

Г.М. Мартинов, д-р техн. наук, проф., **Л.И. Мартинова**, канд. техн. наук, **Н.В. Козак**, канд. техн. наук,
Р.А. Нежметдинов, канд. техн. наук, **Р.Л. Пушков** (ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»,
e-mail: rector@stankin.ru)

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЧПУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТОЙ МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Изложены принципы построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой. Исследованы особенности кроссплатформенной реализации базового ядра. Описана организация процесса обработки данных. Продемонстрирована реализация заложенного в систему свойства инвариантности. Приведены примеры реализации удаленного управления и решения задачи мониторинга состояния инструмента о прогнозировании его остаточной стойкости.

Ключевые слова: ЧПУ; распределенная система управления; открытая модульная архитектура; ядро системы ЧПУ; гетерогенная вычислительная система; кроссплатформенная реализация.

G.M. Martinov, Doc. Tech. Sci., Prof., **L.I. Martinova**, Cand. Tech. Sci., **N.V. Kozak**, Cand. Tech. Sci.,
R.A. Nezhmetdinov, Cand. Tech. Sci., **R.L. Poushkov** (MSTU "STANKIN")

PRINCIPLES OF BUILDING DISTRIBUTED CNC-SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL MACHINES USING AN OPEN MODULAR ARCHITECTURE

The principles of constructing a distributed system with CNC open modular architecture are described. The features of cross-platform implementation of the basic kernel are investigated. The organization of data processing is described. The properties invariance of the system has been demonstrated on the real system. Examples are represented for the implementation of remote management and monitoring of tools for prediction of its residual strength.

Keywords: CNC; Distributed control system; An open modular architecture; The core of the control system; Heterogeneous computing system; Cross-platform implementation.

Введение

Технологическое перевооружение российской промышленности не будет эффективным, если идти лишь по пути обновления и модернизации парка оборудования, пусть даже и самыми современными приводами, шпиндельными узлами и другими комплектующими, обеспечивающими требуемую точность и качество обрабатываемых деталей. Необходим комплексный подход, подразумевающий интеллектуализацию промышленного производства. Компьютерные технологии располагают мощным потенциалом для реализации новых принципов управления объектами, процессами и системами в режиме реального времени, когда результаты программной реализации должны быть не только численно и логически правильными, но и должны быть

предоставлены соответствующему объекту в нужное время. Подобные задачи реализуются распределенными системами числового программного управления, которые строятся на базе синтеза разнородных вычислительных компонентов, в качестве которых выступают традиционные системы управления (системы ЧПУ, программируемые логические контроллеры или контроллеры движения), промышленные компьютеры и специализированные системы управления [1].

Архитектура распределенной компьютерной системы, предназначенной для управления технологическим оборудованием, и организация взаимодействия входящих в нее программно-аппаратных средств имеют ряд специфических особенностей, определяющих способ организации в ней потоко-

вых моделей и методов управления информацией. *Во-первых*, широкий спектр решаемых в рамках распределенной системы задач управления не может быть полностью покрыт одним программным продуктом, поэтому система должна быть гетерогенной. *Во-вторых*, распределенная система управления должна быть открытой и способной интегрировать как существующие, так и перспективные, в том числе и специфические приложения заказчика, а также независимые приложения в единое решение [2].

Открытость архитектуры подразумевает использование способа построения, регламентирующего и стандартизирующего только описание принципа действия системы и ее конфигурации, что позволяет собирать ее из отдельных узлов и деталей, разработанных и изготовленных независимыми фирмами-производителями. Это дает возможность строить, модернизировать и расширять системы наиболее экономичным способом, и протоколы передачи данных между системами и аппаратные решения базируются на общепринятых стандартах с опубликованными спецификациями, и сами системы могут быть созданы на основе различных технических средств, а функционировать на разных платформах [3].

Пользователи и разработчики распределенной компьютерной системы управления должны располагать единой концепцией управления, подкрепленной базовым программным аппаратом. Структура технологического комплекса может быть разнесена на значительные расстояния, в ней работают разные приложения, а управление осуществляется от базового ядра.

