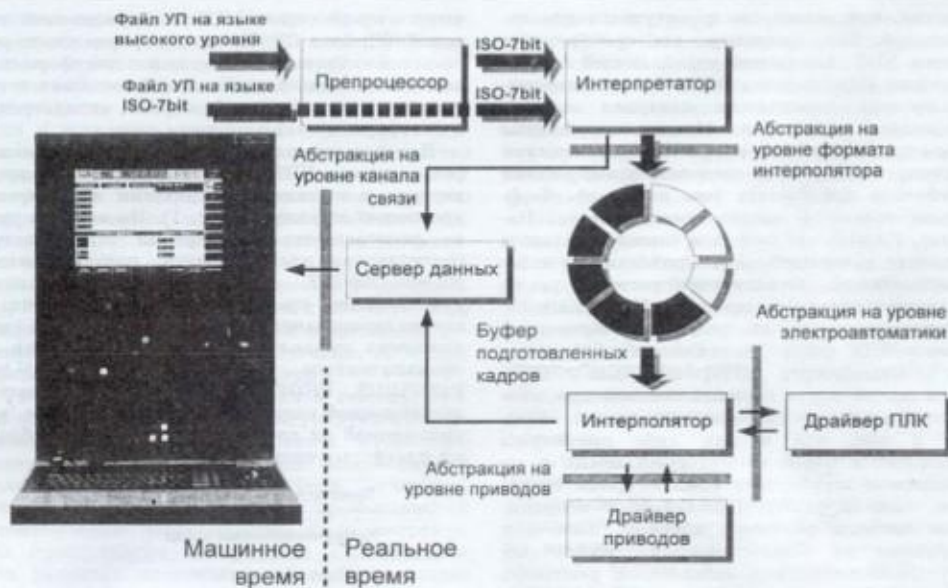


Рис. 2. Архитектурная модель системы ЧПУ

Файл управляющей программы интерпретируется на языке ISO-7bit или на языке высокого уровня [5], а результат записывается в буфер подготовленных команд, что позволяет осуществлять просмотр кадров программы и оптимизировать траекторию движения исполнительных органов станка. Интерpolator реализует классические типы интерполяции (линейная, круговая, винтовая) и сплайновые (Akima, кубический и NURBS сплайны) [6].

В результате интерполяции подготовленных 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. Специальный механизм, заложенный в сервере данных, позволяет оптимизировать трафик обменяемой информации [7].

Открытость архитектуры системы управления сосредоточена в уровнях абстракции, обеспечивающих независимость ядра системы управления от конкретной реализации разделяемого уровня. Абстракция на уровне интерпретатора позволяет использовать любой язык описания обработки детали для передачи данных в интерpolator.

Абстракция на уровне канала связи реализуется посредством потоковой передачи данных и 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, кроме того, она позволяет использовать один и тот же интерфейс (например, CANopen, Profibus-DP, SERCOS-III или EtherCAT) для контроллера электроавтоматики и контроллеров приводов.

Инвариантность компоновки

Современные технологические процессы требуют распределенного функционирования управляющих компонентов, т. е. включения их в общую информационно-вычислительную среду через промышленные сети [8]. Применение принципов открытости и модульности архитектуры позволяет компоновать системы ЧПУ под конкретные технологические задачи [9].

Заложенное в систему свойство инвариантности позволяет реализовывать комплектацию системы ЧПУ для управления контроллерами приводов по промышленным сетям на базе интерфейсов SERCOS (Serial Real-time Communication System), Step/Dir, CanBus или USCNet (протокол, разработанный в MITU "Станкин"), а для управления контроллерами электроавтоматики — по шинам RS-232 и RS-485 (рис. 3). На рисунке сплошными линиями обозначены реализованные в системе управления протоколы и подключенное оборудование. Протоколы, реализация которых находится в процессе разработки, отображены пунктирной линией.