Основу интеграции приложений составляет несколько понятий: объект управления, событие, сообщение и реакция на сообщение. В гетерогенной

среде даже однотипные ресурсы различаются – оборудование может быть разных моделей и от разных производителей, а в качестве вычислительных ресурсов могут использоваться рабочие станции и ПК с различными операционными системами. Для организации управления требуется выделить абстрактный уровень, в котором несущественные с точки зрения управления различия стираются, и ресурсы становятся однородными. [4, 5].

Особенности кроссплатформенной реализации базового ядра распределенной системы ЧПУ

Система числового программного управления, как виртуальная машина [6], в вертикальном сечении имеет многоуровневую структуру (рис. 1.) На нижнем уровне располагается стандартная PC-аппаратура, расположенная в защищенном корпусе промышленного исполнения, и специализированная NC-аппаратура для подключения технологического оборудования по промышленным шинам. Вместе с операционной системой реального времени, расположенной на следующем уровне, они образуют платформу системы управления.

Расположенный выше платформонезависимый слой позволяет маскировать особенности платформы от реализации верхних уровней программного обеспечения. Здесь реализуются мютексы, таймеры, разделяемая память, оболочки функции Run Time-библиотеки.

На уровне ядра системы реализованы: 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 управ-

ления и прикладными приложениями [7, 8], маскируя при этом архитектурную организацию (двух- или однокомпьютерное решение).

На прикладном уровне располагается интерфейс оператора, редактор управляющих программ, редактор машинных параметров, специальные диагностические приложения [9, 10, 11]. В основном это приложения на платформе .NET, но могут применяться решения на базе web-браузера, например, удаленный терминал системы ЧПУ [12].

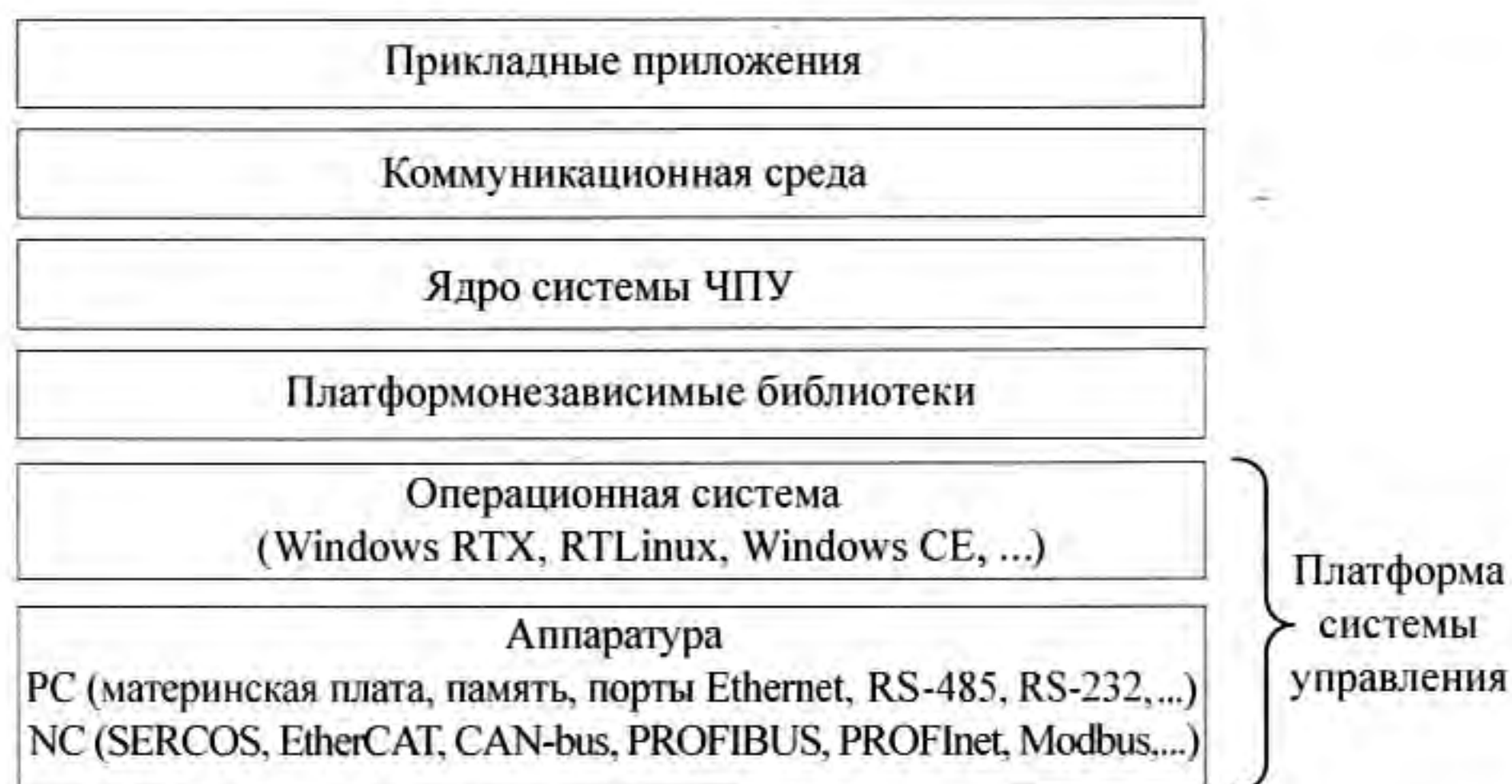


Рис. 1. Виртуальная модель кроссплатформенной системы ЧПУ

Организация обработки данных в распределенной системе числового программного управления технологическими машинами

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

Файл управляющей программы на языке ISO-7bit или на языке высокого уровня интерпретируется, а результат записывается в буфер подготовленных команд, что позволяет осуществлять просмотр кадров программы и оптимизировать траекторию движения исполнительных органов [13]. Интерполятор реализует классические типы интерполяции (линейная, круговая, винтовая) и сплайновые (Akima, кубический и NURBS-сплайны).

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 обмениваемой информации [14].

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 интерполятор.

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.