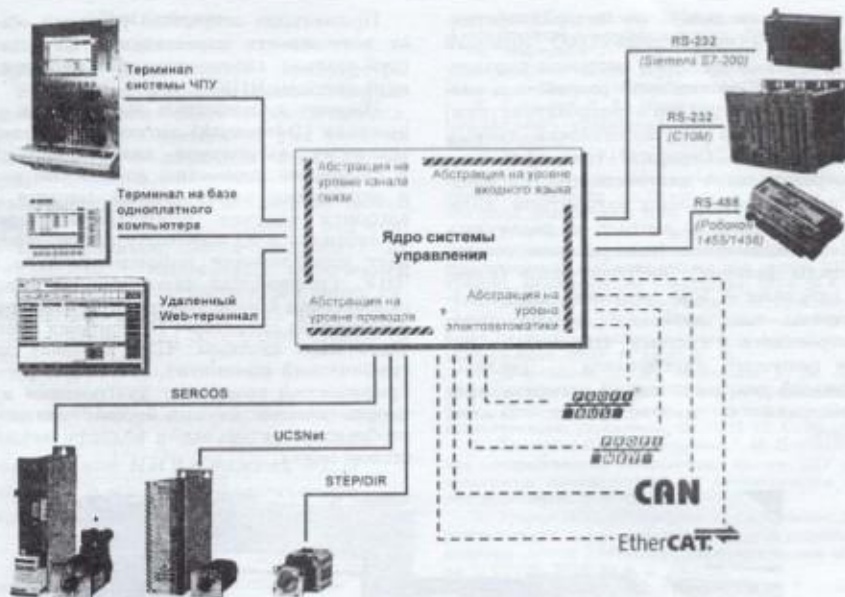


Рис. 3. Инвариантность компоновки многофункциональной системы ЧПУ

Удаленный терминал, реализованный на базе одноплатного компьютера, подключенного по TCP/IP, позволяет оператору следить за процессом обработки, используя упрощенный интерфейс оператора.

Прикладное решение для фрезерных обрабатывающих центров

Компоновка базовой системы ЧПУ для управления фрезерным обрабатывающим центром (рис. 4) предполагает: конфигурацию машинных параметров (назначение имен осей, определение границ рабочей области, назначение предельных значений скорости и ускорения приводов), реализацию алгоритмов управления электроавтоматикой (автоматическая и ручная смена инструмента, обдув стружки, подключение конечных выключателей и блокировка дверей), конфигурацию верени языка управляющей программы под конкретный тип станка, выпуск соответствующей документации.

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

Проблема гарантированного обеспечения окончания технологической операции без смены режущего инструмента — достаточно острая для механической обработки. Европейские и японские производители при механообработке используют не более 70 % ресурса режущего инструмента, после чего делают вынужденную замену. Это неидеальное решение, но оно оправ-

дывает себя, 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 реализовано в МГТУ "Станкин", заключается в мониторинге и прогнозировании остаточной стойкости режущего инструмента непосредственно в процессе обработки детали [10].



Рис. 4. Экспериментальный образец фрезерного обрабатывающего центра МС-400 (МТОО АвтоВАЗ) с комплексной системой управления (МГТУ "Станкин") (демонстрировался на выставке "Металлообработка-2010")

Испытания проводились на модернизированном станке 16A20 (производство ОАО "Красный пролетарий") с комплектной системой управления (система ЧПУ собственной разработки, следящие приводы, контроллер электроавтоматики) и устройством сбора диагностических данных (производство МГТУ "Станкин") (рис. 5).

Многообразие задач диагностирования предполагает применение разных алгоритмов, которые могут использовать данные от различных датчиков: тензодатчиков (измеряющих составляющие силы резания), вибродатчиков (измеряющих вибрации в зоне резания), индуктивных датчиков или датчиков другого типа. Задача встроенного в систему ЧПУ модуля диагностики режущего инструмента — реализовать требуемый диагностический алгоритм принятия решения о необходимости замены инструмента.

Применение открытого решения обеспечивает возможность наращивания функциональности модуля диагностики без перекомпиляции ядра системы ЧПУ.

Процесс диагностики выступает в роли окружения (framework) запуска и исполнения автономных алгоритмов диагностики (рис. 6). В xml-файле прописаны возможные алгоритмы и определены параметры их запуска. Каждый алгоритм получает необходимую информацию от датчиков и по протоколу взаимодействия выдает управляющие команды в ядро системы ЧПУ. Графическая часть модуля диагностики реализована в виде компонента, интегрируемого в интерфейс оператора. Подсистема диагностики через ядро системы ЧПУ передает данные в графический компонент, используя формат xml. Графический компонент диагностики интерпретирует данные от подсистемы диагностики и отображает их на экран в графическом и текстовом видах.