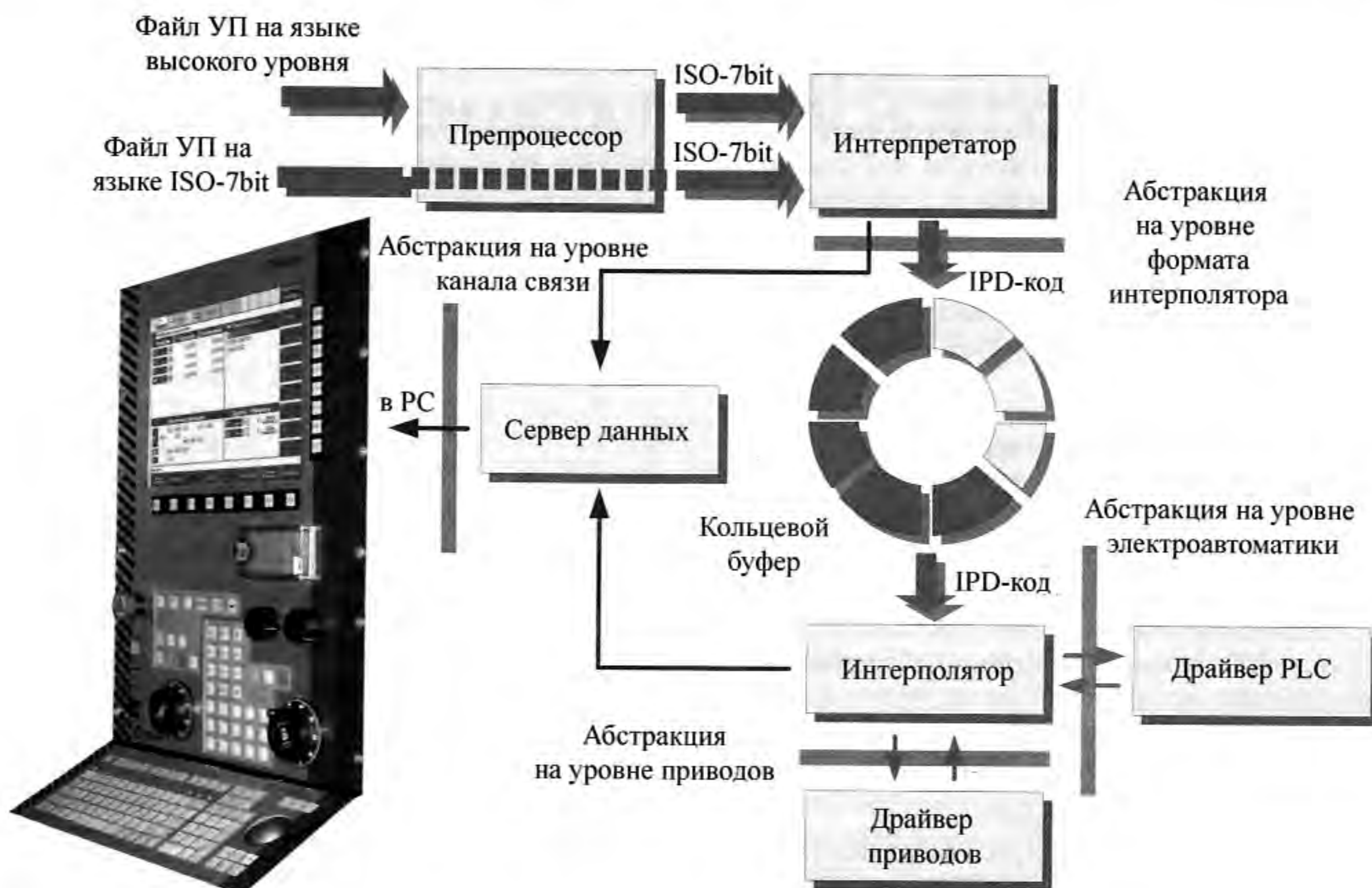


Рис. 2. Конвейер обработки управляющей программы в ядре системы ЧПУ

Практически все системы ЧПУ выпускаются с панелями управления, но из-за отсутствия единых стандартов реализации каждый производитель использует свое собственное решение [15]. В связи с этим требуется выработка некоторого подхода для решения этой проблемы.

Подключение панелей управления в двухкомпьютерную архитектуру системы ЧПУ

Терминальная часть системы ЧПУ имеет модульную архитектуру (рис. 3). В ее состав входит: панель оператора, содержащая жидкокристаллический монитор с широким углом обзора (не менее 150° по горизонтали и вертикали) и ряд машинных и функциональных клавиш; станочная панель, управляющая функционалом системы ЧПУ; компьютер промышленного исполнения, реализующий терминальную задачу управления системой ЧПУ; ПК-клавиатура, клавиатура промышленного исполнения для ввода текстовой информации.

Применение микроконтроллеров на основе процессора ARM, при реализации панелей оператора, предоставляет ряд преимуществ: компактность размеров устройств; программирование на привычных для разработчиков языках ANSI C и C++, что сокращает время разработки; поддержка стандарт-

ных каналов для связи с периферийными устройствами, таких как USB, RS-485; возможность быстрого перепрограммирования непосредственно на объекте управления через USB-порт; возможность подключения по каналу связи RS485 для взаимодействия в режиме реального времени; возможность отладки управляющих программ контроллеров непосредственно на панели оператора; работа в промышленном диапазоне температур. Следовательно, применение готовых встраиваемых типовых решений на базе ARM является достаточно гибким и расширяемым по функциям программного обеспечения.

Инвариантность компоновки системы управления

Для организации распределенного управления вычислительными компонентами технологической машины они включаются в общую информационно-вычислительную среду через промышленные сети. Применение принципов открытости и модульности архитектуры позволяет компоновать системы ЧПУ под конкретные технологические задачи.

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 ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»), а для управления контроллерами электроавтоматики – по протоколам RS-232 и RS-485 (рис. 4).

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

Удаленный терминал. В настоящее время все более актуальной становится задача удаленного управления механообработывающим оборудованием, что потребовало разработ-

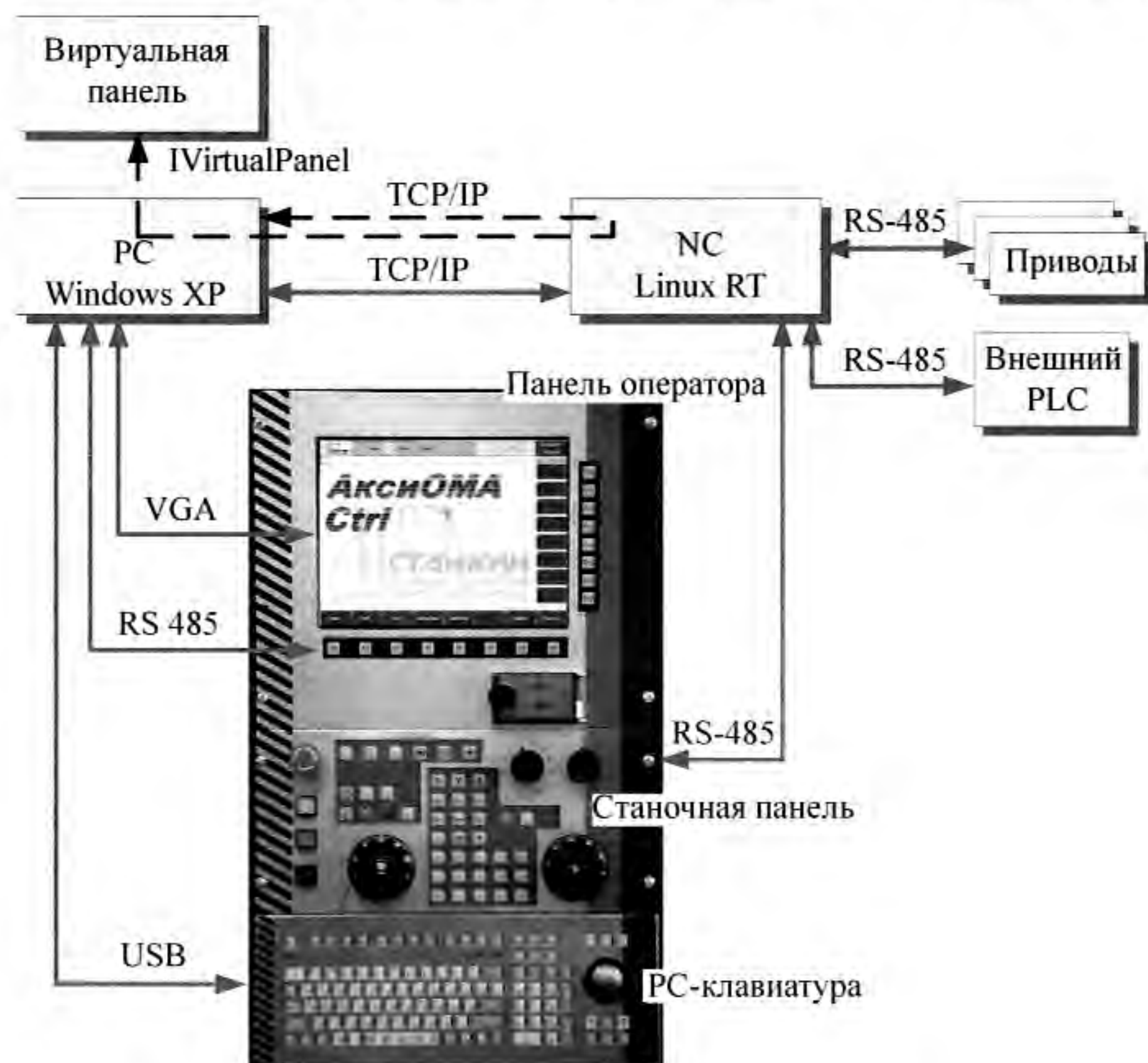


Рис. 3. Подключение панелей управления системы ЧПУ

ки системы управления с удаленным терминалом. На кафедре «Компьютерные системы управления» ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» разработан и интегрирован в систему ЧПУ web-сервер (рис. 5), который позволяет удаленным клиентам, работающим на базе персональных компьютеров, планшетных компьютеров, смарт-фонов и других терминалов, через web-браузер отображать экран оператора и управлять системой ЧПУ.

Прикладное решение для фрезерных обрабатывающих центров

В ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» создана базовая система ЧПУ для управления фрезерным обрабатывающим центром (рис. 6, на 3-й стр. обложки). Ее компоновка 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

версии языка управляющей программы под конкретный тип станка, выпуск соответствующей документации.