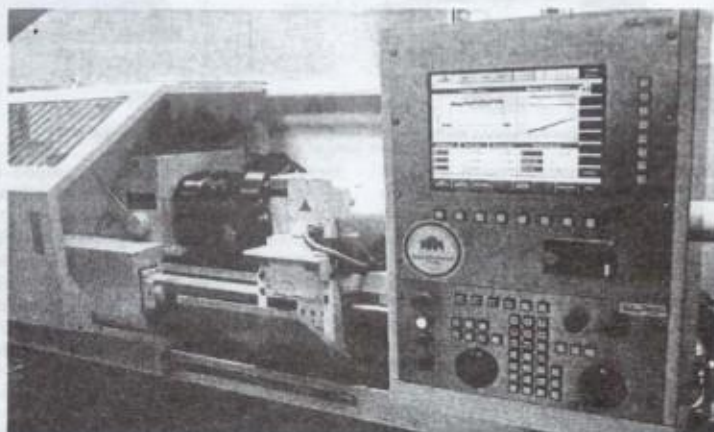


Рис. 5. Модернизированный станок 16A20 с диагностическим комплексом, интегрированным в систему ЧПУ

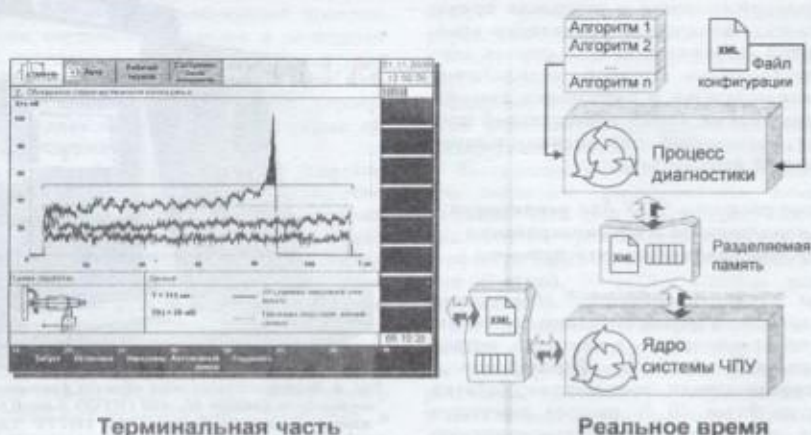


Рис. 6. Принцип интеграции многопараметрического комплекса для диагностики процесса резания

Заключение

Формирование обоснованной архитектуры системы управления является основополагающим звеном технологического перевооружения, поскольку определит фундамент для технологий, реализуемых с помощью этих систем управления.

Предложенное решение позволяет не только конфигурировать системы управления под конкретные типы станков, но и расширять их функциональности, например, включением функции слежения за состоянием режущего инструмента, как это проиллюстрировано при реализации прогнозирования остаточной стойкости инструмента.

Работа выполнена по госконтрактам № 03.740.11.0488 и № 14.740.11.0336 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2013 гг.

Литература

1. Мартинов Г. М., Мартинова Л. И. Анализ систем ЧПУ, представленных на Международной выставке "Металл

лообработка-Технофорум 2009", их новизна и особенности // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 59—65.

2. Мартинов Г. М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. № 1. С. 74—79.

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., Обухов А. И., Пушков Р. Л. Принцип построения универсального интерпретатора языка программирования высокого уровня для систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 6. С. 42—50.

6. Мартинов Г. М., Сосонкин В. Л. Проблемы использования сплайвовой интерполяции в системах ЧПУ при обработке скульптурных поверхностей // Автоматизация в промышленности. 2006. № 11. С. 3—9.

7. 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.

8. Григорьев С. Н., Мартинов Г. М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производителями // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4—8.

9. Григорьев С. Н., Андреев А. Г., Еудымов Д. И. Инструментальная программная система для разработки компьютерных систем управления технологическим оборудованием // СТИИ. 2005. № 8. С. 23—28.

10. 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.

CONCEPT OF BUILDING A BASE NUMERICAL CONTROL SYSTEM OF MECHATRONIC OBJECTS

S. N. Grigoriev, G. M. Martinov
MSTU "Stankin", Moscow, Russia

The demand of creating a base CNC system for control of mechatronic objects was analyzed. The specific of implementation and examples of adaptation and extending a base CNC system for concrete applications were illustrated.

Keywords: base numerical control system, open modular architecture, virtual model, prediction of residual tool life.

Григорьев Сергей Николаевич, профессор, ректор.

Тел. (499) 973-30-66. E-mail: rector@stankin.ru

Мартинов Георгий Мартинович, профессор, зав. кафедрой "Компьютерные системы управления".

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