Реализация задачи мониторинга и прогнозирования остаточной стойкости инструмента в распределенной системе управления

Проблема гарантированного обеспечения окончания технологической операции без смены режущего инструмента – достаточно острая для механической обработки. Решение, которое реализовал ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», заключается в мониторинге и прогнозировании остаточной стойкости режущего инструмента непосредственно в процессе обработки детали.

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 ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН») (рис. 7, на 3-й стр. обложки).

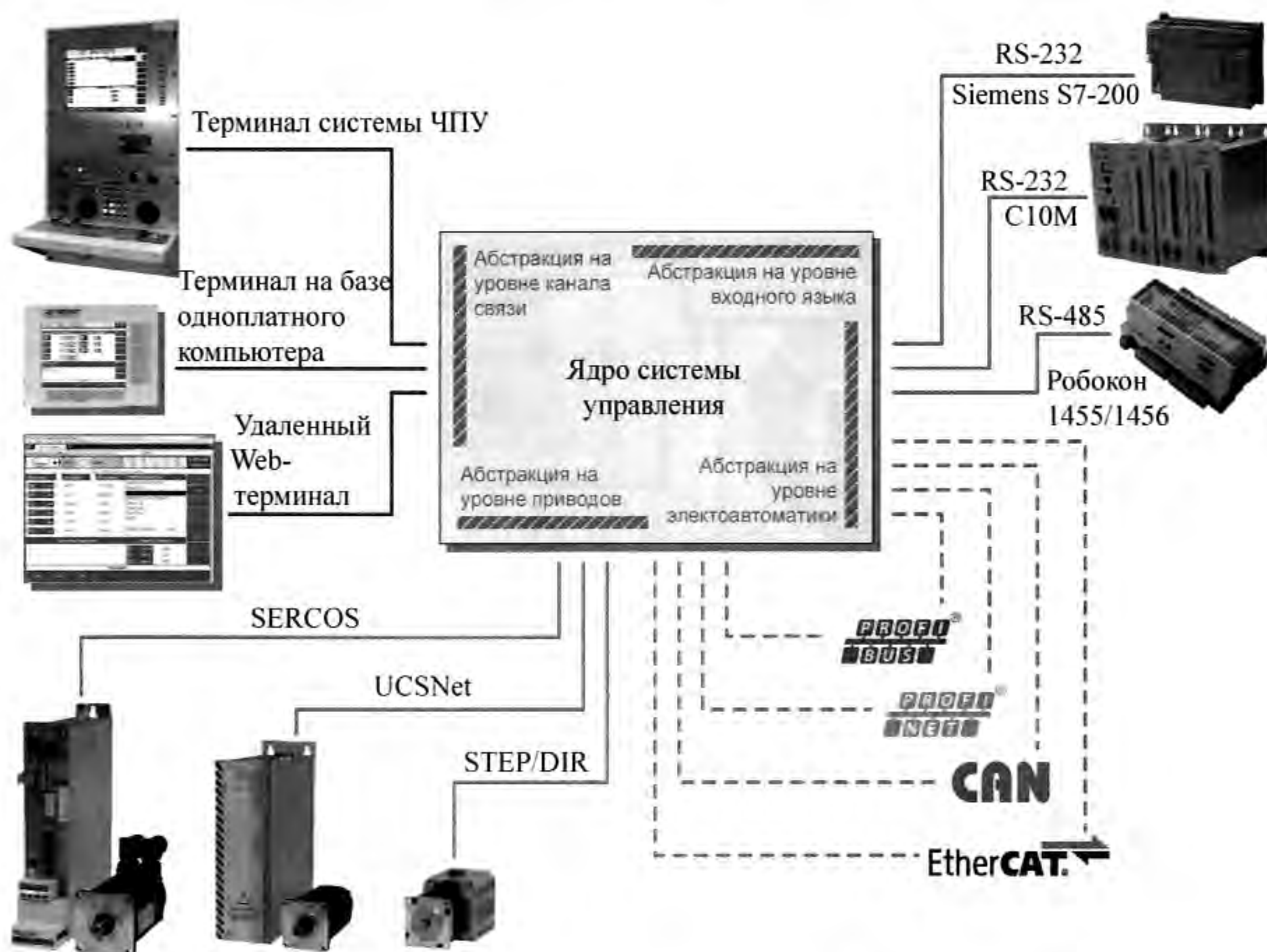


Рис. 4. Инвариантность компоновки многофункциональной системы ЧПУ

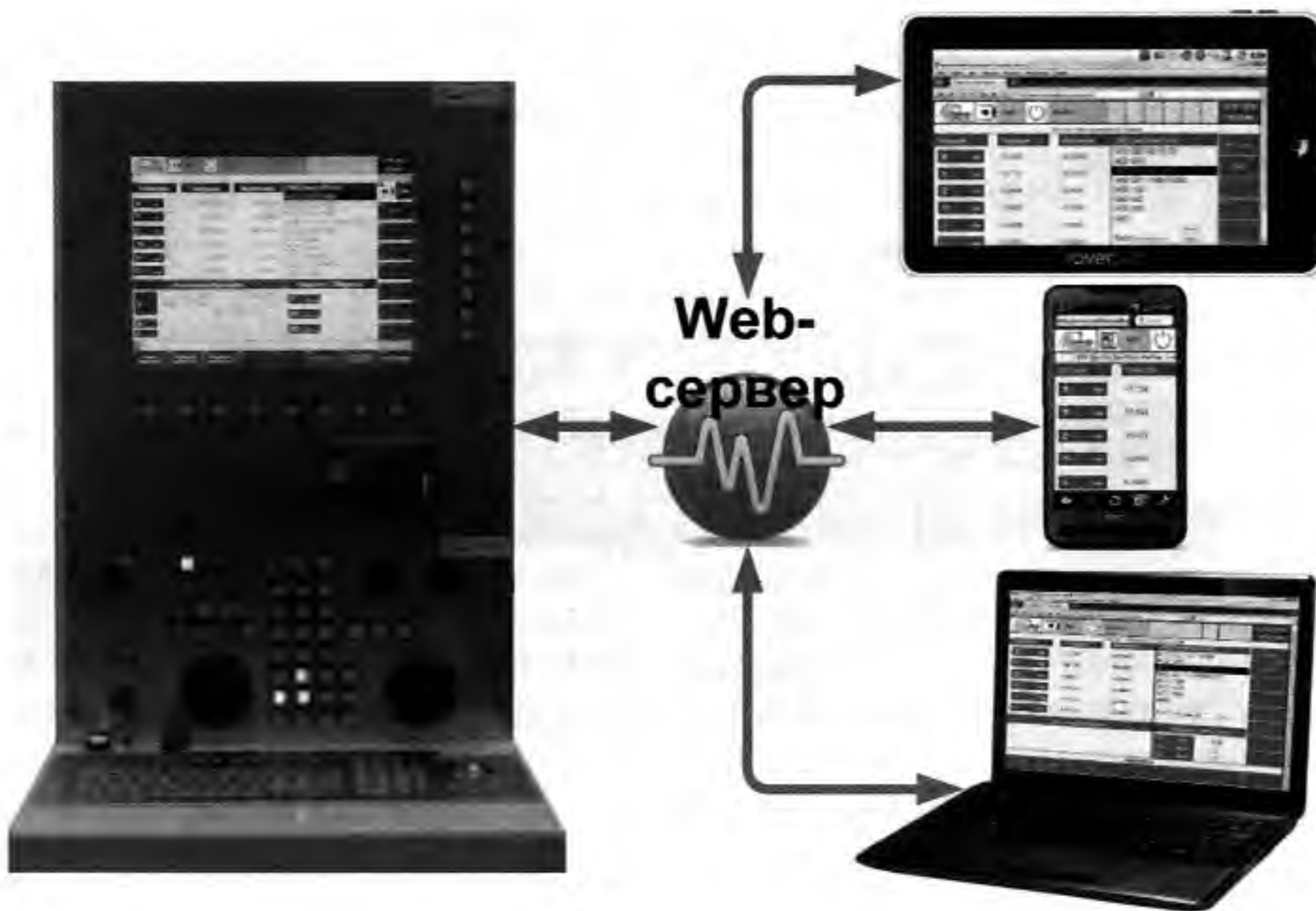


Рис. 5. Прототип системы ЧПУ «АксиОМА Контроль» со встроенным web-сервером

вать ее под конкретные технологические задачи с использованием стандартных протоколов связи для организации взаимодействия программных модулей технологической машины.

Кроссплатформенная реализация ядра делает систему ЧПУ управления открытой для интегрирования программных приложений для реализации частных технологических и прикладных задач, как например, мониторинг состояния и прогнозирование износа инструмента, удаленное управление оборудованием и др.

Работа выполнена по Госконтрактам № П963 и №16.740.11.0228 на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.



Рис. 8. Экспериментальный образец токарного станка СА700КФ2 (ОАО САСТА) с базовой системой управления

В рамках важнейшего инновационного проекта «Разработка комплекса наукоемких комплектующих изделий, обеспечивающих конкурентоспособность современного механообрабатывающего оборудования», реализуемого ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» совместно с ОАО «САСТА», создан и запущен в эксплуатацию токарный станок (с направляющими качения), оснащенный комплектной системой ЧПУ собственной разработки (рис. 8).

Заключение

Распределенная компьютерная система числового программного управления технологическими машинами, построенная на базе открытой модульной масштабируемой архитектуры, позволяет компо-

Библиографический список

1. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. № 5. С. 4 – 8.
2. 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.
3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Спецвыпуск Т-Сотм, июль 2009. С. 121 – 124.
4. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Концепция построения базовой системы числового программного управления мехатронными объектами // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2011. № 2. С. 21 – 27.
5. 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.
6. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. М.: Логос, 2005. 296 с.
7. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Козак Н.В., Пушков Р.Л. Прикладные решения в области управления электроавтоматикой станков с ЧПУ класса PCNC // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 4. С. 48 – 53.

8. **Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Любимов А.Б.** Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. 2010. №7. С. 34 – 40.

9. **Мартинов Г.М., Григорьев А.С.** Принцип построения и интеграции в системах ЧПУ класса PCNC подсистемы трехмерной визуализации управляющих программ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 9. С. 26 – 31.

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.

11. **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.

12. **Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.** Построение интерфейса оператора систем ЧПУ с привлечением web-технологий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 10. С. 41 – 44.

13. **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.

14. **Мартинов Г.М., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В.** Основы построения однокомпьютерной системы ЧПУ с программно-реализованным ядром и открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 4. С. 82 – 93.

15. **Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Любимов А.Б.** Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 7. С. 34 – 40.



Алешин Н.П., Бобров В.Т., Ланге Ю.В., Щербинский В.Г.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ

Серия "ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ"

Под общей редакцией академика РАН В.В. Клюева

М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 224 с.: ил.
ISBN 978-5-904270-59-9

Цена (с НДС 10%) – 690 руб.

Рекомендовано Научным советом по автоматизированным системам диагностики и испытаний РАН в качестве учебного пособия для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Изложены основы ультразвуковых (УЗ) методов неразрушающего контроля (НК). Значительное внимание уделено эхо- и теневому методам обнаружения дефектов, измерения толщины и физико-механических свойств деталей, узлов и сварных соединений, методам обработки информации и регистрации результатов контроля. Рассмотрены типовые схемы построения УЗ-преобразователей, приборов и систем автоматизированного контроля, их конструктивные особенности и технические характеристики, технология контроля массовой продукции. Приведены национальные и международные стандарты по УЗ НК, описаны стандартные образцы. Сформулированы требования по безопасности УЗ-контроля.

Книга может быть использована в качестве пособия для подготовки студентов и специалистов, обучающихся по направлениям технической диагностики, контроля качества и безопасности изделий и конструкций.

Учебное пособие рекомендуется для подготовки к аттестации специалистов 1, 2 и 3 уровней НК по международной и европейской системам аттестации, а также в качестве базового материала для дистанционного обучения специалистов по НК.

ООО «Издательский дом «Спектр», 119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Заявки принимаются по почте, по телефону или по e-mail: info@idspektr.ru, izkaz@rambler.ru

Контактные телефоны: (495) 514-26-34, 514-76-50. Подробная информация на сайте www.idspektr.ru